ALCALDÍA DE BUCARAMANGA

CONSULTORES EN INGENIERÍA Y MEDIO AMBIENTE - CI AMBIENTAL S.A.S.

"CONSULTORÍA PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN, Y AVENIDAS TORRENCIALES EN SECTORES PRIORIZADOS EN LAS COMUNAS CUATRO (CAMILO TORRES, CUYANITA, MILAGRO DE DIOS, ZARABANDA, Y CIUDAD PERDIDA) Y CINCO (PANTANO I, PANTANO II, Y PANTANO III) DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA"

INFORME EJECUTIVO

DICIEMBRE DE 2023
BOGOTÁ, D.C. – COLOMBIA

Bogotá, D.C. Colombia
Dirección: Calle 171 # 21A-62
Tels:. (601) 7268982 / Cel:. 317 503 0960 - 317 503 0961

www.ciambiental.com - info@ciambiental.com

iticcol CERTIFIED ISO 9001:2015 ISO 14001:2015 ISO 45001:2018

CONTENIDO

1 Objetivos 28
1.1 Objetivo General 28
1.2 Objetivos Específicos 29
2 Localización 30
3 Etapas Finalizadas Y Aprobadas 31
3.1 Etapa 1: Cartografía Base Digital y Modelado 3D 32
3.1.1 Descripción del Estudio 32
3.1.2 Localización del Proyecto 32
3.1.3 Levantamiento Topográfico 35
3.2 Etapa 2: Geología y Geomorfología 49
3.2.1 Área de Estudio 49
3.2.2 Aspectos Metodológicos 52
3.2.3 Geología en el Área de Estudio 52
3.2.4 Caracterización Geoambiental 55
3.3 Etapa 3: Cobertura y Uso del suelo 102
3.3.1 Metodología 102
3.3.1 Coberturas de la Tierra 102
3.3.2 Verificación en Campo de las Coberturas Identificadas 108
3.3.3 Uso Actual del Suelo 113
3.3.4 Cambios en las Coberturas de la Tierra 115
3.3.5 Proyección de Desarrollo Áreas de Estudio 123
3.4 Etapa 4: Exploración Geológica y Geotécnica 126
3.4.1 Exploración Directa Del Subsuelo 126
3.5 INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA 134
3.5.1 Piezómetro 135
3.5.2 Inclinómetro 136

3.5.3 Monitoreo Geotécnico 141
3.5.4 Exploración indirecta 147
3.5.5 Ensayo Downhole 154
3.5.6 Caracterización Geotécnica 161
3.6 Etapa 5: Hidrología 169
3.6.1 Análisis Hidroclimatológico 169
3.6.2 Descripción Climática 170
3.6.3 Balance Hídrico 172
3.6.4 Identificación de Drenajes 173
3.6.5 Análisis Morfométrico 174
3.6.6 Análisis de Eventos Históricos 176
3.6.7 Cálculo de Caudales Máximos 178
3.6.8 Características Morfométricas 178
3.6.9 Periodo de Retorno (t) 180
3.6.10 Cálculo de Intensidad de la Lluvia 180
3.6.11 Modelación Hidrológica 182
3.7 Etapa 6: Hidrogeología 185
3.7.1 Descripción del Estudio 185
3.7.2 Evaluación Hidrogeológica Regional 185
3.7.3 Ensayos de Permeabilidad 188
3.7.4 Niveles Piezométricos 188
3.7.5 Efectos de la Lluvia Sobre el Nivel Freático 193
3.7.6 Lluvias Infiltradas 194
3.7.7 Variación del Nivel Freático 194
3.7.8 Modelo Hidrogeológico Conceptual 196
3.8 Etapa 7: Diagnóstico de Obras de Mitigación en el Área de Estudio 198
3.8.1 Tipos de Estructuras Halladas 198
3.8.2 Acceso a las Estructuras 199

3.8.3 Sobrecargas Existentes 199
3.8.4 Diagnóstico de Obras Hidráulicas Existentes 201
3.9 Etapa 8: Análisis Detallado de Amenaza por Movimientos en Masa 217
3.9.1 Unidades Geotécnicas Homogéneas 217
3.9.2 Caracterización de las UGH 221
3.9.3 Modelos Geológico-Geotécnicos 223
3.9.4 Agentes Detonantes 227
3.9.5 Escenarios de Análisis 229
3.9.6 Métodos Numéricos de Análisis 230
3.9.7 Evaluación de Amenaza por Movimientos en Masa 231
3.9.8 Resultados Mecanismo de Falla Rotacional 2D 239
3.9.9 Probabilidad de Falla Combinada y Zonificación de Amenaza 243
3.9.10 Caracterización de la Amenaza 250
3.9.11 Parámetros de Intensidad por Movimientos en Masa (MM) 252
3.10 Etapa 9: Análisis de Detallado de Amenaza de Inundación 261
3.10.1 Modelación Hidráulica 261
3.11 Etapa 10: Análisis Detallado de Amenaza por Avenida Torrencial 269
3.11.1 Desarrollo de la Metodología de Susceptibilidad Ante Eventos de Avenidas Torrenciales 269
3.12 Etapa 11: Análisis de Amenaza Origen Tecnológico 290
3.12.1 Descripción del Estudio 290
3.12.2 Susceptibilidad de Amenaza por Origen Tecnológico 290
3.12.3 Zonificación de Amenaza por Origen Tecnológico 291
3.13 Etapa 12: Evaluación de Vulnerabilidad 300
3.13.1 Evaluación de Vulnerabilidad Física 300
3.13.2 Evaluación de Vulnerabilidad Social 307
3.14 Etapa 13: Evaluación del Riesgo 321
3.14.1 Análisis de Resultados 321

3.14.2 Viabilidad de las Obras de Mitigación 332
3.15 Etapa 14: Diseño de Medidas de Mitigación 358
3.15.1 Diseños Detallados Comuna 4 358
3.15.2 Diseños Detallados Ciudad Perdida 363
3.15.3 Diseños Detallados Comuna 5 366
3.15.4 Diseños Hidráulicos 372
3.15.5 Propuesta Arquitectónica 391
3.15.6 Medidas No Estructurales Correctivas (Aislamientos A Borde Y Corona De Talud) 402
3.15.7 Análisis de Predios y Áreas a Interventir 402
3.15.8 Presupuesto 402
3.16 Etapa 15: Identificación Predial y Aclaraciones de la Propiedad 406
3.16.1 Comuna 4 406
3.16.2 Comuna Cinco 407
3.17 Etapa 16: Cartografía Temática. 415
3.17.1 Sistema de Referencia 415
3.17.2 Información Secundaria 416
3.17.3 Modelo de Almacenamiento de la Cartografía Base y Estructura de Datos 416
3.17.4 Definición del Modelo de Almacenamiento de la Cartografía Temática y Estructura de Datos 419
3.17.5 Modelo de Presentación Cartográfica 428
3.17.6 Control de Calidad del Producto Final 434
3.18 Etapa 17: Socialización 435
3.18.1 Actividades Planteadas 435
3.18.2 Desarrollo de las Actividades 435
3.18.3 Registro Fotográfico 440
4 Conclusiones 445
4.1 Cartografía Base Digital y Modelado 3D 445
4.2 Geología y Geomorfología 445

4.3 Cobertura y Uso del Suelo 447
4.4 Exploración Geológica y Geotécnica 447
4.5 Hidrología 449
4.6 Hidrogeología 449
4.7 Diagnóstico de Obras de Mitigación en el Área de Estudio 450
4.8 Análisis Detallado de Amenaza por Movimientos en Masa 451
4.9 Análisis Detallado de Amenaza de Inundación 452
4.10 Análisis Detallado de Amenaza por Avenida Torrencial 452
4.11 Análisis de Amenaza Origen Tecnológico 453
4.12 Evaluación de Vulnerabilidad 454
4.12.1 Evaluación de Vulnerabilidad Física 454
4.12.2 Evaluación de Vulnerabilidad Social 456
4.13 Evaluación del Riesgo 456
4.14 Diseño de Medidas de Mitigación 458
4.15 Identificación Predial y Aclaraciones de la Propiedad 459
4.16 Cartografía Temática 459
4.17 Socialización 459
5 Bibliografía 461
6 ANEXOS 465

FIGURAS

Figura 2.1 Ubicación de la zona de estudio en la cartográfica general 30
Figura 3.1 Localización del Proyecto 32
Figura 3.2 Localización general del proyecto 33
Figura 3.3 Localización detallada del área de estudio Comuna 4 CAMILO TORRES, CUYANITA, MILAGRO DE DIOS, ZARABANDA 33

Figura 3.4 Localización detallada del área de estudio Comuna 4 CIUDAD PERDIDA 34

Figura 3.5 Localización detallada del área de estudio Comuna 5 PANTANO I, PANTANO II, Y PANTANO III 34

Figura 3.6 Polígonos de vuelo 35

Figura 3.7 Parámetros del origen único nacional 36

Figura 3.8 Distorsiones en área calculadas para el sistema 36

Figura 3.9 Ortoimagen Pantanos 37

Figura 3.10 Ortoimagen Ciudad Perdida 38

Figura 3.11 Ortoimagen Comuna 4 38

Figura 3.12 Nube de Puntos Ciudad Perdida 39

Figura 3.13 Nube de Puntos Comuna 4 39

Figura 3.14 Nube de Puntos Pantanos 40

Figura 3.15 MDS Comuna 4 40

Figura 3.16 MDS Ciudad Perdida 41

Figura 3.17 MDS Pantanos 41

Figura 3.18 MDT Pantanos 42

Figura 3.19 MDT Ciudad Perdida 42

Figura 3.20 MDT Comuna 4 42

Figura 3.21 Curvas de Nivel Pantanos 43

Figura 3.22 Curvas de Nivel Ciudad Perdida 43

Figura 3.23 Curvas de Nivel Comuna 4 44

Figura 3.24 Plano Pantano I 45

Figura 3.25 Plano Pantano II 45

Figura 3.26 Plano Pantano III 46

Figura 3.27 Plano Ciudad Perdida 46

Figura 3.28 Plano Camilo Torres 47

Figura 3.29 Plano Cuyanita 47

Figura 3.30 Plano Milagro de Dios 48

Figura 3.31 Plano Zarabanda Alta 48

Figura 3.32 Esquema compilado de las áreas de estudio, Comunas 4 y 5 50

Figura 3.33 Polígono norte del área de estudio, barrios Camilo Torres, Cuyanita, Zarabanda y Milagro de Dios de la comuna 4 del municipio de Bucaramanga 50

Figura 3.34 Polígono central del área de estudio, barrio Ciudad Perdida (Divino Niño) de la comuna 4 del municipio de Bucaramanga 51

Figura 3.35 Polígono sur del área de estudio, barrios Pantano I, Pantano II y Pantano III de la comuna 5 del municipio de Bucaramanga 51

Figura 3.36 Esquema del mapa de UGI del área de estudio en la comuna 4, barrios Zarabanda, Camilo Torres, Milagro de Dios y Cuyanita 56

Figura 3.37 Esquema del mapa de UGI del área de estudio en el barrio Ciudad Perdida (Divino Niño) de la comuna 4 57

Figura 3.38 Esquema del mapa de UGI del área de la comuna 5, barrios Pantano 1, 2 y 3 58

Figura 3.39 Distribución porcentual de las UGI tipo suelo dentro del área de estudio 61

Figura 3.40 Localización y visualización del perfil geológico A-A' dentro del área de estudio 62

Figura 3.41 Localización y distribución de UGI en el perfil geológico B-B' dentro del área de estudio. 63

Figura 3.42 Localización y distribución de UGI en el perfil geológico C-C' dentro del área de estudio. 64

Figura 3.43 Afloramiento de suelo antrópico de botadero de escombros (Sab) en sitios del área de estudio 65

Figura 3.44 Suelo antrópico de llenos (Sall) aflorantes en el área de estudio 66

Figura 3.45 Suelo antrópico aluvial (Stal) 66

Figura 3.46 Suelo antrópico aluvial de terraza (Stat) 67

Figura 3.47 Suelo transportado coluvial (Stco) 67

Figura 3.48 Suelo transportado limo arcilloso del Miembro Limos Rojos de la Formación Bucaramanga (Stlalb) 68

Figura 3.49 Suelo transportado arcilloso del Miembro Gravoso de la Formación Bucaramanga (Stlalb) 68

Figura 3.50 Suelo transportado areno limoso del Miembro Gravoso de la Formación Bucaramanga (Stalgb) 69

Figura 3.51 Suelo transportado limo arenoso del Miembro Finos de la Formación Bucaramanga (Stlafb) 70

Figura 3.52 Suelo transportado limoso del Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga (Stlob) 70

Figura 3.53 Suelo transportado limoso del Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga (Stlob) 71

Figura 3.54 Esquema de correlación entre las columnas 1 y 9 del sector del barrio la Feria y Camilo Torres 73

Figura 3.55 Modelo de sombras para los polígonos que conforman el área de estudio de las comunas 4 y 5 75

Figura 3.56 Modelo de pendientes del terreno para la zona de Comuna 4 reclasificado en las 7 categorías propuestas por Carvajal (2012) 76

Figura 3.57 Modelo de pendientes del terreno para la zona de Ciudad Perdida reclasificado en las 7 categorías propuestas por Carvajal (2012) 77

Figura 3.58 Modelo de pendientes del terreno para la zona de Pantanos reclasificado en las 7 categorías propuestas por Carvajal (2012) 78

Figura 3.59 Modelo de aspecto u orientación de ladera para el área de estudio 80

Figura 3.60 Esquema del mapa de elementos geomorfológicos para la comuna 4, barrios Zarabanda, Camilo Torres, Milagro de Dios y Cuyanita 81

Figura 3.61 Esquema del mapa de elementos geomorfológicos en el barrio Ciudad perdida (Divino Niño) de la comuna 4 82

Figura 3.62 Esquema del mapa de elementos geomorfológicos para la comuna 5, barrios Pantano I, Pantano II y Pantano III 83

Figura 3.63 Distribución porcentual de las áreas de ocupación por cada ambiente geomorfológico en la zona de estudio 84

Figura 3.64 Cuenca denudada (Dcd) 85

Figura 3.65 Coluvión (Dco) 86

Figura 3.66 Escarpe (De) 87

Figura 3.67 Ladera abrupta (Dla) 87

Figura 3.68 Lomo denudado (Dlde) 88

Figura 3.69 Ladera denudada (Dlden) 89

Figura 3.70 Ladera erosiva (Dle) 89

Figura 3.71 Ladera escarpada (Dles) 90

Figura 3.72 Ladera inclinada (Dli) 91

Figura 3.73 Ladera muy abrupta (Dlma) 91

Figura 3.74 Ladera ondulada (Dlo) 92

Figura 3.75 Abanico aluvial antiguo (Faaa) 93

Figura 3.76 Plano o llanura de inundación (Fpi)..... 94

Figura 3.77 Terraza aluvial baja (Ftb)..... 94

Figura 3.78 Algunos ejemplos de la geoforma superficie de explanación (Asp)..... 95

Figura 3.79 Superficie de explanación vial (Aspv)..... 96

Figura 3.80 Esquema del mapa del mapa de inventario de procesos morfodinámicos del área de estudio en la comuna 4, barrios Zarabanda, Camilo Torres, Milagro de Dios y Cuyanita 98

Figura 3.81 Esquema del mapa del mapa de inventario de procesos morfodinámicos del área de estudio en el barrio Ciudad perdida (Divino Niño) de la comuna 4..... 99

Figura 3.82 Esquema del mapa del mapa de inventario de procesos morfodinámicos del área de estudio en la comuna 5, barrios Pantano 1, 2 y 3..... 100

Figura 3.83 Distribución porcentual por abundancia de los tipos y subtipos de movimientos en masa inventariados en los tres polígonos del área de estudio 101

Figura 3.84 Coberturas de la tierra La Feria..... 103

Figura 3.85 Coberturas de la tierra La feria..... 104

Figura 3.86 Coberturas de la tierra Ciudad Perdida..... 105

Figura 3.87 Coberturas de la tierra Ciudad Perdida..... 106

Figura 3.88 Coberturas de la tierra Pantano. 107

Figura 3.89 Coberturas de la tierra Pantanos 108

Figura 3.90 Ubicación de muestras de posición para la verificación en campo de las coberturas la feria. 109

Figura 3.91 Ubicación de muestras de posición para la verificación en campo de las coberturas Ciudad Perdida 111

Figura 3.92 Ubicación de muestras de posición para la verificación en campo de las coberturas Pantanos..... 112

Figura 3.93 Uso actual del suelo sector La feria..... 113

Figura 3.94 Uso actual del suelo sector Ciudad Perdida. 114

Figura 3.95 Uso actual del suelo sector Pantanos. 115

Figura 3.96 Cambios en la cobertura de la tierra La Feria. 116

Figura 3.97 Multitemporal de cobertura de la tierra La Feria 118

Figura 3.98 Cambios en la cobertura de la tierra Ciudad Perdida. 119

Figura 3.99 Multitemporal de cobertura de la tierra Ciudad Perdida 120

Figura 3.100 Cambios en la cobertura de la tierra Pantano 121

Figura 3.101 Multitemporal de cobertura de la tierra Pantanos 122

Figura 3.102 Escenario Futuro Sector La Feria 123

Figura 3.103 Escenario Futuro Sector Ciudad Perdida 124

Figura 3.104 Escenario Futuro Sector Pantanos 125

Figura 3.105 Localización de perforaciones y apiques barrios Camilo Torres, Cuyanita, Milagro de Dios y Zarabanda 128

Figura 3.106 Localización de perforaciones y apiques barrio Ciudad Perdida 128

Figura 3.107 Localización de perforaciones y apiques barrios Pantano I, Pantano II y Pantano III 129

Figura 3.108 Localización de Perforaciones y Apiques 130

Figura 3.109 Máquina de Perforación Acker Soil Scout 130

Figura 3.110 Localización de Sondeos Manuales 132

Figura 3.111 Fotografías de la ejecución y muestras de sondeos manuales. 133

Figura 3.112 Ejecución de ApiqueCI-A-01 134

Figura 3.113 Piezómetro Casagrande. Modificado de Sisgeo (2016) 135

Figura 3.114 Arena Gruesa Implementada en la Construcción de los Filtros de los Piezómetros de Casagrande 136

Figura 3.115 Construcción del Sello de Arcilla para el Piezómetro de Casagrande 136

Figura 3.116 Instalación del piezómetro en la perforación CI-P-09 136

Figura 3.117 Instalación de la tubería del inclinómetro en la perforación CI-P-01 137

Figura 3.118 Dispositivos del sistema de medición 139

Figura 3.119 Orientación de la sonda digital 139

Figura 3.120 Ejes de la sonda digital 139

Figura 3.121 Computador de mano: componente fundamental del equipo de monitoreo inclinométrico 141

Figura 3.122 Monitoreo Piezométrico 142

Figura 3.123 Desviación media registrado en el CI-P-01 143

Figura 3.124 Incremento de desplazamiento registrado en el CI-P-01 144

Figura 3.125 Desplazamiento acumulativo registrado en el CI-P-01 145

Figura 3.126 Desplazamiento vertical vs Tiempo registrado en el CI-P-01 146

Figura 3.127 Representación vectorial de los desplazamientos registrado en el CI-P-01. 147

Figura 3.128 Resistividades de diferentes rocas y minerales 148

Figura 3.129 Localización de tomografías eléctricas 149

Figura 3.130 Resultados de la adquisición de la Tomografía Eléctrica - Zona La Feria 150

Figura 3.131 Resultados de la adquisición de la Tomografía Eléctrica - Zona Ciudad Perdida o Divino Niño 150

Figura 3.132 Resultados de la adquisición de la Tomografía Eléctrica - Zona Pantano 1 150

Figura 3.133 Resultados de la adquisición de la Tomografía Eléctrica - Zona Pantano 2 150

Figura 3.134 Resultados de la adquisición de la Tomografía Eléctrica - Zona Pantano 3 150

Figura 3.135 Interpretación de la Tomografía Eléctrica CI-LT-01 151

Figura 3.136 Ubicación de las LRS en planta 151

Figura 3.137 Ejecución de las labores para la CI-LR-01 152

Figura 3.138 Gráfica de comportamiento morfológico para la CI-LR-01 ondas P 153

Figura 3.139 Gráfica de comportamiento morfológico para la CI-LR-01 ondas S 153

Figura 3.140 Torpedo de ensayo Downhole (1), donde se puede apreciar el geófono triaxial (2), cables de datos (3), manguera neumática (3) y cinta métrica (3). 156

Figura 3.141 Fuente de Ondas de Corte para la ejecución del ensayo tipo Down Hole (conforme a lo requerido por la Norma ASTM D7400 – 08). 156

Figura 3.142 Esquema de prueba Down Hole en pozo encamisado (Tomado de: Norma ASTM-D7400). 157

Figura 3.143 Esquema de ondas cortantes invertidas, provenientes de la fuente izquierda y derecha (ASTM D7400). 157

Figura 3.144 Registro de llegada de ondas P, Perforación CI-P-01. 158

Figura 3.145 Registro de llegada de las ondas S, Perforación CI-P-01. 159

Figura 3.146 Gráfico de velocidades de onda P y S para el CI-P-01. 161

Figura 3.147 Ubicación de Estaciones Analizadas 169

Figura 3.148 Distribución de la Precipitación Media Mensual Multianual de las Estaciones de Estudio 170

Figura 3.149 Distribución Temporal de la Temperatura Mensual Multianual 170

Figura 3.150 Distribución Temporal de Brillo Solar Medio Mensual. 171
Figura 3.151 Distribución Temporal de la Humedad Relativa Media Mensual 171
Figura 3.152 Distribución Temporal de la Evaporación Media Mensual Multianual..... 172
Figura 3.153 Evapotranspiración Media Mensual 173
Figura 3.154 Balance Hídrico Pantano 1 173
Figura 3.155 Ubicación Drenajes de los Asentamientos Urbanos 174
Figura 3.156 Eventos Históricos 177
Figura 3.157 Acumulación de Flujo en la Zona de Estudio..... 178
Figura 3.158 Áreas de Drenaje Hidrología de las Comunas 4 y 5..... 179
Figura 3.159 Curvas IFD para la Estación La Floresta 180
Figura 3.160 Curvas IFD para la Estación Bucaramanga IDEAM 181
Figura 3.161 Mapa de Suelos Cuenca de estudio 181
Figura 3.162 Líneas isopiezas de los acuíferos superficial y profundo en la zona aluvial de la Formación Bucaramanga..... 186
Figura 3.163 Interpretación de la Tomografía CI-LT-01 186
Figura 3.164 Niveles freáticos aproximados para la zona de Comuna 4 189
Figura 3.165 Niveles freáticos aproximados para la zona del barrio Ciudad Perdida..... 190
Figura 3.166 Niveles freáticos aproximados para la zona de Comuna 5 191
Figura 3.167 Esquema del modelo hidrogeológico conceptual 192
Figura 3.168 Mapa de direcciones de flujo de oriente a occidente de los puntos de agua subterránea 196
Figura 3.169 Esquema del modelo hidrogeológico conceptual 197
Figura 3.170 Falla inicial - 15 de marzo de 2023 200
Figura 3.171 Zona de falla 3 de abril de 2023 200
Figura 3.172 Zona de falla 19 de abril de 2023 201
Figura 3.173 Análisis bidimensional por asentamiento humano en el sector Ciudad Perdida..... 202
Figura 3.174 Análisis bidimensional por asentamiento humano en el sector Pantano I..... 203
Figura 3.175 Análisis bidimensional por asentamiento humano en el sector Pantano II..... 203
Figura 3.176 Análisis bidimensional por asentamiento humano en el sector Pantano III..... 204

Figura 3.177 Análisis bidimensional por asentamiento humano Comuna 4 205

Figura 3.178 Vista general Pantalla anclada 1 206

Figura 3.179 Deslizamiento en inicio de Muro gaviones 207

Figura 3.180 Falla de Protección en concreto 208

Figura 3.181 Vista general Pantalla anclada 2 209

Figura 3.182 Vista superior Pantalla anclada 1 210

Figura 3.183 Eflorescencias y material vegetal Protección en concreto 211

Figura 3.184 Vista general Muro gaviones Pantano 1 212

Figura 3.185 Vista general Pantalla anclada Pantano 2 213

Figura 3.186 Material vegetal Pantalla anclada Pantano 3 214

Figura 3.187 Fisuras y grietas en inicio Muro gaviones 1 Pantano 3 215

Figura 3.188 Vista general Muro gaviones 2 Pantano 3 216

Figura 3.189 Unidades Geotécnicas Homogéneas para la zona de Comuna 4 barrios de Camilo Torres, Cuyanita, Milagro de Dios y Zarabanda 218

Figura 3.190 Unidades Geotécnicas Homogéneas para la zona de Comuna 4 barrio Ciudad Perdida 219

Figura 3.191 Unidades Geotécnicas Homogéneas para la zona de Comuna 5 barrios Pantano I, Pantano II y Pantano III 220

Figura 3.192 Esquema del Mecanismo de Falla por Talud Infinito 224

Figura 3.193 Modelo Geológico – Geotécnico de la Sección CP-Secc1-1' de Ciudad Perdida 226

Figura 3.194 Curvas y PGA de amenaza sísmica para sismo con periodo de retorno de 475 años 227

Figura 3.195 Mapa de pendientes de la Comuna 4 Ciudad Perdida 231

Figura 3.196 Mapa de amenaza por movimientos en masa para la Comuna 4 Ciudad Perdida, categorizado correspondiente a la probabilidad total de falla por mecanismo de falla traslacional para un tiempo de exposición de 10 años 233

Figura 3.197 Mapa de amenaza por movimientos en masa para la Comuna 4 Camilo Torres – Cuyanita – Milagro de Dios – Zarabanda, categorizado correspondiente a la probabilidad total de falla traslacional para un tiempo de exposición de 10 años 234

Figura 3.198 Mapa de amenaza por movimientos en masa para la Comuna 5 Pantano I – Pantano II – Pantano III, categorizado por la probabilidad total de falla traslacional para un tiempo de exposición de 10 años 235

Figura 3.199 Mapa de amenaza por movimientos en masa para la Comuna 4 Ciudad Perdida, categorizado correspondiente a la probabilidad total de falla por mecanismo de falla traslacional para un tiempo de exposición de 50 años 236

Figura 3.200 Mapa de amenaza por movimientos en masa para la Comuna 4 Camilo Torres – Cuyanita – Milagro de Dios – Zarabanda, categorizado correspondiente a la probabilidad total de falla traslacional para un tiempo de exposición de 50 años..... 237

Figura 3.201Mapa de amenaza por movimientos en masa para la Comuna 5 Pantano I – Pantano II – Pantano III, categorizado por la probabilidad total de falla traslacional para un tiempo de exposición de 50 años 238

Figura 3.202 Resultados de FS y PF para uno de los escenarios corridos para la sección CP-Sec1-1' . 239

Figura 3.203 Zonificación de la amenaza Para Comuna 4 Ciudad Perdida con 10 años de exposición244

Figura 3.204 Zonificación de la amenaza Para Comuna 4– Camilo Torres, Cuyanita, Milagro de Dios y Zarabanda con 10 años de exposición 245

Figura 3.205 Zonificación de la amenaza Para Comuna 5– Pantano I – Pantano II – Pantano III con 10 años de exposición 246

Figura 3.206 Zonificación de la amenaza Para Comuna 4 Ciudad Perdida con 50 años de exposición247

Figura 3.207 Zonificación de la amenaza Para Comuna 4– Camilo Torres, Cuyanita, Milagro de Dios y Zarabanda con 50 años de exposición 248

Figura 3.208 Zonificación de la amenaza Para Comuna 5– Pantano I – Pantano II – Pantano III con 50 años de exposición 249

Figura 3.209 Zona de exposición de los elementos expuestos ante un deslizamiento (SGC, 2016). .. 252

Figura 3.210 Variables geométricas del deslizamiento para la sección LF_Secc1-1' 253

Figura 3.211 Zona de movimiento para los elementos en la Comuna 4 barrios Camilo Torres, Cuyanita, Milagro de Dios y Zarabanda 255

Figura 3.212 Zona de movimiento para los elementos en la Comuna 4 barrio Ciudad Perdida 255

Figura 3.213 Zona de movimiento para los elementos en la Comuna 5 Pantano I, Pantano II y Pantano III..... 256

Figura 3.214 Profundidad de movimiento en metros (m) para los elementos en la Comuna 4 barrios Camilo Torres, Cuyanita, Milagro de Dios y Zarabanda 257

Figura 3.215 Profundidad de movimiento en metros (m)para los elementos en la Comuna 4 barrio Ciudad Perdida 257

Figura 3.216 Profundidad de movimiento en metros (m) para los elementos en la Comuna 5 Pantano I, Pantano II y Pantano III 258

Figura 3.217 Velocidad de movimiento para los elementos en la Comuna 4 barrios Camilo Torres, Cuyanita, Milagro de Dios y Zarabanda 259

Figura 3.218 Velocidad de movimiento para los elementos en la Comuna 4 barrio Ciudad Perdida . 259

Figura 3.219 Velocidad de movimiento para los elementos en la Comuna 5 Pantano I, Pantano II y Pantano III 260

Figura 3.220 Distribución Vectorial del Flujo Asentamiento Humano La Feria 261

Figura 3.221 Distribución Vectorial del Flujo Asentamiento Divino Niño..... 262

Figura 3.222 Distribución Vectorial del Flujo Asentamiento Humano Pantano 262

Figura 3.223 Calado (m) Análisis Bidimensional Asentamiento Humano Divino Niño 263

Figura 3.224 Velocidad (m/s) Análisis Bidimensional Asentamiento Humano Divino Niño 264

Figura 3.225 Calado (m) Análisis Bidimensional Asentamiento Humano Pantano I..... 264

Figura 3.226 Velocidad (m/s) Análisis Bidimensional Asentamiento Humano Pantano I..... 265

Figura 3.227 Calado (m) Análisis Bidimensional Asentamiento Humano Pantano II..... 265

Figura 3.228 Velocidad (m/s) Análisis Bidimensional Asentamiento Humano Pantano II..... 266

Figura 3.229 Calado TR100 (m) Asentamiento Humano Pantano III 266

Figura 3.230 Calado TR500 (m) Asentamiento Humano Pantano III 267

Figura 3.231 Calado (m) Asentamiento Humano Comuna 267

Figura 3.232 Velocidad (m/s) Asentamiento Humano Comuna 268

Figura 3.233 Localización de los sectores objeto de estudio en el análisis de amenaza por avenidas torrenciales 269

Figura 3.234 Rangos de pendiente en los sectores objeto de estudio para el análisis de amenaza por avenidas torrenciales, en sistema de coordenadas origen único nacional CTM12 270

Figura 3.235 Reclasificación de pendiente La Feria, en sistema de coordenadas origen único nacional CTM12 271

Figura 3.236 Reclasificación de pendiente Divino Niño, en sistema de coordenadas origen único nacional CTM12..... 272

Figura 3.237 Reclasificación de pendiente Pantanos, en sistema de coordenadas origen único nacional CTM12 272

Figura 3.238 Reclasificación de Coberturas La Feria, en sistema de coordenadas origen único nacional CTM12 274

Figura 3.239 Reclasificación de Coberturas Divino Niño, en sistema de coordenadas origen único nacional CTM12 274

Figura 3.240. Reclasificación de Coberturas Pantanos, en sistema de coordenadas origen único nacional CTM12 275

Figura 3.241 Esquema del mapa de inventario de procesos morfodinámicos del área de estudio en la comuna 4, barrios Zarabanda, Camilo Torres, Milagro de Dios y Cuyanita 276

Figura 3.242 Esquema del mapa de inventario de procesos morfodinámicos del área de estudio en el barrio Ciudad Perdida (Divino Niño) de la comuna 4 277

Figura 3.243 Esquema del mapa de inventario de procesos morfodinámicos del área de estudio en la comuna 5, barrios Pantano 1, 2 y 3 278

Figura 3.244 Esquema que presenta los MM con posible aporte volumétrico a la quebrada Argelia, según el tipo, 4 deslizamientos y caídas, sobre la comuna 4, barrios Zarabanda, Camilo Torres, Milagro de Dios y Cuyanita 279

Figura 3.245 Reclasificación de Movimiento en masa La Feria, en sistema de coordenadas origen único nacional CTM12 280

Figura 3.246 Reclasificación de Movimiento en masa Divino Niño, en sistema de coordenadas origen único nacional CTM12 280

Figura 3.247 Reclasificación de Movimiento en masa Pantanos, en sistema de coordenadas origen único nacional CTM12 281

Figura 3.248 Reclasificación de Acumulación de Flujo La Feria, en sistema de coordenadas origen único nacional CTM12 282

Figura 3.249 Reclasificación de Acumulación de Flujo Ciudad Perdida (Divino Niño), en sistema de coordenadas origen único nacional CTM12 283

Figura 3.250 Reclasificación de Acumulación de Flujo Pantanos, en sistema de coordenadas origen único nacional CTM12 283

Figura 3.251 Esquema del mapa geoformas indicativas de depósito con la zonificación geomorfológica para avenidas torrenciales, se evidenciaron fuera del área de estudio directa 284

Figura 3.252 Reclasificación Geoforma La Feria, en sistema de coordenadas origen único nacional CTM12 285

Figura 3.253 Reclasificación Geoforma Ciudad Perdida (Divino Niño), en sistema de coordenadas origen único nacional CTM12 286

Figura 3.254 Reclasificación Geoforma Pantanos, en sistema de coordenadas origen único nacional CTM12 286

Figura 3.255 Susceptibilidad Avenidas Torrenciales La Feria, en sistema de coordenadas origen único nacional CTM12 288

Figura 3.256 Susceptibilidad Avenidas Torrenciales Divino Niño, en sistema de coordenadas origen único nacional CTM12 288

Figura 3.257 Susceptibilidad Avenidas Torrenciales Pantanos, en sistema de coordenadas origen único nacional CTM12 289

Figura 3.258 Diagrama Metodológico de Análisis de Susceptibilidad por Origen Tecnológico 291

Figura 3.259 Plano de Zonificación de Amenaza por Origen Tecnológico – Sector Pantano I 292

Figura 3.260 Plano de Zonificación de Amenaza por Origen Tecnológico – Sector Pantano II 293

Figura 3.261 Análisis de Zonificación de Amenaza por Origen Tecnológico – Sector Pantano II 294

Figura 3.262 Plano de Zonificación de Amenaza por Origen Tecnológico – Sector Pantano III 294

Figura 3.263 Plano de Zonificación de Amenaza por Origen Tecnológico – Sector Pantano III (Continuación) 295

Figura 3.264 Categorización de Amenaza por Origen Tecnológico 296

Figura 3.265 Plano de Zonificación de Amenaza por Origen Tecnológico – Sector Camilo Torres y Zarabanda 298

Figura 3.266 Plano de Zonificación de Amenaza por Origen Tecnológico – Sector Ciudad Perdida ... 298

Figura 3.267 Categorización de la Amenaza por Origen Tecnológico 299

Figura 3.268 Zonificación de la fragilidad de edificaciones sector Comuna 4 301

Figura 3.269 Zonificación de la fragilidad de edificaciones sector Ciudad Perdida 302

Figura 3.270 Zonificación de la fragilidad de edificaciones sector Pantanos 302

Figura 3.271 Zonificación de la fragilidad de personas sector Comuna 4 303

Figura 3.272 Zonificación de la fragilidad de personas sector Ciudad Perdida 303

Figura 3.273 Zonificación de la fragilidad de personas sector Pantanos 304

Figura 3.274 Zonificación de la Vulnerabilidad por MM de edificaciones sector Comuna 4 305

Figura 3.275 Zonificación de la Vulnerabilidad por MM de edificaciones sector Ciudad Perdida 306

Figura 3.276 Zonificación de la Vulnerabilidad por MM de edificaciones sector Pantanos 306

Figura 3.277 Información de menores y adultos según sexo comuna 4 309

Figura 3.278 Información de menores y adultos según sexo comuna 5 310

Figura 3.279 Información relación del encuestado con el predio comuna 4 310

Figura 3.280 Información relación del encuestado con el predio comuna 5 311

Figura 3.281 Tiempo de vivir en el barrio comuna 4 312

Figura 3.282 Tiempo de vivir en el barrio comuna 5 313
Figura 3.283 Grupo etareo de los residentes comuna 4 314
Figura 3.284 Grupo etareo de los residentes comuna 5 315
Figura 3.285 Acceso a servicios públicos comuna 4 316
Figura 3.286 Acceso a servicios públicos comuna 5 318
Figura 3.287 Discapacidad de personas comuna 4 319
Figura 3.288 Discapacidad de personas comuna 5 320
Figura 3.289 Zonificación del riesgo de edificaciones por MM TE=50 años - Comuna 4 322
Figura 3.290 Zonificación del riesgo de personas por MM TE=50 años - Comuna 4 322
Figura 3.291 Zonificación del riesgo de edificaciones por MM TE=50 años - Ciudad Perdida 323
Figura 3.292 Zonificación del riesgo de personas por MM TE=50 años – Ciudad Perdida 323
Figura 3.293 Zonificación del riesgo de edificaciones por MM TE=50 años Pantanos 324
Figura 3.294 Zonificación del riesgo de personas por MM TE=50 años – Pantanos 324
Figura 3.295 Zonificación del riesgo de edificaciones por MM TE=10 años – Comuna 4 325
Figura 3.296 Zonificación del riesgo de personas por MM TE=10 años – Comuna 4 326
Figura 3.297 Zonificación del riesgo de edificaciones por MM TE=10 años – Ciudad Perdida 326
Figura 3.298 Zonificación del riesgo de personas por MM TE=10 años – Ciudad Perdida 327
Figura 3.299 Zonificación del riesgo de edificaciones por MM TE=10 años – Pantanos 327
Figura 3.300 Zonificación del riesgo de personas por MM TE=10 años – Pantanos 328
Figura 3.301 Zonificación del riesgo total por Inundaciones – Ciudad Perdida 329
Figura 3.302 Zonificación del riesgo total por Avenida Torrencial – Ciudad Perdida 329
Figura 3.303 Zonificación del riesgo total por Inundación – Comuna 4 330
Figura 3.304 Zonificación del riesgo total por Avenida Torrencial – Comuna 4 330
Figura 3.305 Zonificación del riesgo total por Inundación – Pantanos 331
Figura 3.306 Zonificación del riesgo total por Avenida Torrencial – Pantanos 331
Figura 3.307 Diseño de medidas de mitigación. Alternativa 1 334
Figura 3.308 Análisis de estabilidad para condición estática. Sección 2-2´ 335
Figura 3.309 Análisis de estabilidad para condición pseudo-estática. Sección 2-2´ 336

Figura 3.310 Diseño de medidas de mitigación. Alternativa 2..... 337

Figura 3.311 Delimitación del riesgo mitigable y no mitigable para la comuna 4. 339

Figura 3.312 Ubicación de las medidas de estabilización, Ciudad Perdida..... 341

Figura 3.313 Planteamiento de las Medidas de Mitigación del Riesgo en Ciudad Perdida - Alternativa 2 343

Figura 3.314 Ubicación de medidas de mitigación comuna 5. Alternativa 1..... 346

Figura 3.315 Ubicación de medidas de mitigación comuna 5 Pantano II. Alternativa 1 347

Figura 3.316 Ubicación de medidas de mitigación comuna 5 Pantano III. Alternativa 1 348

Figura 3.317 Delimitación del riesgo mitigable y no mitigable para la comuna 5. 350

Figura 3.318 Riesgo con obras por movimientos en masa TE=10 años de edificaciones para el sector de Ciudad Perdida. 351

Figura 3.319 Riesgo con obras por movimientos en masa TE=10 años de edificaciones para el sector Comuna 4. 351

Figura 3.320 Riesgo con obras por movimientos en masa TE=10 años de edificaciones para el sector Comuna 5. 352

Figura 3.321 Riesgo con obras por movimientos en masa TE=50 años de edificaciones para el sector Ciudad Perdida. 352

Figura 3.322 Riesgo con obras por movimientos en masa TE=50 años de edificaciones para el sector Comuna 4. 353

Figura 3.323 Riesgo con obras por movimientos en masa TE=50 años de edificaciones para el sector Comuna 5. 353

Figura 3.324 Riesgo con obras por movimientos en masa TE=10 años de personas para el sector de Ciudad Perdida. 354

Figura 3.325 Riesgo con obras por movimientos en masa TE=10 años de personas para el sector de Comuna 4. 354

Figura 3.326 Riesgo con obras por movimientos en masa TE=10 años de personas para el sector de Comuna 5. 355

Figura 3.327 Riesgo con obras por movimientos en masa TE=50 años de personas para el sector de Ciudad Perdida. 355

Figura 3.328 Riesgo con obras por movimientos en masa TE=50 años de personas para el sector de Comuna 4. 356

Figura 3.329 Riesgo con obras por movimientos en masa TE=50 años de personas para el sector de Comuna 5. 356

Figura 3.330 Momento KN-m 360
Figura 3.331 Cortante KN 360
Figura 3.332 Momento máximo de micropilotes ciudad perdida KN-m 363
Figura 3.333 Cortante máximo micropilotes ciudad perdida (KN) 363
Figura 3.334 Componentes del sistema para estabilización de taludes 367
Figura 3.335 Detalle de dren horizontal 368
Figura 3.336 Momento máximo de micropilotes Ciudad Perdida (KN-m) 369
Figura 3.337 Cortante máximo micropilotes Ciudad Perdida (KN) 369
Figura 3.338 Ubicación general del Sistema de canaletas y alcantarillado 372
Figura 3.339 Áreas de drenaje a canaletas 373
Figura 3.340 Curvas IDF para la estación La Floresta 374
Figura 3.341 Dimensionamiento de Canaleta con el software HCanales 378
Figura 3.342 Esquema de estructura de disipación. Fuente Manual de drenajes para carreteras 379
Figura 3.343 Esquema de Alcantarillado Pluvial Ciudad Perdida 380
Figura 3.344 Área aferente sector Ciudad Perdida 381
Figura 3.345 Canales y estructuras de disipación Ciudad Perdida 382
Figura 3.346 Cálculo de canal perimetral norte Ciudad Perdida 383
Figura 3.347 Cálculo de canal perimetral sur Ciudad Perdida 383
Figura 3.348 Esquema de canales 384
Figura 3.349 Esquema de sección típica de estructura escalonada 384
Figura 3.350 Esquema de sección tipo de estructura escalonada 385
Figura 3.351 Esquema de estructura de disipación. 385
Figura 3.352 Área aferente sector Pantano I 386
Figura 3.353 Área aferente sector Pantano II 387
Figura 3.354 Área aferente sector Pantano III 387
Figura 3.355 Curvas IDF para la estación La Floresta 388
Figura 3.356 Canales y estructuras de disipación Pantano I 389
Figura 3.357 Canales y estructuras de disipación Pantano II 389

Figura 3.358 Canales y estructuras de disipación Pantano III 390

Figura 3.359 Esquema de canales 390

Figura 3.360 Esquema de sección tipo de estructura escalonada 391

Figura 3.361 Estado actual de espacio público Comuna 4 – Propuesta perfil vial vehicular de dos carriles 394

Figura 3.362 Propuesta perfil vial vehicular de dos carriles Comuna 4 395

Figura 3.363 Propuesta perfil vial vehicular de un carril Comuna 4 396

Figura 3.364 Estado actual de espacio público Comuna 4 – Propuesta perfil vial peatonal 397

Figura 3.365 Propuesta perfil vial peatonal Comuna 4 398

Figura 3.366 Estado actual de espacio público Ciudad Perdida – Propuesta perfil vial vehicular 399

Figura 3.367 Estado actual de espacio público Ciudad Perdida – Propuesta perfil vial peatonal 400

Figura 3.368 Estado actual de espacio público Pantanos – Recomendaciones para materiales en el espacio público 401

Figura 3.369 Objetos geográficos Cartografía Básica 418

Figura 3.370 Metodología de modelado y estructuración de cartografía temática 421

Figura 3.371 Representación UML del modelo asociado a las actividades de Evaluación de Vulnerabilidad e Identificación Predial – Feature Class 422

Figura 3.372 Representación UML del modelo asociado a las actividades de Evaluación de Vulnerabilidad e Identificación Predial – Dominios (I) 423

Figura 3.373 Representación UML del modelo asociado a las actividades de Evaluación de Vulnerabilidad e Identificación Predial – Dominios (II) 424

Figura 3.374 Representación UML del modelo asociado a las actividades de Evaluación de Vulnerabilidad e Identificación Predial – Dominios (III) 425

Figura 3.375 Representación UML del modelo asociado a las actividades de Evaluación de Vulnerabilidad e Identificación Predial – Dominios (IV) 426

Figura 3.376 Metodología del proceso de análisis y consolidación de la cartografía temática 427

Figura 3.377 Estructura de almacenamiento de las actividades de Evaluación de Vulnerabilidad e Identificación Predial 428

Figura 3.378 Plantilla de rotulado de salidas gráficas 429

Figura 3.379 Estructura de carpetas del proyecto 431

Figura 3.380 Reunión avance abril 2023 439

Figura 3.381 Fotografías tomadas por el equipo CI ambiental, recorridos en los territorios con alcaldía y con líderes de los sectores 441

Figura 3.382 Fotografías tomadas por el equipo CI ambiental, recorridos de campo para recolección de la información con acompañamiento de líderes 441

Figura 3.383 Primera Socialización Comuna 4 443

Figura 3.384 Segunda Socialización Comuna 4 444

Figura 3.385 Segunda Socialización Comuna 5Fotografías tercera socialización, tomadas por el equipo Ci Ambiental 444

Figura 3.386 Tercera socialización con los líderes en Alcaldía Municipal 444

TABLAS

Tabla 3.1 Áreas aproximadas por sectores 35

Tabla 3.2 Columna estratigráfica generalizada de la Formación Bucaramanga 53

Tabla 3.3 UGI tipo suelo y su ocupación dentro del área de estudio 60

Tabla 3.4 Área de ocupación de cada una de las geoformas cartografiadas del ambiente denudacional 84

Tabla 3.5 Área de ocupación de cada una de las geoformas cartografiadas del ambiente fluvial 92

Tabla 3.6 Área de ocupación de cada una de las geoformas cartografiadas del ambiente antropogénico 95

Tabla 3.7 Parámetros de proyección 102

Tabla 3.8 Coberturas de la tierra la feria 102

Tabla 3.9 Coberturas de la tierra Ciudad Perdida. 105

Tabla 3.10 Coberturas de la tierra pantano. 108

Tabla 3.11 Puntos de verificación de coberturas de la tierra Sector La Feria. 109

Tabla 3.12. Puntos de verificación de coberturas de la tierra sector Ciudad Perdida. 110

Tabla 3.13 Punto de verificación de coberturas de la tierra sector pantanos. 111

Tabla 3.14 Uso actual del suelo sector La feria 113

Tabla 3.15 Uso actual del suelo sector Ciudad Perdida. 114

Tabla 3.16 Uso actual del suelo sector Pantanos. 115

Tabla 3.17 Cambios en la cobertura de la tierra La feria. 116

Tabla 3.18 Evaluación del Cambio de Cobertura de la tierra (2008-2023) 118
Tabla 3.19 Cambios en la cobertura de la tierra Ciudad Perdida..... 120
Tabla 3.20 Evaluación del Cambio de Cobertura de la tierra (2008-2023) 121
Tabla 3.21. Cambios en la cobertura de la tierra Pantanos. 122
Tabla 3.22 Evaluación del Cambio de Cobertura de la tierra (2008-2023) 123
Tabla 3.23 Características Generales de las Perforaciones Mecánicas..... 127
Tabla 3.24 Características Generales de las Perforaciones Manuales a Percusión 131
Tabla 3.25 Resultados SPT Sondeo CI-S-01 133
Tabla 3.26 Características Generales de Apiques 134
Tabla 3.27 Ubicación de Instrumentación Geotécnica 135
Tabla 3.28 Implementos del equipo inclinómetro digital 139
Tabla 3.29 Profundidad de la Tabla de Agua Durante el Monitoreo Piezométrico 142
Tabla 3.30 Características Generales de las Tomografías Eléctricas..... 148
Tabla 3.31 Parámetros elásticos para la CI-LR-01 154
Tabla 3.32 Resultados de velocidades de ondas P y S y cálculo de la relación de Poisson para el CI-P-01...... 160
Tabla 3.33 Resumen de Resultados de Laboratorio..... 162
Tabla 3.34 Características Generales de las Áreas Hidrográficas..... 174
Tabla 3.35 Índices Relativos al Drenaje de las Unidades Hidrográficas 175
Tabla 3.36 Patrones de drenaje de las unidades hidrográficas 176
Tabla 3.37 Base de datos de Inundaciones DesInventar municipio de Bucaramanga..... 176
Tabla 3.38 Valores Tiempo de Concentración 179
Tabla 3.39 Caudales Método Racional 182
Tabla 3.40 Resumen de Caudales..... 184
Tabla 3.41 Resultados del as pruebas de permeabilidad en cámara triaxial de cabeza constante 188
Tabla 3.42 Ubicación del nivel freático a partir de líneas de tomografía eléctrica..... 193
Tabla 3.43 Cambio del NF para diferentes periodos de retorno en la zona de Ciudad Perdida..... 194
Tabla 3.44 Cambio del NF para diferentes periodos de retorno en la zona de Pantanos I, II y III..... 195
Tabla 3.45 Valoración Incertidumbre - Coeficientes de Variación Según Eurocode..... 225

Tabla 3.46 Parámetros Geomecánicos Empleados en la Modelación de la Condición de Estabilidad 225

Tabla 3.47 Aceleraciones Pico PGA para Diferentes Periodos de Retorno 227

Tabla 3.48 Frentes de Saturación Comuna 5 Pantanos 228

Tabla 3.49 Frentes de Saturación Comuna 4 Ciudad Perdida 228

Tabla 3.50 Frentes de Saturación Comuna 4 La Feria 229

Tabla 3.51 Probabilidad de Ocurrencia de los Eventos Detonantes 229

Tabla 3.52 Criterio para la clasificación de la amenaza por movimientos en masa en función de la probabilidad de falla 232

Tabla 3.53 Resumen de valores de probabilidad de falla total para Ciudad Perdida 240

Tabla 3.54 Resumen de valores de probabilidad de falla total para Comuna 4 – Camilo Torres, Cuyanita, Milagro de Dios y Zarabanda 240

Tabla 3.55 Resumen de valores de probabilidad de falla total para Comuna 5 – Pantano I, II y III..... 240

Tabla 3.56 Cálculo de probabilidad de falla combinada para la zona de Comuna 4 Ciudad Perdida .. 241

Tabla 3.57 Cálculo de probabilidad de falla combinada para la zona de Comuna 4 – Camilo Torres, Cuyanita, Milagro de Dios y Zarabanda 241

Tabla 3.58 Cálculo de probabilidad de falla combinada para la zona de Comuna 5 Pantano I – Pantano II – Pantano III 242

Tabla 3.59 Caracterización de la amenaza por movimientos en masa para las comunas 4 y 5 TE 10 años 250

Tabla 3.60 Caracterización de la amenaza por movimientos en masa para las comunas 4 y 5 TE 50 años 251

Tabla 3.61 Cálculo del volumen y de los ángulos para la sección LF_Secc1-1'. 254

Tabla 3.62 Parámetros para el cálculo de distancia de deslizamiento según el tipo de mecanismo (SGC, 2016). 254

Tabla 3.63 Reclasificación de Pendiente 271

Tabla 3.64 Reclasificación de la Cobertura 273

Tabla 3.65 Reclasificación de Movimientos en Masa 279

Tabla 3.66 Rangos de Reclasificación Acumulación de flujos 282

Tabla 3.67 Rangos de reclasificación de las geoformas 285

Tabla 3.68 Pesos relativos evaluación multicriterio..... 287

Tabla 3.69 Niveles de susceptibilidad para avenidas torrenciales..... 287

Tabla 3.70 Categorización de Amenaza por Origen Tecnológico 292
Tabla 3.71 Categorización de Amenaza por Origen Tecnológico. 293
Tabla 3.72 Categorización de Amenaza por Origen Tecnológico. Pantano II 294
Tabla 3.73 Categorización de Amenaza por Origen Tecnológico. Pantano III 295
Tabla 3.74 Categorización de Amenaza por Origen Tecnológico. Camilo Torres y Zarabanda 298
Tabla 3.75 Categorización de Amenaza por Origen Tecnológico. Ciudad Perdida 299
Tabla 3.76 Identificación de predios, familias y habitantes 308
Tabla 3.77 Habitantes según edad y sexo Comuna 4 308
Tabla 3.78 Habitantes según edad y sexo Comuna 5 309
Tabla 3.79 Caracterización del encuestado, relación con el predio comuna 4 310
Tabla 3.80 Caracterización del encuestado, relación con el predio comuna 5 311
Tabla 3.81 Años de permanencia en el sector comuna 4 311
Tabla 3.82 Años de permanencia en el sector comuna 5 312
Tabla 3.83 Rango de edad de los habitantes de la comuna 4 313
Tabla 3.84 Rango de edad de los habitantes de la comuna 5 314
Tabla 3.85 Acceso a servicios públicos comuna 4 315
Tabla 3.86 Acceso a servicios públicos comuna 5 317
Tabla 3.87 Personas con discapacidad comuna 4 318
Tabla 3.88 Personas con discapacidad comuna 5 319
Tabla 3.89 Resultados de los análisis de estabilidad para la condición estática y con sismo 333
Tabla 3.90 Evaluación multicriterio para selección de alternativas en la Comuna 4 338
Tabla 3.91 Estudio de mercado para estimación del costo promedio de unidad VIS en Bucaramanga. Elaboración propia. 339
Tabla 3.92 Evaluación multicriterio para selección de alternativas Ciudad Perdida 344
Tabla 3.93 Resultados de los análisis de estabilidad para la condición con obras. Alternativa 2 349
Tabla 3.94 Evaluación multicriterio para selección de alternativas Comuna 5 349
Tabla 3.95 Combinaciones de carga 359
Tabla 3.96 Revisión de resistencia máxima del pilote 361
Tabla 3.97 Diseño de viga 362

Tabla 3.98 Diseño de Micropilote 364
Tabla 3.99 Diseño de viga 60x50 365
Tabla 3.100 Detalles de las obras de mitigación propuestas. 366
Tabla 3.101 Diseño de viga 60x50 371
Tabla 3.102 Cálculo de Caudales 375
Tabla 3.103 Dimensionamiento de canaletas 378
Tabla 3.104 Áreas Aportantes 381
Tabla 3.105 Cálculo de valores de caudales 382
Tabla 3.106 Cálculo de valores de caudales 388
Tabla 3.107 Presupuesto Comuna 4 403
Tabla 3.108 Presupuesto Ciudad Perdida 404
Tabla 3.109 Presupuesto Comuna 5 405
Tabla 3.110 Predios Sin Matrícula Inmobiliaria 411
Tabla 3.111 Predios manzana 21 sin matrícula inmobiliaria y/o número predial 414
Tabla 3.112 Parámetros de la proyección cartográfica Origen Nacional. 415
Tabla 3.113 Relación de entidades asociadas a las actividades de Evaluación de Vulnerabilidad e Identificación Predial 423

"CONSULTORÍA PARA LAELABORACIÓN DE ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN, Y AVENIDAS TORRENCIALES EN SECTORES PRIORIZADOS EN LAS COMUNAS CUATRO (CAMILO TORRES, CUYANITA, MILAGRO DE DIOS, ZARABANDA, Y CIUDAD PERDIDA) Y CINCO (PANTANO I, PANTANO II, Y PANTANO III) DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA"

1 OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Como resultado de la licitación llevada a cabo por la ALCALDÍA DE BUCARAMANGA, por medio del Concurso de Méritos Abierto SP-CM-005-2022, CI Ambiental S.A.S. fue seleccionada como la firma adjudicada para que ejecute las actividades asociadas al contrato 379 de 2022 cuyo objeto es: "CONSULTORÍA PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN, Y AVENIDAS TORRENCIALES EN SECTORES PRIORIZADOS EN LAS COMUNAS CUATRO (CAMILO TORRES, CUYANITA, MILAGRO DE DIOS, ZARABANDA, Y CIUDAD PERDIDA) Y CINCO (PANTANO I, PANTANO II, Y PANTANO III) DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA".

Este documento recoge los productos aprobados de las 17 etapas, que se han llevado a cabo en el marco de la ejecución del contrato mencionado, las cuales se nombran a continuación:

1. Cartografía base digital y modelado 3D
2. Geología y geomorfología
3. Cobertura y uso del suelo
4. Exploración geológica y geotécnica
5. Hidrología
6. Hidrogeología
7. Diagnóstico de obras de mitigación en el área de estudio
8. Análisis detallado de amenaza por movimientos en masa
9. Análisis detallado de amenaza de inundación
10. Análisis detallado de amenaza por avenida torrencial
11. Análisis de amenaza origen tecnológico
12. Evaluación de vulnerabilidad
13. Evaluación del riesgo
14. Diseño de medidas de mitigación
15. Identificación predial y aclaraciones de la propiedad
16. Cartografía temática
17. Socialización

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar información secundaria base para las diferentes etapas del proyecto.
- Especificar los métodos de trabajo de cartografía base digital y modelado 3D, geología y geomorfología, cobertura y uso del suelo, exploración geológica y geotécnica, hidrología, hidrogeología, diagnóstico de obras de mitigación en el área de estudio, análisis detallado de amenaza por movimientos en masa, análisis detallado de amenaza por inundación, análisis detallado de amenaza por avenida torrencial, análisis detallado de amenaza por origen tecnológico, evaluación de la vulnerabilidad, identificación predial y aclaraciones a la propiedad, evaluación del riesgo, diseño de medidas de mitigación, cartografía temática y socialización.
- Obtener los insumos básicos para la ejecución de las etapas de amenaza, vulnerabilidad y riesgo
- Definir unidades geotécnicas homogéneas para las zonas de interés.
- Proponer un modelo geológico – geotécnico en función de la geología, geomorfología, hidrogeología y resultados de los ensayos de laboratorio.
- Realizar un análisis de efecto local mediante modelaciones dinámicas.
- Establecer los diferentes escenarios de análisis considerando el efecto de los detonantes (lluvia y sismo).
- Hacer estimaciones de la estabilidad del suelo por diferentes mecanismos de falla.
- Calcular las probabilidades de falla totales para las unidades geotécnicas definidas.
- Zonificar y caracterizar la amenaza por movimientos en masa para los diferentes sectores del área de estudio.
- Proporcionar una visión integral y detallada de las amenazas asociadas a eventos hidrológicos extremos y a amenazas de origen tecnológico en los sectores priorizados de las comunas cuatro y cinco del Municipio de Bucaramanga.
- Determinar la vulnerabilidad física y social, así como la identificación predial de la población del área de estudio.
- Evaluar el riesgo de los bienes físicos, personas y líneas vitales para cada uno de los ocho barrios en estudio, con base en la amenaza y la vulnerabilidad de cada uno de los elementos expuestos, debido a los movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales, con el fin de cuantificar las pérdidas económicas y vidas humanas.
- Establecer, describir y diseñar obras para la mitigación del riesgo y los lineamientos alrededor de la cartografía, generado por movimiento en masa activo en las comunas 4 y 5, del municipio de Bucaramanga.

.

2 LOCALIZACIÓN

La zona del proyecto se ubica en el municipio de Bucaramanga Santander, en la comuna 4 y 5. Consultadas las planchas IGAC a escala 1:25.000, el sector de estudio se ubica en la plancha 120-II-A como se observa en la Figura 2.1.

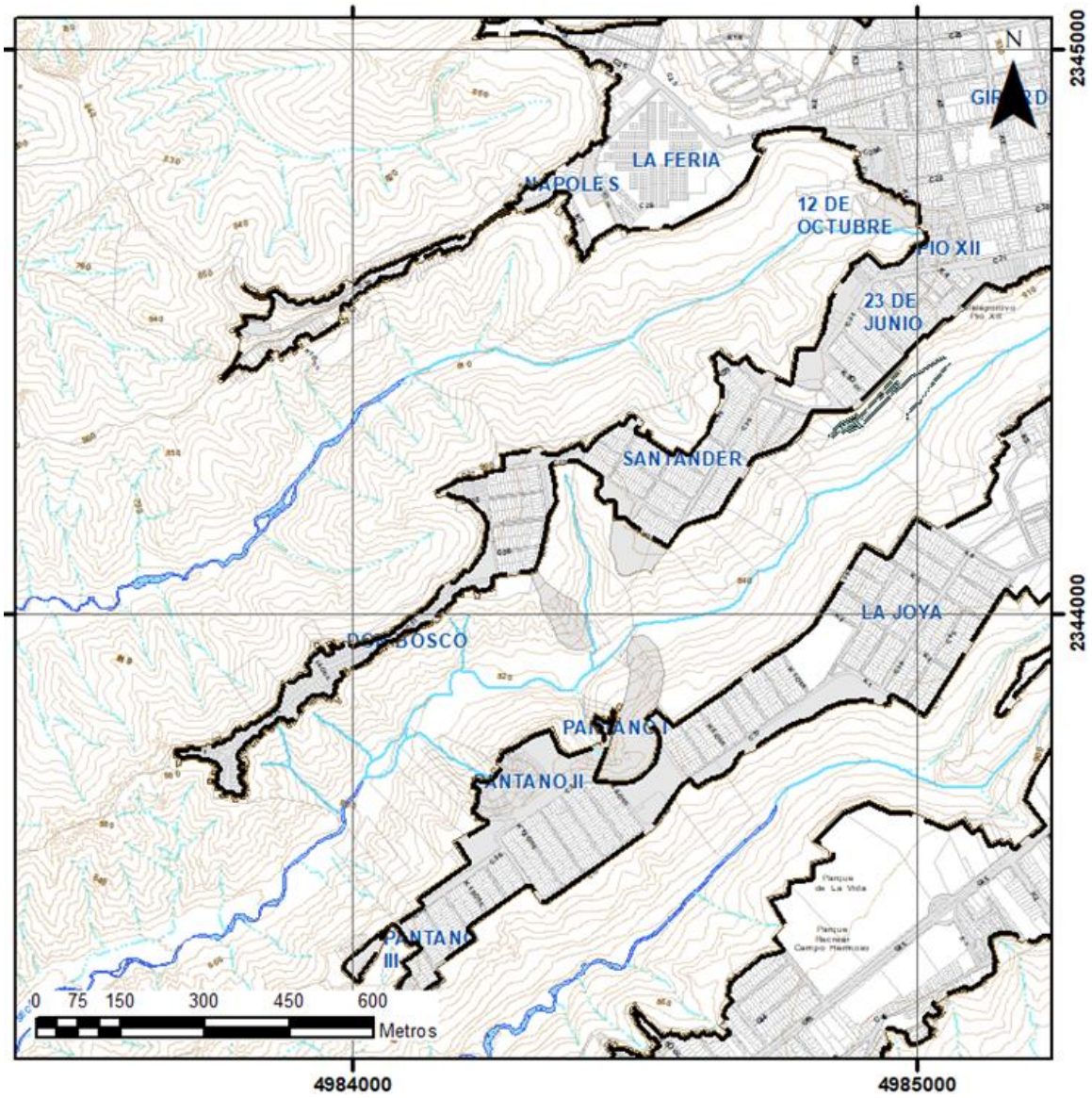


Figura 2.1 Ubicación de la zona de estudio en la cartográfica general

3 ETAPAS FINALIZADAS Y APROBADAS

Teniendo en cuenta que el proyecto tuvo inicio el día 23 de enero de 2023, y que posterior a esto se hizo entrega a la interventoría del Plan De Trabajo de campo PDT (el cual luego de ciertas aclaraciones y modificaciones fue aprobado por parte de la Interventoría), se dio inicio a la ejecución de las actividades que tienen componentes de recopilación de información primaria, es decir, actividades a ejecutar en campo. Adicionalmente, gracias a la recopilación de dicha información se logró un avance significativo en las etapas del proyecto logrando terminar las siguientes:

- Etapa 1: Cartografía base digital y modelado 3D
- Etapa 2: Geología y Geomorfología
- Etapa 3: Cobertura y Uso del suelo
- Etapa 4: Exploración Geológica y Geotécnica
- Etapa 5: Hidrología
- Etapa 6: Hidrogeología
- Etapa 7: Diagnóstico de Obras de Mitigación en el Área de Estudio
- Etapa 8: Análisis Detallado de Amenaza por Movimientos en Masa
- Etapa 9: Análisis Detallado de Amenaza de Inundación
- Etapa 10: Análisis Detallado de Amenaza por Avenida Torrencial
- Etapa 11: Análisis de Amenaza Origen Tecnológico
- Etapa 12: Evaluación de Vulnerabilidad
- Etapa 13: Evaluación del Riesgo
- Etapa 14: Diseño de Medidas de Mitigación
- Etapa 15: Identificación predial y aclaraciones de la propiedad
- Etapa 16: Cartografía Temática
- Etapa 17: Socialización

3.1 ETAPA 1: CARTOGRAFÍA BASE DIGITAL Y MODELADO 3D

Porcentaje para cobro: 8%

3.1.1 Descripción del Estudio

Como parte de los proyectos que se vienen ejecutando, se requiere el levantamiento topográfico detallado que consiste en colectar información que permita dar insumos en la consultoría para la elaboración de estudios detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, inundación, y avenidas torrenciales en sectores priorizados en las comunas cuatro (Camilo Torres, Cuyanita, Milagro de Dios, Zarabanda, y Ciudad perdida) y cinco (Pantano I, Pantano II, y Pantano III) del municipio de Bucaramanga.

3.1.2 Localización del Proyecto

El área directa de estudio está conformada por los sectores priorizados de la Comuna 4, (CAMILO TORRES, CUYANITA, MILAGRO DE DIOS, ZARABANDA, Y CIUDAD PERDIDA) Y CINCO (PANTANO I, PANTANO II, Y PANTANO III) sumando un aproximado total de 9.3 Hectáreas.

3.1.2.1 Mapa de Localización del Proyecto

A continuación en la Figura 3.1 se muestra la localización exacta de la zona de estudio.

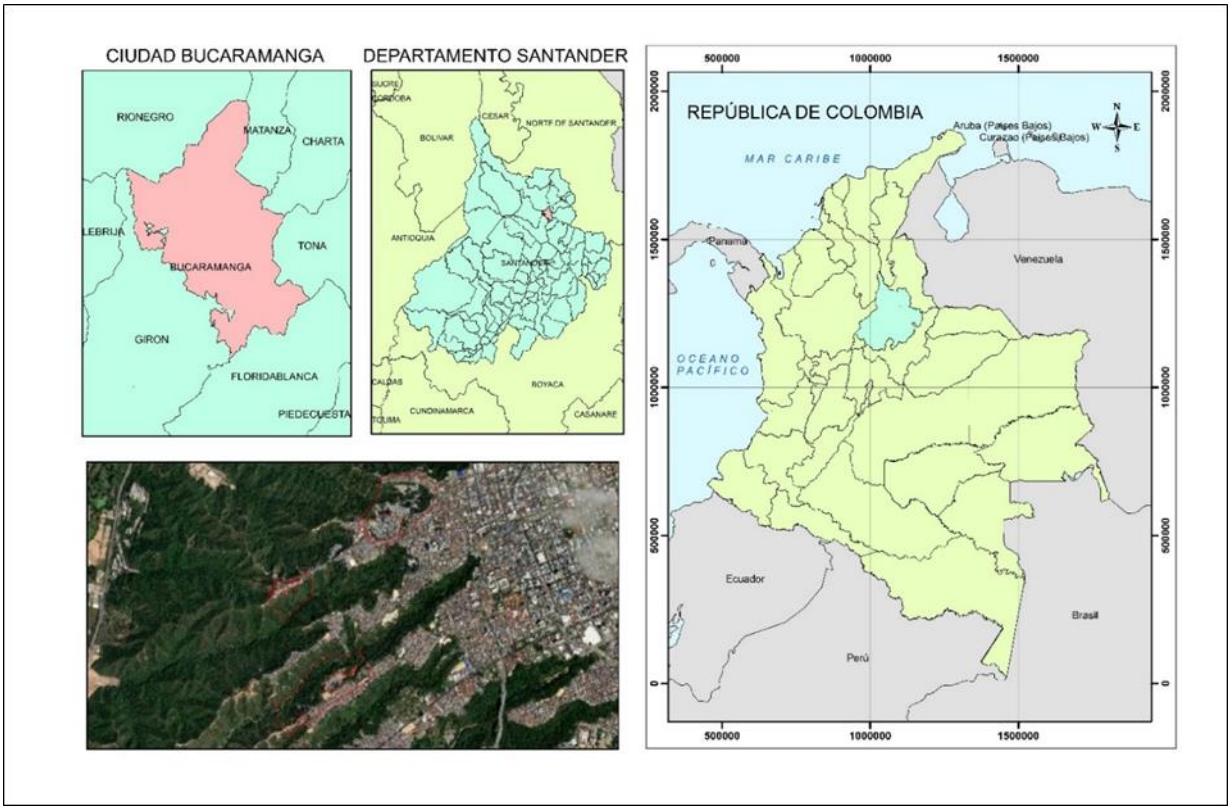


Figura 3.1 Localización del Proyecto

Así mismo, de la Figura 3.2 a la Figura 3.5 se observa la ubicación del área de estudio con respecto a la cabecera municipal de Bucaramanga, sobre la imagen satelital de Google Earth.

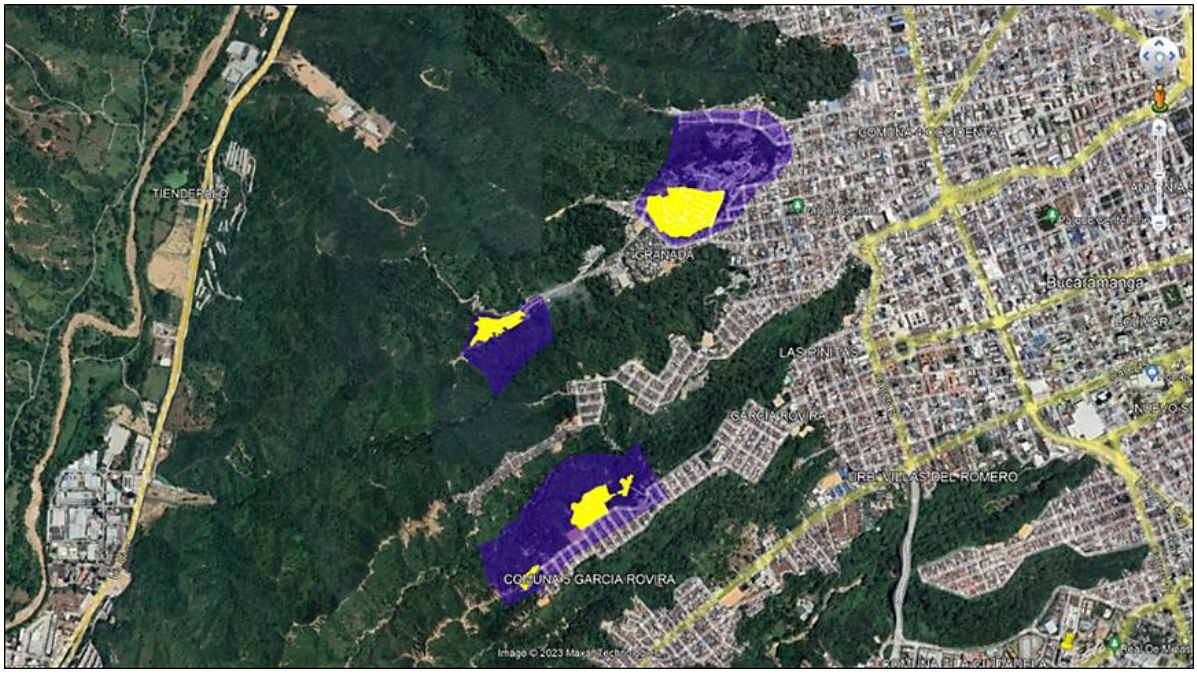


Figura 3.2 Localización general del proyecto
Fuente: Google Earth



Figura 3.3 Localización detallada del área de estudio Comuna 4 CAMILO TORRES, CUYANITA, MILAGRO DE DIOS, ZARABANDA
Fuente: Google Earth

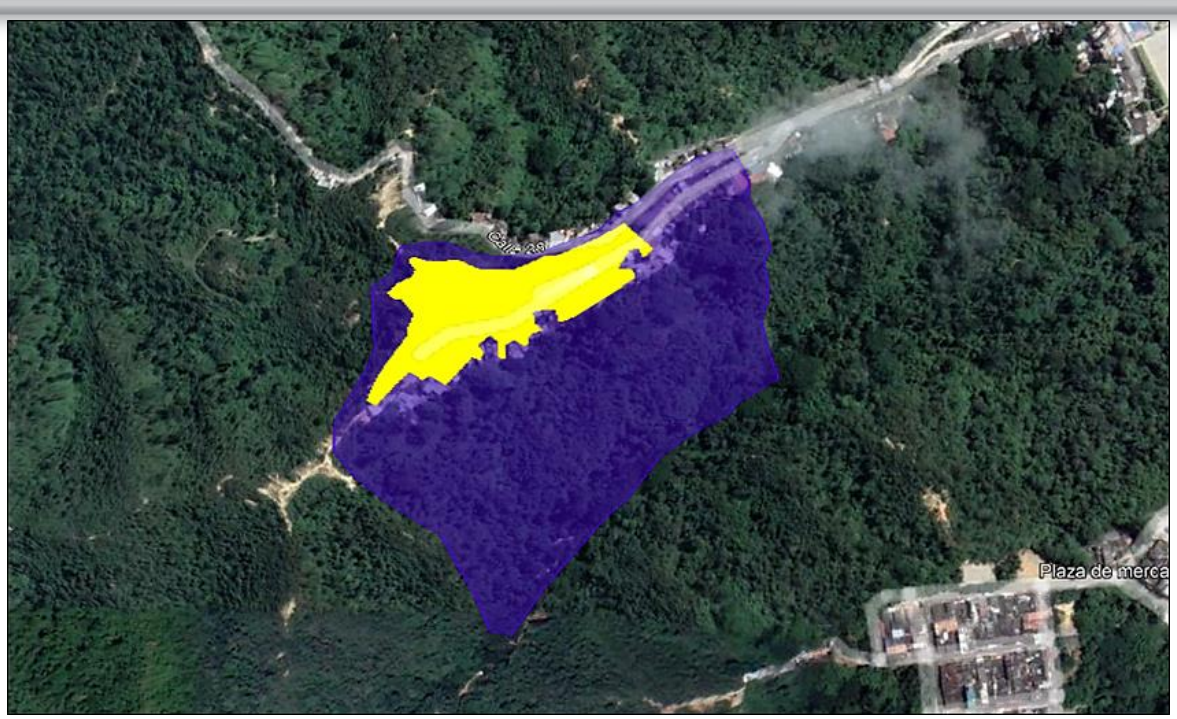


Figura 3.4 Localización detallada del área de estudio Comuna 4 CIUDAD PERDIDA
Fuente: Google Earth



Figura 3.5 Localización detallada del área de estudio Comuna 5 PANTANO I, PANTANO II, Y PANTANO III
Fuente: Google Earth

3.1.2.2 Definición de Polígonos

Para el desarrollo de las diferentes actividades, se identifican los sectores objeto de estudio como polígonos de la Figura 3.6:

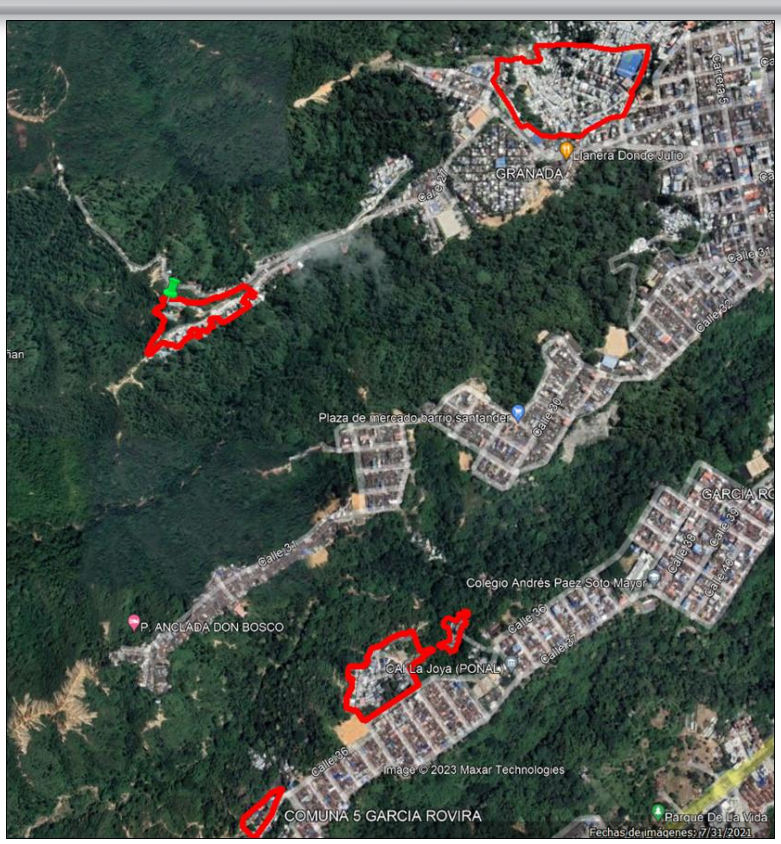


Figura 3.6 Polígonos de vuelo
Fuente: Google Earth

Tabla 3.1 Áreas aproximadas por sectores

SECTOR		ÁREA APROXIMADA (HA)
Comuna 4	MILAGRO DE DIOS	1 ha+ 3103 m²
	ZARABANDA BAJA	0 ha+ 8464 m²
	CAMILO TORRES	1 ha+ 8382 m²
	ZARABANDA ALTA	1 ha+ 9761 m²
Ciudad Perdida	CIUDAD PERDIDA	1 ha+ 6592 m²
Pantanos	PANTANO I	0 ha+ 4752 m²
	PANTANO II	2 ha+ 0172 m²
	PANTANO III	0 ha+ 6735 m²

3.1.2.3 Recursos

Para esta labor la empresa cuenta con el personal y equipos a disposición mostrados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

3.1.3 Levantamiento Topográfico

El levantamiento se ejecutó mediante una comisión de topografía, la cual cubrió la totalidad objeto de estudio.

A continuación, se presenta la metodología de trabajo para la ejecución del proyecto.

3.1.3.1 Sistema de Referencia para el Proyecto

En Colombia la proyección cartográfica oficial, se basa en una proyección Transversa de Mercator TM, usando un cilindro transverso como superficie de referencia y secante a la esfera. Este sistema prioriza ángulos (conforme), garantizando así que un ángulo formado entre dos líneas sobre la superficie terrestre se conserve luego de aplicarse la proyección. Los demás parámetros fueron seleccionados (Salvini D & Bolívar F, 2018) cuidadosamente de modo que, se cubriese todo el territorio continental, se evite el uso de coordenadas negativas y con un factor de escala k=0,9992 se optimizó que las distorsiones en la representación de área fuesen mínimas.

Parámetro	Valor
Proyección	Transversa de Mercator
Elipsoide	GRS80
Origen: Latitud	4° N
Origen: Longitud	73° W
Falso Este	5000000
Falso Norte	2000000
Unidades	Metros
Factor de escala	0,9992

Figura 3.7 Parámetros del origen único nacional
Fuente: Resolución No. 370 de 2021

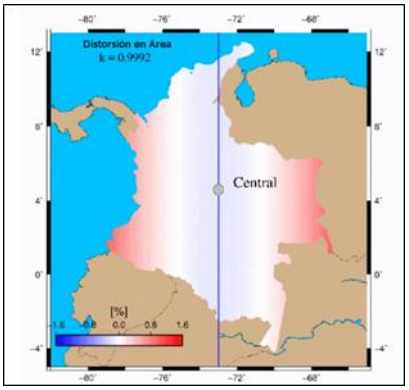


Figura 3.8 Distorsiones en área calculadas para el sistema
Fuente: (Salvini D & Bolívar F, 2018)

3.1.3.2 Localización y Georreferenciación de Puntos de Amarre

Para la correcta georreferenciación de los productos fotogramétricos y LIDAR que cumplan con los requerimientos solicitados; se deben establecer puntos de control y de chequeo debidamente georreferenciados, amarrados al sistema oficial para Colombia Magna Sirgas. Una vez en campo se escoge cual es el método más viable, el primer método es el siguiente:

3.1.3.3 Geoposicionamiento GPS

<u>Vértices Geodésicos del IGAC Empleados para el Postproceso</u>

Para georreferenciar el proyecto se empleó dos equipos GPS doble frecuencia trabajando con el método estático diferencial con doble determinación usando como puntos de apoyo o puntos base. Para este caso se empleó el vértice 68001009 y 68001006 ubicado en el municipio de Bucaramanga departamento de Santander. El posicionamiento se realizó sobre 6 puntos denominados para el

proyecto como puntos topográficos base y los tiempos de lectura o navegación se calcularon de acuerdo a las especificaciones técnicas del IGAC.

3.1.3.4 Ortomosaico fotografía aérea digital UAV

Para la correcta georreferenciación de los productos fotogramétricos y LIDAR que cumplan con los requerimientos solicitados; se deben establecer puntos de control y de chequeo debidamente georreferenciados, amarrados al sistema oficial para Colombia Magna Sirgas.

Metodología de Levantamientos de puntos de control

En campo, para el levantamiento de los puntos de control, se realizó con sistemas GNSS a través correcciones diferenciales en tiempo real. Esta tecnología y método nos garantiza una precisión acorde a lo solicitado.

Ortoimagen

Con la nube de puntos densa ya generada y el modelo digital de elevación (DEM) procedemos a generar el ortofotomosaico, recordando que este es un modelo de imágenes en las cuales a nivel del terreno han sido removidos los desplazamientos causados por la inclinación de la cámara o sensor, las condiciones de toma y el relieve del terreno. Están referidas a una proyección cartográfica, por lo que poseen las características geométricas de un mapa. A continuación, se muestra el producto obtenido.

Cada una de las ortoimagenes cuenta con un valor de GSD diferente, El tamaño de pixel en el terreno (GSD) es la distancia entre dos centros de pixeles consecutivos medidos sobre el terreno. A mayor valor del tamaño de pixel en el terreno (GSD) de la imagen, menor es la resolución espacial de la imagen y menos visibles son los detalles. El tamaño de pixel en el terreno (GSD) se relaciona con la altura del vuelo: a mayor altitud del vuelo, mayor es el valor del GSD.



Figura 3.9 Ortoimagen Pantanos



Figura 3.10 Ortoimagen Ciudad Perdida

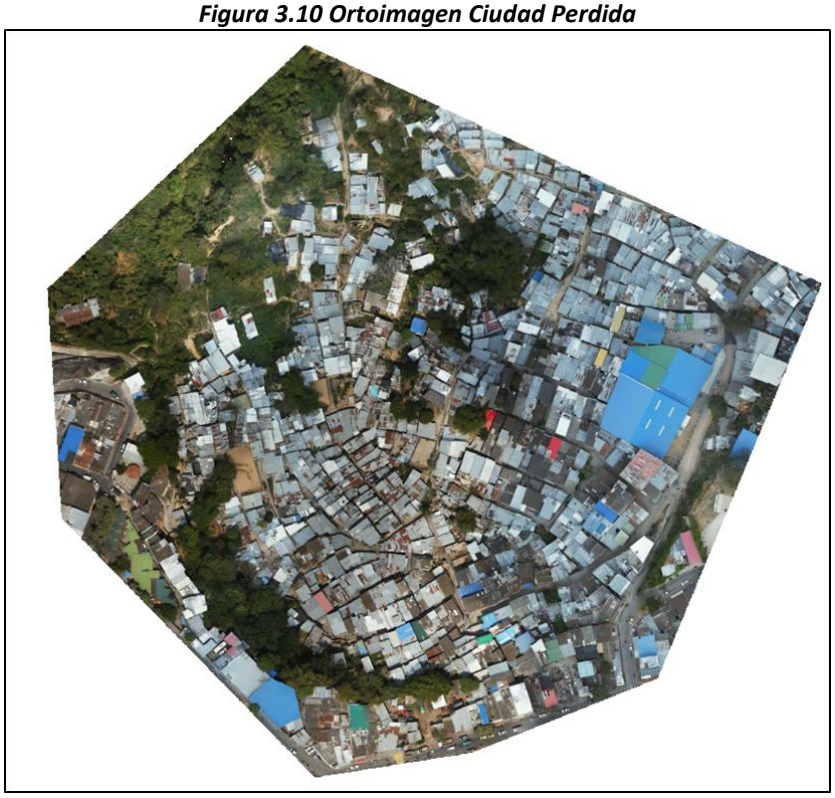


Figura 3.11 Ortoimagen Comuna 4

3.1.3.5 Levantamiento LiDAR y y Modelo Digital del Terreno

El levantamiento LIDAR cuenta con el mismo procedimiento que el capítulo anterior, se realizó por medio del software de dji terra determinando alturas, velocidad, condiciones ideales y las horas de vuelo serán entre las 10 am y las 2pm, ya que es el tiempo en donde menos sombra se hace y así tener un mejor resultado, se exporta la información en un informe de resultados, se anexa digital la nube de puntos LAS y el modelo 3D de edificaciones y la inclusión en productos digitales.

Nube de Puntos Sensor LiDAR

Los datos LIDAR postprocesados y organizados espacialmente se conocen como datos de nube de puntos. Las nubes de punto inicial son grandes colecciones de puntos 3D, que incluyen x, y, z, junto con atributos adicionales como marcas de tiempo GPS y numero de retorno. Las elevaciones de la tierra, las construcciones, la vegetación, las vías y todo lo demás que el rayo láser encuentra durante el escaneo conforman los datos de la nube de puntos.



Figura 3.12 Nube de Puntos Ciudad Perdida



Figura 3.13 Nube de Puntos Comuna 4

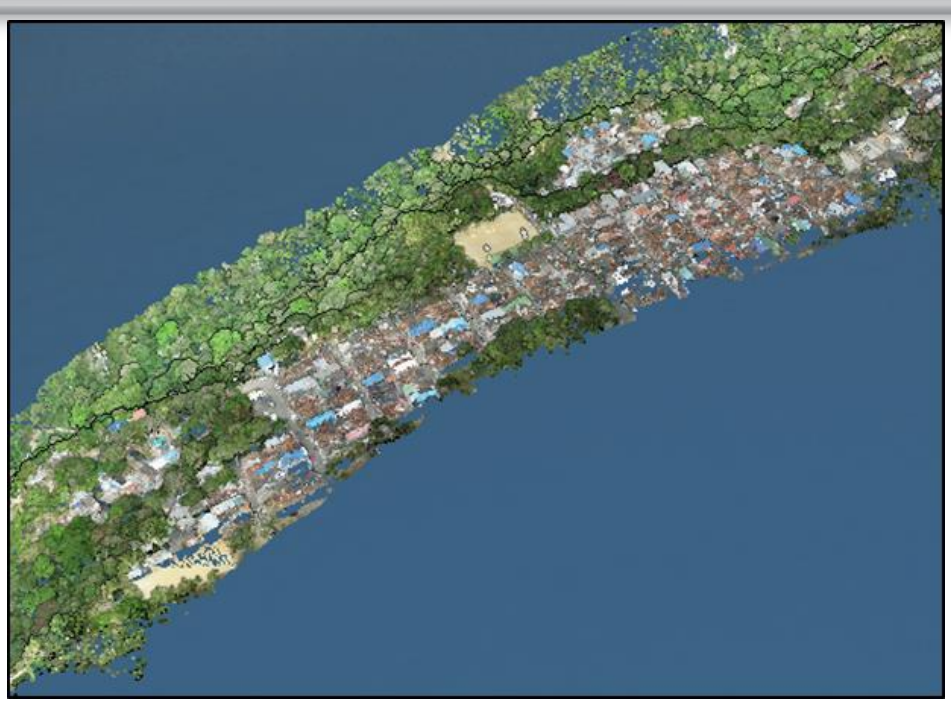


Figura 3.14 Nube de Puntos Pantanos

<u>Modelo Digital de Superficie (MDS)</u>

Modelo digital de superficie (MDS) que representa todos los elementos existentes o presentes en la superficie de la tierra (vegetación, edificaciones, infraestructura y el terreno propiamente).

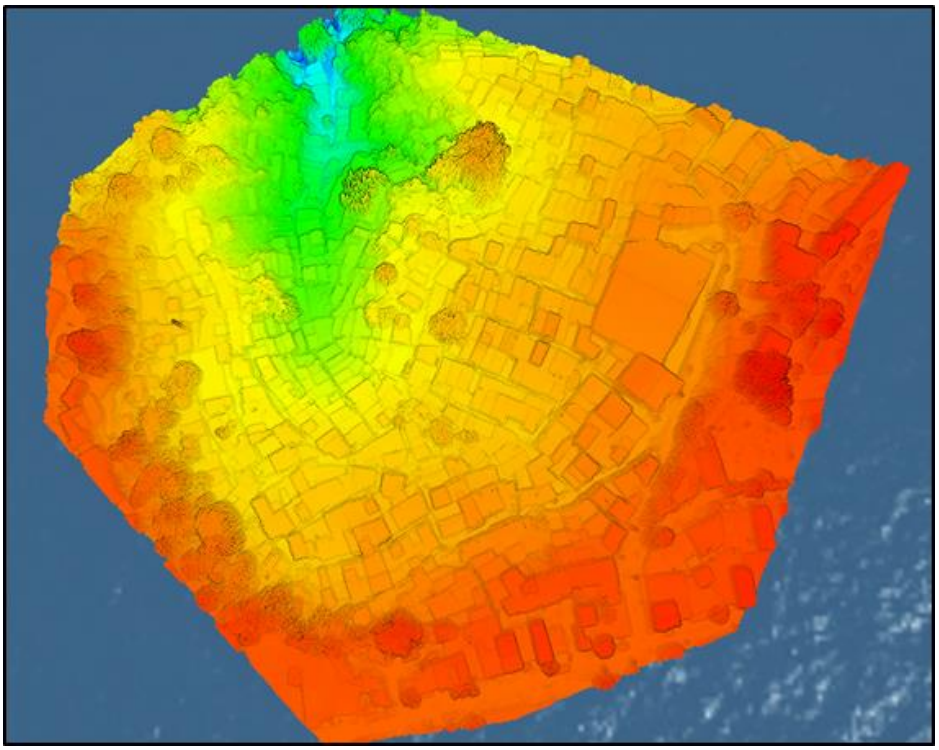


Figura 3.15 MDS Comuna 4

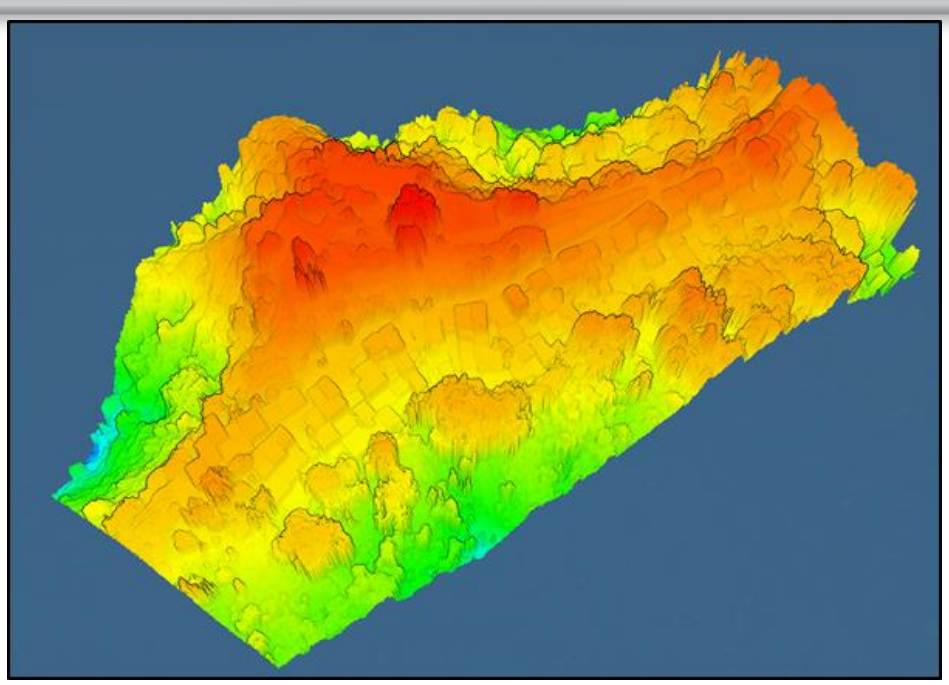


Figura 3.16 MDS Ciudad Perdida

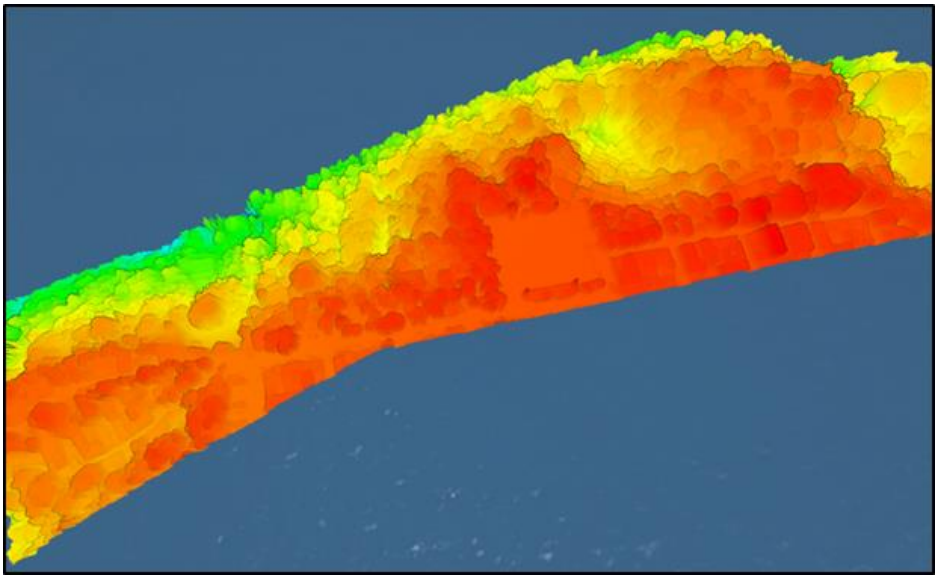


Figura 3.17 MDS Pantanos

<u>Modelo digital del terreno (MDT)</u>

Una vez obtenido el levantamiento topográfico y la planimetría en dibujo se realiza el modelo digital del terreno (MDT), una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua, consta en generar una Red Irregular de Triángulos (TIN), representación de superficies continúas derivada de una estructura de datos espacial generada a partir de procesos de triangulación. Una malla TIN conecta una serie de puntos a través de una red irregular de triángulos cuyos vértices se corresponden con dichos puntos, los cuales tienen las coordenadas x, y y z de donde se localizan.

El MDT pantanos se encuentra con una grilla de 0.2 metros.

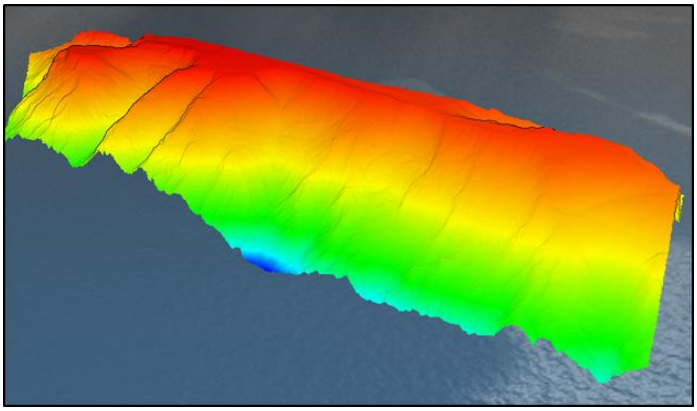


Figura 3.18 MDT Pantanos

El MDT Ciudad Perdida se encuentra con una grilla de 0.1 metros, la cual permite una mayor visualización en el modelo de drenajes.

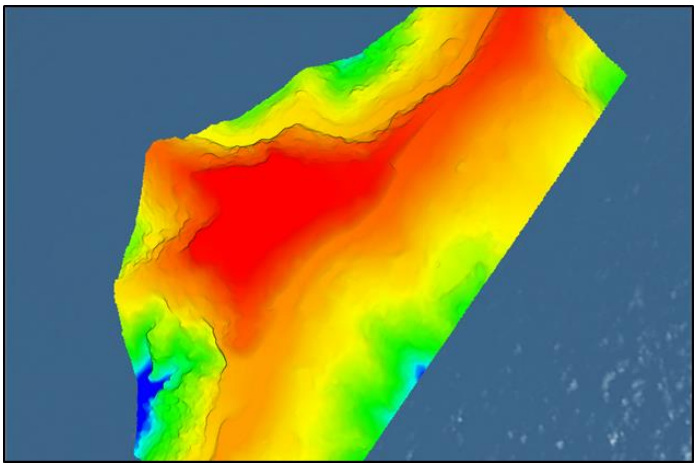


Figura 3.19 MDT Ciudad Perdida

El MDT comuna 4 se encuentra con una grilla de 0.2 metros.

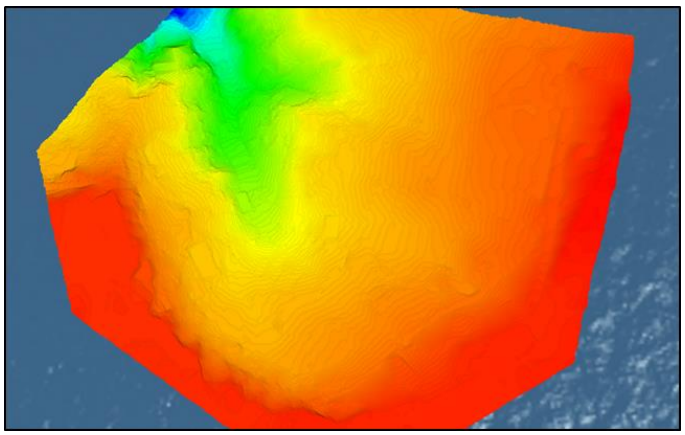


Figura 3.20 MDT Comuna 4

Curvas de Nivel

Luego de crear el MDT se realizó una interpolación matemática, se generaron las curvas de nivel equidistantes a los cincuenta centímetros (1.0 m) obteniendo la representación de la altimetría del terreno en planta.

Los datos recolectados fueron procesados por medio del programa CAD de autodesk, AutoCAD Civil 3D obteniendo muy buenos resultados.



Figura 3.21 Curvas de Nivel Pantanos

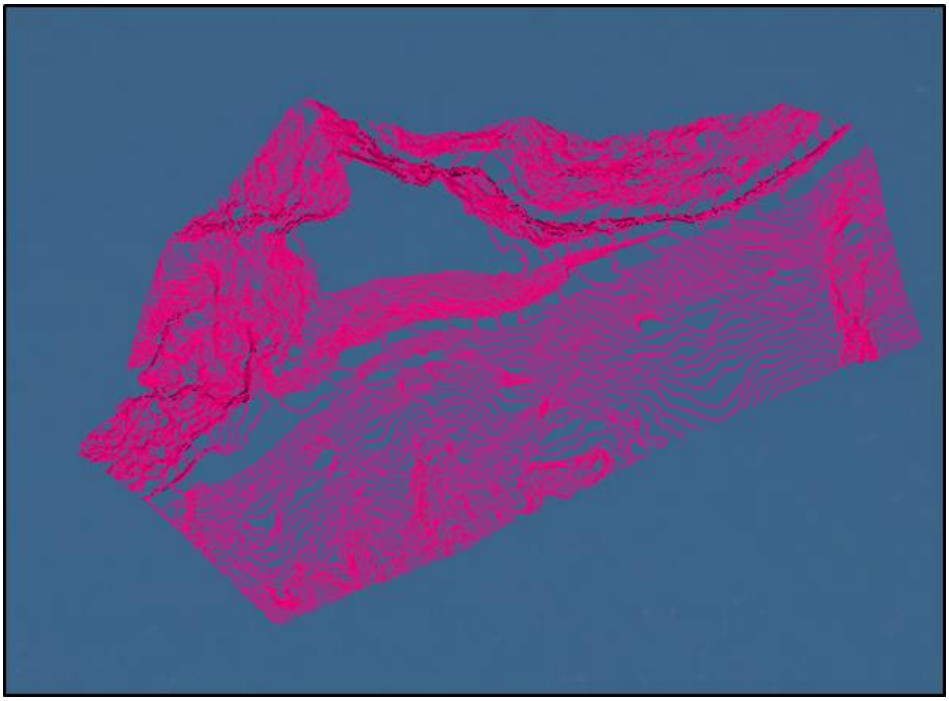


Figura 3.22 Curvas de Nivel Ciudad Perdida

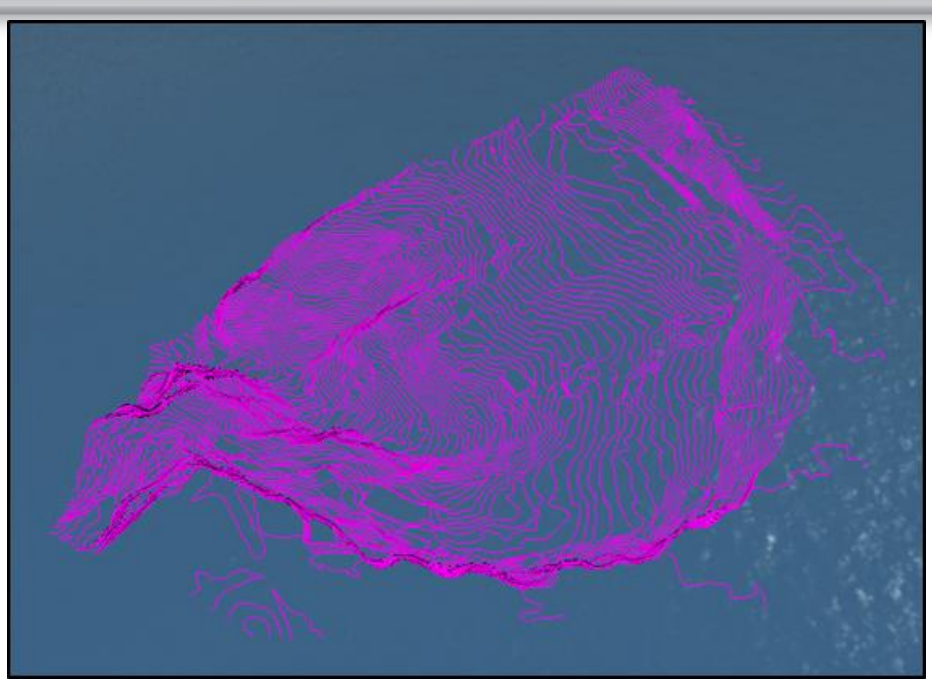


Figura 3.23 Curvas de Nivel Comuna 4

<u>Precisión del Modelo Obtenido</u>

Con el fin de garantizar la fidelidad de los productos obtenidos se materializaron en campo un total de 23 puntos de control, definidos por un plástico a color y las coordenadas de su centroide. Estos puntos fueron medidos empleando técnicas de posicionamiento cinemático en tiempo real.

3.1.3.6 Calidad de la Información

La calidad de datos son el conjunto de procesos, metodologías y algoritmos que permiten aumentar el estado cualitativo de los datos que existen en una agrupación. Su finalidad consiste en asegurar la calidad de los productos y garantizar que estos cumplan con lo estipulado en la resolución No. 471 de 2020 y sus respectivas modificaciones.

<u>Elaboración de Planos</u>

El plano topográfico del proyecto contiene la representación de todos los objetos del polígono de estudio en coordenadas X, Y, con alturas derivadas de la red existente, a la escala y separación de curvas de nivel, clasificados en layer (capas o niveles) independientes, con los bloques y convenciones establecidas, paramentos, debidamente georreferenciados y con las alturas correspondientes, las curvas de nivel procesadas con la información tomada con plataformas LiDAR y con métodos directos., nube de puntos en formato LAS, al igual que el modelo TIN o modelo digital de terreno y de superficie.

Las salidas gráficas en formato digital corresponden con: Planos en planta en formato *DWG, Modelos digitales (*TIN o *MDT, *MDS, curvas de nivel en *LandXML, nubes de puntos (tipo punto), imágenes (si aplica) y firmas digitales.

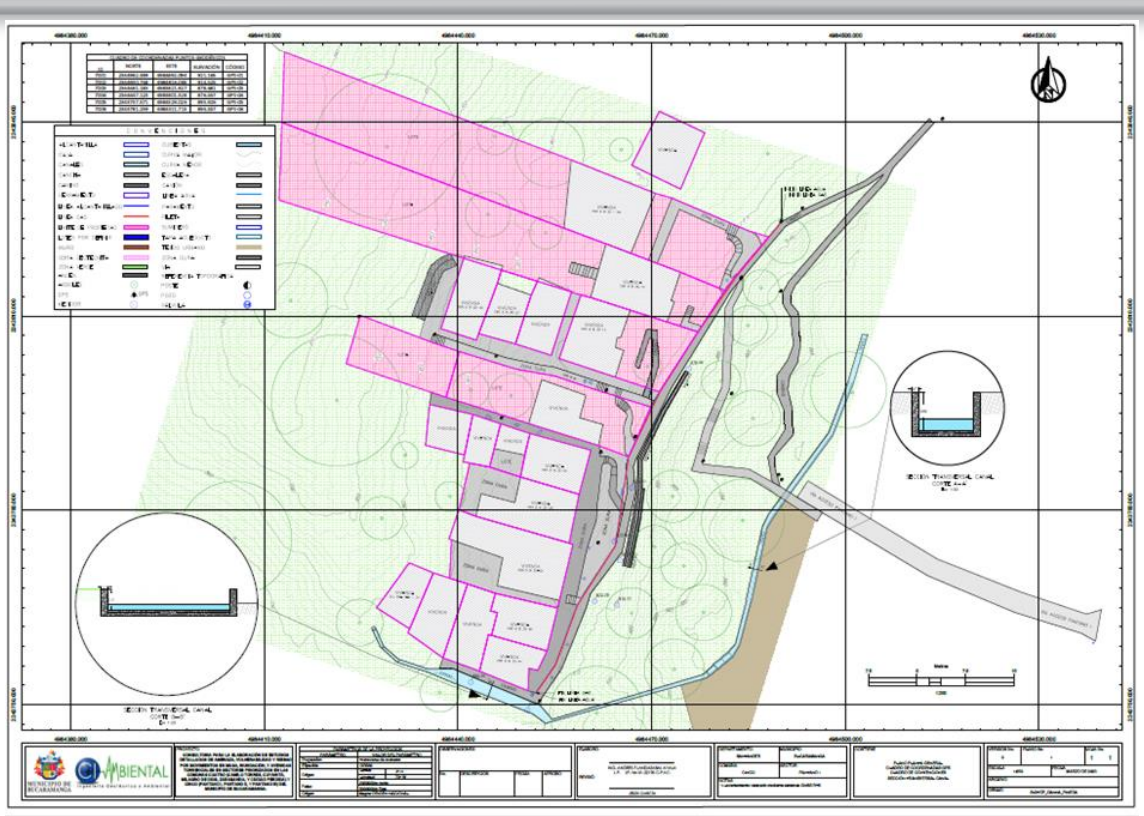


Figura 3.24 Plano Pantano I

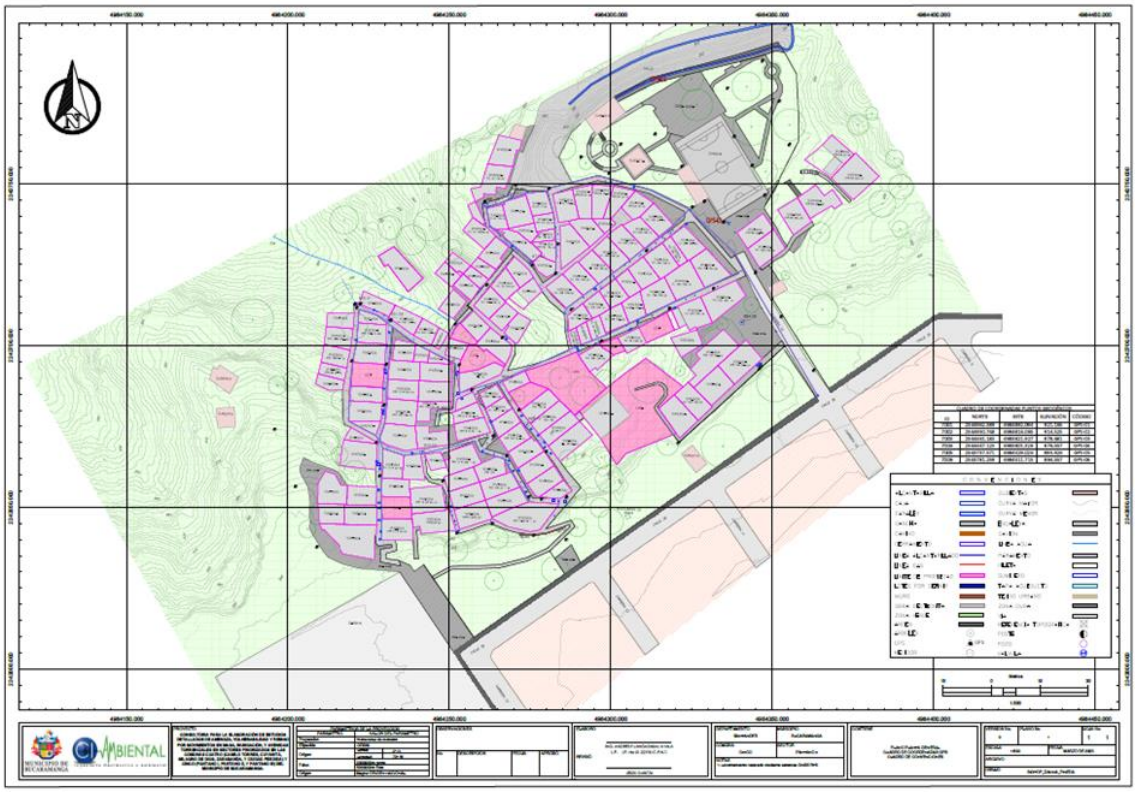


Figura 3.25 Plano Pantano II

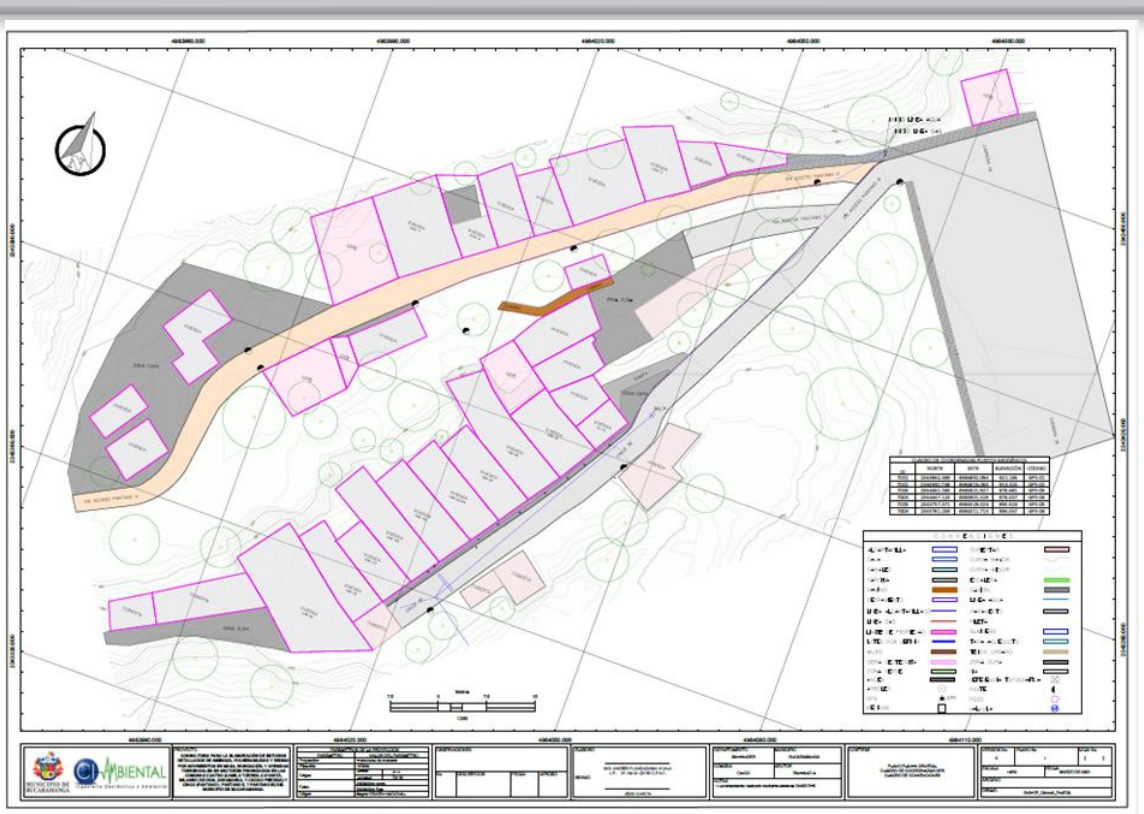


Figura 3.26 Plano Pantano III

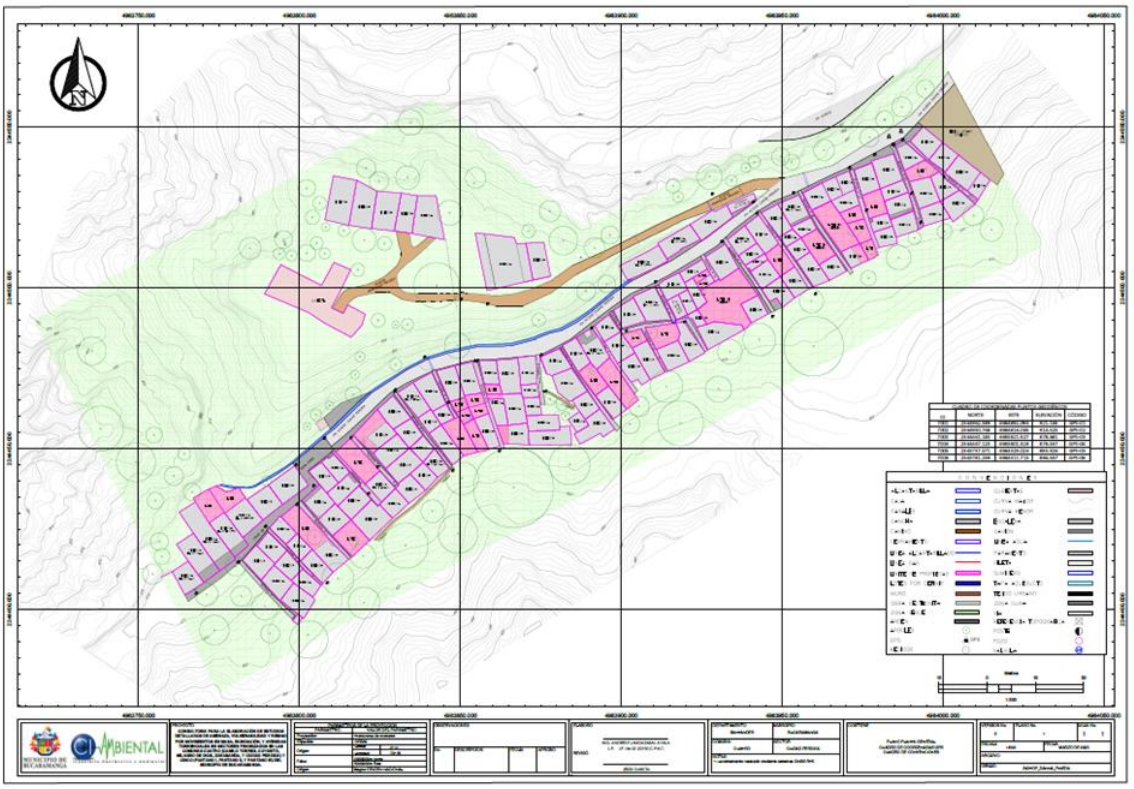


Figura 3.27 Plano Ciudad Perdida

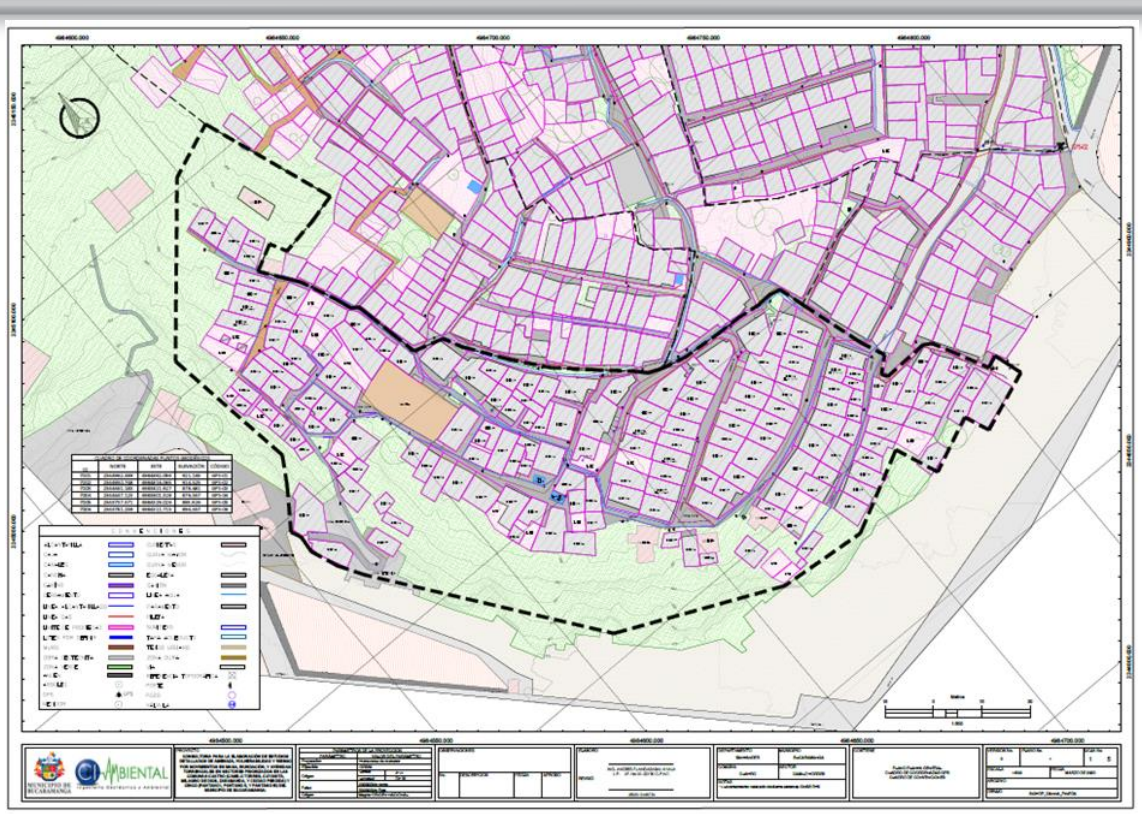


Figura 3.28 Plano Camilo Torres

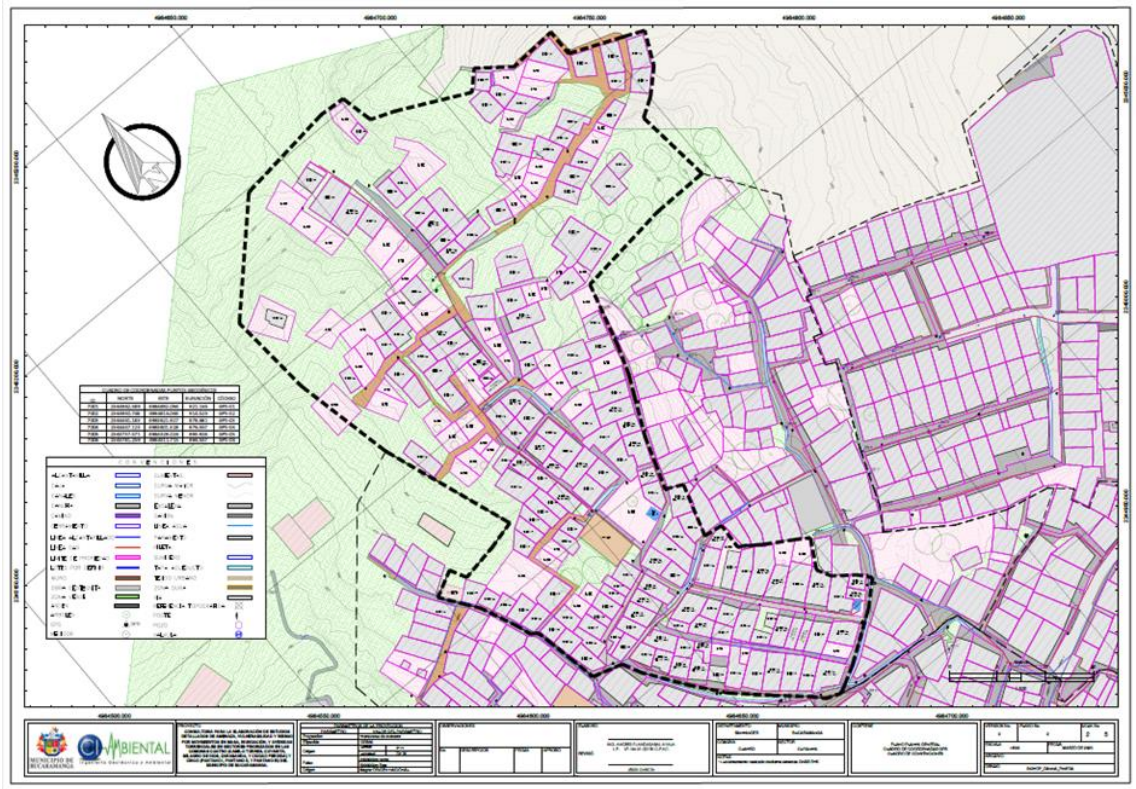


Figura 3.29 Plano Cuyanita

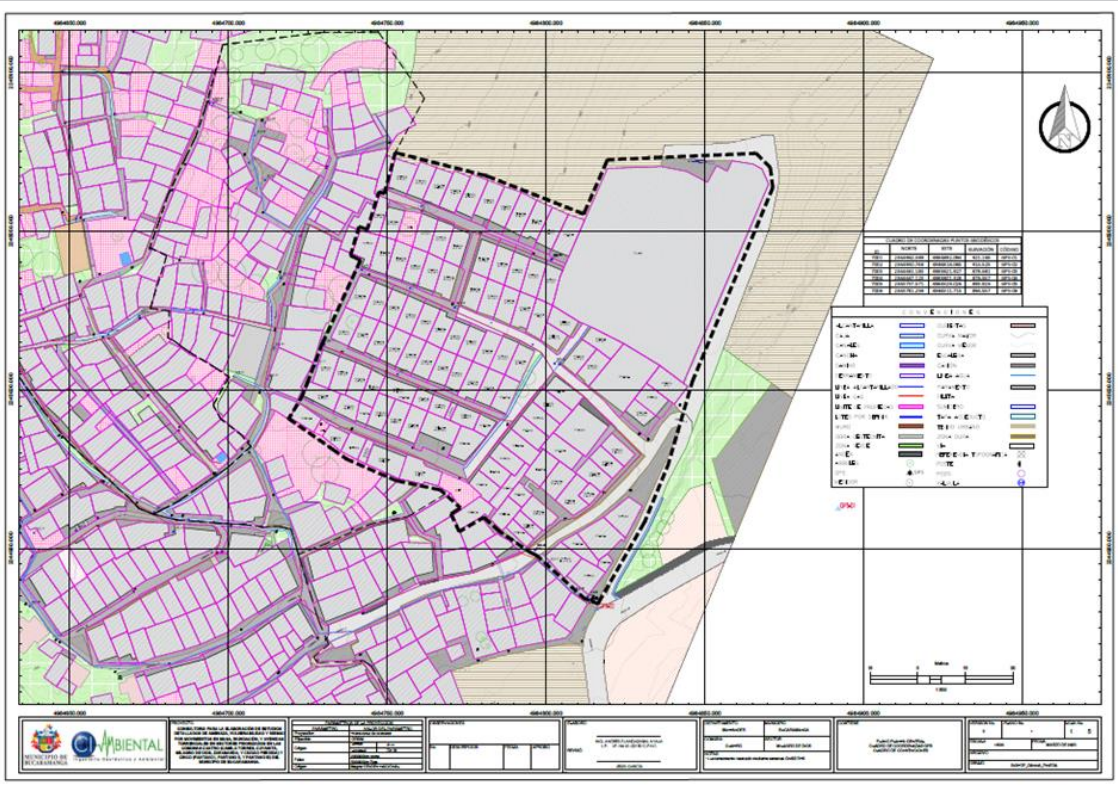


Figura 3.30 Plano Milagro de Dios

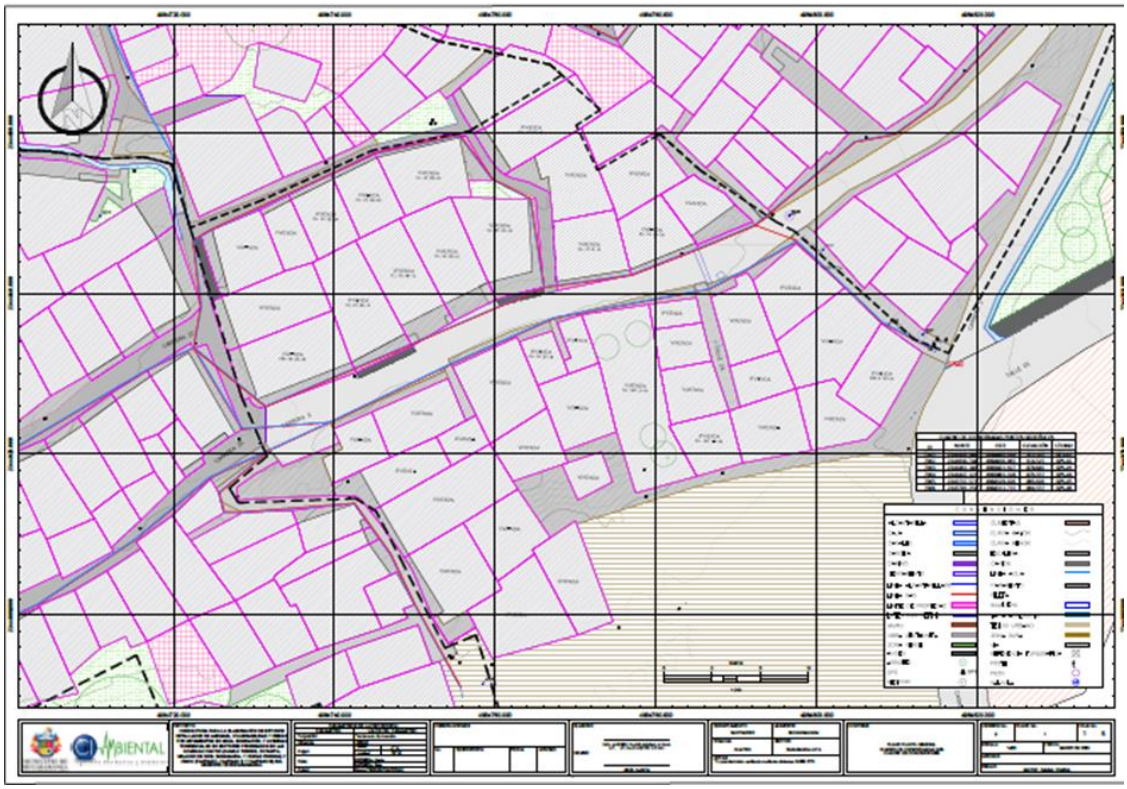


Figura 3.31 Plano Zarabanda Alta

3.2 ETAPA 2: GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

Se presenta el contexto geológico del área de interés en el cual se describen las unidades litoestratigráficas y estructuras geológicas que conforman el terreno, con base en estudios anteriores y la información del Servicio Geológico Colombiano (SGC) disponible para el área; también se proporcionan los resultados de la cartografía y caracterización de Unidades de Geología para Ingeniería (UGI) y Elementos Geomorfológicos (EGMF) en escala detallada, según los lineamientos propuestos por el SGC en sus diferentes guías metodológicas para zonificación de amenaza por movimientos en masa a escala 1:25.000 y a escalas detalladas. Con base en estos resultados, se elaboraron perfiles geológico-geotécnicos que ayudan a comprender la disposición de los materiales, espesor, distribución y el comportamiento geomecánico a profundidad, además de definir las principales características de los materiales geológicos con base en los datos o parámetros obtenidos a partir del levantamiento de campo y de la exploración directa e indirecta. Esto constituye el insumo importante para la elaboración del modelo geológico-geotécnico y definir los escenarios de amenaza que son usados para los análisis de estabilidad de laderas.

3.2.1 Área de Estudio

El área de estudio del presente proyecto se localiza sobre el borde de la denominada “escarpa occidental” del área urbana de Bucaramanga, allí se encuentran las comunas 4 y 5, la primera se enmarca en las márgenes de las quebradas Argelia (Cantera), Cuyamita y Caño Picho, la segunda se ubica sobre la margen derecha de la quebrada Seca y comprenden un total de 8 barrios. Es importante tener en cuenta que estos asentamientos urbanos se encuentran en diferentes sectores de la escarpa, por tal motivo se distribuyó el área de estudio en tres polígonos contractuales proporcionados por la administración municipal, en línea roja se presentan los polígonos de las áreas contractuales, la línea negra delimita la zona de levantamiento temático en unidad de ladera que se consideran en los análisis de estabilidad, se presentan en la Figura 3.32

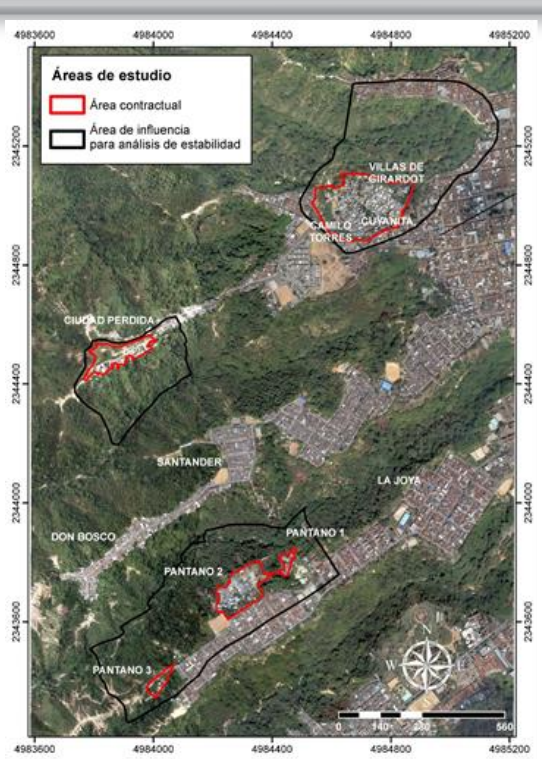


Figura 3.32 Esquema compilado de las áreas de estudio, Comunas 4 y 5

Fuente: imagen de Google Maps (2022) obtenida a través del software SAS Planet V.20.06.06, el esquema se presenta con el sistema de referencia del origen único nacional denominado CTM12, según la Resolución 471 de 2020 y la Resolución 529 de 2020. Del IGAC.

El polígono norte hace parte de la comuna 4, está conformado por los barrios Camilo Torres, Cuyanita, Milagro de Dios y Zarabanda. Estos barrios se localizan sobre las laderas que conforman la microcuenca de un drenaje intermitente afluente de la quebrada Argelia (quebrada Cantera), abarcan un área contractual de 5.38 ha y área total para el análisis de estabilidad de 24.85 ha (Figura 3.33).

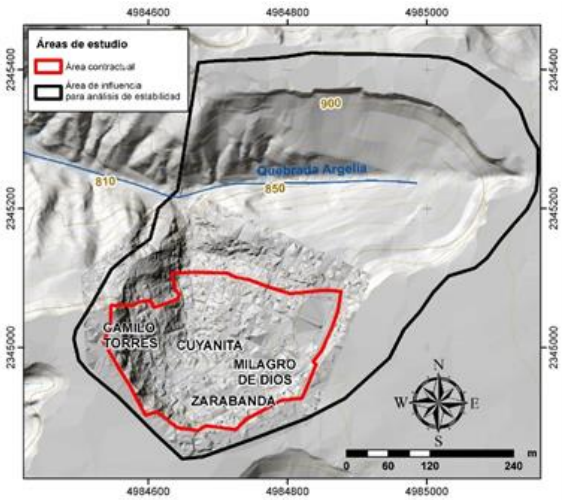


Figura 3.33 Polígono norte del área de estudio, barrios Camilo Torres, Cuyanita, Zarabanda y Milagro de Dios de la comuna 4 del municipio de Bucaramanga

La figura de detalle del polígono norte presenta sistema de referencia del origen único nacional denominado CTM12, según la Resolución 471 de 2020 y la Resolución 529 de 2020. Del IGAC.

El polígono central también forma parte de la comuna 4 y comprende el barrio Ciudad Perdida (Divino Niño). Este se encuentra sobre una divisoria de aguas, que separa los cauces de las quebradas Cuyamita por el sur y Marino por el norte, el área contractual cubre 1,38 ha y el área total para el análisis en término de ladera comprenden 9,08 ha (Figura 3.34).

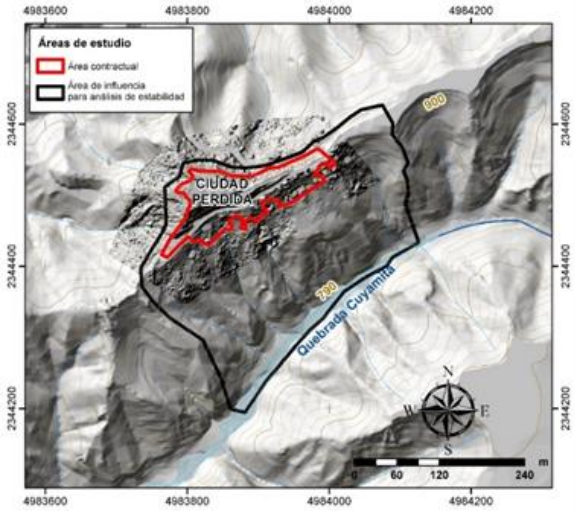


Figura 3.34 Polígono central del área de estudio, barrio Ciudad Perdida (Divino Niño) de la comuna 4 del municipio de Bucaramanga

La información presentada en el polígono norte presenta sistema de referencia del origen único nacional denominado CTM12, según la Resolución 471 de 2020 y la Resolución 529 de 2020. Del IGAC.

El polígono sur pertenece a la comuna 5 y abarca los barrios Pantano I, Pantano II y Pantano III, se localiza sobre ladera de la margen izquierda de la quebrada Seca, con área contractual de 1,91 ha y área total en término de unidad de ladera de 25,93 ha (Figura 3.35).

Adicionalmente es importante mencionar que según la cartografía oficial del IGAC a escala 1:10.000, los tres polígonos del área de estudio se localizan dentro de la plancha 120-II-A2.

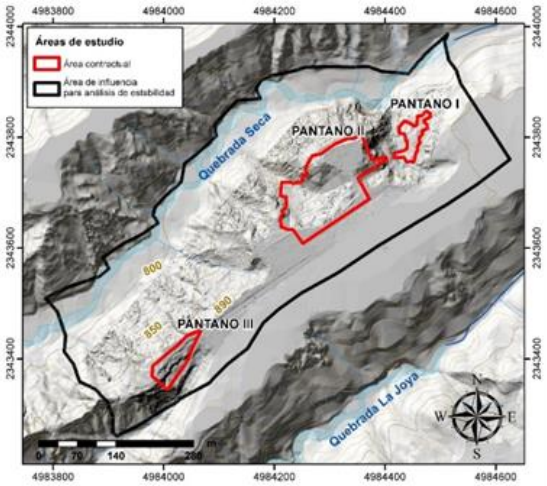


Figura 3.35 Polígono sur del área de estudio, barrios Pantano I, Pantano II y Pantano III de la comuna 5 del municipio de Bucaramanga

El polígono sur y sus áreas de estudio comprenden el sistema de referencia del origen único nacional denominado CTM12, según la Resolución 471 de 2020 y la Resolución 529 de 2020. Del IGAC.

3.2.2 Aspectos Metodológicos

En el área de influencia definida como zonas de ladera para los análisis de estabilidad en cada uno de los tres polígonos, se completó la fotointerpretación utilizando la cartografía básica en escala 1:10.000 elaborada por el IGAC para el proyecto de Ingeominas (2007) y el DEM de 1 m/píxel suministrado por la Alcaldía de Bucaramanga con sus respectivas variables geométricas.

A continuación, se resumen los principales aspectos metodológicos que se tuvieron en cuenta para la elaboración del mapa de UGI.

3.2.2.1 Elaboración del Mapa de Unidades de Geología para Ingeniería UGI

Es importante mencionar, que, a partir de lo planteado por Ingeominas (2004), SGC y UNAL (2016) y SGC (2017), en la elaboración elaborar de un mapa de UGI, se inicia con un mapa de Unidades Geológicas Superficiales (UGS) que posteriormente se complementa con la caracterización de los materiales cartografiados con base en parámetros geomecánicos obtenidos a partir análisis estadísticos de propiedades físicas y geotécnicas, evaluadas mediante ensayos de laboratorio aplicados en muestras inalteradas de las diferentes unidades geológicas encontradas.

3.2.2.2 Elaboración del Mapa de Elementos Geomorfológicos EGMF

De acuerdo con SGC y UNAL (2016), para estudios en escalas detalladas que involucran el análisis de estabilidad de laderas y/o taludes, se requieren elaborar mapas de geomorfología con el máximo nivel de detalle de cartografía temática, lo que permitirá la homogenización de las unidades con características de comportamiento geomecánico similar, junto con el mapa de geología para ingeniería. Este nivel corresponde al Elemento Geomorfológico (EGMF) de la jerarquización propuesta por Carvajal (2012).

Un EGMF se define a través de la identificación de rasgos locales del relieve (escarpes o taludes antrópicos, relieves internos de laderas o flancos, crestas, formas de valles, etc.) definidos en sitios puntuales y determinados por la morfometría detallada del terreno dentro de una subunidad geomorfológica. También puede determinarse por la identificación de micro relieves asociados a una característica litológica particular establecido mediante análisis detallados.

3.2.3 Geología en el Área de Estudio

En el área de estudio, que comprende los polígonos norte, central y sur, en donde afloran de base a tope los miembros Órganos, Finos, Gravoso y Limos Rojos de la Formación Bucaramanga. En el polígono norte (barrios Cuyanita, Milagro de Dios, Camilo Torres y Zarabanda) el miembro Órganos se distribuye hacia la zona centro occidental o en las partes medias y bajas de las laderas, mientras que, los miembros que lo suprayacen se localizan en las zonas topográficamente más altas. En el polígono central (barrio Ciudad perdida-Divino Niño), los miembros más recientes afloran en una franja noreste a suroeste, y el miembro Órganos o más antiguo está distribuido sobre la margen derecha de la quebrada Cuyamita. Por otra parte, el polígono sur (Pantanos 1, 2 y 3) abarca laderas de la margen izquierda de la quebrada Seca, en la que se ubican el miembro Órganos en las zonas topográficamente bajas, así mismo, hacia el tope comprende los miembros Finos, Gravoso y Limos Rojos que estratigráficamente se ubica sobre la zona intervenida antrópicamente y ocupada en una buena parte por viviendas.

3.2.3.1 Estratigrafía

Una vez descritos brevemente los materiales en los sectores de estudio, se presenta en la Tabla 3.2 de manera resumida la columna estratigráfica generalizada del área de estudio del presente trabajo.

Tabla 3.2 Columna estratigráfica generalizada de la Formación Bucaramanga

ERA	PERÍODO	ÉPOCA	EDAD	UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA		LITOLOGÍA	ESPESOR (M)	DESCRIPCIÓN
CENOZOICO	CUATERNARIO	Holoceno		Depósitos de coluvión		Qco		Depósitos de movimientos en masa antiguos y recientes>
				Depósitos aluviales		Qal		Depósitos de cauces, terrazas y llanuras aluviales
		Pleistoceno	0,8 ma ? (Jiménez et al., 2015)	Formación Bucaramanga	Miembro Limos Rojos	Qblr	12 m (Suárez, 2013)	Arenas arcillosas gravosas y limos de colores rojizos, amarillentos y naranjas
					Miembro Gravoso	Qbg	19 m (Suárez, 2013)	Nivel fluviotorrencial con niveles gravosos, gravo arenosos, con cantos subredondeados a subangulares
					Miembro Finos	Qbf	14-19 m	Niveles arcillo limosos plásticos y al techo niveles areno limosos y limo arenosos
					Miembro Órganos	Qbo	>180 m	Nivel fluviotorrencial compuesto por una serie de fragmentos gruesos polimícticos

Fuente: adaptado de Ingeominas (2001)

Formación Bucaramanga (Qb)

La secuencia de la Formación Bucaramanga ha sido diferenciada en cinco miembros definidos originalmente por Hubach (1957), De Porta (1958) y Niño y Vargas (1993): Calcáreo, Órganos, Finos, Gravoso y Limos Rojos. Sin embargo, en el trabajo más reciente de Ingeominas (2001), concluyeron que el denominado miembro Calcáreo no presenta límites estratigráficos bien definidos sin distribución y continuidad lateral, sino que aparecen como lentes, por lo cual, forma parte del miembro órganos. Por lo tanto, actualmente se plantearon de base a techo los siguientes miembros: Órganos (Qbo), Finos (Qbf), Gravoso (Qbg) y Limos Rojos (Qblr).

A continuación, se presentan con mayor detalle las características de cada uno de los miembros que conforman de base a tope la Formación Bucaramanga, de acuerdo con lo registrado en los trabajos de Ingeominas (2001), Ingeominas (2007) e Ingeominas (2008).

- *Miembro órganos (Qbo)*
  Definido por Hubach (1952). Esta es la unidad más potente de la formación Bucaramanga, estimándose que su espesor podría superar los 180 m. De acuerdo con Bueno y Solarte (1994), corresponde a una serie monótona de niveles polimícticos de fragmentos gruesos, de aspecto conglomerático, con alternancia de capas y lentes limo arenosos, con variaciones laterales y verticales en composición y textura.

- *Miembro Finos (Qbf)*
  Este nivel fue reconocido y definido por Hubach (1952). Se ubica estratigráficamente entre el miembro Órganos y el miembro Gravoso, en contactos netos planos paralelos.
  La secuencia del miembro Finos se puede dividir en dos conjuntos:
  1) Conjunto Arcilloso: Localizado hacia la base, se caracteriza por ser arcillo-limoso, masivo, de colores grises a verdes, con estratificación plana paralela, en donde el espesor varía ampliamente, como en el barrio el Porvenir (9 m) y cuchilla de Palomitas (2 m).
  2) Conjunto Arenoso: Se localiza hacia el techo, donde muestra una alternancia de niveles arenolimosos con niveles limoarenosos feldespáticos, de colores amarillento a pardo amarillento. Hacia la base de este conjunto predominan costras y un nivel arcilloso pardo oscuro.
- *Miembro Gravoso (Qbg)*
  Ubicado sobre la escarpa occidental y norte de Bucaramanga, también conforma los escarpes superiores de la parte alta del nacimiento de la quebrada La Iglesia, en los alrededores de los barrios Lagos del Cacique, Diamante II y San Luis. Otras secciones importantes se localizan en los barrios La Cumbre, La Feria, Polvorines, Don Bosco y la vía a Café Madrid.
  Los cantos son en su mayor parte de tamaño grava, con diámetro promedio de 15 cm y bloques de roca en menor cantidad hasta de 0,8 m de diámetro, subangulares a subredondeados, en matriz areno-arcillo-limosa, color pardo rojizo, rojizo y ocre pálido. Están compuestos en su mayor parte por rocas metamórficas e ígneas del Macizo de Santander y areniscas cuarzosas, areniscas limosas y limolitas violáceas de las formaciones Girón y Jordán.
- *Miembro Limos Rojos (Qblr)*
  Nivel definido por Julivert (1963). Este miembro se localiza en el sector urbanizado de Bucaramanga, aunque no en forma uniforme, y se continúa hacia el sur, hasta el sector norte del municipio de Floridablanca. Está constituido por arenas arcillosas gravosas y limos de colores rojizos, amarillentos y naranjas.

Depósitos Aluviales (Qal)

Corresponden a los depósitos de material dejados por los ríos y quebradas mayores debido a su dinámica, los cuales se distribuyen en los valles de acuerdo a la altura y posición. En esta unidad se incluyen diferentes niveles de terrazas, depósitos aluviales de cauce y llanuras de inundación.

En el área de estudio, los cauces que originan este tipo de depósitos son las quebradas Cuyanita y Argelia en los barrios de la comuna 4, así como la quebrada Seca en la parte inferior de los barrios Pantanos de la comuna 5.

Depósitos de Coluvión (Qco)

Se caracterizan por ser materiales clasto-soportados o matriz-soportados según su origen, el tamaño de grano varía desde gravas hasta bloques de 1,5 m de diámetro.

Los suelos coluviales son comunes en los tres polígonos que conforman el área de estudio, y, por lo general, son producto de movimientos en masa por lo cual se consideran materiales inestables.

3.2.4 Caracterización Geoambiental

La caracterización geoambiental consiste en cartografiar y describir las propiedades de los factores intrínsecos del terreno que condicionan la ocurrencia de procesos erosivos y movimientos en masa. Dentro de estos factores, se destacan la geología y geomorfología. Según la *Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa en escalas detalladas* (SGC y UNAL, 2016), para realizar este tipo de estudios en escala 1:5.000 o mayor, es necesario realizar la cartografía de las Unidades de Geología para Ingeniería (UGI), Elementos Geomorfológicos (EGMF), así como la identificación y caracterización de los movimientos en masa y rasgos geomorfológicos indicativos de inestabilidad del terreno.

Con los criterios mencionados anteriormente se elaboró la cartografía y caracterización de las temáticas para el presente proyecto según los lineamientos metodológicos descritos en el numeral 1.2. A continuación, se presentan los respectivos resultados de la cartografía y caracterización de las UGI y EGMF.

3.2.4.1 Unidades de Geología para Ingeniería (UGI)

Se tomó como insumo principal la cartografía de UGS realizada por Ingeominas (2007), esta capa se refinó, complementó y actualizó a escala 1:2.000 según la información levantada en el presente estudio, llevándola al nivel detallado que corresponde con Unidades de Geología para Ingeniería (UGI). Para ello, se realizó el proceso de fotointerpretación, levantamiento y verificación de campo y el posterior análisis de la información geotécnica para caracterizar el comportamiento geomecánico de cada UGI.

Es así, como en el área de estudio se cartografiaron en total once (11) UGI de tipo suelo, de las cuales seis (6) están derivadas de la Formación Bucaramanga y las cinco (5) restantes se dividen entre suelos transportados y antrópicos. En la Figura 3.36, Figura 3.37, Figura 3.38 se presenta el esquema del mapa de UGI para cada una de las zonas de estudio, información levantada en sistema de coordenadas del origen único nacional CTM12 adoptado según la Resolución 471 de 2020 y la Resolución 529 de 2020 del IGAC.

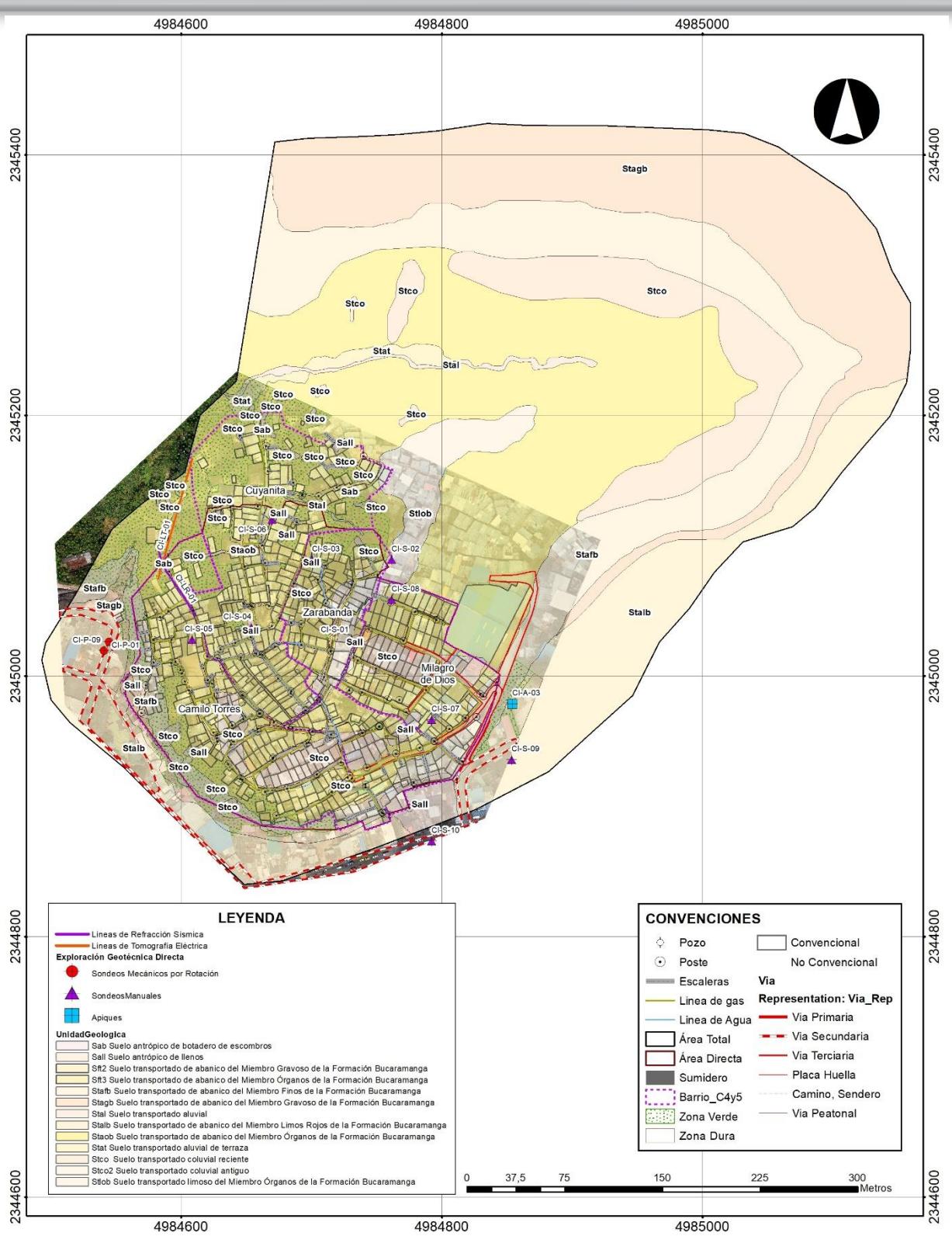


Figura 3.36 Esquema del mapa de UGI del área de estudio en la comuna 4, barrios Zarabanda, Camilo Torres, Milagro de Dios y Cuyanita

El esquema se encuentra en el sistema de coordenadas del origen único nacional CTM12

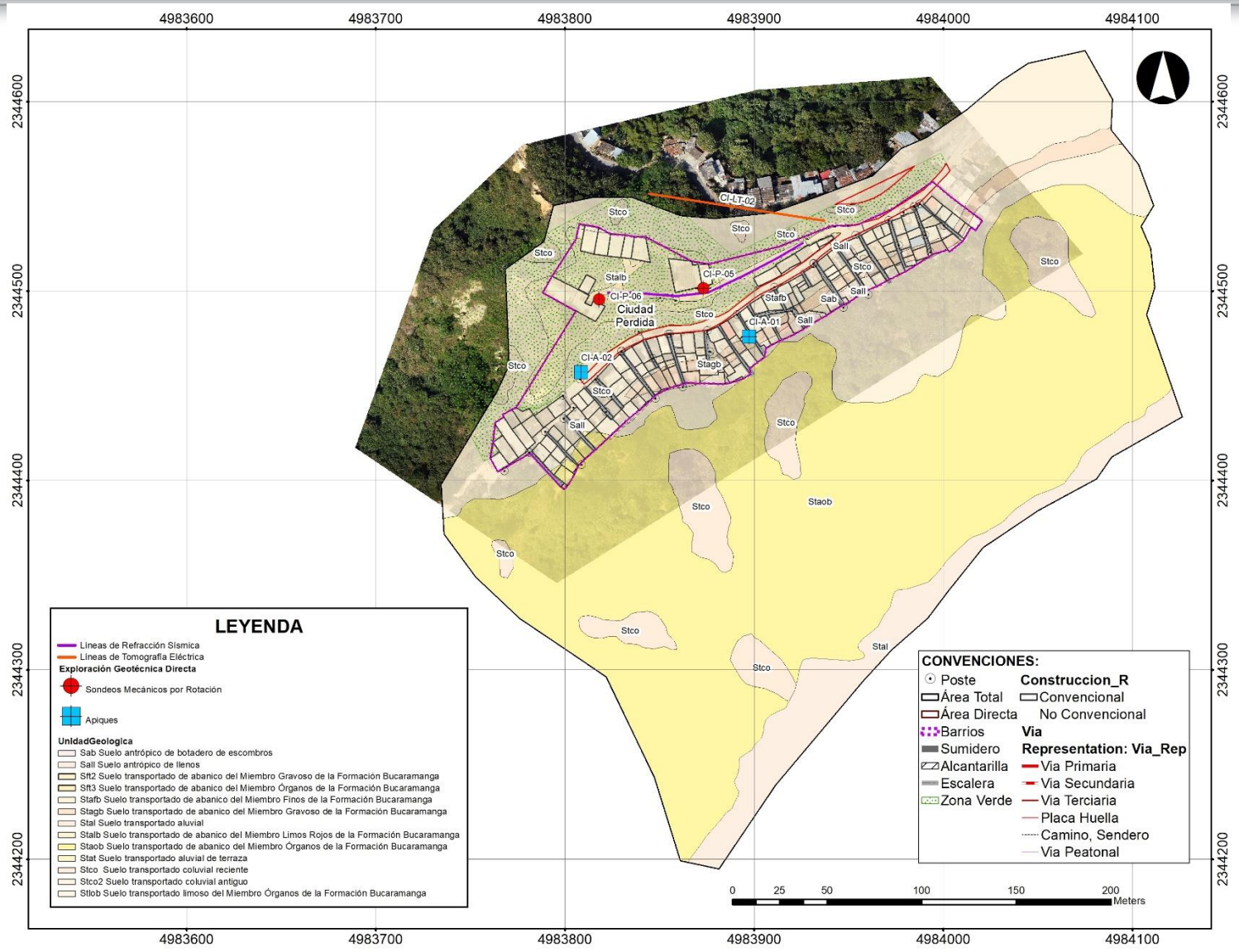


Figura 3.37 Esquema del mapa de UGI del área de estudio en el barrio Ciudad Perdida (Divino Niño) de la comuna 4

El esquema se encuentra en el sistema de coordenadas del origen único nacional CTM12

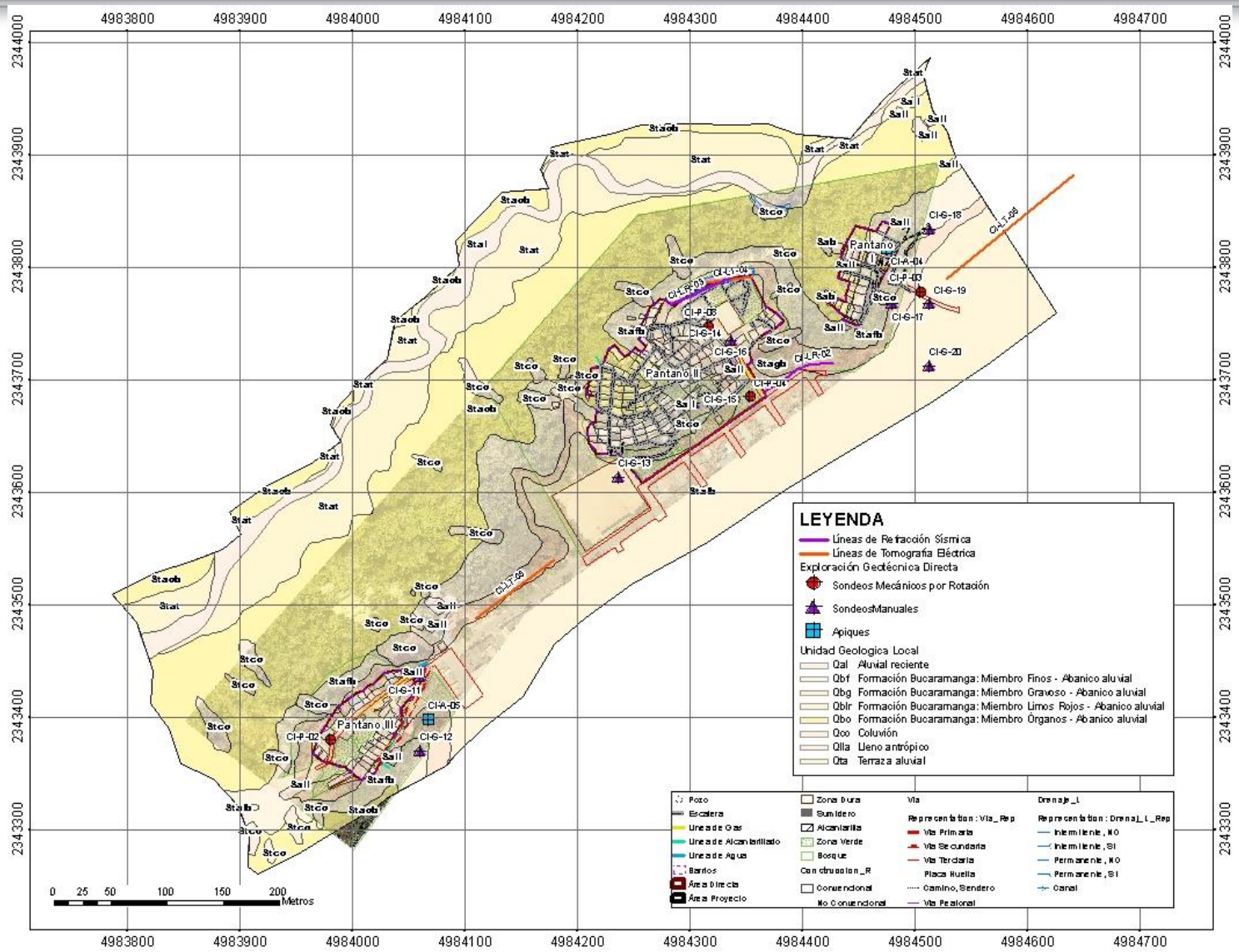


Figura 3.38 Esquema del mapa de UGI del área de la comuna 5, barrios Pantano 1, 2 y 3

El esquema se encuentra en el sistema de coordenadas del origen único nacional CTM12

Se presenta la caracterización de las diferentes unidades de geología para ingeniería (UGI) que fueron cartografiadas en el área de estudio. La descripción de cada unidad se realizó teniendo en cuenta la información secundaria, los datos levantados en campo y la información de carácter geotécnico obtenida a partir de la exploración del subsuelo y ensayos de laboratorio ejecutados para el presente proyecto.

Unidades de Suelo

En la Figura 3.39 se presentan las unidades de suelo cartografiadas y su abundancia relativa dentro del área de estudio expresada en valores de hectáreas (ha) y su distribución porcentual (%). A partir de estos datos, se observa que los suelos que predominan son: Suelo transportado areno arcilloso del Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga (Staaob) con 23,68 ha, Suelo transportado limo arcilloso del Miembro Limos Rojos de la Formación Bucaramanga (Stlalb) con 10,15 ha, Suelo transportado limo arenoso del Miembro Finos de la Formación Bucaramanga (Stlafb) con 9,70 ha y el Suelo transportado aluvial (Stal) que ocupa 4,83 ha, mientras que las demás unidades se encuentran por debajo de los 4,5 ha cada una dentro del área de estudio. Se evidenciaron diferencias texturales que permitieron la separación de facies en los miembros Gravoso y Órganos, es decir, cambios en su estructura de soporte como relación matriz/clastos, tipo de matriz o incluso datos del comportamiento geotécnico.

La caracterización de las diferentes UGI encontradas en el área de estudio se presenta en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 UGI tipo suelo y su ocupación dentro del área de estudio

CÓDIGO DE LA UGS	CÓDIGO DE LA UGI	NOMBRE DE LA UGI	ÁREA (HA)	ÁREA (%)	PESO UNITARIO γ (KN/M³)*	ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA ϕ'(°)*	COHESIÓN C' (KPA)*
-	Sab	Suelo antrópico de botadero de escombros	0,04	0,07	17.1	26.9	-
Suelos aluviales de terrazas bajas, medias y altas (Sat1, Sat2, Sat3):	Stat	Suelo transportado aluvial de terraza	0,18	0,30	17.1	26.9	-
-	Sall	Suelo antrópico de llenos	0,48	0,80	18.6	29.0	-
Suelos coluviales recientes y antiguos (Soc1, Sco2)	Stco	Suelo transportado coluvial	3,63	6,06	17.1	26.9	-
	Stal	Suelo transportado aluvial	4,83	8,07	17.1	26.9	-
Suelos Miembro Limos Rojos (Formación Bucaramanga (Sfl2)	Stlalb	Suelo transportado limo arcilloso del Miembro Limos Rojos de la Formación Bucaramanga	10,15	16,95	17.1	21.8	26.8
Suelos Miembro Gravoso Formación Bucaramanga (Sft2)	Stalgb	Suelo transportado areno limoso del Miembro Gravoso de la Formación Bucaramanga	4,46	7,44	18.6	32.1	11.5
Suelos Miembro Gravoso Formación Bucaramanga (Sft2)	Stagb	Suelo transportado arcilloso del Miembro Gravoso de la Formación Bucaramanga	1,94	3,24	18.6	32.1	11.5
Suelos del Miembro Finos Formación Bucaramanga (Sfl1)	Stlafb	Suelo transportado limo arenoso del Miembro Finos de la Formación Bucaramanga	9,70	16,21	19.3	35.2	15.2
Suelo gravoso del Miembro Órganos - Formación Bucaramanga (Sft3)	Stlob	Suelo transportado limoso del Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga	0,79	1,32	17.1	26.9	-
Suelo gravoso del Miembro Órganos - Formación Bucaramanga (Sft3)	Staaob	Suelo transportado areno arcilloso del Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga	23,68	39,55	20.7	26.8	35.5
TOTAL			59,88	100			

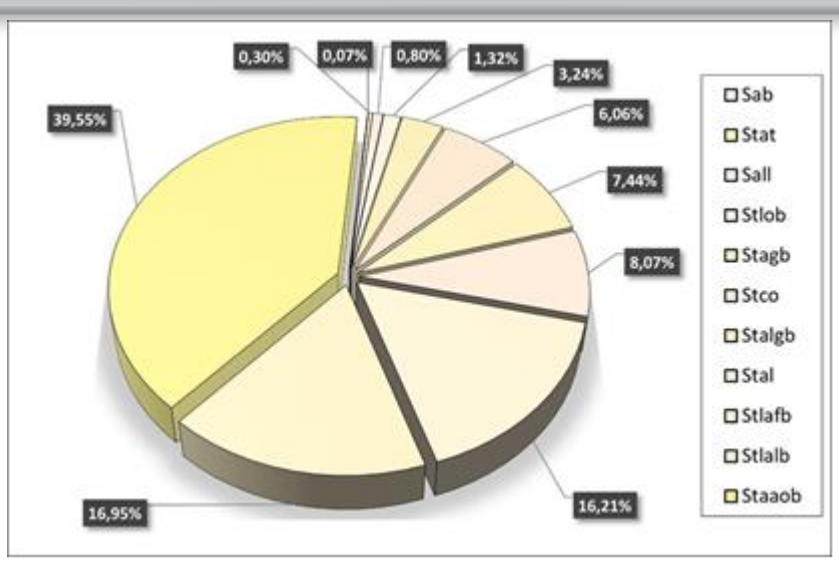


Figura 3.39 Distribución porcentual de las UGI tipo suelo dentro del área de estudio

A partir de la cartografía temática de los materiales presentes en las áreas de estudio, se tomó de la premisa de realizar perfiles geológicos en el sector que presenta mayor área aflorante de las unidades de geología para ingeniería, como es el caso de los barrios Cuyanita, Camilo Torres, Milagro de Dios y Zarabanda. En esta zona se realizaron los perfiles A – A' (Ver Figura 3.40), B – B' (Ver Figura 3.41) con longitudes de 80 m y 130 m, se tuvieron en cuenta los datos de la exploración directa de las perforaciones 1 y 9.

Para el caso del perfil A-A' se identificó un espesor del suelo transportado limo arcilloso del miembro Limos Rojos menor a 5 m, seguido del miembro Gravoso con textura areno limosa que evidenció 5 metros de espesor, a profundidad se encontró el miembro Finos con estructura de soporte limo arenosa de espesor 6 m, mientras que la unidad más basal asociada al miembro Órganos de estructura areno arcillosa comprende espesor de hasta 40 metros.

En el perfil B-B', se presentan las unidades con un contacto difuso principalmente, las cuales de joven a antigua se distribuyen en suelo limo arcilloso del miembro limos rojos con espesor menor a 3 metros, sobre el barrio la Feria, seguido de un espesor de 4 metros de la unidad de suelos asociada al miembro gravoso con textura arenosa, además se identificó un nivel del miembro finos que infrayace con textura limo arenosa de espesor de 17 metros aproximadamente, finalmente la unidad más antigua corresponde al miembro Órganos con 10 metros de espesor en el perfil y se caracterizó por una estructura de soporte areno arcillosa.

Finalmente el perfil C-C' comprende la zona aflorante desde la vía principal de acceso al sector Pantano II hasta parte de la margen izquierda de la quebrada Seca, en el que se identificó el miembro más joven o suelo limo arcilloso de limos rojos con espesor de hasta 7,5 m; seguido del miembro gravoso en una ventana de 3 m, infrayaciendo el miembro finos con 7,5 m y la secuencia finaliza con el suelo más antiguo asociado al suelo areno arcilloso del miembro Órganos, sobre el que se disponen materiales antrópicos como llenos de hasta 3 metros y suelos transportados aluviales y de terraza relacionados a la dinámica de la quebrada Seca, B – B' (Figura 3.42). Esta información se encuentra como anexo del presente estudio, en el que se presentan los cortes A-A', B-B' y C-C'.

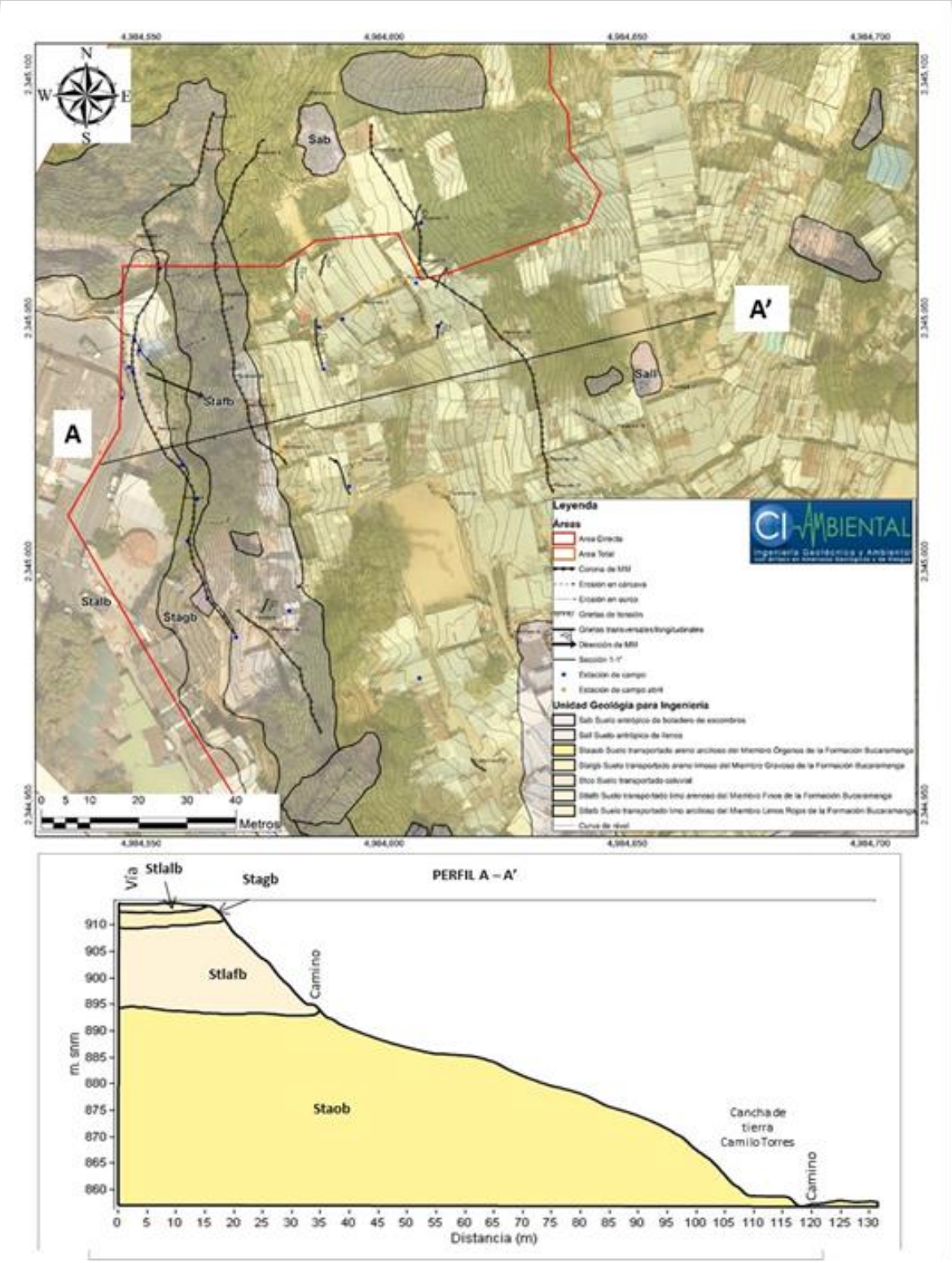


Figura 3.40 Localización y visualización del perfil geológico A-A' dentro del área de estudio

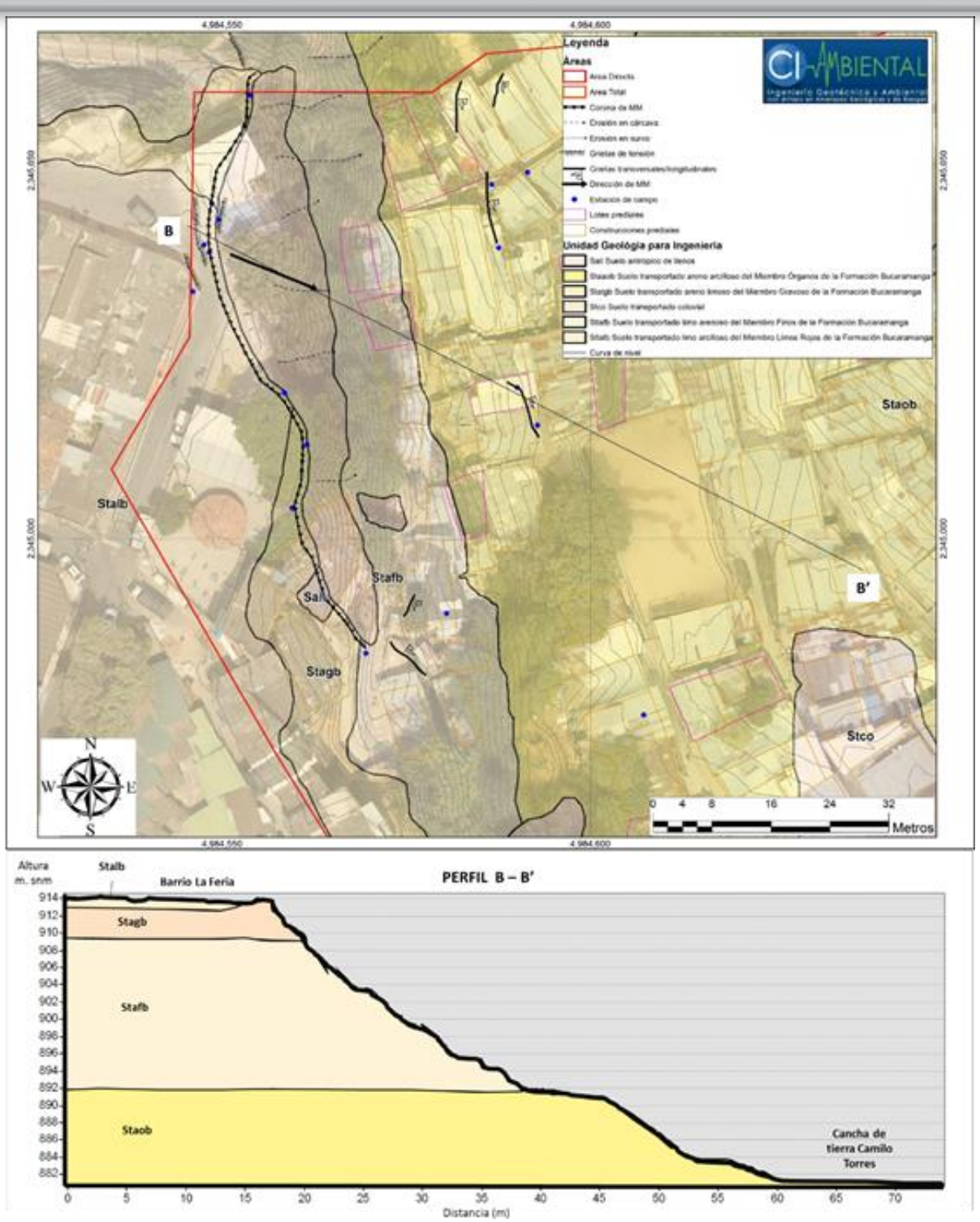


Figura 3.41 Localización y distribución de UGI en el perfil geológico B-B' dentro del área de estudio

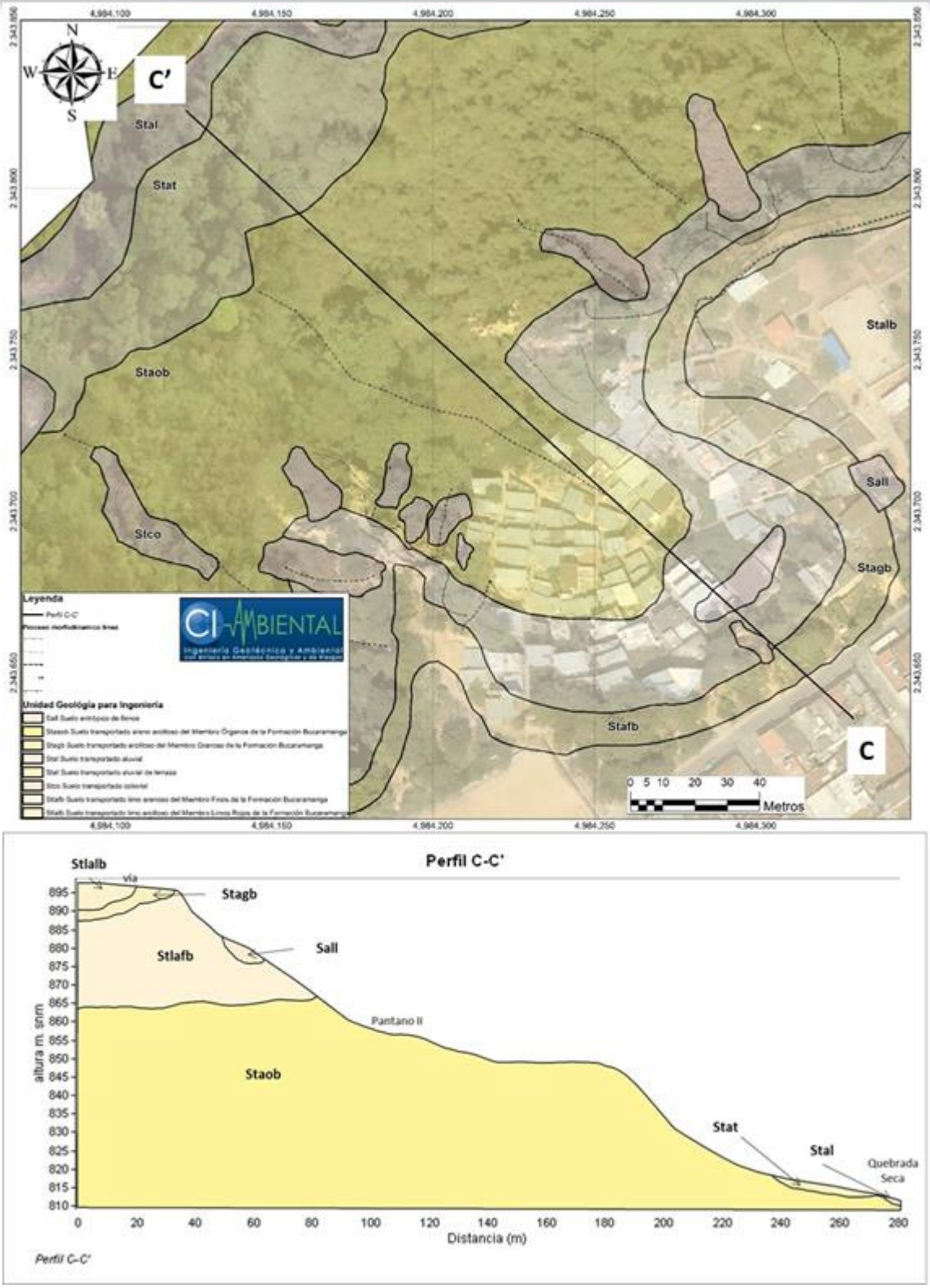


Figura 3.42 Localización y distribución de UGI en el perfil geológico C-C' dentro del área de estudio

A continuación, se describen las propiedades físicas y geomecánicas de cada una de las unidades de suelo en orden cronoestratigráfico y según el orden dentro del perfil de meteorización, es decir, del más reciente al más antiguo.

***Suelos* Antrópicos**

- *Suelo Antrópico de Botadero de Escombros (Sab)*
  Unidad de suelo de origen antrópico conformada por materiales heterogéneos o residuos sólidos dispuestos por el hombre, generalmente de forma caótica sin compactación, recubrimiento o adecuación (Ver Figura 3.43).



Figura 3.43 Afloramiento de suelo antrópico de botadero de escombros (Sab) en sitios del área de estudio
Vista terrestre de un afloramiento representativo de botadero de escombros, evidenciado en el sector de pantano 1, vista panorámica y detalle a y b, coordenadas a 4984425E, 2343815N, coordenadas b 4984423E, 2343770N

- *Suelo Antrópico de llenos (Sall)*
  Unidad de suelo de origen antrópico derivada de la acumulación de materiales de composición heterogénea como son fragmentos de rocas sedimentarias, ígneas, metamórficas provenientes de la Formación Bucaramanga, material sobrante de construcción y excavaciones para la adecuación de terrenos dentro del área de estudio. (Ver Figura 3.44). En general pueden presentar espesores desde 1 m hasta 3 m y pueden estar afectados por procesos de erosión en surco.



Figura 3.44 Suelo antrópico de llenos (Sall) aflorantes en el área de estudio

Afloramiento de llenos antrópicos representativos en el área de estudio, vistas panorámicas coordenadas a 4984679E, 2345107N sector Cuyanita, coordenadas b 4983949E, 2343501N sector Ciudad Perdida, coordenadas c 4984573E, 2344997N sector Camilo Torres, coordenadas d 4984496E, 2343945N sector Pantano 1.

Suelos Transportados

- *Suelo Transportado Aluvial (Stal)*

  Suelo originado como producto de los procesos de erosión, transporte y acumulación de sedimentos por algunos drenajes del área como las quebradas Argelia, Cuyamita, y Seca, que en su curso dan lugar a depósitos de cauces en épocas de altas precipitaciones. Este suelo presenta una estructura de soporte que varía entre clasto soportada (clastos 75%, matriz 25%) a matriz soportada (matriz 60%, clastos 40%). (Ver Figura 3.45).

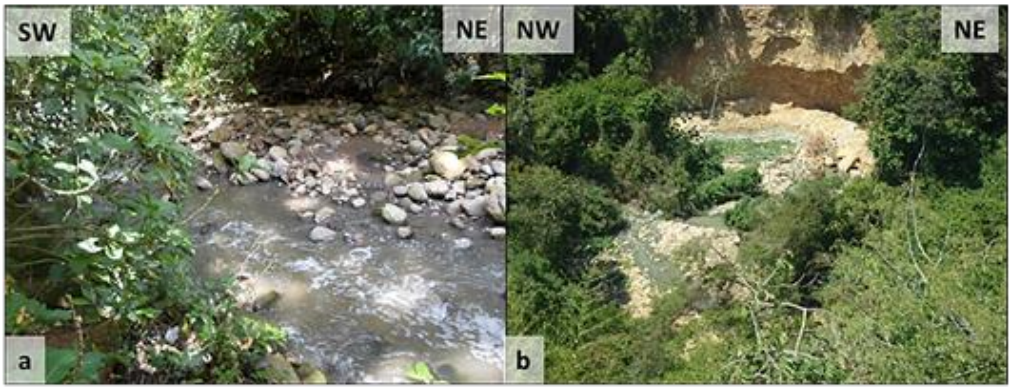


Figura 3.45 Suelo antrópico aluvial (Stal)

Vista a afloramiento de suelo transportado aluvial en la parte alta y baja de la quebrada Seca, coordenadas a 4984750E, 2345159N sector Pantano 1, coordenadas c 4984496E, 2343944N sector Pantano 2.

- *Suelo Transportado Aluvial de Terraza (Stat)*

  Unidad de origen aluvial resultante del transporte y acumulación de sedimentos sobre zonas de baja pendiente a lo largo de los cauces como resultado de procesos aluviales con diferentes grados de energía y, por lo tanto, con un rango amplio en la capacidad de transporte de detritos asociados a crecidas súbitas o inundaciones con bajas concentraciones de sedimentos (Ver Figura 3.46).



Figura 3.46 Suelo antrópico aluvial de terraza (Stat)

Afloramiento de terraza sobre la margen izquierda de la quebrada Argelia, coordenadas a 4984646E, 2345214N sector parte baja Cuyanita

- *Suelo Transportado Coluvial (Stco)*

  Unidad de suelo originada por procesos gravitacionales que abarcan los depósitos de movimientos en masa antiguos y recientes, estos últimos principalmente de tipo deslizamiento y flujos no canalizados, algunos de estos movimientos pueden encontrarse activos o reactivados, por lo cual, son materiales indicativos de inestabilidad. (Ver Figura 3.47).



Figura 3.47 Suelo transportado coluvial (Stco)

Afloramiento de antiguo movimiento en masa el cuál evidencia su depósito en el sector de Ciudad Perdida, coordenadas a 4983954E, 2344511N, coluvial identificado en el barrio Milagro de Dios coordenadas 4984692E, 2345070N, antiguo movimiento en masa coordenadas a 4984632E, 2345137N sector parte alta Cuyanita

- *Suelo Transportado Limo Arcilloso del Miembro Limos Rojos de la Formación Bucaramanga (Stlalb)*

  Suelo originado como producto de los procesos de erosión, transporte y acumulación asociado a la evolución tectónica y formación del abanico de Bucaramanga, con sedimentos con estructura de soporte matriz soportada (matriz 90%, clastos 10%),(Ver Figura 3.48). En general el espesor de la unidad alcanza hasta los 11,5 m. Se identificó en la exploración mecánica directa No. 1 Puede presentar procesos morfodinámicos de tipo caída o deslizamiento, además de erosión en surco o cárcava.

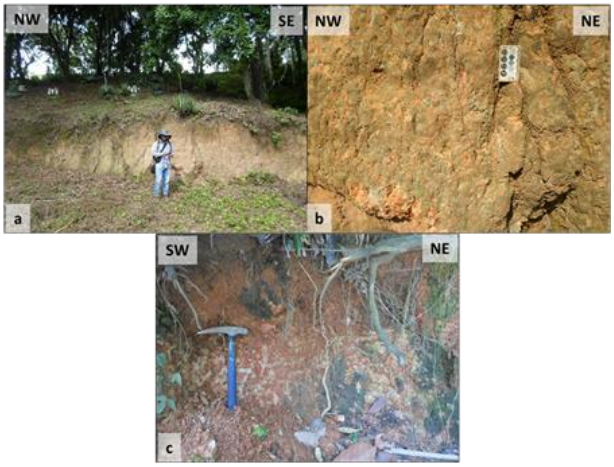


Figura 3.48 Suelo transportado limo arcilloso del Miembro Limos Rojos de la Formación Bucaramanga (Stlalb)
Afloramiento y detalle (a y b) de la UGI, en antiguo parque del sector Pantano 3, coordenadas a 4984069E, 2343407N, c detalle del suelo meteorizado en talud superior vía a Pantano 3, coordenadas 4984050E, 2343419N

- *Suelo Transportado Arcilloso del Miembro Gravoso de la Formación Bucaramanga (Stagb)*

  Suelo originado como producto de los procesos de actividad tectónica, erosión, transporte y acumulación en el proceso de la formación del abanico de Bucaramanga, es matriz soportado (matriz 60%, clastos 40%) de tipo limo arenosa de color amarillento (Ver Figura 3.49) .

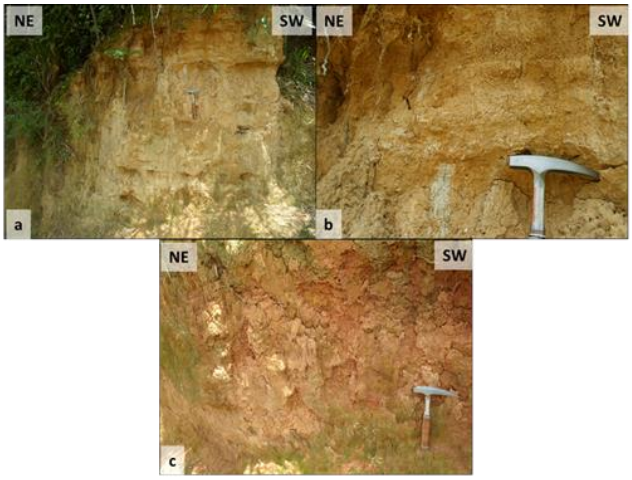


Figura 3.49 Suelo transportado arcilloso del Miembro Gravoso de la Formación Bucaramanga (Stlalb)
Vista al afloramiento y detalle (a y b) de la UGI, en camino de acceso al sector de Pantano 1, coordenadas a 4984499E, 2343818N, c detalle del suelo meteorizado en espesor no cartografiable, talud superior camino ingreso a Pantano 1, coordenadas 4984488E, 2343788N

- *Suelo Transportado Areno Limoso del Miembro Gravoso de la Formación Bucaramanga (Stalgb)*
  Materiales originados por el proceso de evolución tectónica de la cuenca del río Suratá y sus tributarios que dieron lugar al abanico de Bucaramanga producto de los procesos de erosión, transporte y acumulación, presenta estructura matriz soportada (matriz 60%, clastos 40%) de tipo arenosa de grano fino a limosa de color naranja (Ver Figura 3.50). El nivel de meteorización es moderado a alto, III a IV según Dearman 1974.



Figura 3.50 Suelo transportado areno limoso del Miembro Gravoso de la Formación Bucaramanga (Stalgb)
Detalle de muestra 8 recuperada a 10,5 m en perforación No. 1 de la UGI, coordenadas a 4984779E, 2343895N, coordenadas b y c 4984565E, 2345087N, panorámica y detalle del contacto entre el miembro fino y el miembro gravoso de la Formación Bucaramanga

- *Suelo Transportado Limo Arenoso del Miembro Finos de la Formación Bucaramanga (Stlafb)*
  Suelo originado como producto de los procesos de erosión, transporte y acumulación asociados a la evolución tectónica y formación del abanico de Bucaramanga, con estructura predominante matriz soportada (matriz 80%, clastos 20%), la fracción fina es de textura limosa a arcillosa de color marrón amarillento (Ver Figura 3.51). Desde el punto de vista geotécnico presenta valores promedio de peso unitario de 19,3 kN/m^3, ángulo de fricción pico φp' de 35,2° y ángulo de fricción residual φr' de 33,7°. Aflora a media ladera en los barrios Pantano 1,2 y 3, Ciudad Perdida (Divino niño) en zona topográficamente alta y en laderas superiores de Cuyanita, Camilo Torres, Zarabanda, Milagro de Dios. El espesor es de hasta 7 m y morfodinámicamente puede presentar erosión en cárcava y movimientos en masa de tipo caída y deslizamiento.

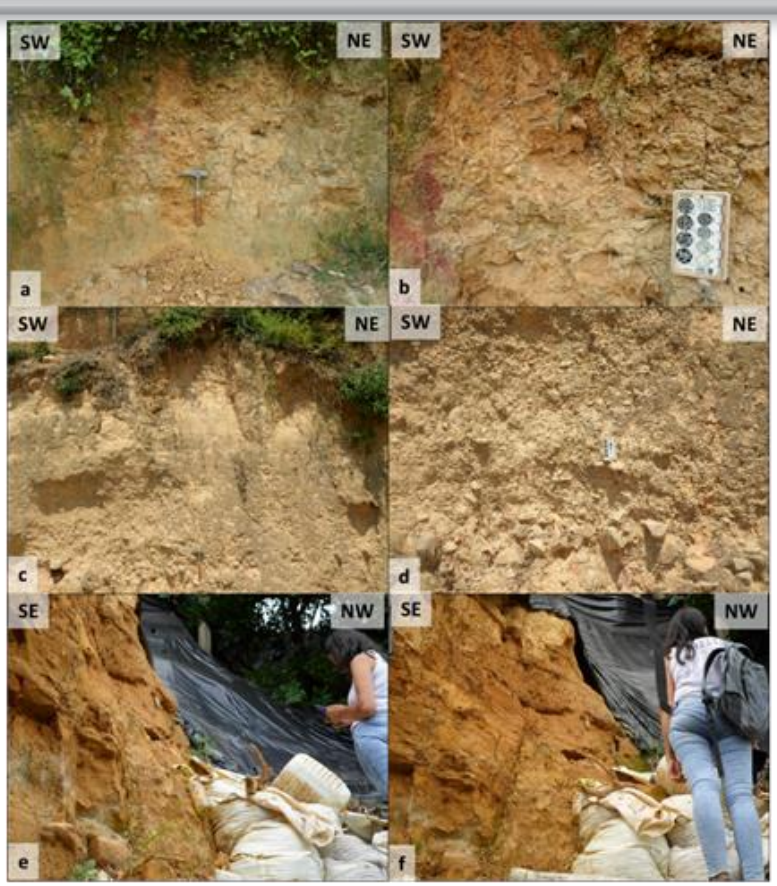


Figura 3.51 Suelo transportado limo arenoso del Miembro Finos de la Formación Bucaramanga (Stlafb)
Panorámica y detalle de la UGI en sector de Pantano 1, coordenadas a y b 4984521E, 2343854N, panorámica y detalle en talud superior de la vía acceso a Ciudad Perdida (Divino Niño) coordenadas c y d 4983894E, 2344494N, e y f afloramiento sobre zona de erosión en talud superior camino del barrio Camilo Torres, coordenadas 4983894E, 2344494N

- *Suelo Transportado Limoso del Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga (Stlob)*
  Unidad de suelo asociado a la evolución tectónica de la cuenca del río Suratá y la formación del abanico de Bucaramanga, con estructura matriz soportado (matriz 90%, clastos 10%), que corresponde con un nivel superior fino granular dentro del Miembro Órganos, comprende fracción fina limosa de color (Ver Figura 3.52).



Figura 3.52 Suelo transportado limoso del Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga (Stlob)
Detalle de muestras 6 y 7 en las que se evidenció el nivel limoso dentro del Miembro Órganos, coordenadas a y b 4984761E, 2345088N del barrio Milagro de Dios.

- *Suelo Transportado Areno Arcilloso del Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga (Staaob)*

  Material asociado a la evolución tectónica de la cuenca del río Suratá y sus tributarios, además dela formación del abanico de Bucaramanga, comprende el nivel más antiguo y abarca una estructura matriz soportada (matriz 60%, clastos 40%), la fracción fina es de textura arenosa a arcillosa de color amarillo rojizo (Ver Figura 3.53). Está distribuido en las zonas bajas de las laderas en las comunas 4 y 5. Además de identificarse en los afloramientos se encontraron niveles de cambios faciales locales que no se lograron mapear o continuar cartográficamente, lo que se logró soportar con el resultado de los ensayos de laboratorio de muestras tomadas de la exploración directa que indicaron un comportamiento similar y homogéneo.

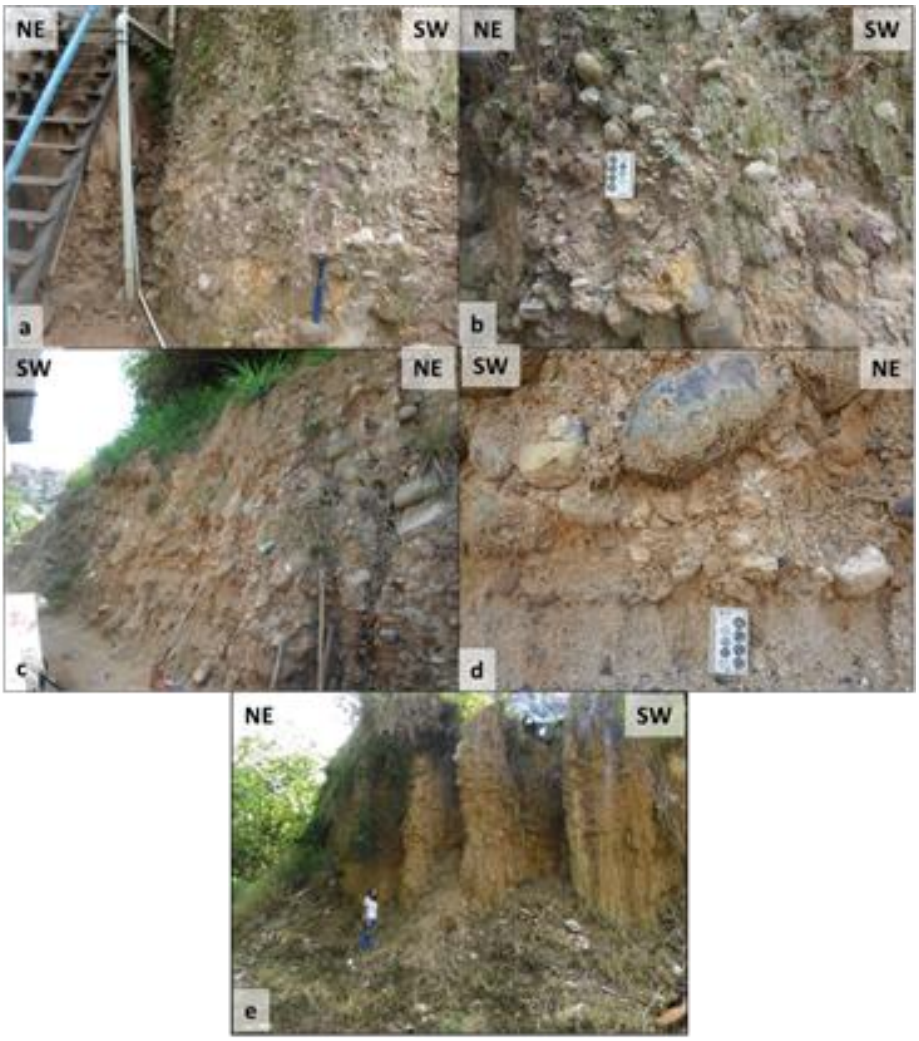


Figura 3.53 Suelo transportado limoso del Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga (Stlob)
Panorámica y detalle de nivel del Miembro Órganos, sobre talud de la vivienda de la señora Hilda Hernández del barrio Cuyanita, coordenadas a y b 4984704E, 2345165N. Coordenadas c y d 4984595E, 2345138N sobre afloramiento de la UGI del Miembro Órganos en parte baja barrio Cuyanita cerca límites con Villas de Girardot. Coordenadas e 4984656E, 2345203N afloramiento sobre la margen izquierda de la quebrada Argelia, parte inferior barrio Cuyanita.

3.2.4.2 Columnas Estratigráficas

A partir de la exploración geotécnica directa, se tomaron los registros de descripción de las muestras o núcleos recuperados en las perforaciones, cada uno de los materiales se describieron según los criterios utilizados para el levantamiento de las unidades de geología para ingeniería, y los requerimientos de los términos de referencia. Se tuvo en cuenta el tipo de material, granulometría predominante, color, textura, estructura se soporte, composición, resistencia a la compresión simple medida en campo, el nivel y perfil de meteorización además de la debida correlación con las unidades geológicas aflorantes en el área de estudio y su distribución en profundidad, esta información se presenta como anexo al presente documento. Es importante mencionar que las columnas generadas a partir de las perforaciones 1, 2, 3, 4 y 9 presentan una distribución normal y continuidad de los distintos miembros de la Formación Bucaramanga, mientras que las perforaciones 5, 6 y 8 evidenciaron acuñamiento de las facies asociadas a los miembros Finos y Gravoso que alteran la secuencia normal de la Formación (Figura 3.54).

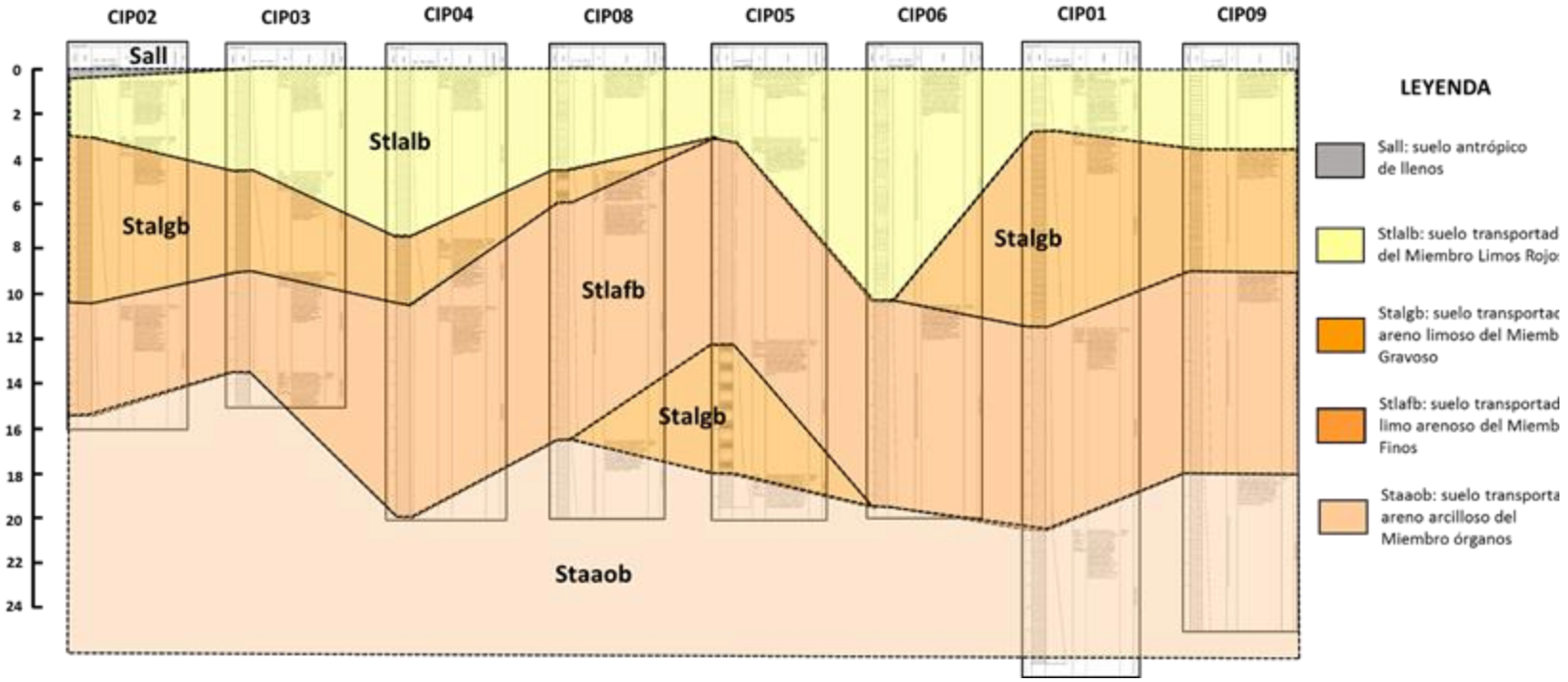


Figura 3.54 Esquema de correlación entre las columnas 1 y 9 del sector del barrio la Feria y Camilo Torres

3.2.4.3 Geomorfología

De acuerdo con la definición presentada por Carvajal (2012), la geomorfología es la ciencia que trata de la descripción y análisis de la génesis, clasificación, procesos y evolución de las formas antiguas y actuales del terreno (terrestres y submarinas) y su relación con las estructuras infrayacentes. Se enfoca en el estudio de la superficie terrestre donde se da la interacción de la litosfera con la hidrosfera, atmósfera y biosfera.

En el área de interés se logró mapear procesos asociados a erosión y rasgos morfológicos como escarpes, grietas, entre otros, como líneas que representan inestabilidad y que son importantes para darles peso temático a la geoforma y permiten definir desde el criterio experto cual es el origen que predomina, caso de geoformas de origen fluvial asociados a la evolución del abanico de Bucaramanga

Morfología

Carvajal (2012) se enfoca en la descripción de la apariencia y forma del relieve en general, se relaciona con los aspectos de la geometría e incluye fundamentalmente los gradientes topográficos y las formas relativas.

Para la caracterización de esta variable geométrica, se elaboró el modelo de sombras del relieve con la herramienta “hillshade” de ArcMap, obtenido a partir del procesamiento del modelo de elevación digital (DEM por sus siglas en inglés) de alta resolución (0,2 m/píxel). En este, se identificaron los diferentes tipos de relieves, las formas de ladera, valles y de las crestas, junto con la rugosidad o suavizado del terreno. Además, permite la identificación de procesos erosivos como surcos, cárcavas y estoraques con base en lo propuesto por Carvajal (2012) (Figura 3.55).

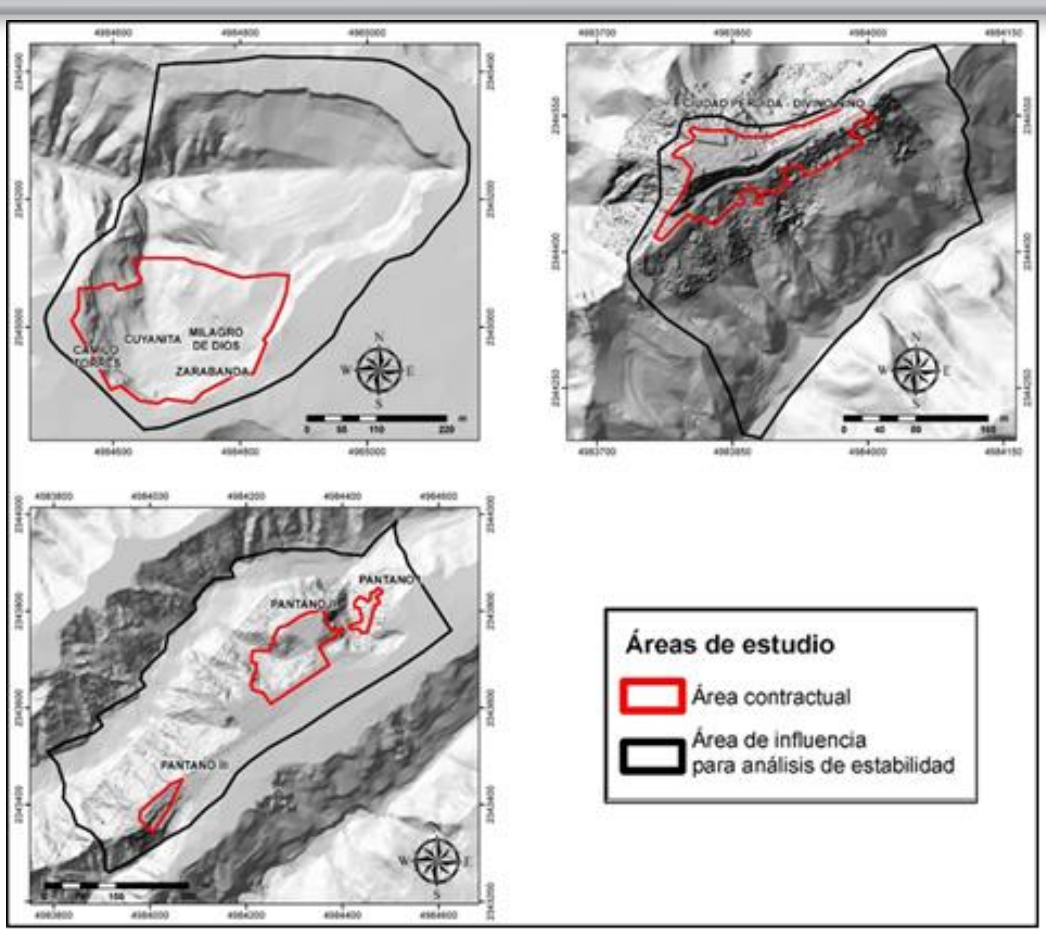


Figura 3.55 Modelo de sombras para los polígonos que conforman el área de estudio de las comunas 4 y 5
El esquema se encuentra en el sistema de coordenadas del origen único nacional CTM12

<u>Morfometría</u>

Trata de aspectos cuantitativos en términos de medidas de longitud, área, forma y pendiente. También se incluye la comparación según la relación geométrica entre las diferentes posiciones espaciales (SGC, 2012).

Para la caracterización de las geoformas presentes en el área de estudio, se analizaron dos elementos morfométricos del terreno: la pendiente y la orientación o aspecto de la ladera.

- *<u>Pendiente del Terreno</u>*
  Es el ángulo que forma una ladera o terreno respecto a un plano horizontal. La inclinación de la ladera está relacionada con el tipo de material que conforma la unidad morfológica y con la susceptibilidad de dicha unidad a presentar movimientos en masa.
  Para analizar este parámetro morfométrico, se generó el modelo de pendientes del terreno (Figura 3.56 a Figura 3.58).

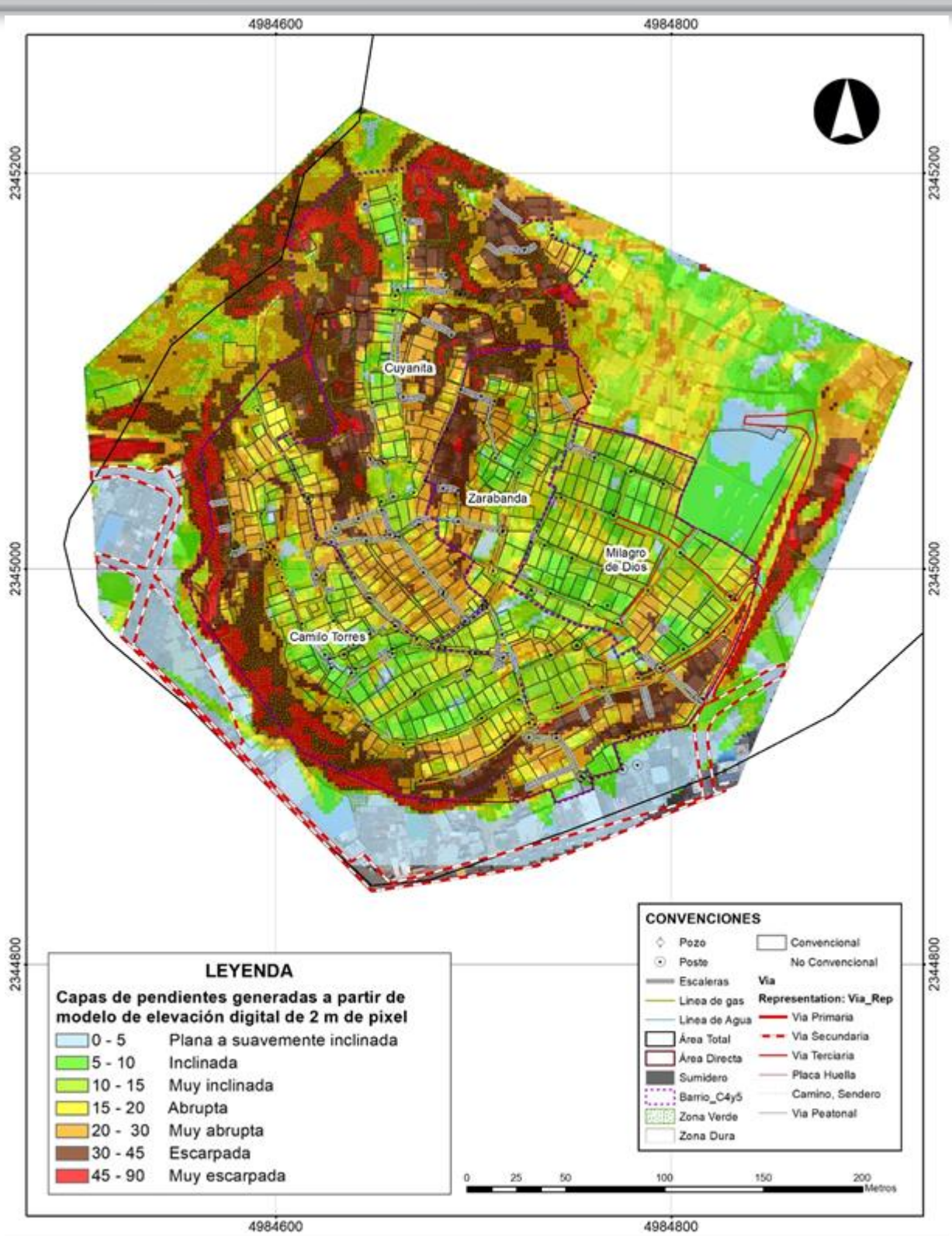


Figura 3.56 Modelo de pendientes del terreno para la zona de Comuna 4 reclasificado en las 7 categorías propuestas por Carvajal (2012)

El esquema se encuentra en el sistema de coordenadas del origen único nacional CTM12

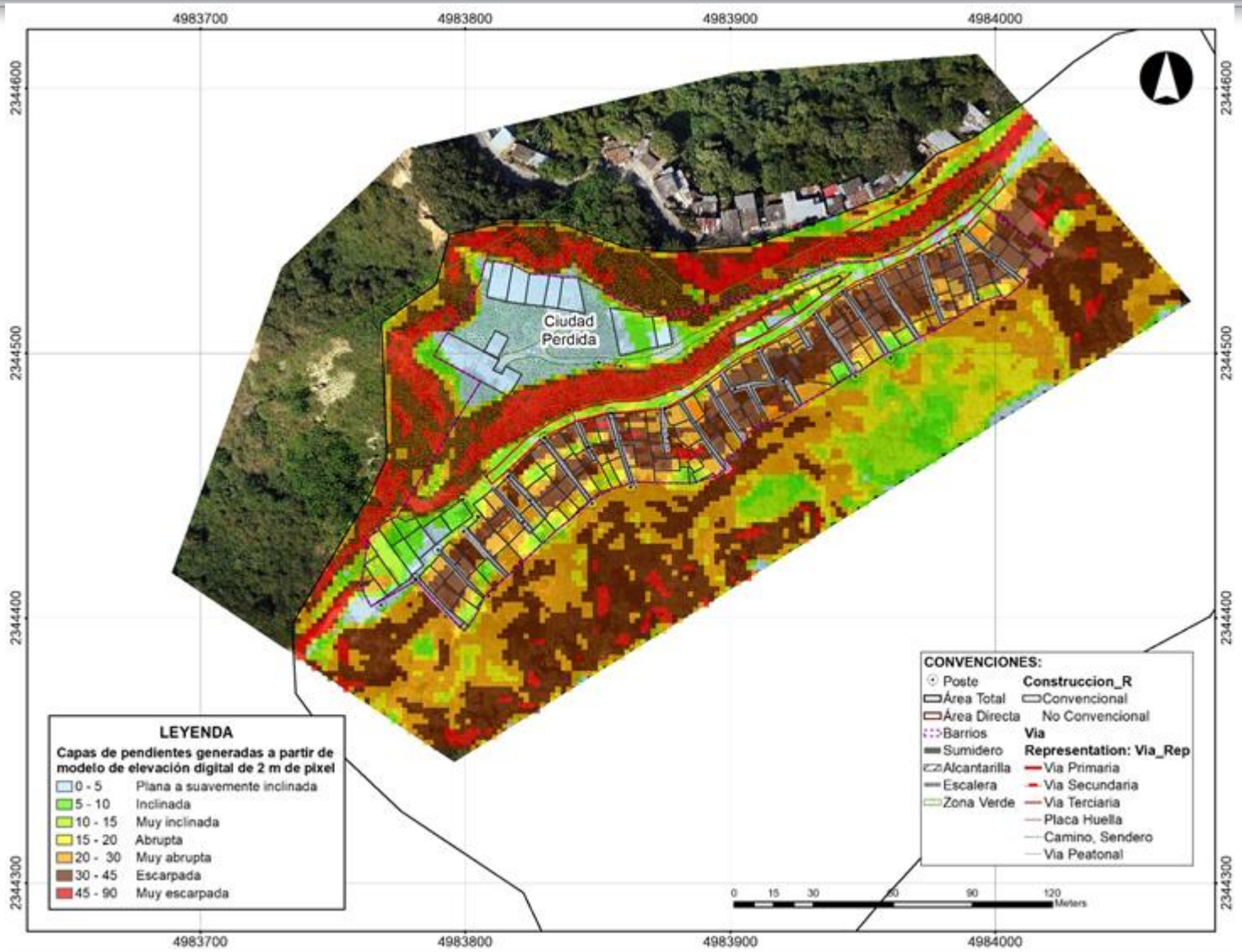


Figura 3.57 Modelo de pendientes del terreno para la zona de Ciudad Perdida reclasificado en las 7 categorías propuestas por Carvajal (2012)

El esquema se encuentra en el sistema de coordenadas del origen único nacional CTM12

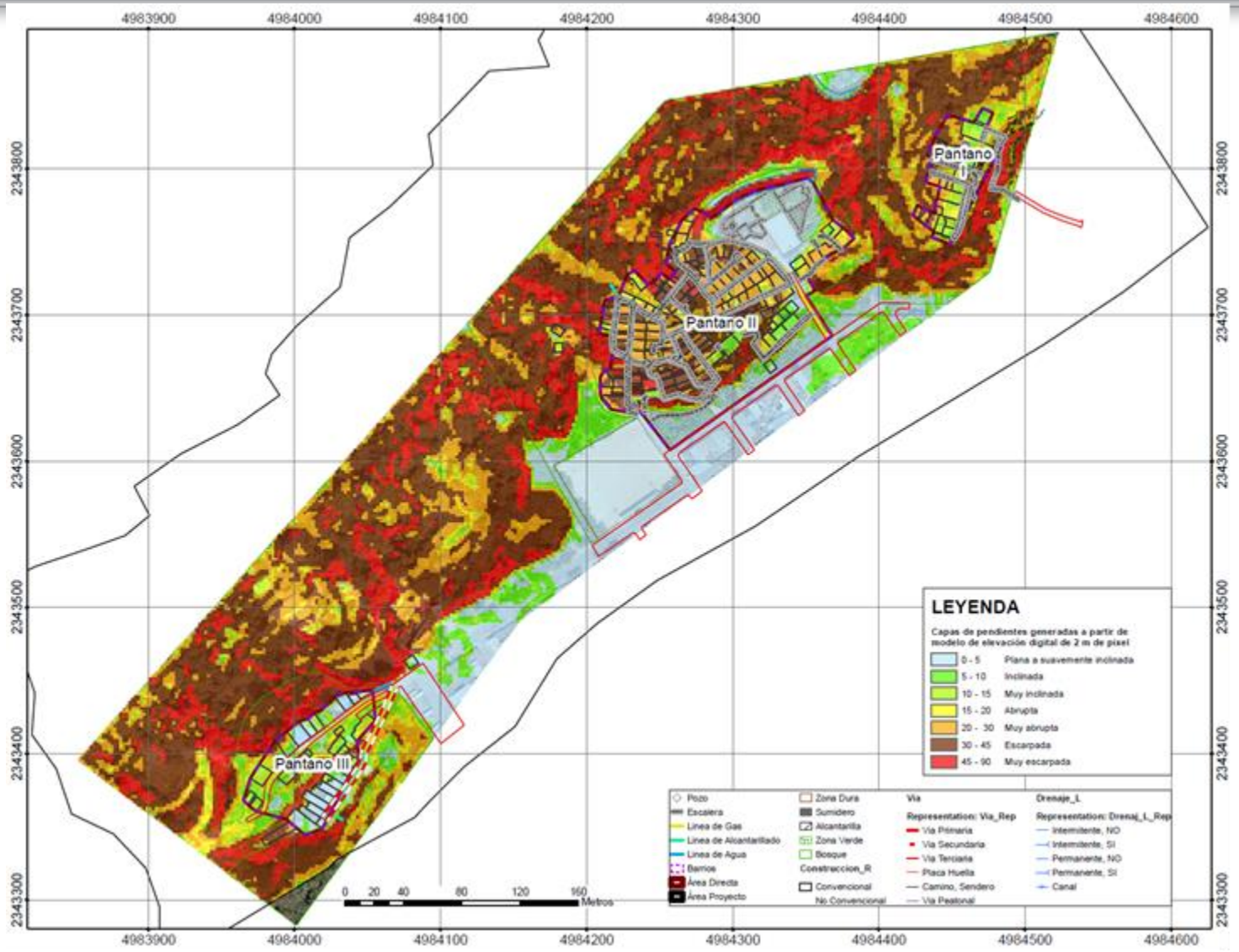


Figura 3.58 Modelo de pendientes del terreno para la zona de Pantanos reclasificado en las 7 categorías propuestas por Carvajal (2012)

El esquema se encuentra en el sistema de coordenadas del origen único nacional CTM12

A partir del modelo de pendientes, se logró identificar e inferir lo siguiente:

- Las pendientes escarpadas y muy escarpadas que delimitan la zona plana del abanico conocida popularmente en el pasado como "Terraza o Meseta de Bucaramanga", evidencian que los procesos de erosión remontante de los drenajes, han modelado el paisaje profundizando en algunos casos los valles con formas en V.

- Se identificaron zonas donde se dan cambios de pendiente marcados, caracterizados por escarpes sub-verticales y laderas muy abruptas a escarpadas de morfologías semicirculares a irregulares, en cuya parte inferior se encuentran áreas con pendiente inclinadas a muy inclinadas, con morfologías lobuladas y de morfología convexa, que en algunos casos evidencian la presencia de antiguos depósitos de coluvión por movimientos en masa.

➢ *Orientación de Ladera*

Como su nombre lo indica, representa las diferentes direcciones (asociadas a los puntos cardinales) en las que se encuentran orientadas las laderas, cuyos límites están dados por divisorias de agua y por los drenajes.

En la generación de esta variable geométrica se utilizó la herramienta aspect de ArcMap a partir del modelo de elevación digital, el cual identifica la dirección de la pendiente descendente. Los valores de cada celda del ráster de salida indican la dirección es decir a modo de brújula a la que apunta la superficie en ese punto en el espacio. Se mide en el sentido de las agujas del reloj en grados de 0 (hacia el norte) a 360 (hacia el norte, nuevamente), formando un círculo completo. Las áreas planas que no tienen dirección de pendiente descendente tienen un valor de -1 (ESRI, 2022) (Figura 3.59).

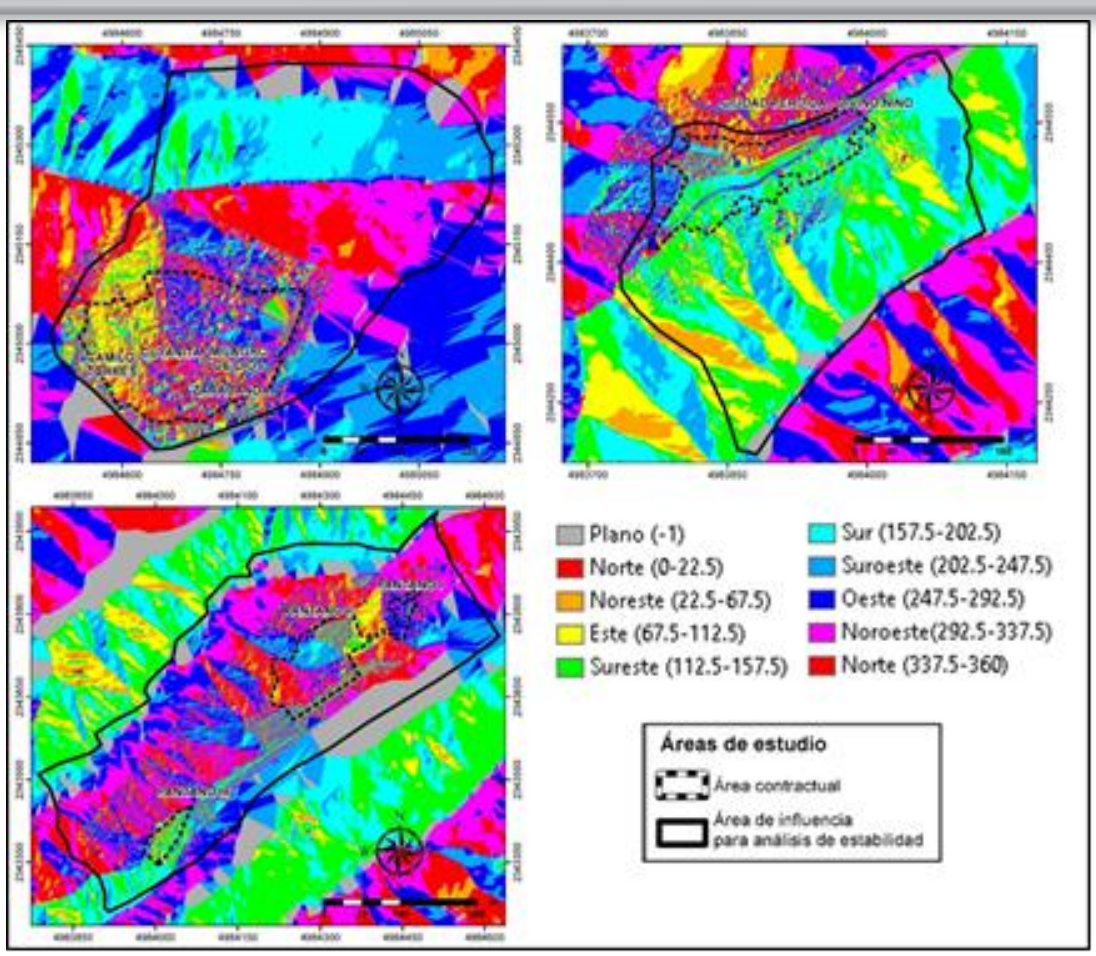


Figura 3.59 Modelo de aspecto u orientación de ladera para el área de estudio
El esquema se encuentra en el sistema de coordenadas del origen único nacional CTM12

Morfogénesis

Estudia el origen de las formas del terreno, es decir, las causas y procesos que dieron lugar a la forma del paisaje actual. El origen del paisaje depende de los procesos endogenéticos y la modificación de los agentes exogenéticos (agua, viento, hielo), que actúan sobre la superficie terrestre en diferentes proporciones e intensidades, y durante intervalos de tiempos geológicos (SGC, 2013).

Como referentes para el área de estudio, se encontraron documentos que relacionan las unidades geomorfológicas de Ingeominas (2001) y elementos geomorfológicos de Ingeominas (2007). En esta información se identificó la relevancia a los procesos denudacionales como agentes modeladores del paisaje en la actualidad, que son congruentes con la información generada en el presente proyecto y que se relacionan en la Figura 3.60, Figura 3.61, Figura 3.62 donde se presentan los esquemas de mapas de elementos geomorfológicos de los tres polígonos que conforman el área de estudio.

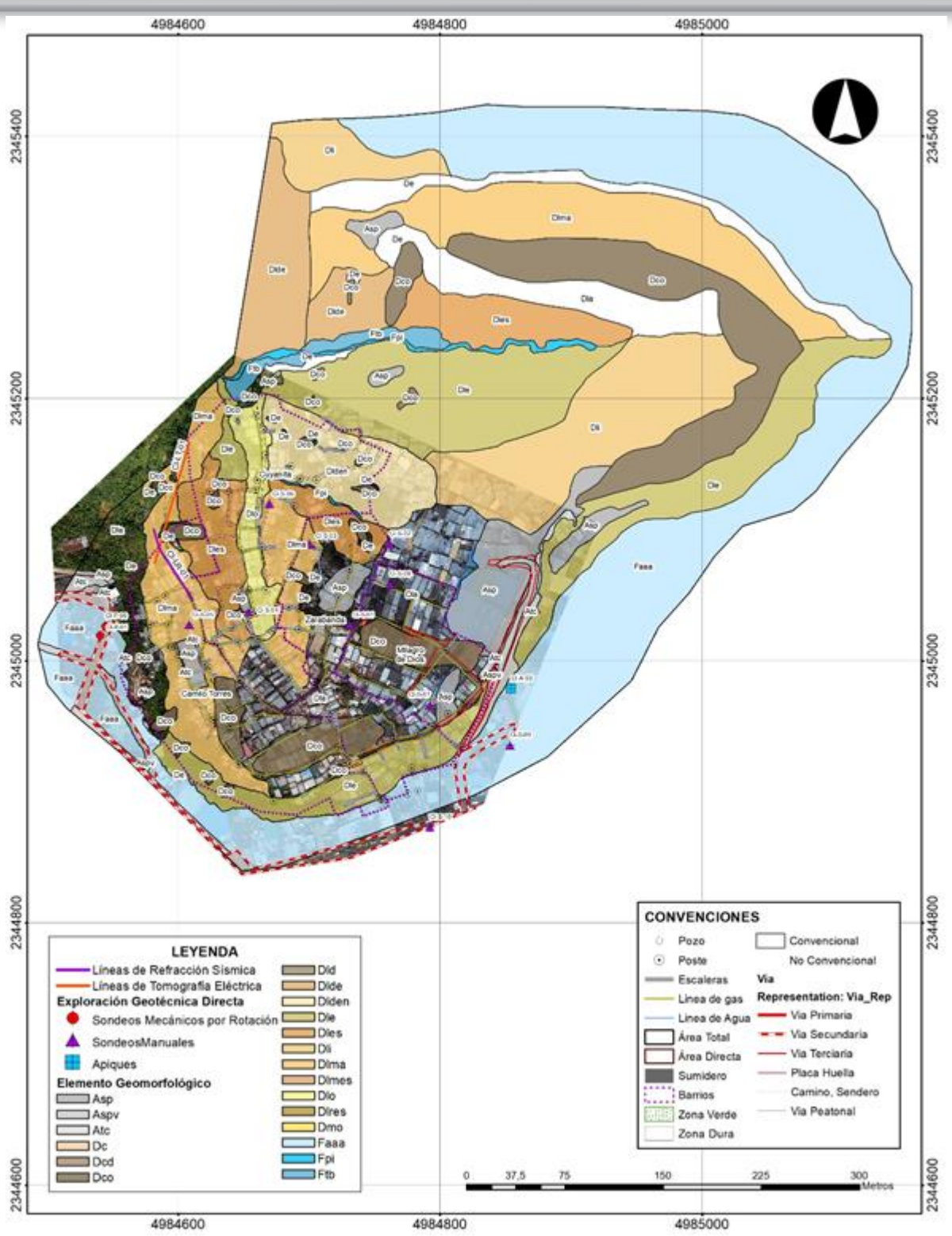


Figura 3.60 Esquema del mapa de elementos geomorfológicos para la comuna 4, barrios Zarabanda, Camilo Torres, Milagro de Dios y Cuyanita

El esquema se encuentra en el sistema de coordenadas del origen único nacional CTM12

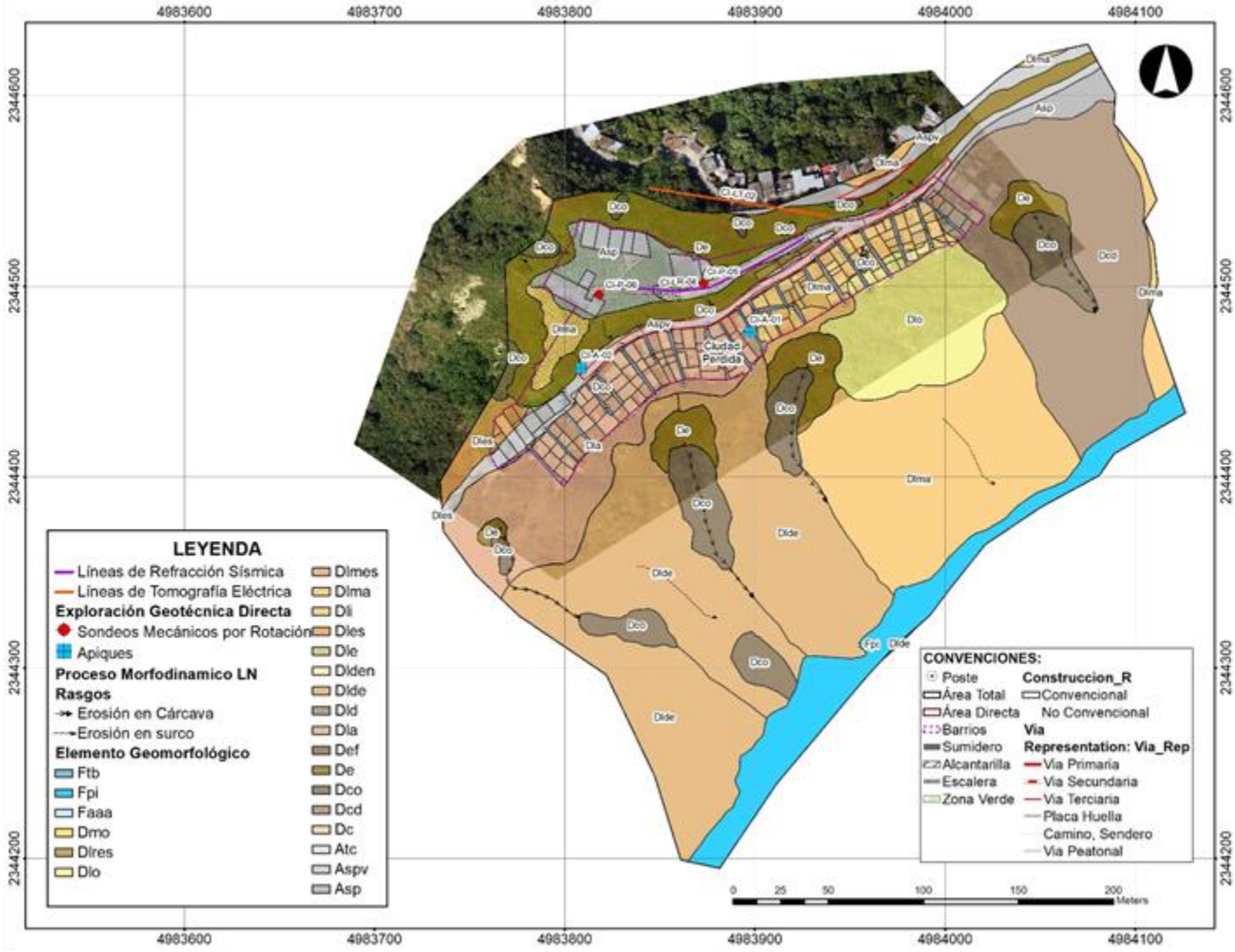


Figura 3.61 Esquema del mapa de elementos geomorfológicos en el barrio Ciudad perdida (Divino Niño) de la comuna 4

El esquema se encuentra en el sistema de coordenadas del origen único nacional CTM12

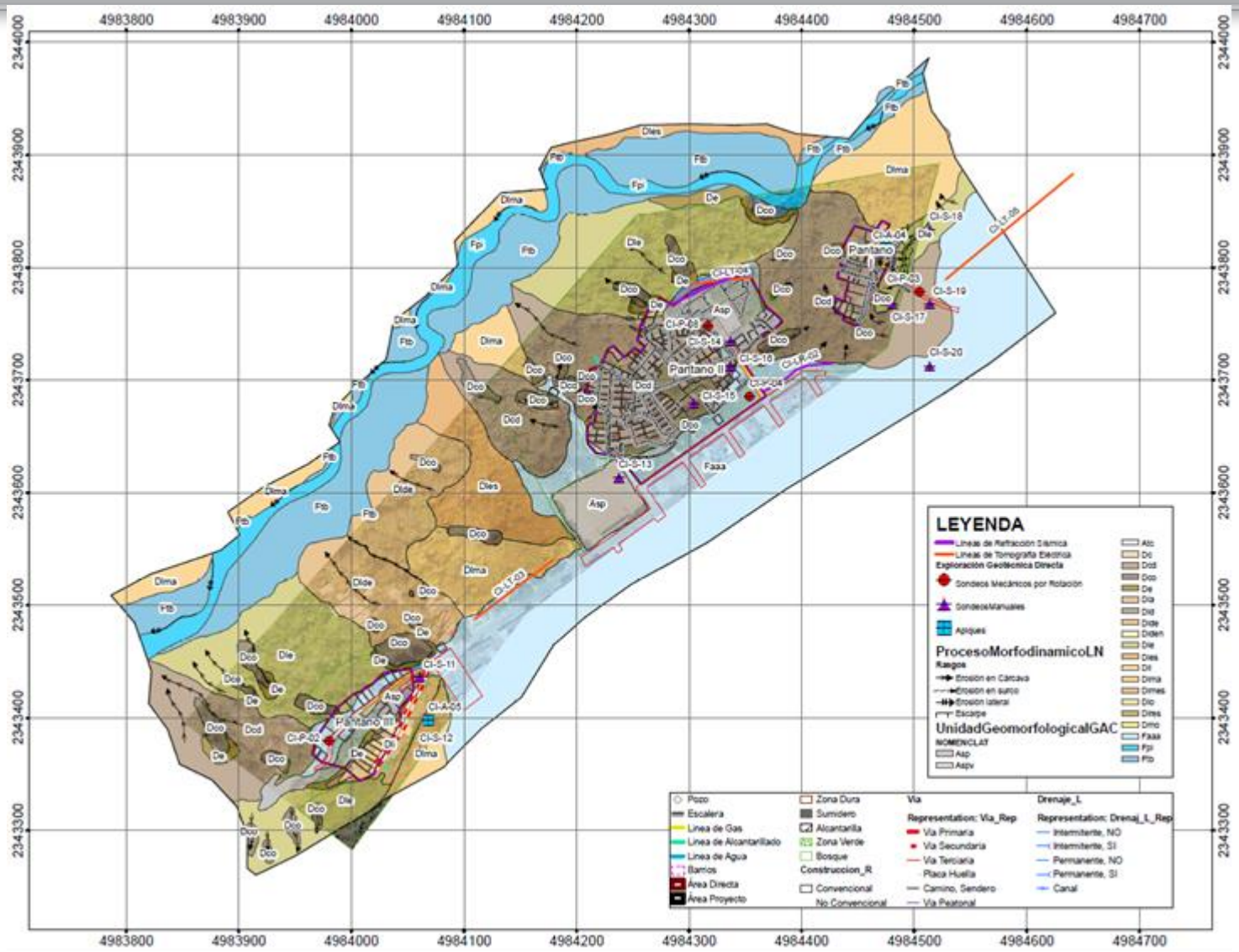


Figura 3.62 Esquema del mapa de elementos geomorfológicos para la comuna 5, barrios Pantano I, Pantano II y Pantano III

El esquema se encuentra en el sistema de coordenadas del origen único nacional CTM12

Es así como en el área de estudio se encontraron 17 elementos geomorfológicos con predominio del ambiente denudacional con una ocupación de 39,61 ha (66,13%), seguido por el ambiente fluvial que abarca 16,90 ha (28,22%) y finalmente el ambiente antropogénico con una ocupación de 3,38 ha (5,65%). En la Figura 3.63 se muestra la distribución porcentual del área de ocupación de cada ambiente geomorfológico en la zona de estudio.

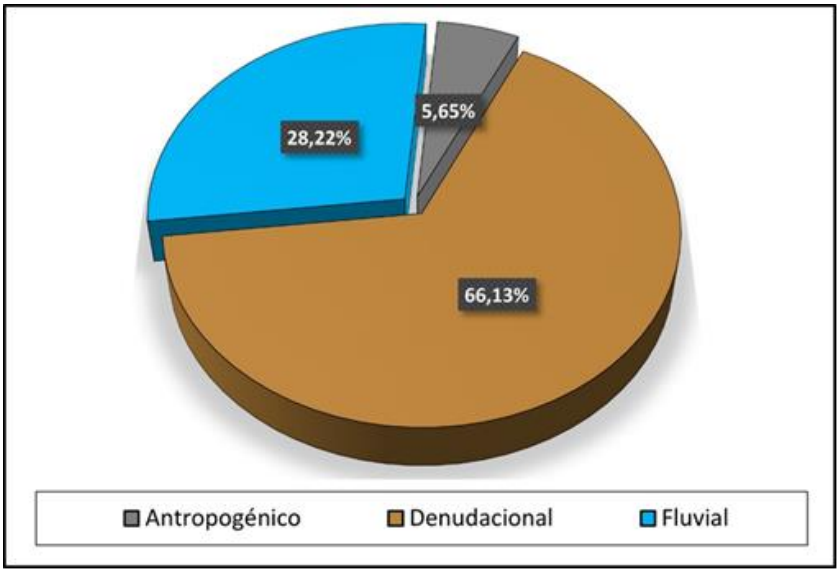


Figura 3.63 Distribución porcentual de las áreas de ocupación por cada ambiente geomorfológico en la zona de estudio

Asimismo, se realizó una identificación de geoformas asociadas a movimientos en masa de los cuales las que más presentan movimientos en masa son ladera erosiva con 7 procesos (3 MM tipo caída y 4 deslizamientos), escarpe con 7 MM (3 caídas y 4 deslizamientos), seguido de ladera denudada que comprende 4 procesos (1 caída y 3 deslizamiento), todas definidas dentro del ambiente denudacional.

- *Geoformas de Origen Denudacional (D)*

  Se cartografiaron en total 11 geoformas del ambiente denudacional, las cuales ocupan en total 39,61 ha, es decir, el 66,13% del área de estudio. En la Tabla 3.4 se presenta el área de ocupación de cada elemento geomorfológico cartografiado en este ambiente. Como se puede ver, las geoformas que tienen mayor presencia dentro de los polígonos de estudio corresponden a Ladera muy abrupta (Dlma) que ocupa 6,94 ha, seguida por Ladera erosiva (Dle) con 6,69 ha, Cuenca denudada (Dcd) con una ocupación de 5,96 ha, Lomo denudado (Dlde) con 4,50 ha y Coluvión (Dco) con 3,63 ha.

Tabla 3.4 Área de ocupación de cada una de las geoformas cartografiadas del ambiente denudacional

SUBUNIDAD	CÓDIGO DEL EGMF	NOMBRE DEL EGMF	ÁREA (HA)	ÁREA (%)
Escarpe de abanico aluvial (Fea)	Dcd	Cuenca denudada	5,96	15,05
Cono o lóbulo coluvial y de solifluxión (Dco)	Dco	Coluvión	3,63	9,18
Escarpe de erosión menor (Deeme)	De	Escarpe	2,33	5,88

Escarpe de abanico aluvial (Fea)	Dla	Ladera abrupta	3,44	8,69
Escarpe de abanico aluvial (Fea)	Dlde	Lomo denudado	4,50	11,36
Escarpe de erosión mayor (Deem)	Dlden	Ladera denudada	0,69	1,75
Escarpe de erosión mayor (Deem)	Dle	Ladera erosiva	6,69	16,88
Abanico aluvial (Faa)	Dles	Ladera escarpada	2,31	5,84
	Dli	Ladera inclinada	2,22	5,60
	Dlma	Ladera muy abrupta	6,94	17,51
	Dlo	Ladera ondulada	0,89	2,25
		TOTAL	39,61	100,00

- *Cuenca Denudada (Dcd)*

  Depresión cerrada conformada por laderas de longitud variable y pendientes abruptas a escarpadas (15° a 45°), de formas cóncavas a rectas limitada por zonas muy escarpadas pertenecientes a divisorias de agua con forma semicircular a elipsoidal. Presentan un desarrollo de drenaje subdendrítico, con formación de valles en "V" además de asociarse a procesos de erosión remontante o regresión del abanico de Bucaramanga.

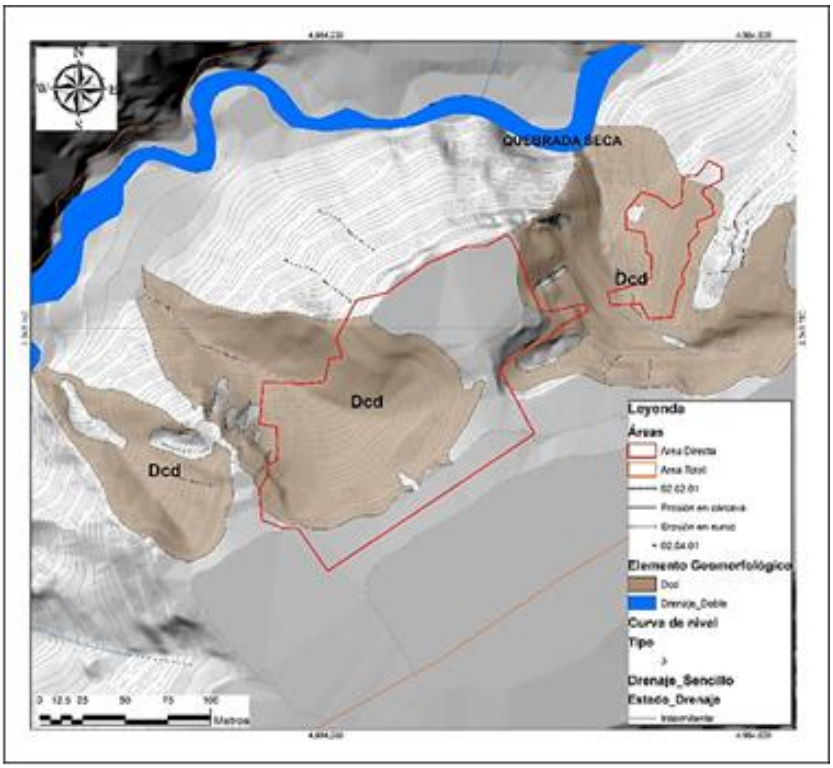


Figura 3.64 Cuenca denudada (Dcd)

Ubicación cuenca denudada en polígono sur de los barrios Pantano 1, 2 y 3, se encuentra en el sistema de coordenadas del origen único nacional CTM12

- *Coluvión (Dco)*

Está conformada por materiales no consolidados producto de movimientos antiguos o también por movimientos en masa reactivados o recientes. Se localiza con frecuencia, en la base de escarpes, laderas muy abruptas a escarpadas, sobre la margen izquierda de la quebrada Seca en los sectores de Pantano 1, 2 y 3, así mismo en la margen derecha de la quebrada Cuyamita en Ciudad Perdida (Divino Niño) y en la margen izquierda de la quebrada Argelia o Cantera en la comuna 4. Por su naturaleza, esta geoforma es propensa a reactivarse y generar inestabilidad del terreno, principalmente asociada a movimientos en masa de tipo deslizamiento y caídas, por la alta sensibilidad del material a los cambios de humedad, tiende a desarrollar procesos de erosión en surcos y cárcavas.

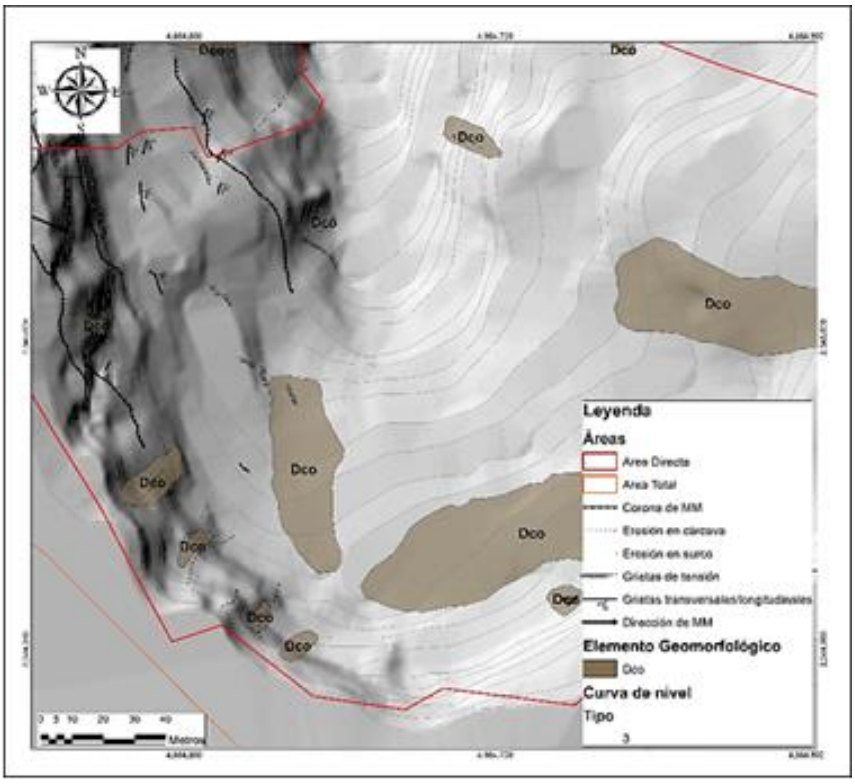


Figura 3.65 Coluvión (Dco)

Ubicación coluvión en polígono norte de los barrios Zarabanda, Cuyanita, Camilo Torres, Milagro de Dios, se encuentra en el sistema de coordenadas del origen único nacional CTM12

- *Escarpe (De)*

Geoforma inclinada, de altura variable entre 5 m y 20 m, relativamente alargada, lateralmente con longitudes entre 6 m y 50 m, sinuosa o semicircular, de morfología recta a cóncava y en algunos casos irregulares. Presenta pendientes que predominan entre escarpadas y muy escarpadas (> o igual a 45°). Según las características del material es susceptible a presentar movimientos en masa tipo caída y deslizamientos con agrietamientos longitudinales o transversales; además presenta procesos de erosión intensa en surco y cárcava. Se distribuye en todos los sectores del área de estudio, principalmente en las márgenes de las quebradas Argelia, Seca y Cuyamita en las comunas 4 y 5 de Bucaramanga sobre la escarpa occidental.

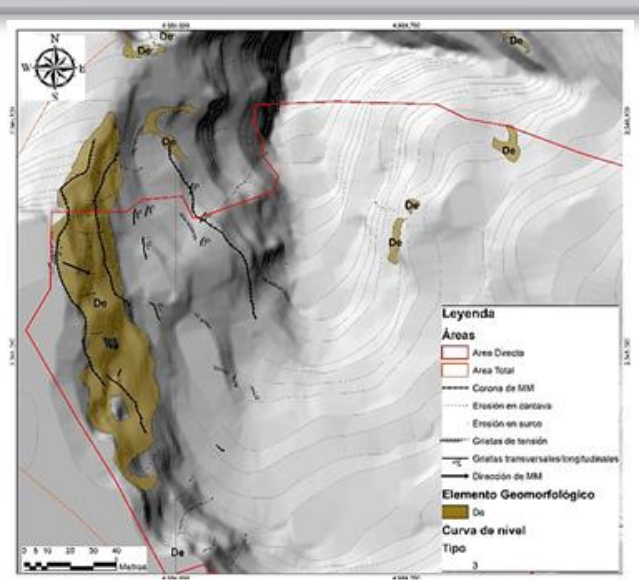


Figura 3.66 Escarpe (De)

Ubicación escarpes en polígono norte de los barrios Zarabanda, Cuyanita, Camilo Torres, Milagro de Dios, en el sistema de coordenadas del origen único nacional CTM12

- *Ladera Abrupta (Dla)*

  Corresponde a una superficie en declive con forma cóncava, convexa y eventualmente recta, de longitud menor a 200 metros, con pendientes abruptas principalmente (16° a 20°). Su origen se relaciona a procesos denudativos intensos sobre unidades de suelo asociada al miembro Órganos, está influenciada por la presencia de procesos erosivos en surcos, y antiguos movimientos en masa, esta geoforma es propensa a desarrollar movimientos en masa tipo deslizamiento traslacional y caídas, se localizó en las márgenes de la quebrada Argelia sobre la comuna 4.

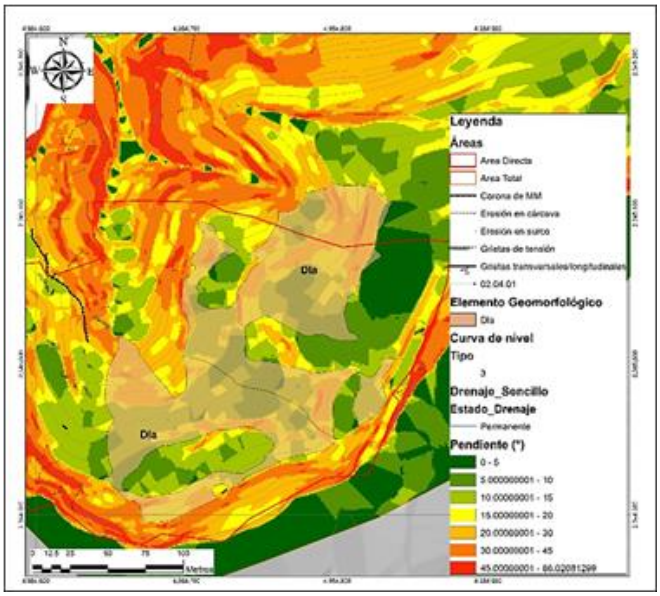


Figura 3.67 Ladera abrupta (Dla)

Ubicación laderas abruptas de los barrios Cuyanita, Milagro de Dios, en el sistema de coordenadas del origen único nacional CTM12

- *Lomo Denudado (Dlde)*

  Prominencia o conjunto de prominencias que sobresalen de la topografía circundante con altura entre 60 m y 150 m, morfología alomada, de forma alargada en dirección perpendicular al drenaje principal, cuyo eje presenta longitudes entre 100 m a 160 m. Se encuentra limitada por laderas de longitud corta (50 a 200 m), de pendientes muy abruptas (20° a 30°) a muy escarpadas (>45°), de formas cóncavas a irregulares

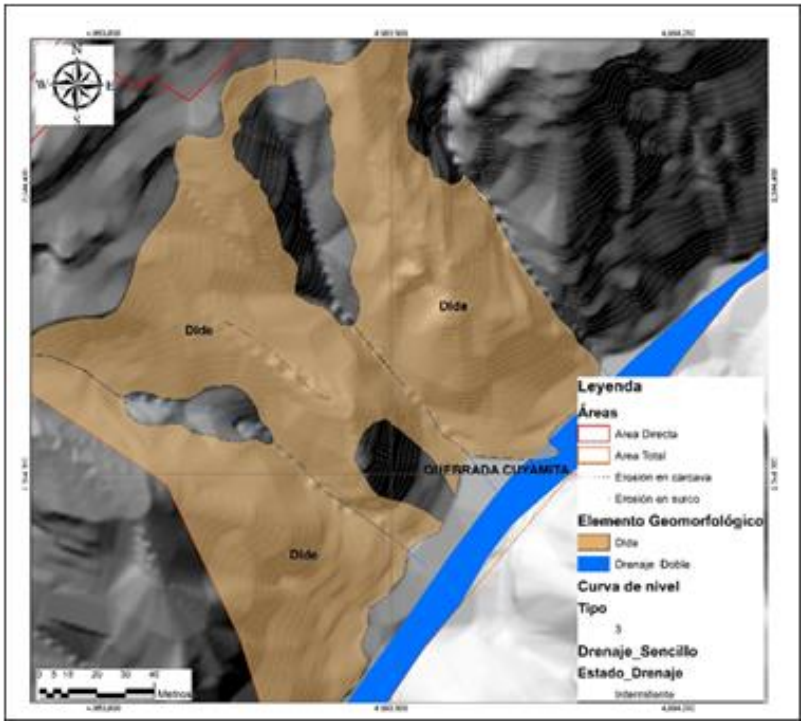


Figura 3.68 Lomo denudado (Dlde)

Lomos denudados en margen derecha quebrada Cuyamita, sector de Ciudad perdida, esquema en sistema de coordenadas del origen único nacional CTM12

- *Ladera denudada (Dlden)*

  Superficie en declive de pendientes inclinadas a muy abruptas (11° - 30°), con longitud variable menor a 140 m, con patrón de drenaje subparalelo. La geoforma genéticamente corresponde a zonas inestables que presentan o han presentado movimientos en masa que da lugar a variabilidad en la forma de la ladera. Se relaciona predominantemente con suelos asociados al miembro Órganos.

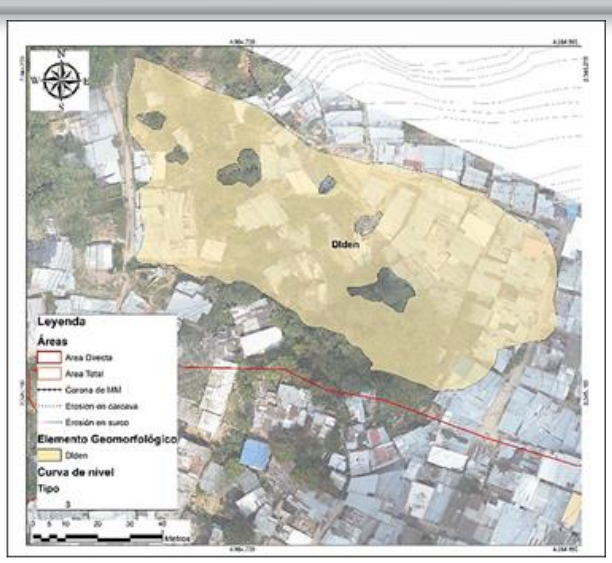


Figura 3.69 Ladera denudada (Dlden)

Ladera denudada en margen derecha drenaje afluente de la quebrada Argelia, sector de Cuyanita en sistema de coordenadas del origen único nacional CTM12

- *Ladera Erosiva (Dle)*

  Superficie en declive generada por procesos denudativos intensos que originan laderas de pendientes promedio muy inclinadas a abruptas (11° a 30°), de forma recta, cóncava y convexa con patrón de drenaje subparalelo. Presenta procesos de erosión intensa como surcos y cárcava, evidenció la ocurrencia de movimientos en masa generalmente de tipo traslacional; desde el punto de vista litológico comprende unidades de suelo de los miembros Órganos y Finos, está localizada sobre la margen izquierda de las quebradas Argelia y Seca en las comunas 4 y 5.

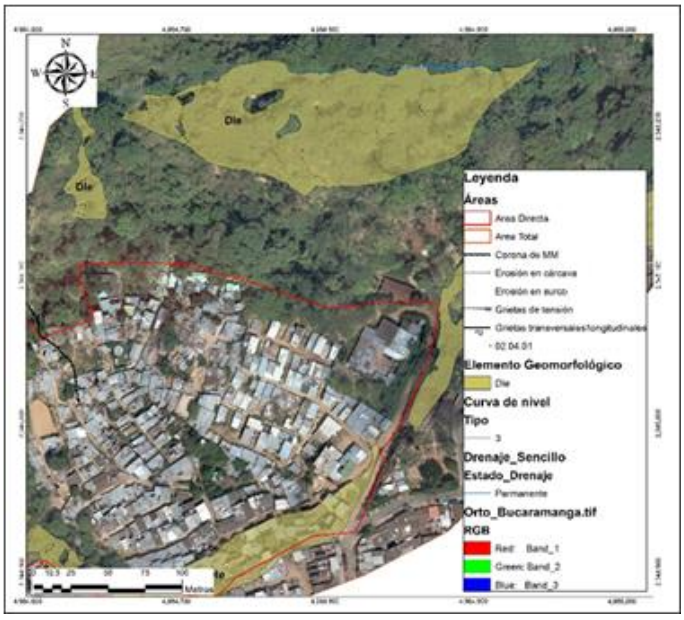


Figura 3.70 Ladera erosiva (Dle)

Ladera erosiva afectada por procesos de erosión en surco y cárcava, barrios Cuyanita y Milagro de Dios, representado en sistema de coordenadas del origen único nacional CTM12

- *Ladera Escarpada (Dles)*

  Superficie natural del terreno de pendientes escarpadas (31° a 45°), formas irregulares que comprenden laderas de longitud menor a 200 metros, abarcan zonas de inicio de movimientos en masa debido a su alta pendiente y se encuentran disectadas debido a la baja competencia de los materiales que la componen suelos transportados de los miembros Órganos y Finos, además están afectadas por erosión en surco. Se identificó sobre las márgenes de la quebrada Argelia y margen derecha de la quebrada Seca.

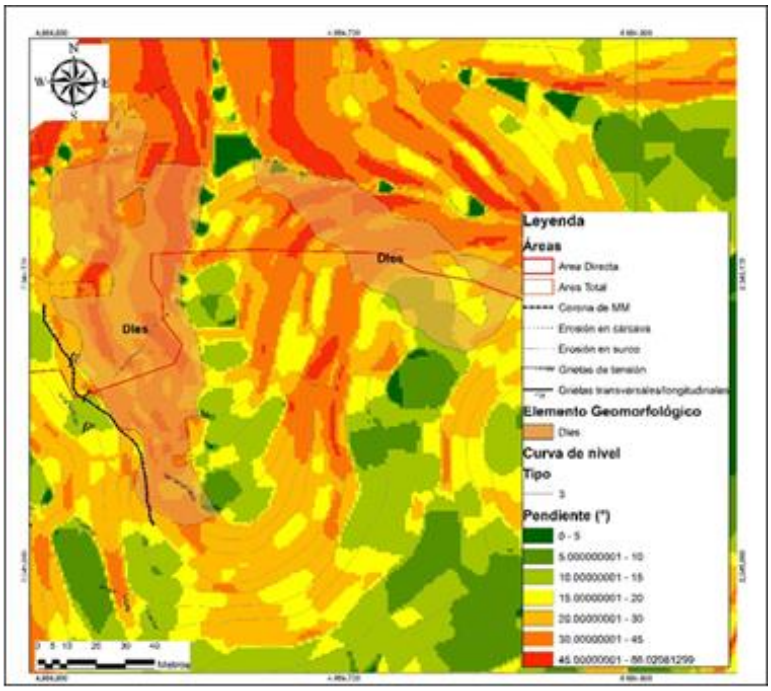


Figura 3.71 Ladera escarpada (Dles)

Ladera escarpada sobre margen izquierda de quebrada Argelia y su afluente, sector de Cuyanita. Se presenta en sistema de coordenadas del origen único nacional CTM12

- *Ladera Inclinada (Dli)*

  Unidad de ladera en declive de pendientes inclinadas (<10°), con longitud variable menor a 80 m, con patrón de drenaje subparalelo a subdendrítico. Su origen se relaciona a procesos denudativos intensos sobre unidades de suelo asociada a los miembros Finos y Gravoso, puede presentar procesos erosivos en surcos. Se localiza sobre la margen derecha de la quebrada Argelia en límites de Cuyanita con Villas de Girardot, margen derecha drenaje intermitente afluente a la quebrada La Joya en Pantano 3.

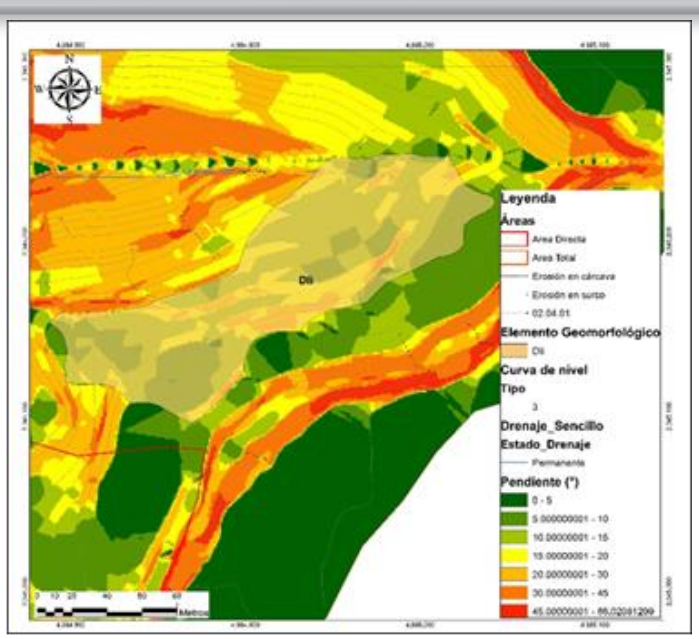


Figura 3.72 Ladera inclinada (Dli)

Ladera inclinada sobre la margen izquierda de la quebrada Argelia en el sector del barrio Cuyanita, se representa en sistema de coordenadas del origen único nacional CTM12

- *Ladera muy abrupta (Dlma)*

  Geoforma en declive de longitud entre 50 y 150 metros medida en dirección en la que disminuye la pendiente, con forma cóncava a convexa y eventualmente recta, de pendientes abruptas a muy abruptas (16° a 30°). Originada por procesos de erosión intensa y meteorización de los materiales asociados a miembros Finos y Órganos de la Formación Bucaramanga. Presenta procesos morfodinámicos de tipo erosión en surco y cárcava.

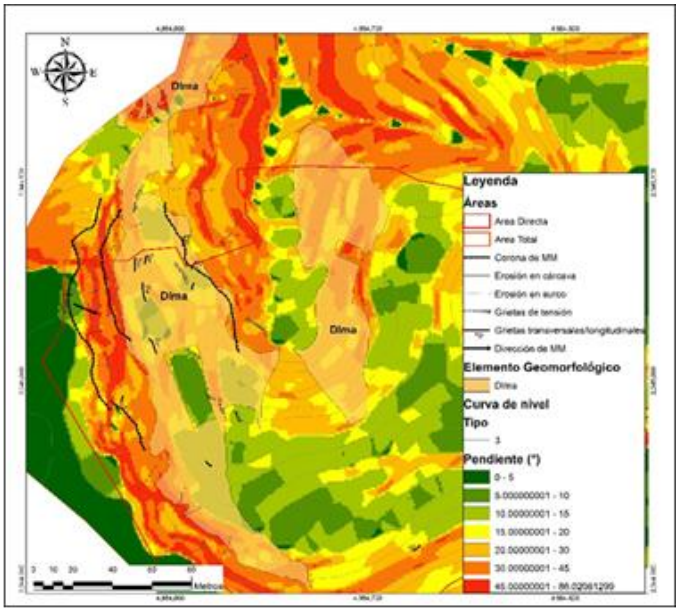


Figura 3.73 Ladera muy abrupta (Dlma)

Ladera muy abrupta sobre márgenes de drenajes afluentes a quebrada Argelia, en sector de Cuyanita. Se representa en sistema de coordenadas del origen único nacional CTM12

- *Ladera Ondulada (Dlo)*

  Superficie en declive con pendientes desde inclinadas a abruptas (5° a 20°), de morfología alomada, con ondulaciones suaves sin mostrar contrastes drásticos en la pendiente o veces de forma relativamente recta, de longitudes que varían principalmente entre 60 m y 180 m. En vista de planta presenta formas irregulares a alargadas. Se desarrolla sobre suelos transportados de los miembros Finos y Órganos principalmente

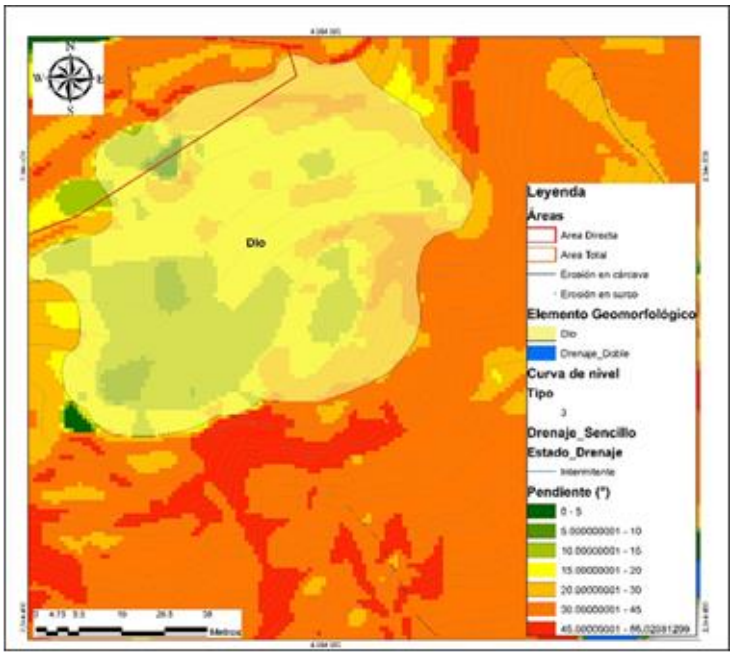


Figura 3.74 Ladera ondulada (Dlo)

Ladera ondulada con ocasional intervención antrópica, sobre laderas inferiores al barrio Ciudad Perdida (Divino Niño). Se representa en sistema de coordenadas del origen único nacional CTM12

- *Geoformas de Origen Fluvial (F)*

  Se cartografiaron un total de 3 geoformas de este ambiente, las cuales ocupan un total de 16,90 ha, que equivale al 28,22% del área de estudio. En la Tabla 3.5 se presenta el área ocupada por cada elemento geomorfológico, donde se destaca la geoforma Abanico aluvial antiguo (Faaa) por ser la que ocupa la mayor área dentro de este ambiente con 11,80 ha y corresponde a la superficie plana del Abanico de Bucaramanga que se localiza en las partes más altas de la zona donde aún no se ha desarrollado la erosión regresiva (remontante). Las demás geoformas ocupan áreas menores y se asocian a la dinámica fluvial reciente de algunos drenajes como las quebradas Seca, Cuyamita y Argelia.

Tabla 3.5 Área de ocupación de cada una de las geoformas cartografiadas del ambiente fluvial

SUBUNIDAD	CÓDIGO DEL EGMF	NOMBRE DEL EGMF	ÁREA (HA)	ÁREA (%)
Abanico aluvial (Faa)	Faaa	Abanico aluvial antiguo	11,80	69,80
Cauce aluvial (Fca)	Fpi	Plano o llanura de inundación	1,76	10,38
Terraza de acumulación (Fta)	Ftb	Terraza aluvial baja	3,35	19,82
		TOTAL	16,90	100,00

- *Abanico Aluvial Antiguo (Faaa)*

  Se caracteriza por conformar laderas convexas de morfología suave a ondulada, con pendientes suavemente inclinadas a inclinadas (<10°) cerca de los ápices de los abanicos, las cuales pueden estar o no limitadas por escarpes de hasta 200 m. Su extensión puede alcanzar desde centenares de metros hasta 1 km de largo y de ancho. En general, presenta procesos de erosión tipo surcos y eventualmente por saturación del material, puede desarrollar deslizamientos. Se localiza en la parte alta de la comuna 4 entre límites de los barrios Cuyanita y La Feria, además sobre parte alta de los Pantanos 1,2 y 3.

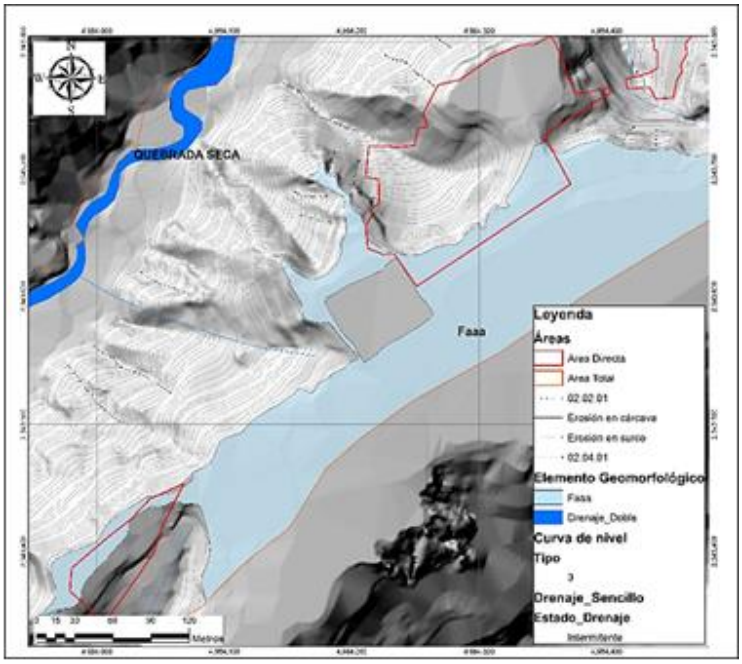


Figura 3.75 Abanico aluvial antiguo (Faaa)

Zonas asociadas a la superficie del abanico aluvial antiguo, sectores intervenidos antrópicamente, sobre laderas superiores de la margen derecha quebrada Seca, Pantanos 2 y 3. Se representa en sistema de coordenadas del origen único nacional CTM12

- *Plano o Llanura de Inundación (Fpi)*

  Superficie de morfología plana a ondulada, con inclinaciones menores a 5°, que presenta evidencias de inundación en el pasado y es eventualmente inundable. Se localiza bordeando los cauces activos, en general predominan y se presentan como superficies estrechas (< 80 m), alargadas y poco profundas, asociadas a las quebradas Argelia, Caño Picho y Seca principalmente.

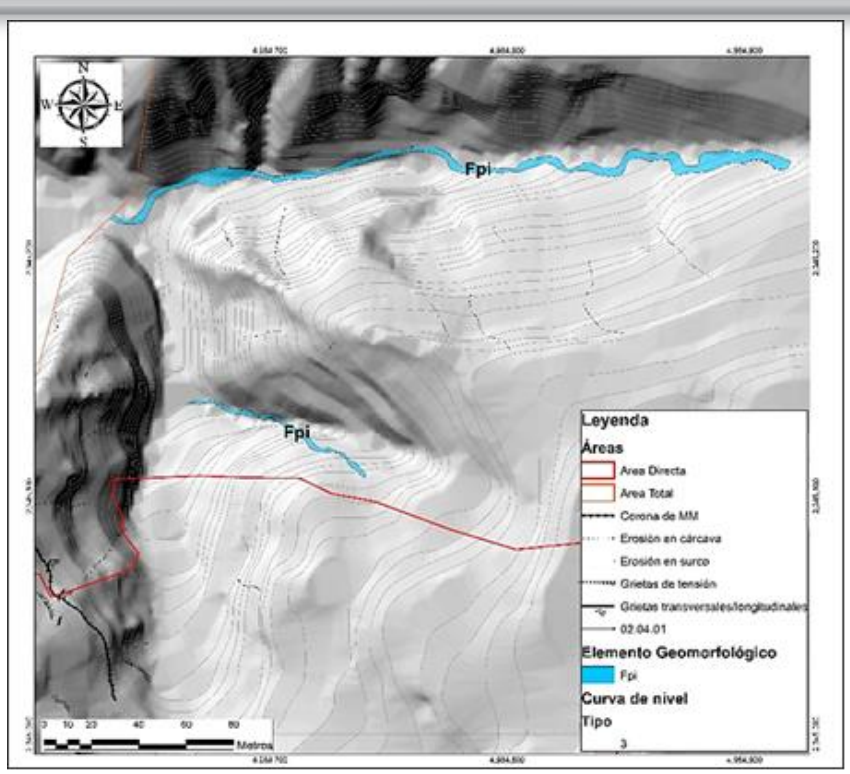


Figura 3.76 Plano o llanura de inundación (Fpi)

Llanuras de inundación en la quebrada Argelia y drenaje afluente en el sector de Cuyanita, se presenta en sistema de coordenadas del origen único nacional CTM12

- *Terraza Aluvial Baja (Ftb)*

  Superficie elongada, con pendiente plana a suavemente inclinada (0° a 5°), de morfología ondulada y aterrazada, modelada sobre sedimentos aluviales, que puede presentarse en forma pareada, es decir, en ambas márgenes de los drenajes. Su origen está relacionado a procesos de erosión y acumulación aluvial, dentro de antiguas llanuras de inundación

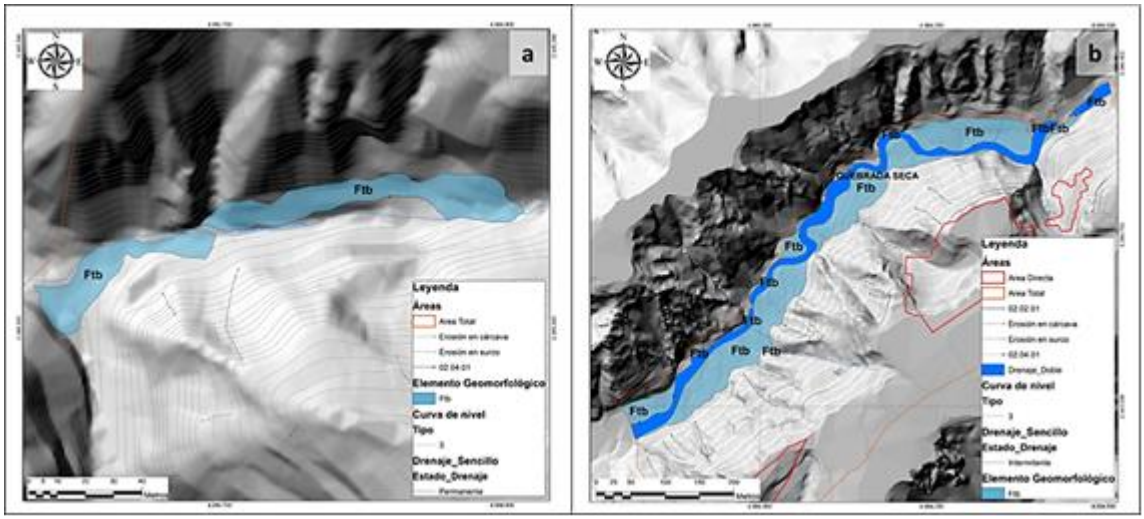


Figura 3.77 Terraza aluvial baja (Ftb)

Zonas de terrazas bajas (a) en ambas márgenes de la quebrada Argelia sobre barrio Cuyanita, (b) depósitos de terraza sobre márgenes de la quebrada Seca, el esquema se generó en sistema de coordenadas del origen único nacional CTM12

- *Geoformas de Origen Antropogénico (A)*

  De este ambiente se cartografiaron en total 3 geoformas que ocupan 3,38 ha, equivalentes al 5,65% del área de estudio. En la Tabla 3.6 se presenta el área de ocupación de cada elemento geomorfológico, en donde se observa un claro predominio de la geoforma Superficie de explanación (Asp) que ocupa 2,44 ha y deja en evidencia la intervención antrópica, que es común en la zona para efectos de construcción de viviendas.

Tabla 3.6 Área de ocupación de cada una de las geoformas cartografiadas del ambiente antropogénico

SUBUNIDAD	CÓDIGO DEL EGMF	NOMBRE DEL EGMF	ÁREA (HA)	ÁREA (%)
Ladera explanada (Ale)	Asp	Superficie de explanación	2,44	72,02
	Aspv	Superficie de explanación vial	0,80	23,51
	Atc	Talud de corte	0,15	4,47
		TOTAL	3,38	100,00

- *Superficie de Explanación (Asp)*

  Elemento que tiene su origen en la realización de cortes y posterior explanación de la superficie de laderas naturales, de forma artificial, ya sea manualmente o con maquinaria, con el fin de adecuar el terreno para construcción de infraestructura de servicios o viviendas (Figura 3.78).

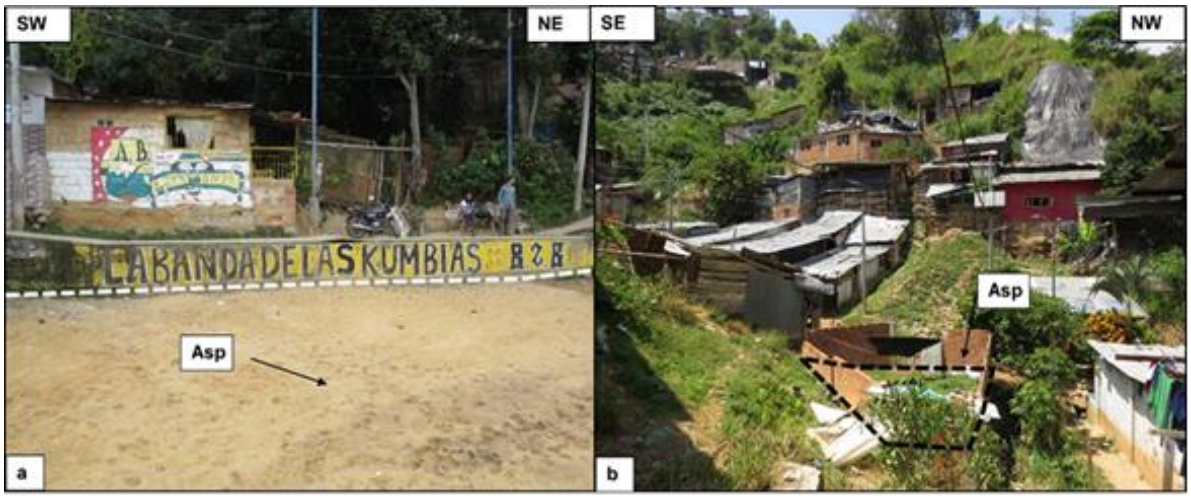


Figura 3.78 Algunos ejemplos de la geoforma superficie de explanación (Asp)

a) Cancha barrio Camilo Torres; b) superficie explanada para construcción de una vivienda en el barrio Cuyanita parte baja

- *Superficie de Explanación Vial (Aspv)*

  Geoformas rectilíneas, alargadas, con pendientes planas a suavemente inclinadas (< 5°), de un ancho promedio entre 5-6 m. Son estructuras construidas siguiendo un diseño previamente elaborado, en zonas específicas, con suelos seleccionados y métodos o recursos determinados con el fin de constituir vías para el transporte terrestre de automotores. Su expresión se caracteriza porque marca un contraste de pendiente y morfología dentro de otras geoformas de tipo ladera. En el área de estudio, esta geoforma fue cartografiada sobre las vías principales que conectan a los diferentes barrios. Por sus características no son susceptibles de desarrollar movimientos en masa, sin embargo, se pueden ver afectadas si se desarrollan deslizamientos

o caídas en los taludes y laderas que las delimitan, debido al eventual avance progresivo o retrogresivo.



Figura 3.79 Superficie de explanación vial (Aspv)

Superficies asociadas a las vías en el sector de Ciudad Perdida (Divino Niño), el esquema se presenta en el sistema del origen único de coordenadas CTM12

- *Talud de Corte (Atc)*

  Esta geoforma es propensa a generar movimientos en masa de tipo caída de suelo y deslizamientos cuyo material que se acumula en la base del talud, pudiendo en algunos casos generar afectaciones por obstrucción parcial o total de vías e incluso viviendas cercanas. Los taludes cartografiables en el área de estudio se localizan en sectores puntuales de los barrios Cuyanita y Zarabanda de la Comuna 4.

Morfodinámica

El otro tipo de proceso morfodinámico importante en el área de estudio, corresponde a los movimientos en masa que incluye todos aquellos desplazamientos ladera abajo de una masa de roca, detritos o tierra por efecto de la gravedad. Algunos movimientos en masa, como la reptación de suelos, son lentos, a veces imperceptibles y difusos, en tanto que otros, como los deslizamientos y flujos pueden desarrollar velocidades altas y pueden definirse con límites claros, determinados por superficies de rotura (PMA: GCA, 2007).

Finalmente, es importante aclarar, que el mapa de inventario de procesos morfodinámicos (IPM) comprende un total de 28 movimientos en masa de los cuales integra la información de tipo catálogo de MM que corresponden a los registros provenientes de la información secundaria, registros históricos con un nivel de completitud menor, es decir, no se cuenta con la fecha exacta en la que se detonó el proceso o no fue posible validarlo en campo, de este tipo de registros levantaron 11 formatos, mientras que, para el inventario geomorfológico de movimientos en masa, basado inicialmente en la fotointerpretación y la posterior validación en campo se identificaron 2 procesos que presentan datos de fecha del evento e información morfométrica más completa, finalmente los 15 MM restantes se relacionaron como interpretados o validados en los sensores remotos e insumos utilizados en el presente estudio.

- *Catálogo de Movimientos en Masa*

  Para el presente estudio se levantaron 11 formatos de tipo catálogo que fueron identificados en campo.

- *Inventario Geomorfológico*

  .

  Como resultado del proceso metodológico descrito e integrando la información de catálogo e inventario geomorfológico, se obtuvo el mapa de inventario de procesos morfodinámicos (IPM) para los tres polígonos que conforman el área de estudio de este proyecto, que se presentan en la Figura 3.80, Figura 3.81 y Figura 3.82. Como se puede observar, se identificaron movimientos en masa de tipo, deslizamiento y caída, así como procesos de erosión tipo cárcavas, surcos y rasgos de inestabilidad como grietas, escarpes, cicatrices y/o coronas de movimientos en masa.

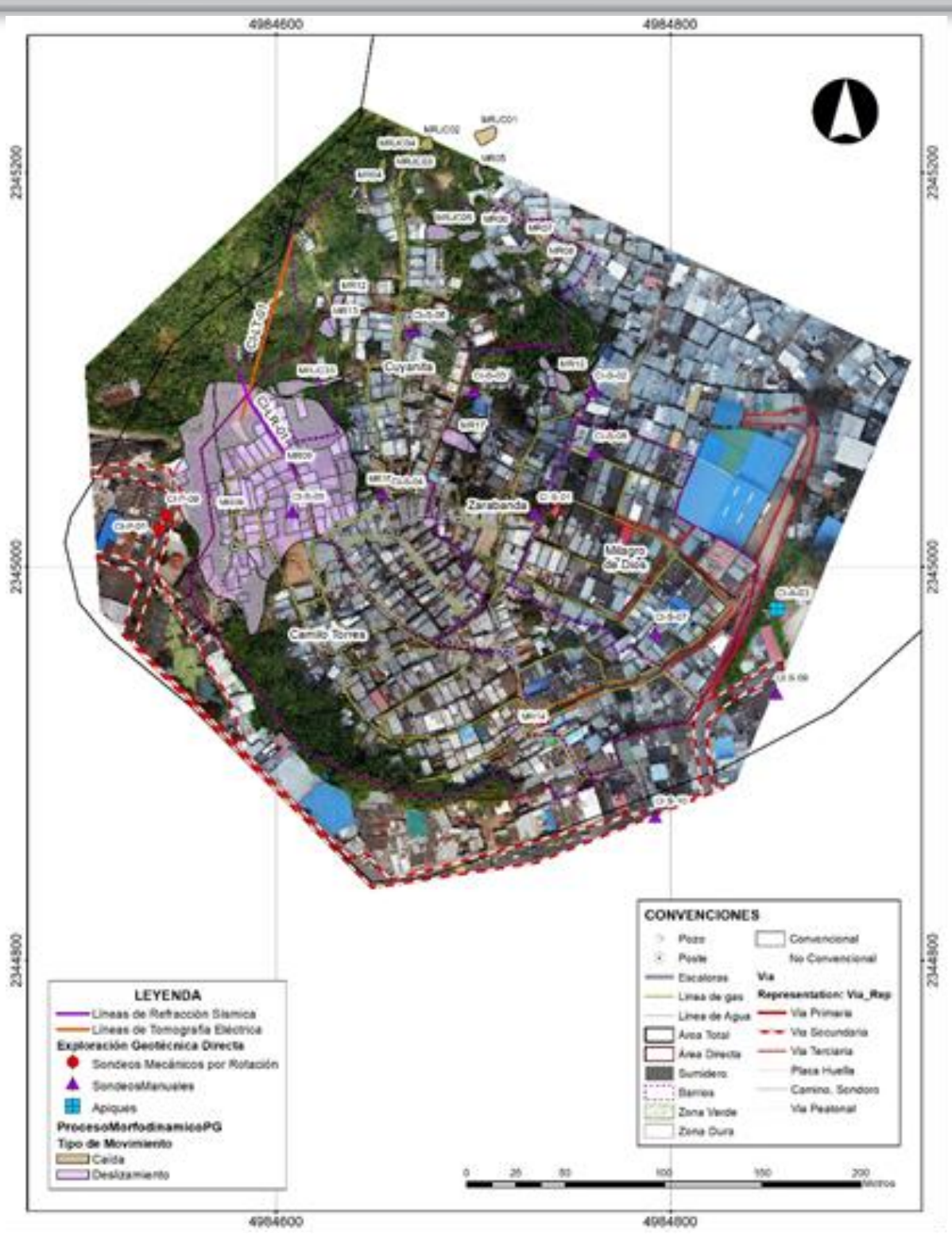


Figura 3.80 Esquema del mapa del mapa de inventario de procesos morfodinámicos del área de estudio en la comuna 4, barrios Zarabanda, Camilo Torres, Milagro de Dios y Cuyanita

El esquema se encuentra en el sistema de coordenadas del origen único nacional CTM12

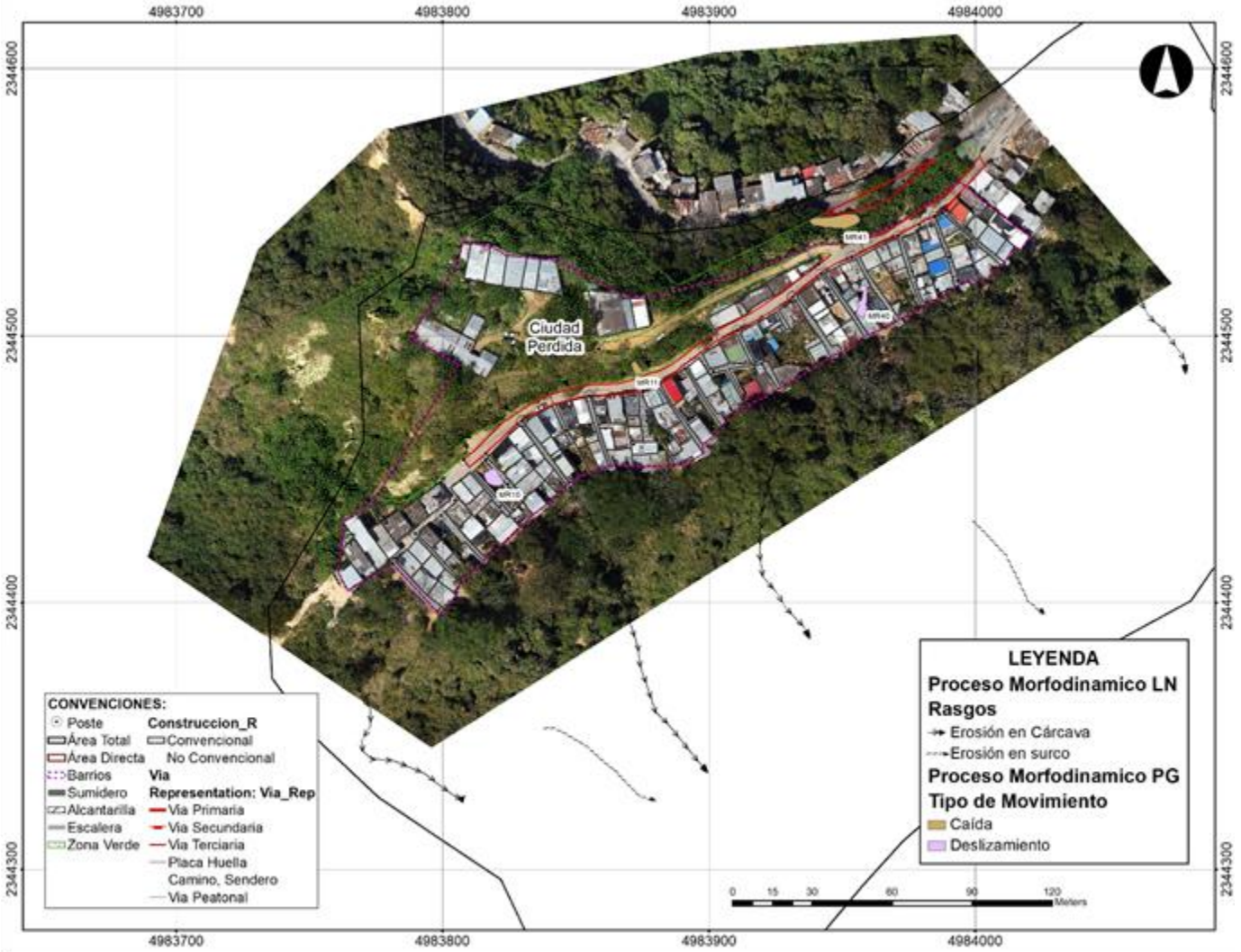


Figura 3.81 Esquema del mapa del mapa de inventario de procesos morfodinámicos del área de estudio en el barrio Ciudad perdida (Divino Niño) de la comuna 4

El esquema se encuentra en el sistema de coordenadas del origen único nacional CTM12

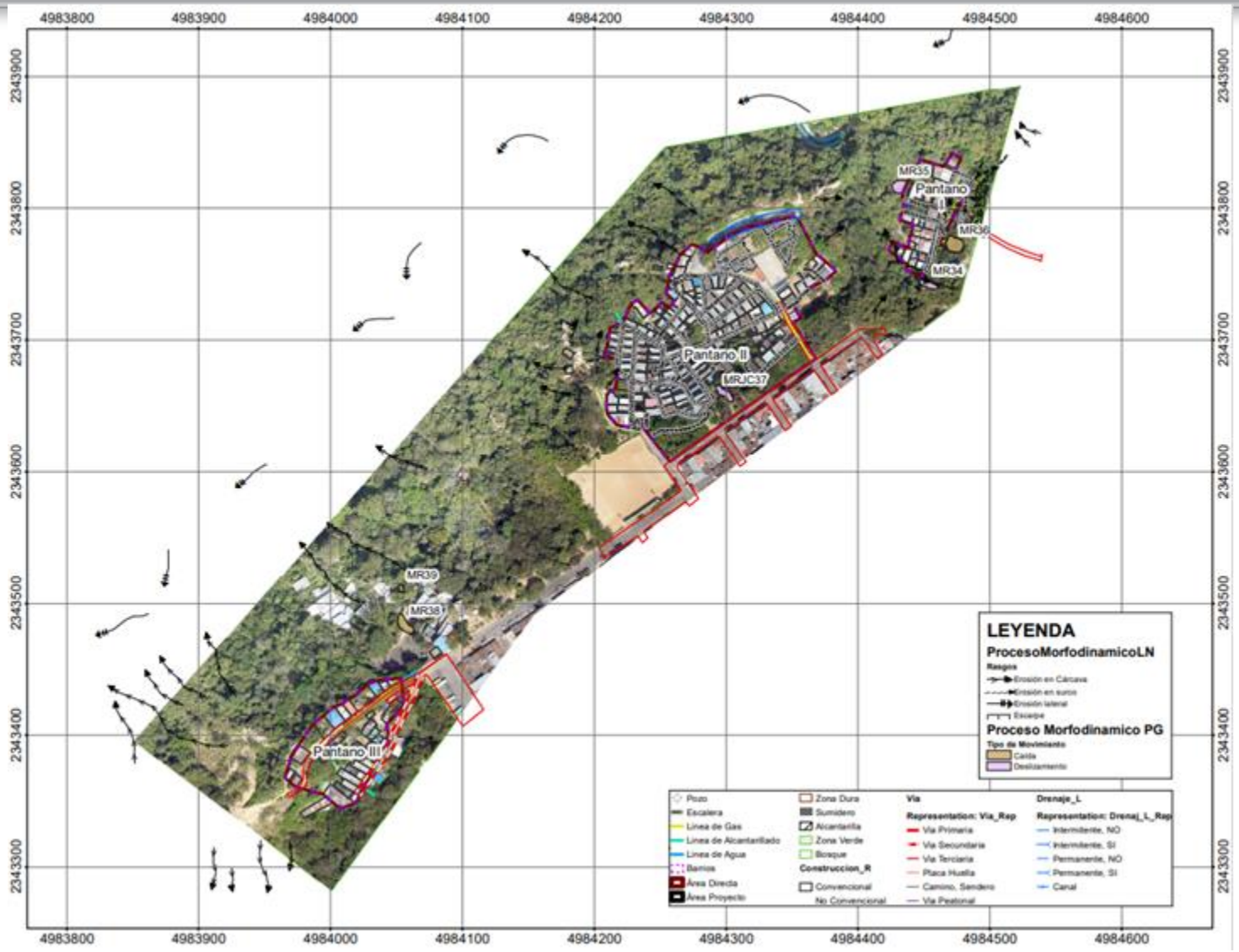


Figura 3.82 Esquema del mapa del mapa de inventario de procesos morfodinámicos del área de estudio en la comuna 5, barrios Pantano 1, 2 y 3

El esquema se encuentra en el sistema de coordenadas del origen único nacional CTM12

Los tipos de movimientos en masa presentes dentro de los polígonos de estudio, están asociados a un mecanismo predominante que corresponde al tipo deslizamiento, con subtipo traslacional que pueden tener distribución retrogresiva o ensanchada,, con un total de 16 procesos, seguido por las caídas de detritos con 9 eventos cartografiados y en la proporción más baja con un único proceso identificado, un deslizamiento de tipo complejo con mecanismo principal de deslizamiento rotacional en los sectores de Camilo Torres-Cuyanita (Figura 3.83).

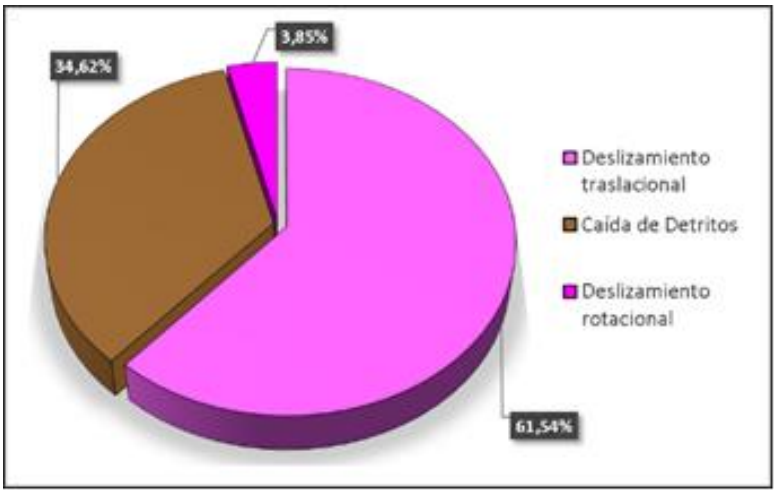


Figura 3.83 Distribución porcentual por abundancia de los tipos y subtipos de movimientos en masa inventariados en los tres polígonos del área de estudio

Los deslizamientos traslacionales tienden a presentar espesores visibles de la masa desplazada entre 0,5 – 2 m con un promedio de 1,1 m, a excepción del deslizamiento rotacional de Camilo Torres-Cuyanita el cual se estima puede alcanzar los 40 m de espesor y se trata como un caso especial que difiere en el comportamiento y características del resto de procesos identificados.

Por otra parte, las caídas presentan tamaños de bloque máximos entre 0,3 - 1 m, con un promedio de 0,5 m. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presenta un resumen de algunas de las características de los movimientos en masa inventariados para los 3 polígonos que conforman el área de estudio.

3.3 ETAPA 3: COBERTURA Y USO DEL SUELO

3.3.1 Metodología

La definición y clasificación de coberturas se lleva a cabo mediante la digitalización de coberturas de la tierra (naturales y antrópicas) del área de estudio conformada por los barrios pertenecientes a las comunas 4 y 5 de la ciudad de Bucaramanga, mediante de la edición cartográfica de fotografías aéreas o imágenes satelitales dentro de un sistema de información geográfico SIG. La metodología establecida para esta clasificación de coberturas es la metodología CORINE Land Cover (IDEAM, 2010) adaptada para Colombia.

El Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC mediante la resolución 068 de 2004 del IGAC, por el cual establece que todas las entidades públicas, personas naturales y jurídicas que deseen hacer uso de información geográfica nacional debe adoptar como único datum oficial de Colombia el marco geocéntrico nacional MAGNA-SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas); de igual forma debe acogerse a la resolución 471 del 14 de mayo IGAC 2020 "*por medio de la cual se establecen las especificaciones técnicas mínimas que deben tener los productos de la cartografía básica oficial de Colombia*" donde es necesario el uso de un sistema de proyección cartográfico con un único origen para Colombia "Origen nacional".

Tabla 3.7 Parámetros de proyección.

PARÁMETRO	VALOR
Proyección	Transversa de Mercator
Elipsoide	GRS80
Origen: Latitud	4°N
Origen: Longitud	73°W
Falso Este	5.000.000
Falso Norte	2.000.000
Unidades	Metros
Factor Escala	0.9992
Escala de Estudio	1:25000
Unidad Mínima Cartografiable	10.000 m²

Fuente: Resolución 471 de 2020 IGAC.

3.3.1 Coberturas de la Tierra

Sector La Feria

Tabla 3.8 Coberturas de la tierra la feria.

CÓDIGO	COBERTURAS LA FERIA 2023	ÁREA HA	ÁREA M²	%
111	Tejido urbano continuo	8.1935	81935.1877	74.7671
112	Tejido urbano discontinuo	0.0610	610.0736	0.5567
1222	Red vial y terrenos asociados	0.6486	6485.5608	5.9182

1422	Áreas deportivas	0.0716	716.4342	0.6538
1411	Otras zonas verdes urbanas	0.0362	361.6351	0.3300
1416	Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas	1.3188	13187.6798	12.0340
3221	Arbustal denso	0.0297	296.5167	0.2706
32221	Arbustal abierto esclerófilo	0.4974	4973.5723	4.5385
321111	Herbazal denso de tierra de firme no arbolado	0.0530	529.5364	0.4832
333	Tierras desnudas y degradadas	0.0491	491.0125	0.4481
TOTAL		10.9587	109587.2092	100

Fuente: Propia.

Para el sector de la feria la cobertura actual más representativa es tejido urbano continuo la cual comprende 8.193 ha representado el 69.74% de toda el área en estudio. Seguido por la cobertura rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas la cual tiene un área de 2.11 ha es decir el 17.9%. (Véase Tabla 3.8).

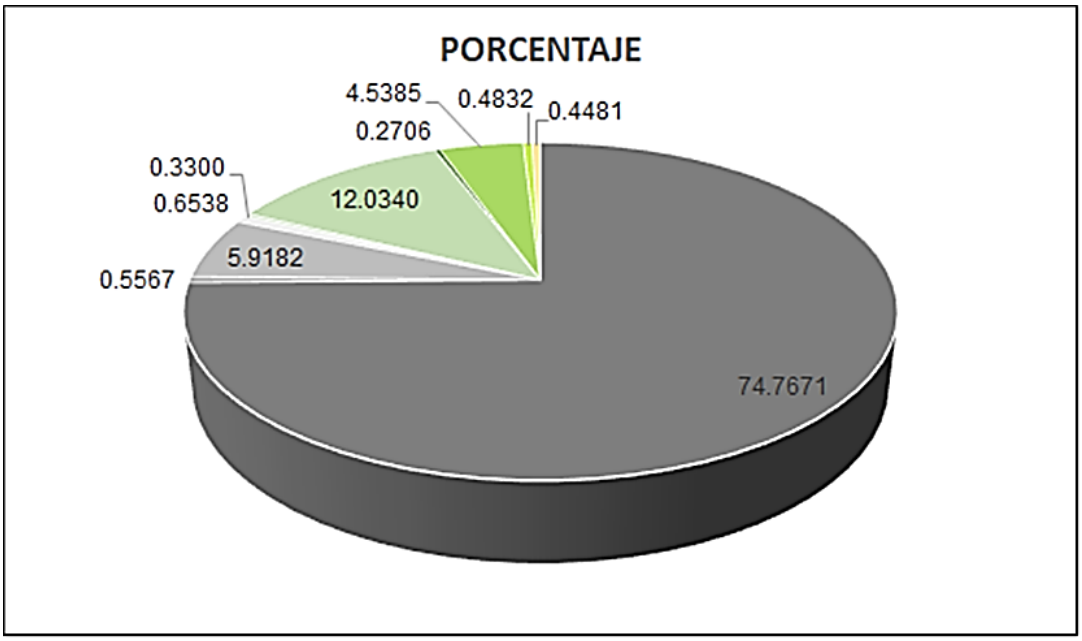


Figura 3.84 Coberturas de la tierra La Feria
Fuente: Propia

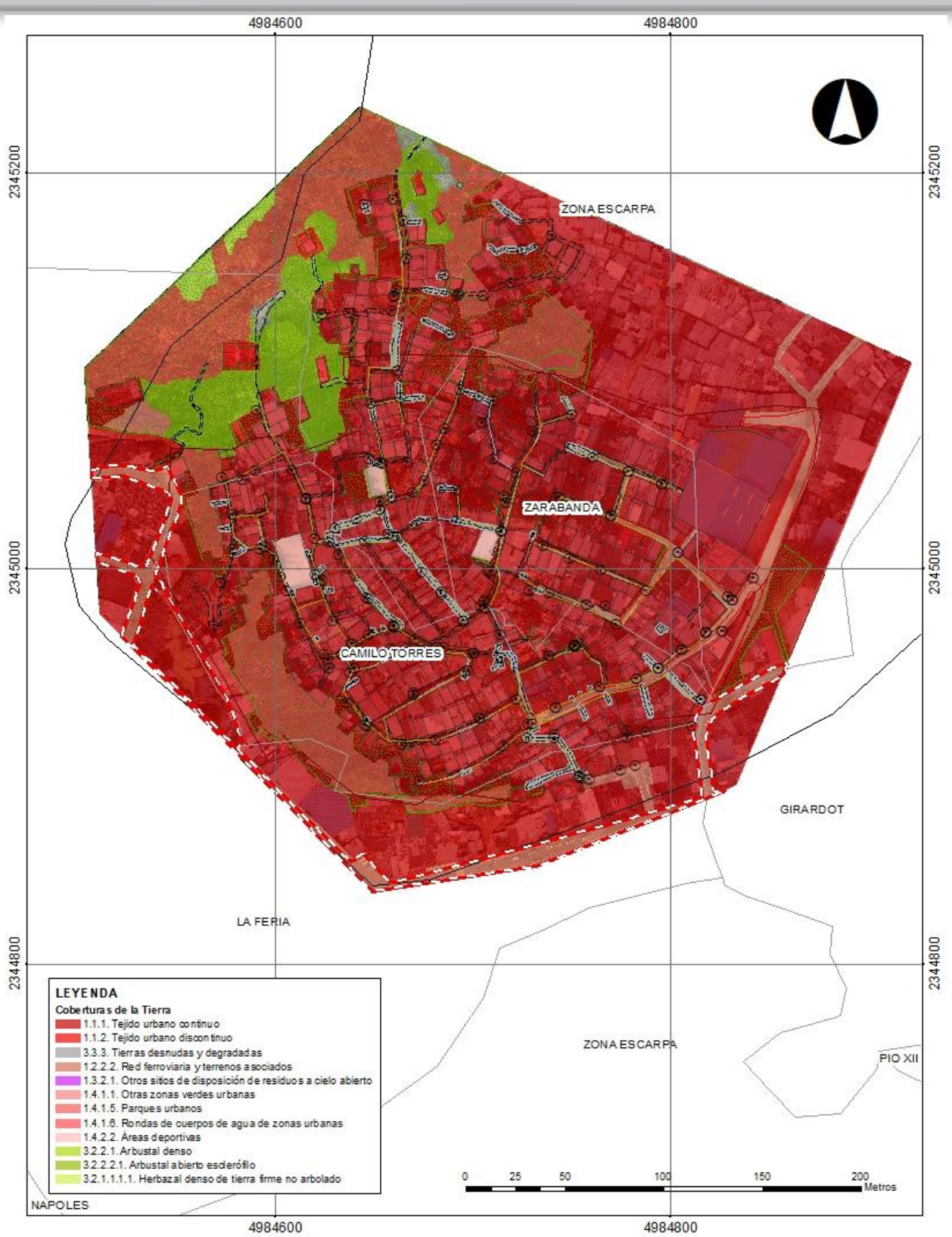


Figura 3.85 Coberturas de la tierra La feria.

Fuente: Propia.

Tabla 3.9 Coberturas de la tierra Ciudad Perdida.

CÓDIGO	COBERTURAS CIUDAD PERDIDA 2023	ÁREA HA	ÁREA M^2	%
111	Tejido urbano continuo	1.290733	12907.33	21.65276
112	Tejido urbano discontinuo	0.136899	1368.99	2.296556
1222	Red vial y terrenos asociados	0.360627	3606.266	6.04971
1411	Otras zonas verdes urbanas	0.225654	2256.535	3.785463
3221	Arbustal denso	3.12705	31270.5	52.45799
32221	Arbustal abierto esclerófilo	0.238352	2383.524	3.998493
32121	Herbazal abierto arenoso	0.403587	4035.872	6.770399
333	Tierras desnudas y degradadas	0.178154	1781.537	2.988626
TOTAL		5.961055	59610.55	100

Fuente: Propia.

Para el sector del barrio Ciudad Perdida las coberturas más representativas son Arbustal denso y tejido urbano discontinuo con un área de 3.127ha y 1.29 ha lo cual representa el 52.46% y 21.65% respectivamente, estas coberturas ocupan el 74.11% del área de estudio.

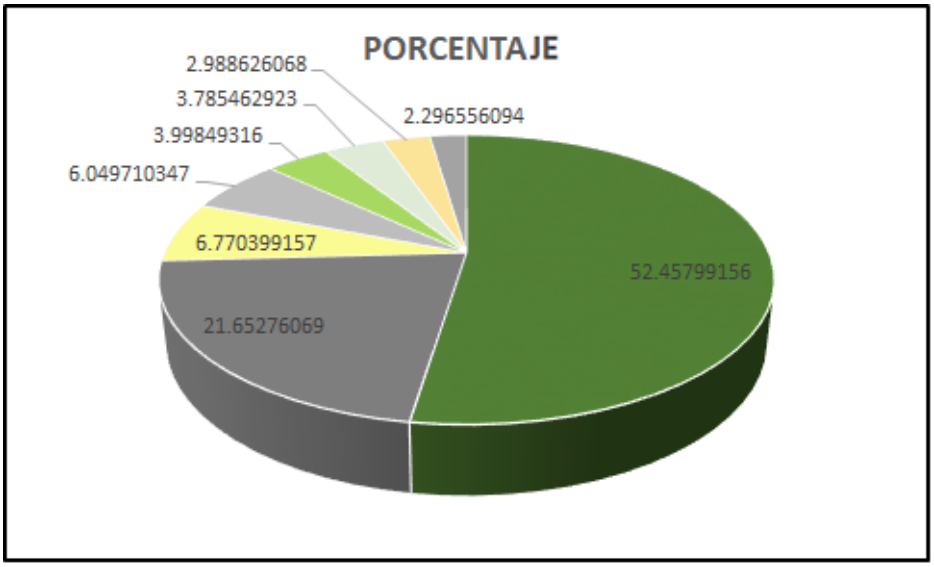


Figura 3.86 Coberturas de la tierra Ciudad Perdida



Figura 3.87 Coberturas de la tierra Ciudad Perdida

Fuente: Propia



Figura 3.88 Coberturas de la tierra Pantano.

Fuente: Propia.

Tabla 3.10 Coberturas de la tierra pantano.

CÓDIGO	COBERTURAS PANTANO 2023	ÁREA HA	ÁREA M2	%
111	Tejido urbano continuo	2.816107	28161.07	20.1661
112	Tejido urbano discontinuo	0.158007	1580.074	1.131489
1222	Red vial y terrenos asociados	0.873469	8734.692	6.254899
1422	Áreas deportivas	0.387985	3879.854	2.778357
1415	Parques urbanos	0.05236	523.6033	0.374952
1411	Otras zonas verdes urbanas	0.801564	8015.636	5.739985
3221	Arbustal denso	8.257868	82578.68	59.13447
32221	Arbustal abierto esclerófilo	0.146733	1467.33	1.050753
32121	Herbazal abierto arenoso	0.141324	1413.24	1.012019
333	Tierras desnudas y degradadas	0.304782	3047.816	2.182536
511	Ríos	0.024361	243.6057	0.174446
TOTAL		13.96456	139645.6	100

Fuente: Propia.

Para el sector Pantanos las coberturas de la tierra actuales más representativas son arbustal denso y tejido urbano continuo las cuales tienen un área de 8.26 ha y 2.82 ha lo que representa el 59.13% y 20 16% respectivamente. Estas coberturas suman el 79.29% del total de área en estudio.

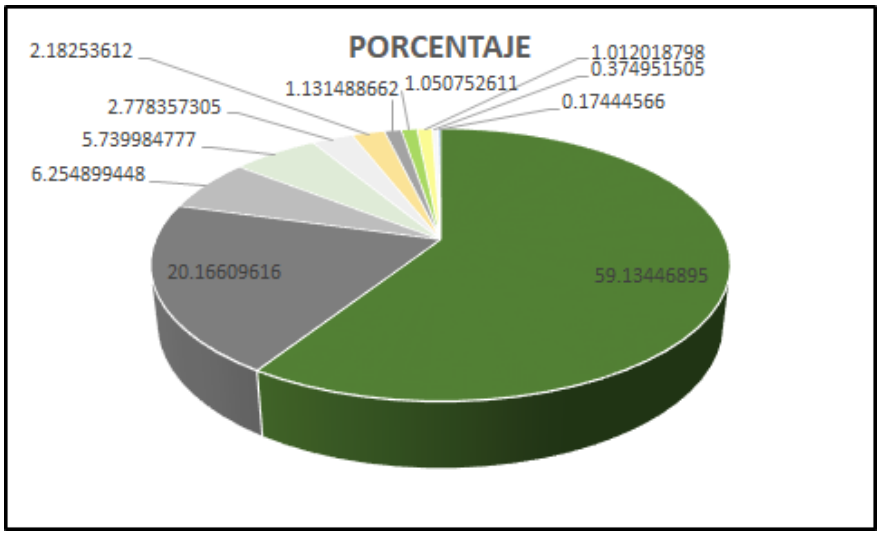


Figura 3.89 Coberturas de la tierra Pantanos

Fuente: Propia

3.3.2 Verificación en Campo de las Coberturas Identificadas

Con los mapas previamente realizados exportados en formato PDF son importados al programa Avenza maps y llevados a campo donde se estableció cierta cantidad de marcas de posición para algunas

coberturas de la tierra y se tomó el registro fotográfico como evidencia de la veracidad de la cobertura. A continuación, se presenta la ubicación o distribución espacial de las marcas de posición dentro de los mapas, adicional a esto, el registro fotográfico por cobertura para cada una de las áreas de estudio.

Sector La Feria

Se establecieron 7 marcas de posición las cuales se distribuyen de la siguiente manera.

Tabla 3.11 Puntos de verificación de coberturas de la tierra Sector La Feria.

PUNTOS VERIFICACIÓN DE COBERTURAS			
ID	**COBERTURA**	**COOR_X**	**COOR_Y**
Punto 1	Arbustal abierto esclerófilo	4984559.580	2345077.665
Punto 2	Tejido urbano continuo	4984655.229	2345121.657
Punto 3	Arbustal denso	4984600.955	2345114.681
Punto 4	Tejido urbano discontinuo	4984618.435	2345161.220
Punto 5	Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas	4984588.073	2345154.581
Punto 6	Herbazal denso de tierra forme no arbolado	4984560.555	2345147.853
Punto 7	Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas	4984631.494	2345202.933

Fuente: Propia.

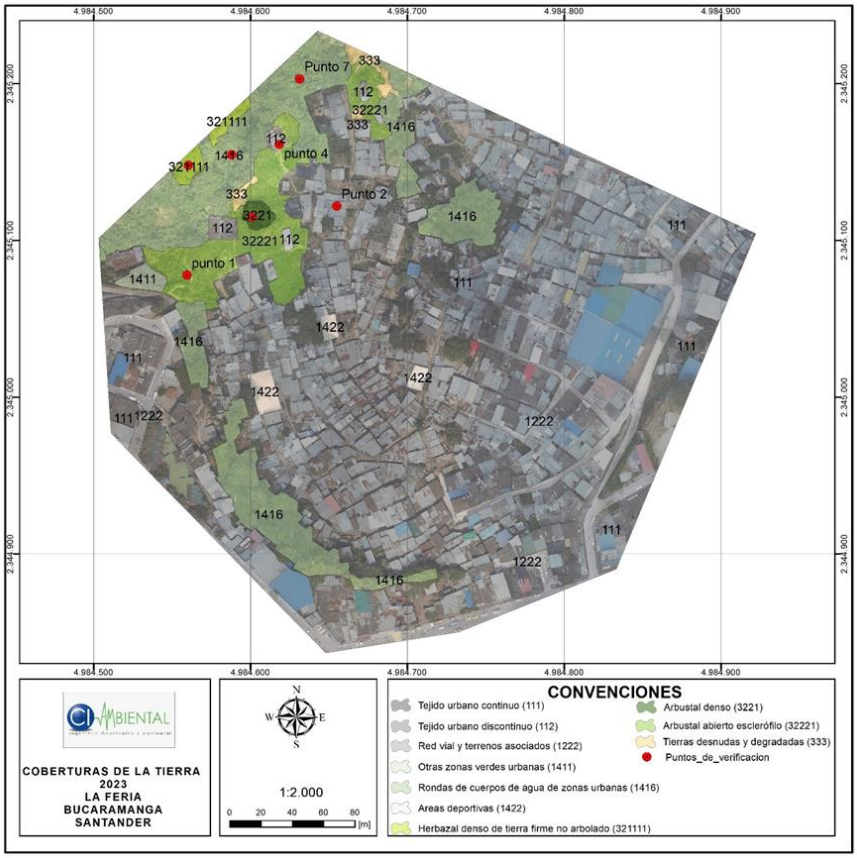


Figura 3.90 Ubicación de muestras de posición para la verificación en campo de las coberturas la feria.
Fuente: Propia.

Se establecieron 14 marcas de posición las cuales están se distribuyen de la siguiente manera.

Tabla 3.12. Puntos de verificación de coberturas de la tierra sector Ciudad Perdida.

PUNTOS VERIFICACIÓN DE COBERTURAS			
ID	**COBERTURA**	**COOR X**	**COOR Y**
Punto 1	Arbustal abierto esclerófilo	4983788.883	2344379.648
Punto 2	Tierras desnudas y degradadas	4983758.445	2344405.498
Punto 3	Arbustal denso	4983731.265	2344419.117
Punto 4	Herbazal abierto arenoso	4983780.713	2344459.434
Punto 5	Red vial y terrenos asociados	4983842.132	2344477.857
Punto 6	Tejido urbano continuo	4983867.054	2344462.167
Punto 7	Arbustal denso	4983945.299	2344478.666
Punto 8	Tejido urbano continuo	4983997.872	2344570.749
Punto 9	Otras zonas verdes urbanas	4983969.725	2344548.672
Punto 10	Tejido urbano continuo	4983955.745	2344550.021
Punto 11	Arbustal denso	4983939.243	2344558.545
Punto 12	Arbustal denso	4983938.485	2344594.007
Punto 13	Tejido urbano continuo	4983899.095	2344549.817
Punto 14	Arbustal denso	4983895.346	2344529.623

Fuente: Propia.

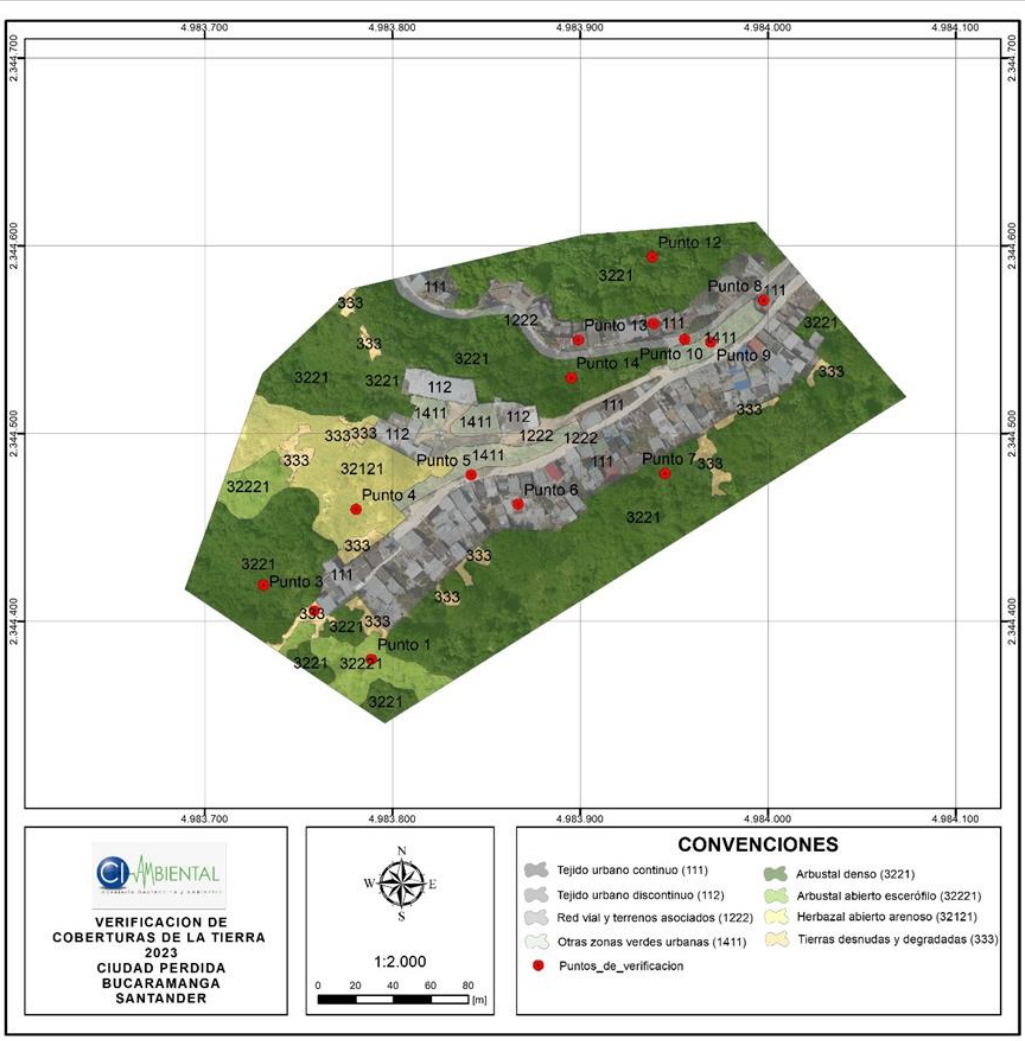


Figura 3.91 Ubicación de muestras de posición para la verificación en campo de las coberturas Ciudad Perdida

Sector Pantanos

Se establecieron 14 marcas de posición las cuales están se distribuyen de la siguiente manera.

Tabla 3.13 Punto de verificación de coberturas de la tierra sector pantanos.

PUNTOS DE VERIFICACIÓN DE COBERTURAS			
ID	**COBERTURAS**	**COOR X**	**COOR Y**
Punto 1	Tierras desnudas y degradadas	4983937.613	2343340.155
Punto 2	Otras zonas verdes urbanas	4984056.826	2343436.331
Punto 3	Arbustal denso	4984078.712	2343413.761
Punto 4	Red vial y terrenos asociados	4984079.603	2343446.415
Punto 5	Tejido urbano continuo	4984068.405	2343484.650
Punto 6	Otras zonas verdes urbanas	4984122.102	2343488.018

PUNTOS DE VERIFICACIÓN DE COBERTURAS			
ID	COBERTURAS	COOR X	COOR Y
Punto 7	Arbustal denso	4984091.016	2343533.851
Punto 8	Arbustal denso	4984152.025	2343620.983
Punto 9	Áreas deportivas	4984213.311	2343596.963
Punto 10	Tejido urbano continuo	4984267.916	2343705.749
Punto 11	Áreas deportivas	4984339.396	2343750.481
Punto 12	Otras zonas verdes urbanas	4984325.084	2343776.413
Punto 13	Tierras desnudas y degradadas	4984352.775	2343807.703
Punto 14	Arbustal denso	4984409.741	2343802.783
Punto 15	Tejido urbano continuo	4984457.433	2343798.849

Fuente: Propia.

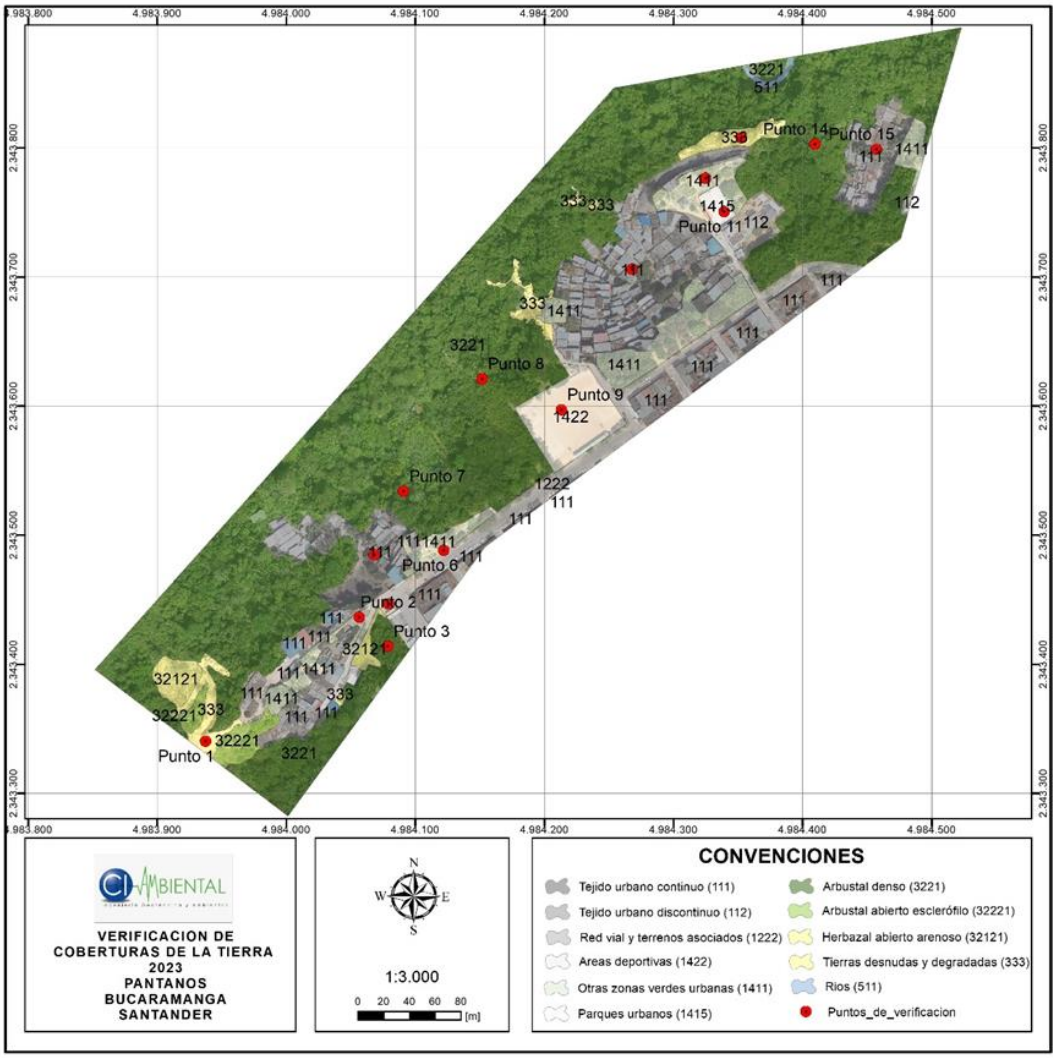


Figura 3.92 Ubicación de muestras de posición para la verificación en campo de las coberturas Pantanos.

3.3.3 Uso Actual del Suelo

Sector La Feria



Figura 3.93 Uso actual del suelo sector La feria

Tabla 3.14 Uso actual del suelo sector La feria

ID	USO ACTUAL DEL SUELO	ÁREA HA	ÁREA M²
2	Áreas para la conservación y/o para recuperación de la naturaleza	1.27	12727.05
1	Suelo urbano	9.69	96860.16

Para el sector la feria se encuentra en los usos actuales observados en la tabla 10, donde el suelo urbano ocupa el 88.38% y las áreas para conservación y/o para recuperación de la naturaleza el 11.61%, estas áreas hacen referencia a áreas naturales ubicadas en laderas de alta pendiente con presencia de problemas de inestabilidad.

Sector Ciudad Perdida

Para el sector de Ciudad Perdida es más representativa el área para la conservación y/o para la recuperación de la naturaleza con un 66.22%, son áreas naturales de fuerte pendientes con problemas erosivos.

Tabla 3.15 Uso actual del suelo sector Ciudad Perdida.

ID	USO ACTUAL DEL SUELO	ÁREA HA	ÁREA M²
2	Área para la conservación y/o para la recuperación de la naturaleza	3.95	39471.43
1	Suelo urbano	2.01	20139.12



Figura 3.94 Uso actual del suelo sector Ciudad Perdida.

Sector Pantanos

Tabla 3.16 Uso actual del suelo sector Pantanos.

ID	USO DEL SUELO	ÁREA HA	ÁREA M²
1	Suelo urbano	5.09	50894.92
2	Áreas para la conservación y/o para recuperación de la naturaleza	8.88	88750.67

El área para la conservación y/o para la recuperación de la naturaleza ocupa un área del 63.55%, al igual que los anteriores sectores hace referencia a áreas naturales ubicadas en laderas de fuerte pendiente, con problemas erosivos.



Figura 3.95 Uso actual del suelo sector Pantanos.

3.3.4 Cambios en las Coberturas de la Tierra

Sector La Feria

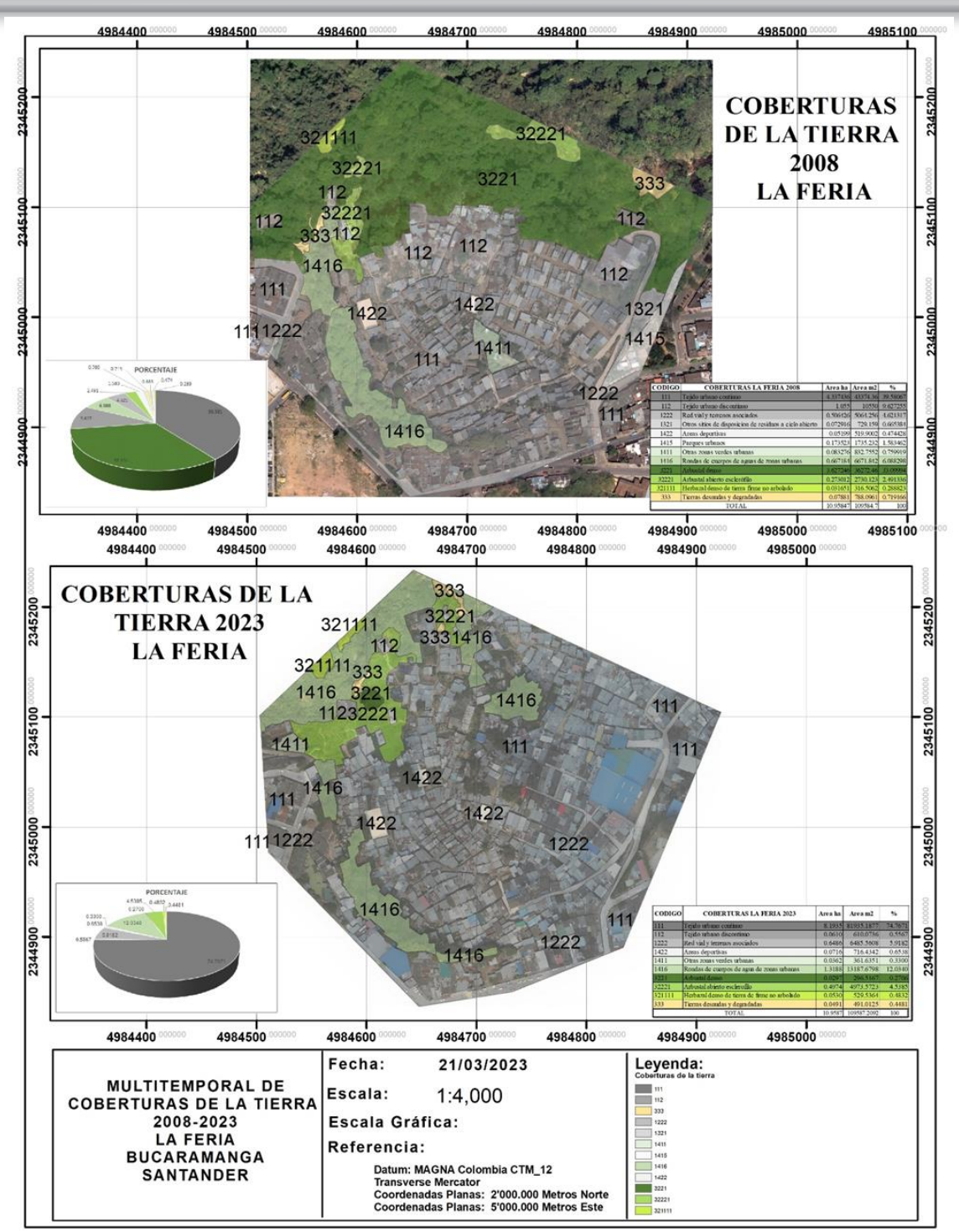


Figura 3.96 Cambios en la cobertura de la tierra La Feria.
Fuente: Propia.

Tabla 3.17 Cambios en la cobertura de la tierra La feria.

CÓDIGO	CAMBIOS EN LAS COBERTURAS	ÁREA HA 2008	ÁREA HA 2023	CAMBIO HA	CAMBIO %
111	Tejido urbano continuo	4.337	8.194	3.856	88.902

112	Tejido urbano discontinuo	1.055	0.061	-0.994	-94.217
1222	Red vial y terrenos asociados	0.506	0.649	0.142	28.065
1321	Otros sitios de disposición de residuos a cielo abierto	0.073	0.000	-0.073	-100.000
1422	Áreas deportivas	0.052	0.072	0.020	37.802
1415	Parques urbanos	0.174	0.000	-0.174	-100.000
1411	Otras zonas verdes urbanas	0.083	0.036	-0.047	-56.574
1416	Rondas de cuerpos de aguas de zonas urbanas	0.667	2.108	1.441	216.014
3221	Arbustal denso	3.627	0.030	-3.598	-99.183
32221	Arbustal abierto esclerófilo	0.273	0.497	0.224	82.174
321111	Herbazal denso de tierra firme no arbolado	0.032	0.053	0.021	67.307
333	Tierras desnudas y degradadas	0.079	0.049	-0.030	-37.696

Fuente: Propia.

En la Tabla 3.17 se representan la variación en las coberturas de la tierra para el sector la feria, para el cual el cambio de cobertura más importante es el aumento de la cobertura de tejido urbano continuo la cual aumenta para el 2023 en relación a la cobertura inicial en un 88.9% es decir cercano al doble del área inicial. El aumento de esta cobertura se debe principalmente a la perdida de las casi total de las coberturas Arbustal denso y tejido urbano discontinuo las cuales presentan una perdida en relación a la cobertura inicial de un 99.18% y 94.21% respectivamente.

La variación en la cobertura de rondas de cuerpos de aguas de zonas urbanas es debida a la pérdida del Arbustal denso por el incremento del tejido urbano continúo acercándose a un drenaje natural. Las demás coberturas presentan unas variaciones mínimas que en su mayoría están relacionadas con el incremento del tejido urbano continuo, para el caso de la perdida de otros sitios de disposición de residuos a cielo abierto y parque urbanos, ya que estas coberturas fueron remplazadas por el tejido urbano discontinuo.

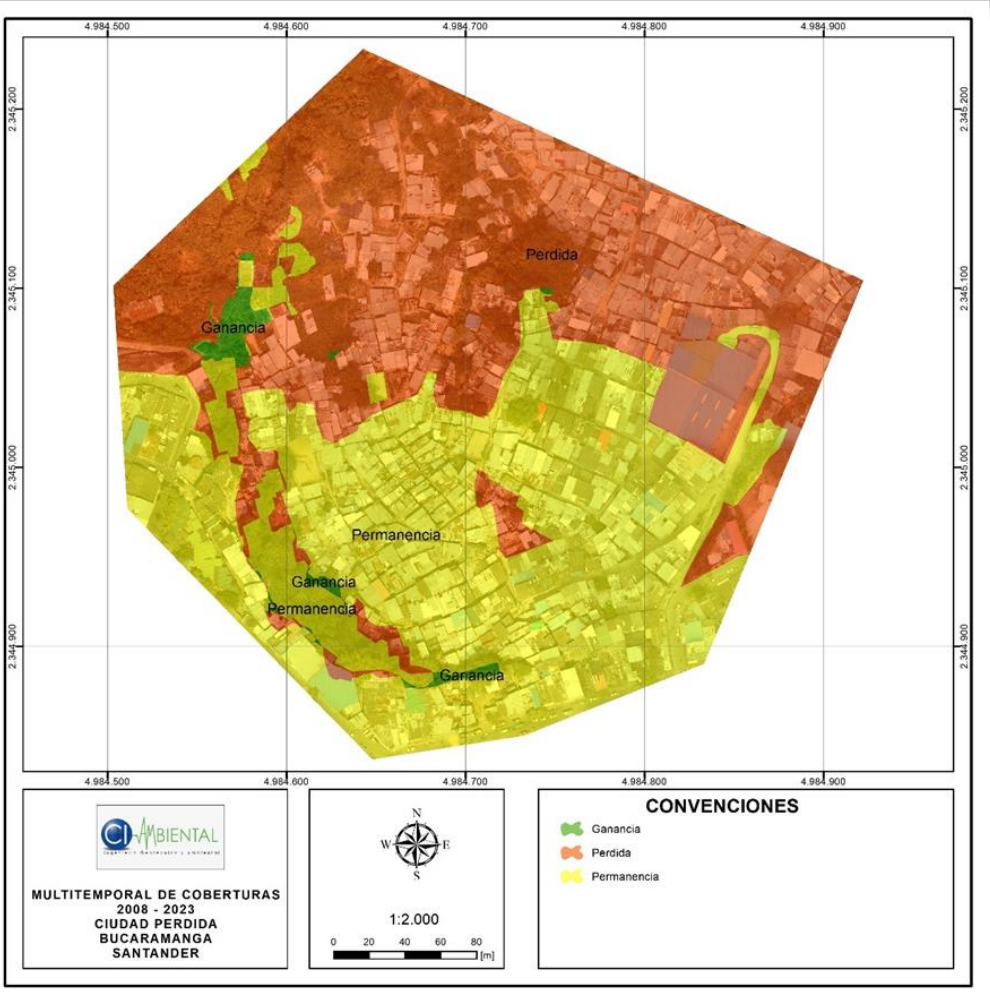


Figura 3.97 Multitemporal de cobertura de la tierra La Feria

Tabla 3.18 Evaluación del Cambio de Cobertura de la tierra (2008-2023)

TIPO DE CAMBIO DE COBERTURA	ÁREA HA	CAMBIO TOTAL	ÍNDICE DE GANANCIA (GP)	ÍNDICE DE PERDIDA (PP)
Ganancia	0,13	5,55	0,02	1,00
Perdida	5,42			
Permanencia	5,41			

Sector Ciudad Perdida

Las coberturas tejido urbano discontinuo y tejido urbano continuo aumentaron en un 131.39% y 38.64% respectivamente, esto está relacionado con la perdida de la cobertura Arbustal denso, Arbustal abierto esclerófilo y tierras desnudas y degradadas.

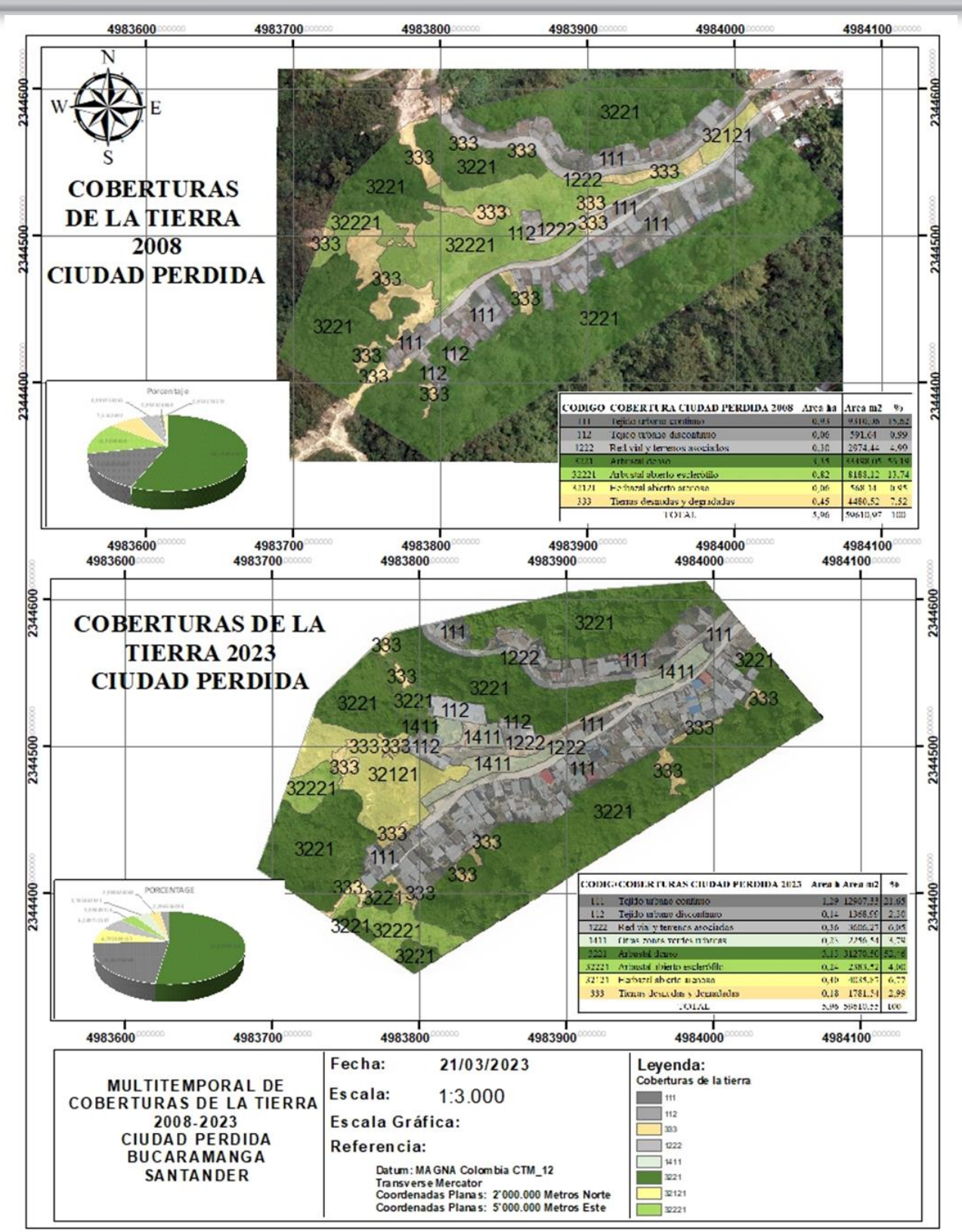


Figura 3.98 Cambios en la cobertura de la tierra Ciudad Perdida.
Fuente: Propia.

Tabla 3.19 Cambios en la cobertura de la tierra Ciudad Perdida.

CÓDIGO	COBERTURAS CIUDAD PERDIDA 2023	ÁREA HA 2008	ÁREA HA 2023	CAMBIO HA	CAMBIO %
111	Tejido urbano continuo	0.931	1.291	0.360	38.639
112	Tejido urbano discontinuo	0.059	0.137	0.078	131.388
1222	Red vial y terrenos asociados	0.297	0.361	0.063	21.242
1411	Otras zonas verdes urbanas	0.000	0.226	0.226	100.000
3221	Arbustal denso	3.348	3.127	-0.221	-6.611
32221	Arbustal abierto esclerófilo	0.819	0.238	-0.580	-70.890
32121	Herbazal abierto arenoso	0.057	0.404	0.347	610.370
333	Tierras desnudas y degradadas	0.449	0.178	-0.271	-60.362

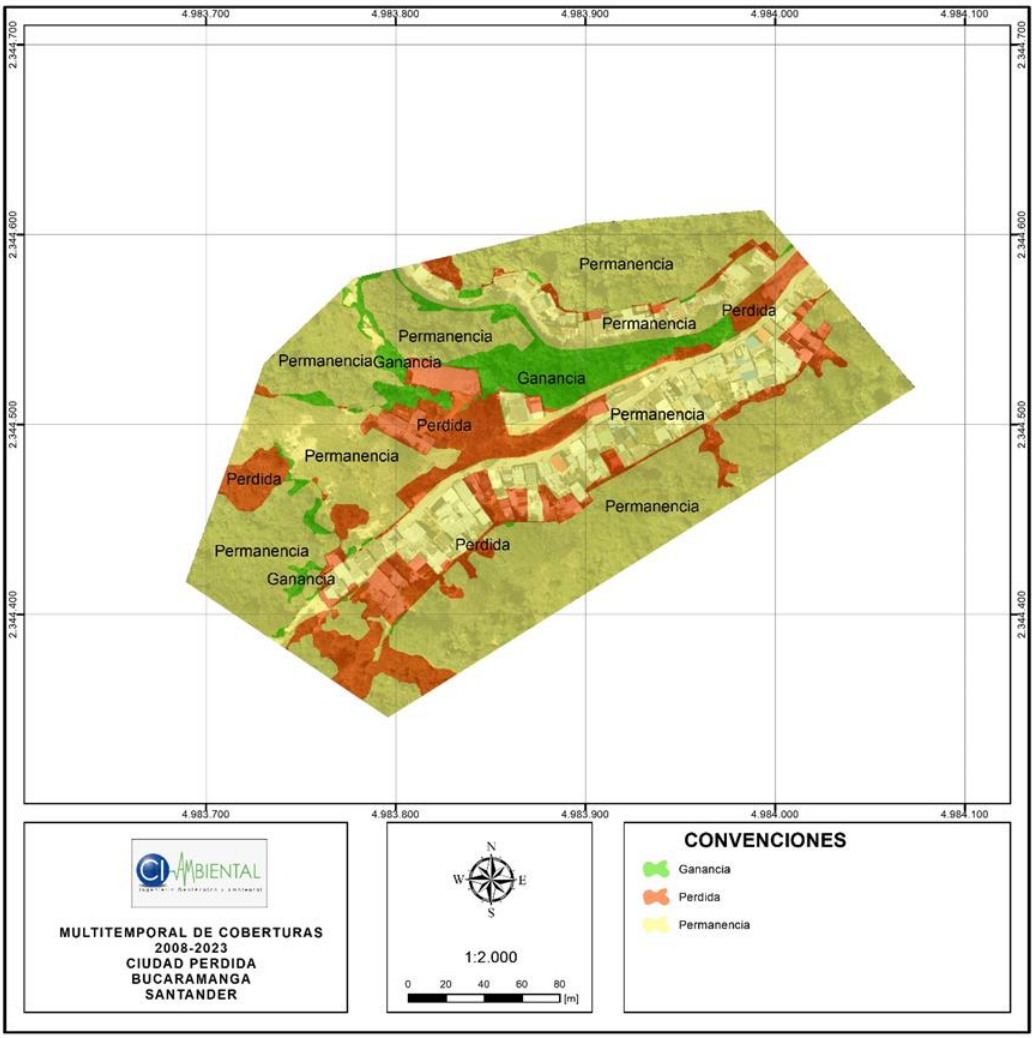


Figura 3.99 Multitemporal de cobertura de la tierra Ciudad Perdida

Tabla 3.20 Evaluación del Cambio de Cobertura de la tierra (2008-2023)

TIPO DE CAMBIO DE COBERTURA	ÁREA HA	CAMBIO TOTAL	ÍNDICE DE GANANCIA (GP)	ÍNDICE DE PERDIDA (PP)
Ganancia	0,44	1,55	0,10	0,25
Perdida	1,11			
Permanencia	4,41			

Sector Pantanos

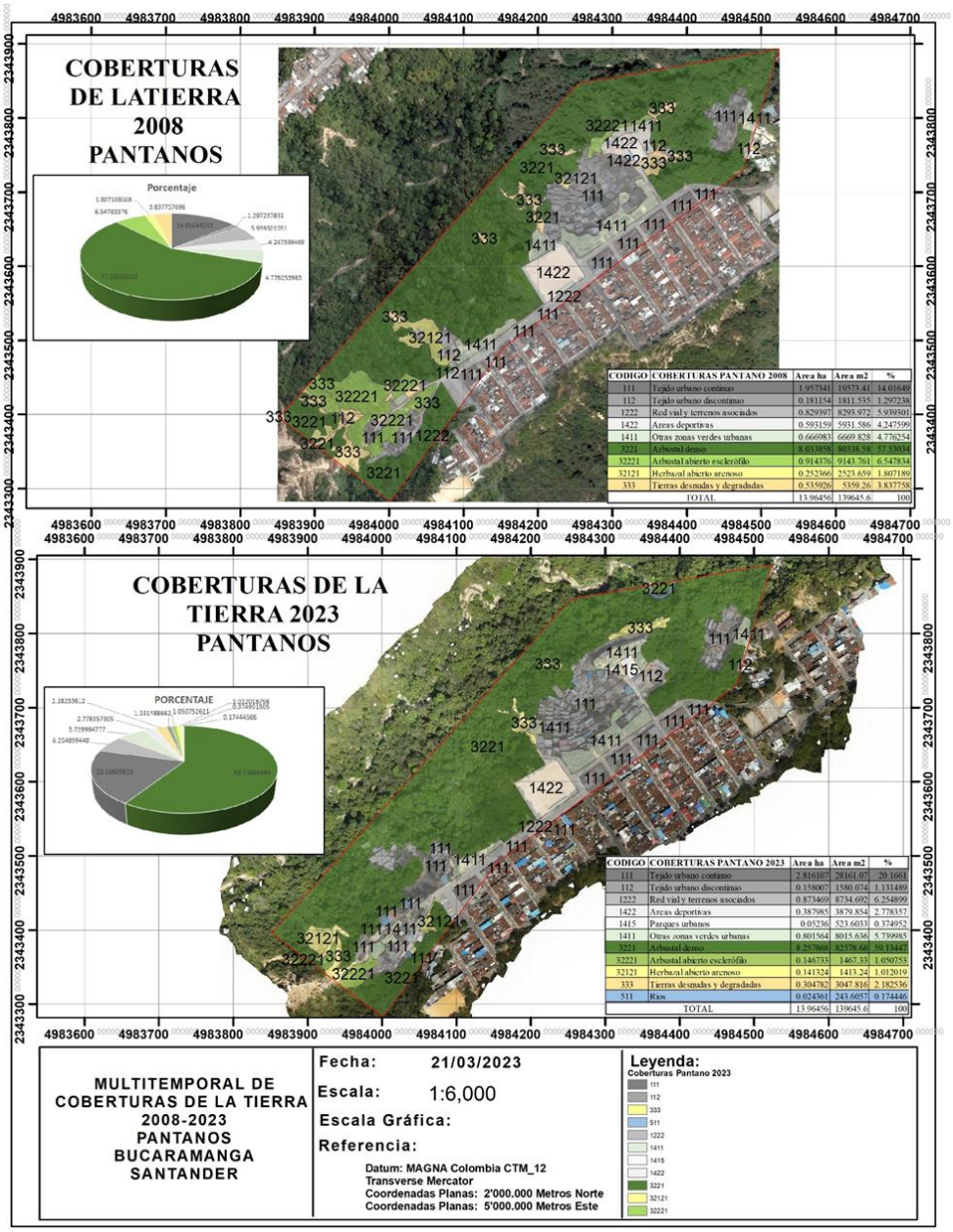


Figura 3.100 Cambios en la cobertura de la tierra Pantano
Fuente: Propia

Para el sector de pantanos no se presentan cambios significativos en las coberturas de la tierra, el tejido urbano continuo aumenta 0.859 ha lo que representa el 43.87% lo cual explica la disminución de las coberturas como arbustal abierto esclerófilo, herbazal abierto arenoso y tierras desnudas y degradadas las cuales disminuyen el 0.768 ha, 0.111 ha y 0.231 ha representado el 83.95%, 44% y 43.13% respectivamente (Tabla 3.21).

Tabla 3.21. Cambios en la cobertura de la tierra Pantanos.

CÓDIGO	COBERTURAS PANTANO 2023	ÁREA HA 2008	ÁREA HA 2023	CAMBIO HA	CAMBIO %
111	Tejido urbano continuo	1.957	2.816	0.859	43.874
112	Tejido urbano discontinuo	0.181	0.158	-0.023	-12.777
1222	Red vial y terrenos asociados	0.829	0.873	0.044	5.314
1422	Áreas deportivas	0.593	0.388	-0.205	-34.590
1415	Parques urbanos	0.052	0.052	0.000	0.000
1411	Otras zonas verdes urbanas	0.667	0.802	0.135	20.178
3221	Arbustal denso	8.034	8.258	0.224	2.788
32221	Arbustal abierto esclerófilo	0.914	0.147	-0.768	-83.953
32121	Herbazal abierto arenoso	0.252	0.141	-0.111	-44.000
333	Tierras desnudas y degradadas	0.536	0.305	-0.231	-43.130
511	Ríos	0.000	0.024	0.024	100.000

Fuente: Propia

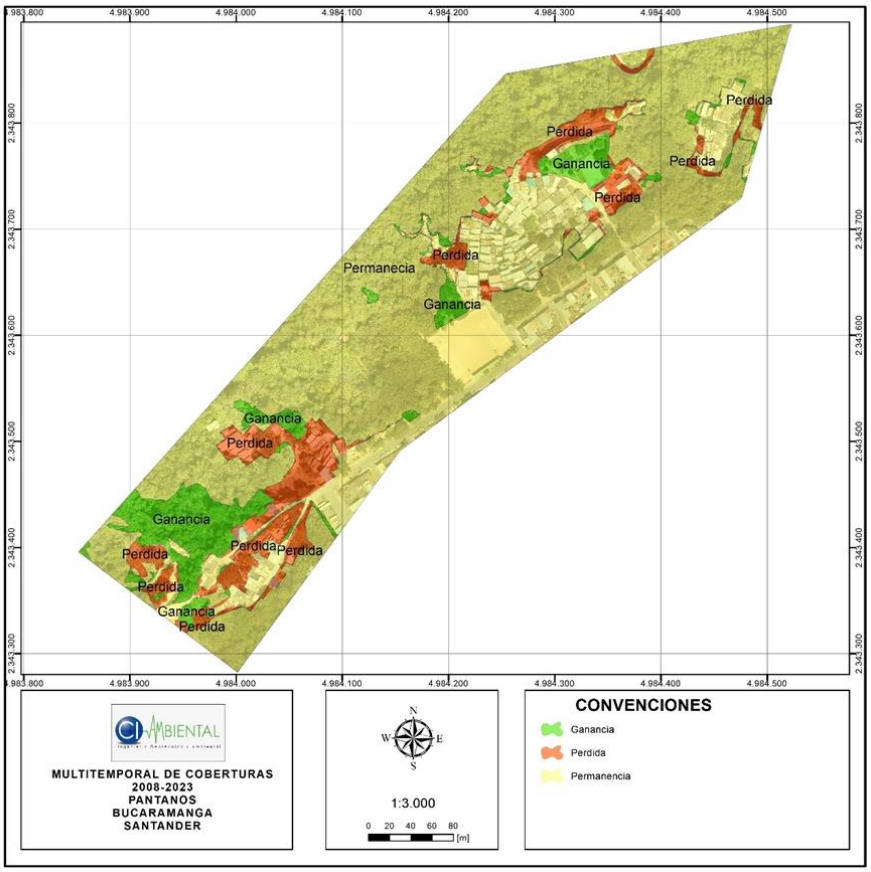


Figura 3.101 Multitemporal de cobertura de la tierra Pantanos

Tabla 3.22 Evaluación del Cambio de Cobertura de la tierra (2008-2023)

TIPO DE CAMBIO DE COBERTURA	AREA HA	CAMBIO TOTAL	ÍNDICE DE GANANCIA (GP)	ÍNDICE DE PERDIDA (PP)
Ganancia	1,34	2,92	0,12	0,14
Perdida	1,58			
Permanencia	11,05			

3.3.5 Proyección de Desarrollo Áreas de Estudio

3.3.5.1 Sector La Feria



Figura 3.102 Escenario Futuro Sector La Feria

Fuente: Propia

El escenario futuro como era de suponerse muestra un aumento significativo para los territorios artificializados con una ocupación de superior al 80% del área evaluada, donde se presenta un aumento del 12.04% comparado con el área de los polígonos digitalizados para el escenario actual (2023), por ende, las coberturas naturales o vegetales presentan la disminución de la misma magnitud debido al potencial de desarrollo de las coberturas artificializadas del sector.

3.3.5.2 Sector Ciudad Perdida



Figura 3.103 Escenario Futuro Sector Ciudad Perdida
Fuente: Propia.

El escenario futuro muestra un aumento para los territorios artificializados, con una ocupación de alrededor del 50% del área evaluada, donde se presenta un aumento del 56% comparado con el área de los polígonos digitalizados para el escenario actual (2023), por ende, las coberturas naturales o vegetales presentan la disminución de la misma magnitud debido al potencial de desarrollo de las coberturas artificializadas. Para este sector las áreas periféricas a las coberturas artificializadas presentan fuertes pendientes lo cual es un factor que desfavorece la expansión urbana.

3.3.5.3 Sector Pantanos



Figura 3.104 Escenario Futuro Sector Pantanos
Fuente: Propia

Esta área de estudio presenta un aumento de los terrenos artificializados del 66.03% comprado con las áreas establecidas mediante la digitalización para el escenario actual (2023). Al igual que los demás sectores presenta áreas de con fuertes pendientes lo cual dificulta la expansión de las coberturas artificializados y por ende favorece la conservación y permanencia de las coberturas naturales o vegetales.

3.4 ETAPA 4: EXPLORACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA

En el marco del estudio, en este capítulo, se esboza un plan de exploración del subsuelo, por medio de métodos de exploración tanto directa como indirecta y un plan de ensayos de laboratorio, a fin de caracterizar los materiales del suelo que subyacen los barrios de las comunas que hacen parte del estudio, y construir modelos geológico-geotécnicos, que permitan la evaluación de las laderas inestables, para la categorización de la amenaza.

En este sentido fueron planteadas y ejecutadas las siguientes actividades.

- Realizar 8 perforaciones mecánicas por rotación en diámetro HQ, con profundidades ente 15 y 26 metros, para un total de 160 metros lineales.
- Ejecutar 20 sondeos manuales con avance por percusión, con profundidades que fluctúan ente 2 y 4 metros, para un total de 106 metros lineales.
- Realizar 5 apiques a profundidades de 2 m, con el fin de fin de caracterizar los materiales en su extensión y profundidad.
- Instrumentar una de las perforaciones por medio de un inclinómetro, con longitud de 25 metros.
- Instalar un piezómetro de Casagrande hasta una profundidad de 25 metros.
- Realizar 12 campañas de monitoreo de la instrumentación instalada, haciendo lecturas semanales en cada uno de los instrumentos.
- Ejecutar un ensayo downhole, hasta una profundidad de 25 metros, que permita la lectura de ondas P y S.
- Realizar cinco (5) tomografías eléctricas para estudiar las variaciones de la resistividad eléctrica en la profundidad del subsuelo.
- Efectuar cuatro (4) pruebas de refracción sísmica con el fin de poder analizar el comportamiento de las ondas cuando pasan de un estrato a otro diferente generando un estímulo en el suelo.
- Ejecución de ensayos de laboratorio, para la adecuada caracterización geomecánica de los materiales aflorantes en la zona.

Teniendo en cuenta el deslizamiento en la zona del barrio La Feria que afectó a los asentamientos de Camilo Torres y Cuyanita, se hizo un balance al proyecto para incorporar a las actividades ensayo Down Hole, instrumentación y monitoreo inclinométrico y piezométrico, ensayos de consolidación y triaxial dinámico.

3.4.1 Exploración Directa Del Subsuelo

Para lograr el alcance del proyecto, se diseña un plan de exploración directa compuesta por 160 m de perforación mecánica, distribuidos en 8 sondeos de entre 15 m y 26 m de longitud; 106 m de sondeos manuales con avance por percusión, distribuidos en 20 puntos; y 5 apiques de 2 m de profundidad.

3.4.1.1 Perforación Geotécnica por Rotación

Se distribuyen los 160 m de perforación mecánica en las ocho (8) perforaciones numeradas como CI-P-01 a CI-P-06, CI-P-08 y CI-P-09 (véase la Tabla 3.23), en las que se alcanzaron profundidades que

fluctúan entre los 15.0 y 26.0 metros. La ubicación de las perforaciones mecánicas se ilustra en la Figura 3.108.

Tabla 3.23 Características Generales de las Perforaciones Mecánicas

ID PERFORACIÓN	COORDENADAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		PROFUNDIDAD (M)	NIVEL FREÁTICO (M)
	ESTE (m)	NORTE (m)		
CI-P-01	4984540.673	2345019.209	25.5	5.0
CI-P-02	4983980.370	2343380.035	15.0	4.5
CI-P-03	4984504.812	2343778.444	15.0	7.0
CI-P-04	4984353.737	2343685.882	20.0	6.0
CI-P-05	4983873.083	2344501.247	19.5	4.5
CI-P-06	4983818.120	2344495.381	19.5	12.0
CI-P-08	4984316.916	2343747.910	20.0	8.8
CI-P-09	4984544.686	2345026.194	25.5	2.5

Los registros de perforación pueden ser visualizados en el Anexo A, en donde se mencionan las características de la muestra como: el ID, la profundidad y la recuperación de cada avance, el RQD (de aplicar), el RPI (para los materiales cohesivos), la descripción de suelos y rocas muestreados. Las descripciones de los estratos incluyen el tipo de material, el tamaño y forma de la partícula, su color, el espesor de cada material identificado y las condiciones de humedad, consistencia o compacidad para cada sección de material extraído, entre otras. Como ejemplo de los registros elaborados y compilados en el Anexo A, de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** a la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se exhibe el perfil estratigráfico de la perforación CI-P-02, transcrita al software Strater.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se incluyen capturas fotográficas de las máquinas de perforación en varios de los puntos explorados; el Anexo B entrega el registro fotográfico completo de las labores desarrolladas y las muestras obtenidas.

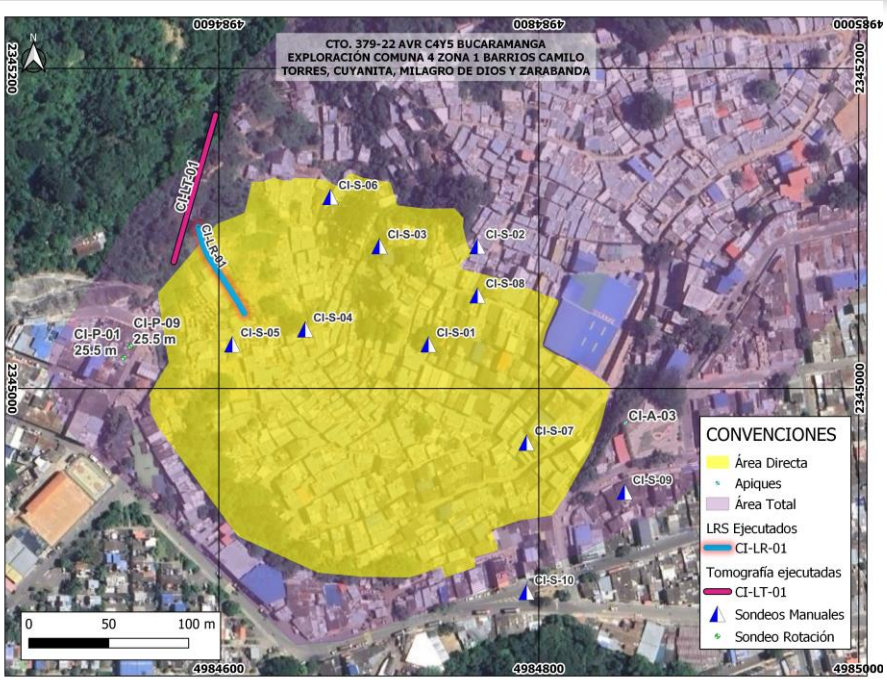


Figura 3.105 Localización de perforaciones y apiques barrios Camilo Torres, Cuyanita, Milagro de Dios y Zarabanda

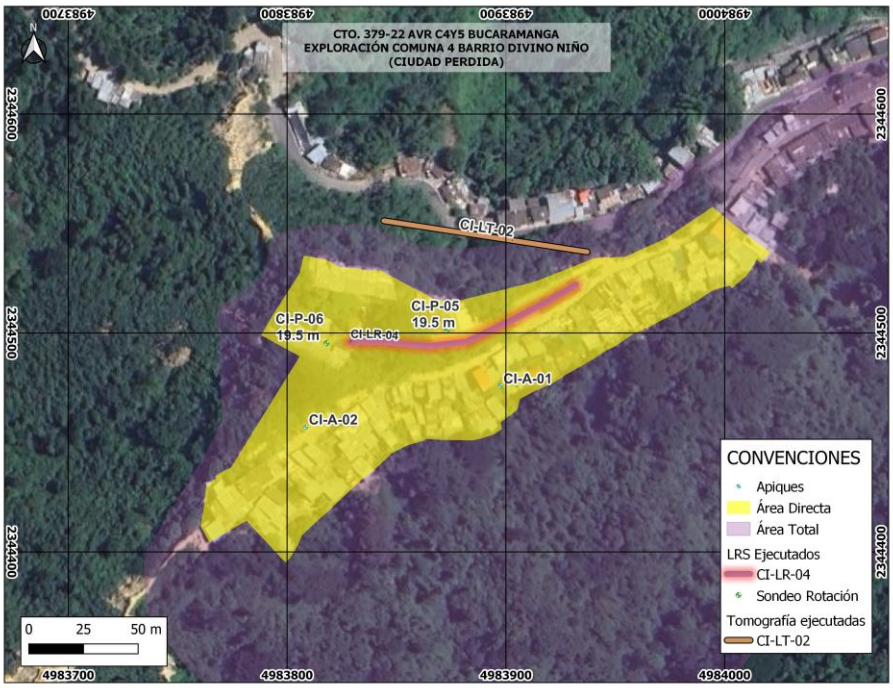


Figura 3.106 Localización de perforaciones y apiques barrio Ciudad Perdida

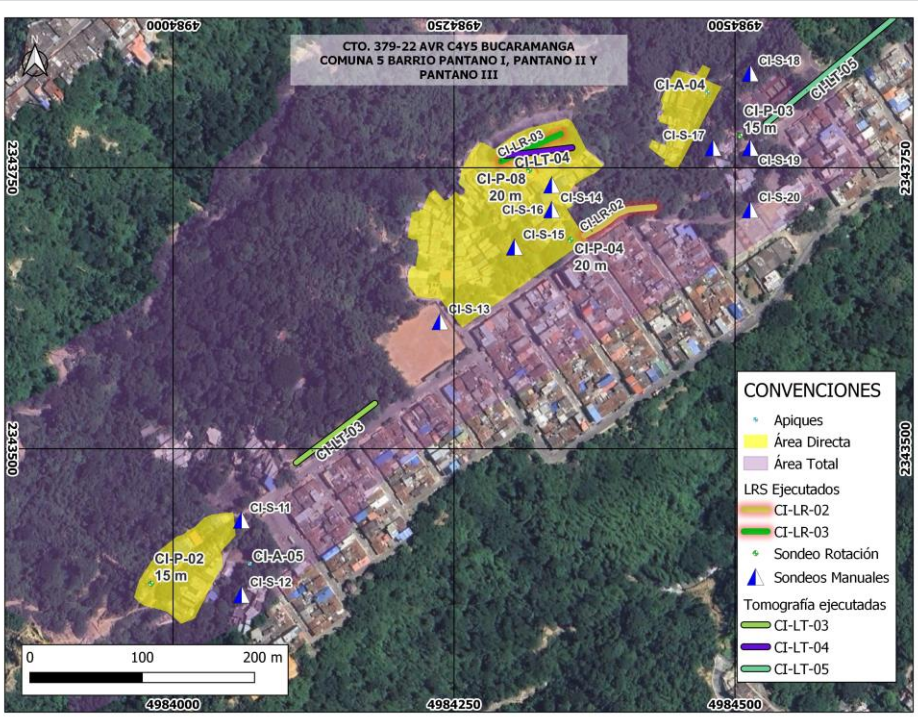
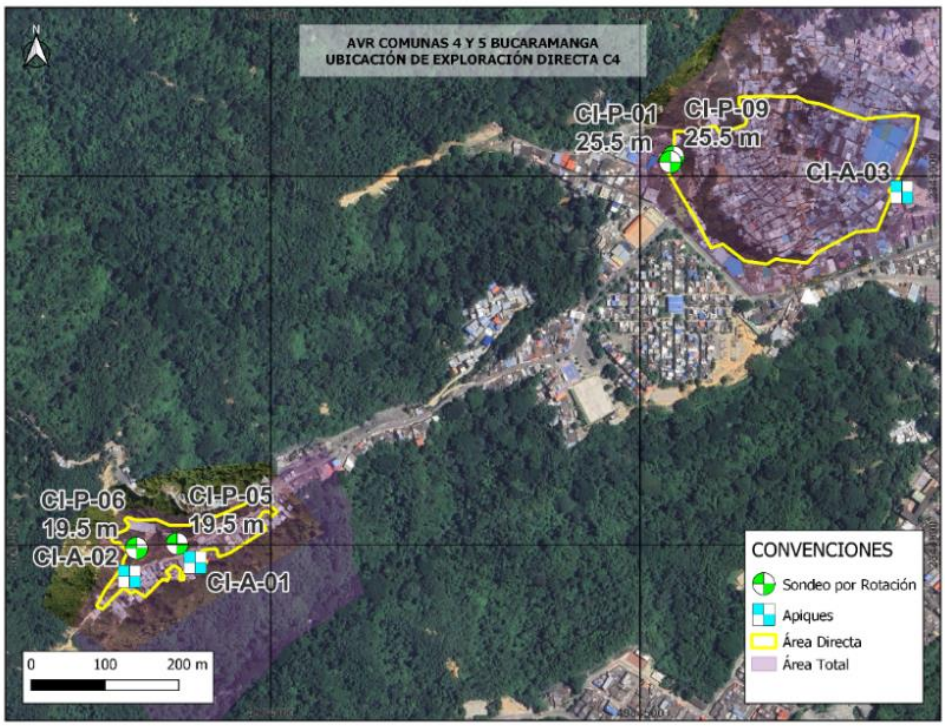


Figura 3.107 Localización de perforaciones y apiques barrios Pantano I, Pantano II y Pantano III

En la Figura 3.109 se incluyen capturas fotográficas de las máquinas de perforación en varios de los puntos explorados; el Anexo B entrega el registro fotográfico completo de las labores desarrolladas y las muestras obtenidas.



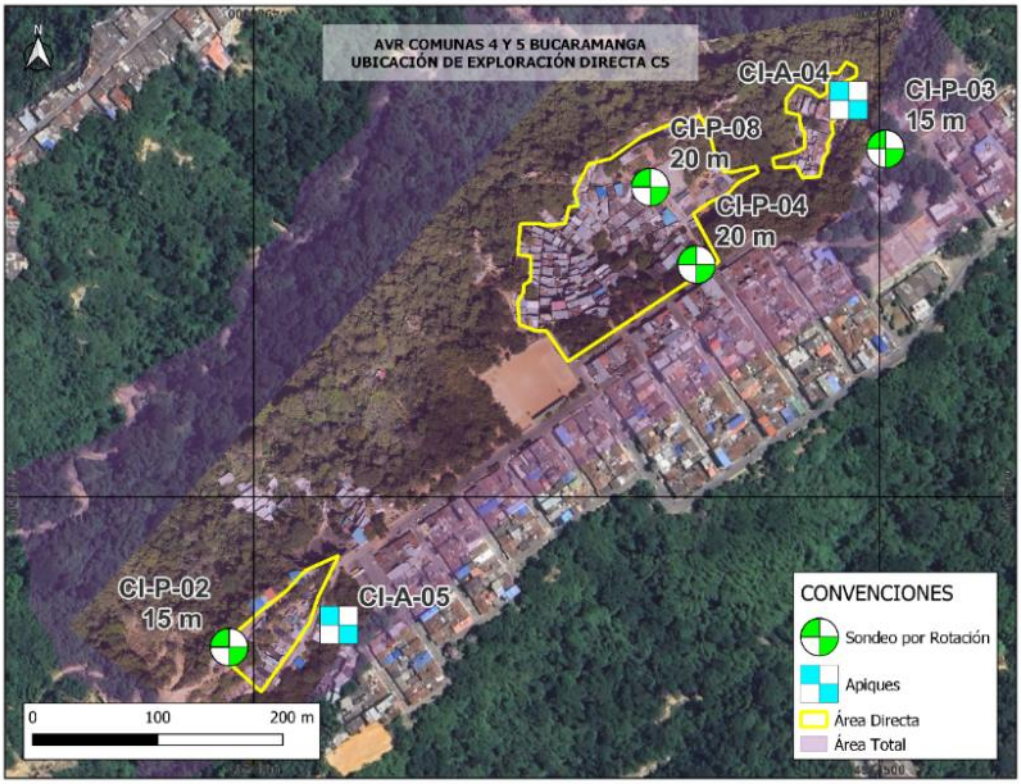


Figura 3.108 Localización de Perforaciones y Apiques



Figura 3.109 Máquina de Perforación Acker Soil Scout

3.4.1.2 Sondeos Manuales a Percusión

Contractualmente se tenía una cantidad establecida de 12 unidades de sondeo manual para ejecutar. Lo anterior se cumplió y se ejecutaron sondeos adicionales, para un total de 20 sondeos manuales en total ejecutados.

Perforación

Los 106 m perforados por este método son distribuidos en veinte (20) perforaciones identificadas de la CI-S-01 a la CI-S-20 (véase la Tabla 3.24), en las que se alcanzan profundidades que fluctúan entre los 3.00 y los 4.00 metros. La ubicación de las perforaciones mecánicas se ilustra en la Figura 3.110.

Tabla 3.24 Características Generales de las Perforaciones Manuales a Percusión

ID SONDEOS	COORDENADAS MAGNAS SIRGAS ORIGEN NACIONAL		PROFUNDIDAD (m)
	ESTE (m)	NORTE (m)	
CI-S-01	4984731	2345028	6.00
CI-S-02	4984762	2345089	7.00
CI-S-03	4984700	2345089	3.00
CI-S-04	4984654	2345037	5.00
CI-S-05	4984608	2345028	7.00
CI-S-06	4984670	2345120	6.00
CI-S-07	4984792	2344966	7.00
CI-S-08	4984762	2345058	6.00
CI-S-09	4984854	2344936	5.00
CI-S-10	4984792	2344873	7.00
CI-S-11	4984061	2343437	4.00
CI-S-12	4984061	2343370	6.00
CI-S-13	4984238	2343613	4.00
CI-S-14	4984337	2343735	4.00
CI-S-15	4984304	2343680	6.00
CI-S-16	4984337	2343713	6.00
CI-S-17	4984480	2343768	5.00
CI-S-18	4984514	2343834	5.00
CI-S-19	4984514	2343768	3.00
CI-S-20	4984514	2343713	4.00

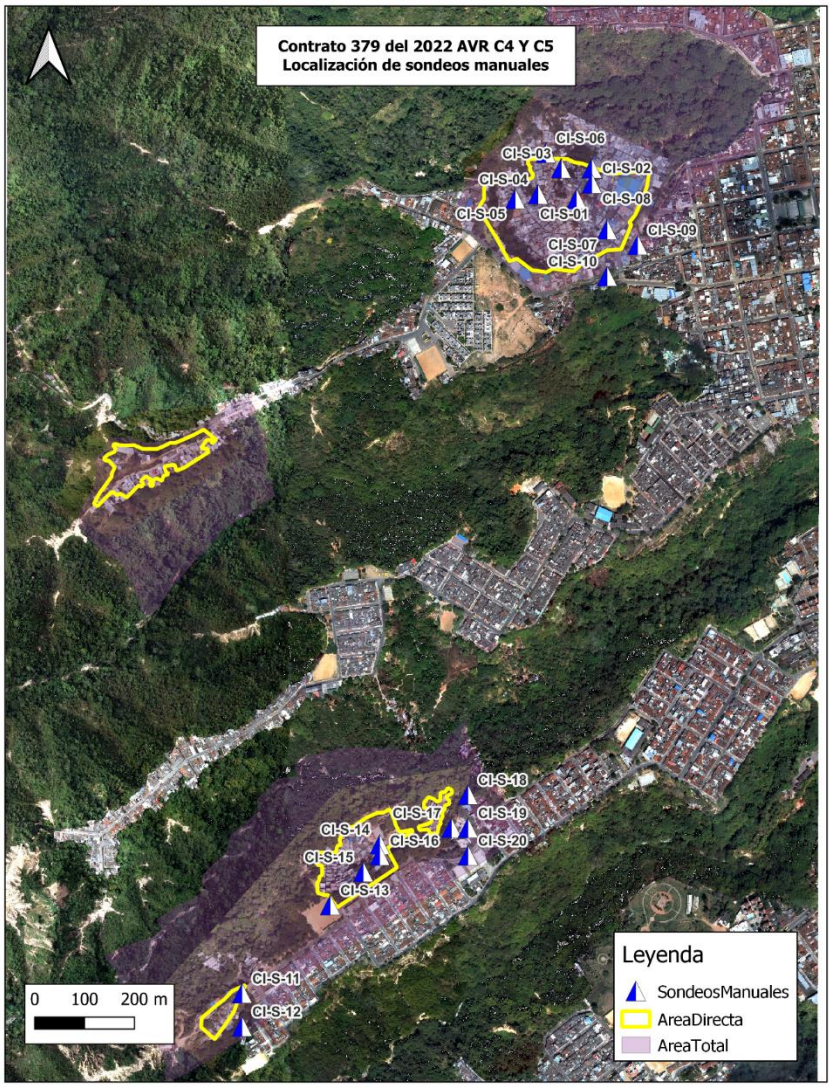


Figura 3.110 Localización de Sondeos Manuales





Figura 3.111 Fotografías de la ejecución y muestras de sondeos manuales.

Ensayo de Penetración Estándar (SPT)

El procesamiento de la información obtenida contempla el número de golpes requerido para penetrar las 12" finales (N)en cada prueba. Los resultados del ensayo para los 20 sondeos realizados brindan una valiosa información sobre la resistencia y las características del suelo en la zona de estudio. Los datos obtenidos permiten una mejor comprensión de las condiciones geotécnicas, y son fundamentales para el diseño y la planificación de proyectos de construcción, ya que la capacidad del suelo para soportar cargas es un factor clave en la seguridad y estabilidad de las estructuras. En la Tabla 3.25 se presentan a manera de ejemplo los registros del sondeo CI-S-01, el resto de los reportes se presentó en la etapa correspondiente.

Tabla 3.25 Resultados SPT Sondeo CI-S-01

ID MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)		TIPO MUESTRA	N	DESCRIPCIÓN
	DESDE	HASTA			
M1	0	0.5	Alterada	9	Se pudo apreciar la presencia de vegetación y rocas de tamaño pequeño correspondientes a la capa superior de la tierra
	0.5	1		6	
M2	1	1.5	Alterada	3	Se encontraron vacíos en el terreno en lo que recuperó el toma muestras, se pudo apreciar un material limoso con presencia de humedad
	1.5	2		5	
M3	2	2.5	Alterada	26	Se evidenció el nivel freático del terreno con recuperación de un material cienoso
	2.5	3		23	
M4	3	3.5	Alterada	7	Material limoso
	3.5	4		7	
M5	4	4.5	Alterada	18	Material compuesto principalmente por limo con presencia de arcilla, y humedad
	4.5	5		21	
M6	5	5.5	Alterada	35	Material compuesto principalmente por limo con presencia de arcilla, y humedad
	5.5	6		63	

Parámetros de resistencia

Para la estimación de parámetros efectivos de resistencia a partir de los resultados del SPT, se optó por la metodología descrita por (Gonzalez G., 1999), que presenta una evaluación más precisa de la resistencia del suelo, en aplicación de correcciones a los valores N obtenidos. La corrección se realiza para tener en cuenta el efecto del tamaño y la forma del barril utilizado, y para compensar la energía del sistema y la longitud de las barras.

En el informe se recogen los valores de N_{Corr} a un N_{60} y la estimación de los parámetros de resistencia obtenidos para cada ensayo.

3.4.1.3 Apiques

Se realizan cinco (5) apiques identificados de CI-A-01 a CI-A-05 (véase la Tabla 3.26) en los que se alcanzan profundidades de 2.00 metros, esto con el fin de caracterizar los materiales en su extensión y profundidad.

Tabla 3.26 Características Generales de Apiques

ID APIQUES	COORDENADAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL	
	ESTE (m)	NORTE (m)
CI-A-01	4983897.5	2344475.8
CI-A-02	4983809.0	2344457.1
CI-A-03	4984854.3	2344978.5
CI-A-04	4984475.6	2343817.0
CI-A-05	4984068.3	2343397.8

Finalmente, el material extraído es regresado a la excavación y el sitio es readecuado, procurando mantener las condiciones iniciales (véase la Figura 3.112).



Figura 3.112 Ejecución de ApiqueCI-A-01

3.5 INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA

Si bien en la planeación del estudio no se contempla la instrumentación geotécnica, la detonación de un movimiento en masa en el barrio La Feria durante la ejecución del estudio, impuso la necesidad de implementar algunas medidas de atención al evento. Una de las disposiciones adoptadas es el monitoreo piezométrico e inclinométrico del proceso inestable, para lo que esta Consultoría efectuó e instrumentó dos perforaciones mecánicas cerca al escarpe del deslizamiento (Véase Tabla 3.27).

Tabla 3.27 Ubicación de Instrumentación Geotécnica

ID	COORDENADAS (m)		TIPO DE INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA	PROFUNDIDAD DE LA INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA (m)	AZIMUT DE A+
	ESTE	NORTE			
CI-P-01	4984540.673	2345019.209	Inclinómetro	25.50	23°
CI-P-09	4984544.686	2345026.194	Piezómetro	34.00	No aplica

3.5.1 Piezómetro

Los piezómetros Casagrande son usados para medir la presión de poros en terrenos de baja y media permeabilidad. Están compuestos por una unidad de filtro, que es un tramo ranurado o perforado y protegido con geotextil en el extremo inferior de la tubería, que permite el ingreso del agua subsuperficial al tubo (Figura 3.113). Este filtro se confina con arena gruesa (véase la Figura 3.114), que ocupa el espacio entre filtro y pozo, y sobre esta arena se construye un sello de arcilla (Figura 3.115).

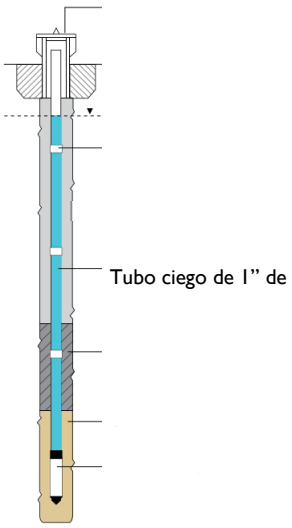


Figura 3.113 Piezómetro Casagrande. Modificado de Sisgeo (2016)

El sistema se extiende hasta la superficie a través de un tubo simple, que permite la lectura de la cabeza piezométrica en su interior. La Figura 3.113 esquematiza el piezómetro que se construyó en el marco de este estudio; y la Figura 3.114, la Figura 3.115 y la Figura 3.116 son fotografías que ilustran la instalación del piezómetro.



Figura 3.114 Arena Gruesa Implementada en la Construcción de los Filtros de los Piezómetros de Casagrande



Figura 3.115 Construcción del Sello de Arcilla para el Piezómetro de Casagrande



Figura 3.116 Instalación del piezómetro en la perforación CI-P-09

3.5.2 Inclinómetro

Es un instrumento que permite registrar los desplazamientos horizontales relativos de las masas de suelo, a partir de la comparación de lo que se supone una posición pseudovertical inicial de la tubería, y cualquier variación que se presente en ella entre las jornadas de monitoreo.

Es decir, los desplazamientos que se presenten en los cuaternarios generan deformaciones en el ducto, y esos cambios en la inclinación se registran en las jornadas de monitoreo. De este modo, es posible establecer la profundidad de la superficie de falla y las tasas de movilización del cuerpo deslizado.

3.5.2.1 Instalación de la Tubería de Inclinometría

Posterior a la finalización de la perforación CI-P-01, se procede con la instalación de la tubería inclinométrica, que se inserta hasta el fondo del pozo perforado. Parte de la evidencia fotográfica de la instalación se puede observar en la Figura 3.117, y la ubicación del inclinómetro se observa en la Tabla 3.27.

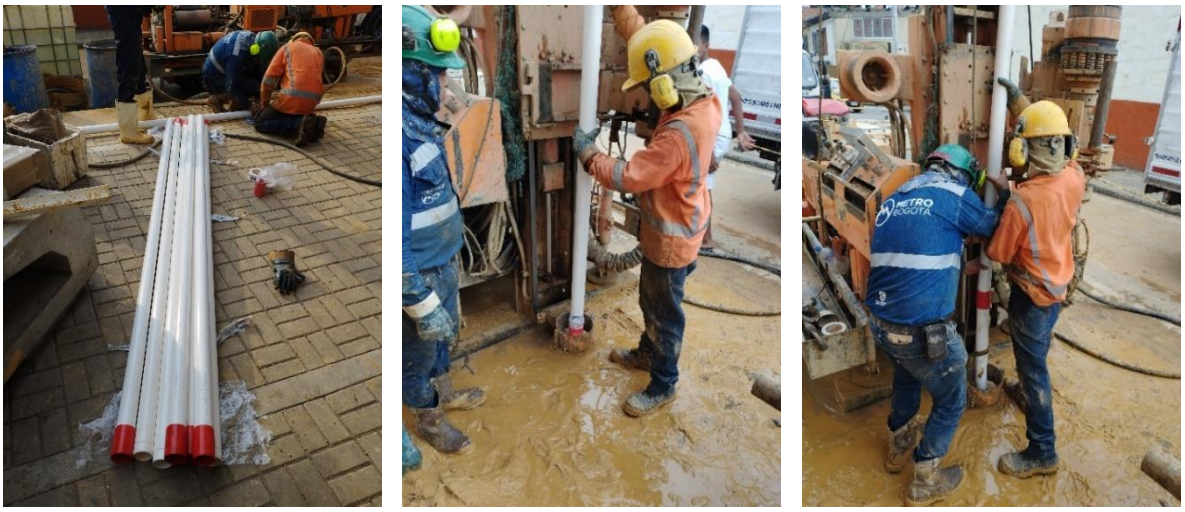


Figura 3.117 Instalación de la tubería del inclinómetro en la perforación CI-P-01

Durante la instalación de los inclinómetros, y previamente establecida la dirección principal de movilización de las masas a monitorear, se debió elegir uno de los juegos de ranuras opuestas para orientarlo en esta dirección (eje A), y mantenerlo orientado con ese azimut hasta su estabilización y confinamiento. Con esto se pretende garantizar que el monitoreo registre los desplazamientos más significativos y las mayores deformaciones en la masa inestable.

3.5.2.2 Inclinómetro Digital

En las mediciones de los desplazamientos del terreno en profundidad se utilizó el Sistema de inclinómetro Digital RST, que incorpora tecnología MEMS (Sistemas Micro Electro-Mecánicos) que provee alta precisión y confiabilidad. Para establecer la condición inicial de la tubería de inclinómetro se hace una primera toma de datos. Cualquier desviación horizontal subsecuente, a partir de la lectura base, representa los cambios ocurridos en el subsuelo. El inclinómetro digital RST puede medir con gran precisión la dirección, la profundidad y la magnitud de esas desviaciones. El inclinómetro digital implementado incluye los dispositivos visibles en la Figura 3.118, que se listan en la Tabla 3.28.

3.5.2.3 Sonda Digital

El inclinómetro digital RST tiene un arreglo de corta distancia entre ruedas, con gran capacidad para tomar datos en tuberías muy deformadas. Esto significa que la sonda digital puede permitir grandes bandeamientos de la tubería sin que se presenten problemas de atascamientos durante la medida. La sonda métrica RST puede aceptar hasta un radio de curvatura de 1.88m en una tubería de 70mm de diámetro.

La sonda digital también incorpora pasadores de seguridad en los ensamblajes de las ruedas. En el evento en que la sonda quede atascada en la tubería, una fuerza de aproximadamente 300 lbs es necesaria para romper los pasadores.

3.5.2.4 Convención de Signos

La sonda digital posee dos acelerómetros que registran datos de inclinación en dos ejes perpendiculares. La correcta instalación de la tubería involucra, como se había mencionado, alinear un juego de ranuras con el eje del movimiento instalado. Este eje es llamado el Eje-A. Las ranuras perpendiculares a este eje describen, entonces, lo que se denomina el Eje-B (véase la Figura 3.119 y la Figura 3.120).

Tal como se mencionó con anterioridad, cuando se va a explorar una perforación con inclinómetro por primera vez, es necesario seleccionar una dirección fija de referencia para la sonda. De esta forma cada vez que se realice una toma de datos la sonda siempre tendrá la misma orientación en la tubería.

En práctica, es difícil lograr la coincidencia exacta entre la orientación de las ranuras y una dirección predeterminada, por la dificultad que la inserción de la tubería en el pozo representa. Es decir, dada la resistencia que ofrece el agua subsuperficial y el tiempo que se requiere para la estabilización y el confinamiento del ducto en la perforación. La ranura más cercana al movimiento anticipado es tomada como la dirección de referencia (véase la Figura 3.120). Es recomendado que esta dirección (A+) sea marcada en la tubería para asegurar que las exploraciones siempre sean llevadas a cabo de la misma manera todas las veces.

El azimut en la dirección de las ranuras puede ser medido en dirección de las manecillas del reloj a partir de la dirección de referencia (A+). Todas las medidas subsecuentes pueden ser referidas a esta dirección.



Figura 3.118 Dispositivos del sistema de medición

Tabla 3.28 Implementos del equipo inclinómetro digital

1. Estuche
2. Sonda de inclinómetro digital
3. Cargador de batería del carrete
4. Sostenedor de cable de 70mm
5. Sostenedor de cable de 85mm
6. Computador de mano de campo
7. Adaptador para carro 12V DC para el cargador del carrete o del computador de mano de campo
8. Batería adicional del carrete
9. Lubricante digital
10. Cable USB para el computador de campo digital
11. Adaptador AC (110-240V) para el cargador del carrete
12. Adaptador AC (110-240V) para del computador de mano de campo
13. Cable del carrete con sistema de comunicación inalámbrica y tapa de protección
14. Estuche para carrete

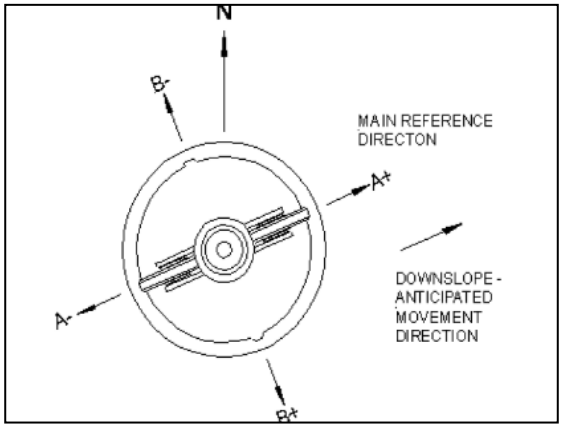


Figura 3.119 Orientación de la sonda digital

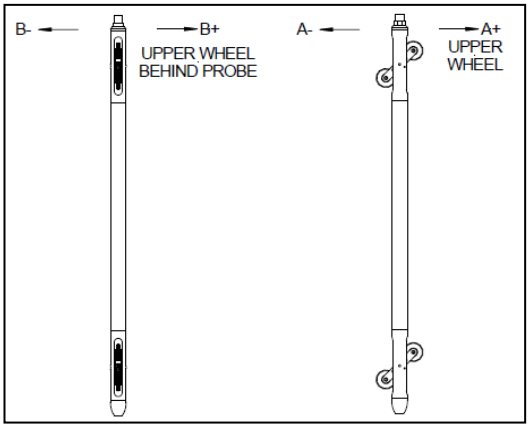


Figura 3.120 Ejes de la sonda digital

3.5.2.5 Toma de Medidas

1. Al momento de llegada, se remueven las tapas de protección de la tubería, la sonda y el cable de control. Se ajusta la sonda con el carrete alineando las marcas guías y uniendo el conector a la sonda.
2. La sonda de inclinómetro digital se maneja con mucho cuidado, pues los acelerómetros son muy susceptibles a golpes.
3. Una vez conectados, se enciende el carrete. Esto energiza los acelerómetros y los hace menos susceptibles a los golpes.
4. Se inserta la sonda dentro del pozo de inspección alienando la rueda superior en la dirección del eje A+.
5. Se baja la sonda a la máxima profundidad, cuidando de no rebotar la sonda con el fondo del pozo.
6. Una vez se ha alcanzado la profundidad deseada (base del pozo), se coloca el sujetador del cable en la parte superior de la tubería y se sostiene el cable por los remaches de aluminio. Este paso es de extrema importancia para asegurar la obtención de medidas correctas.
7. Siempre se tira del cable hacia arriba a la profundidad deseada. Si accidentalmente se sube la sonda muy lejos, se baja la sonda nuevamente a la profundidad anterior, y luego se sube nuevamente a la profundidad deseada. Este procedimiento asegura que las lecturas permanezcan consistentes.
8. En cada posición se debe dejar que la lectura se estabilice. La estabilización de las medidas se puede apreciar por la desviación estándar que es proyectada en la pantalla de lecturas en el computador de mano.
9. Una vez las medidas se hayan estabilizado, se presiona el botón Accept y se mueve la sonda al siguiente intervalo o ubicación.
10. Se continúa de esta forma hasta que se alcance la parte superior del pozo. El software en este punto, pedirá que se gire la sonda 180 grados y se repita la inspección, esta vez con las ruedas bajas de la sonda en la dirección A+ de las ranuras de la tubería.
11. Durante la segunda pasada de lecturas, la suma de datos de chequeo se muestra debajo de cada medida. Se debe asegurar que este dato permanezca pequeño y consistente, sin embargo, las sumas de chequeo pueden variar debido a diferentes condiciones del sitio. Largas sumas de chequeo pueden indicar errores en el posicionamiento de la sonda o atascamiento de la sonda. Se deben esperar sumas de chequeo mínimamente

mayores cuando la sonda encuentra una expansión en alguna de las uniones de la tubería.

12. Al completar la exploración, se cierra el programa de inclinómetro en el computador de mano. Se apaga el carrete y desconecta la sonda. Se enjuaga la sonda y el cable. Se coloca las tapas del cable y la sonda nuevamente, y se tapa de nuevo la tubería para proteger el instrumento.
13. Los datos se transfieren al PC para procesar las medidas recogidas en la inspección.



Figura 3.121 Computador de mano: componente fundamental del equipo de monitoreo inclinométrico

3.5.3 Monitoreo Geotécnico

3.5.3.1 Monitoreo Piezométrico

Para el monitoreo piezométrico se accede a la tubería en superficie y se inserta la sonda piezométrica, permitiendo su descenso hasta que la punta de ésta alcance la superficie del agua. Una vez realizado este procedimiento, se reporta la profundidad en la que se halla el agua subsuperficial.

La Tabla 3.29 categoriza los datos recolectados en cada inspección de los piezómetros. Es importante destacar que, 1) Las mediciones realizadas, muestran básicamente que el nivel freático se encuentra profundo en todas las mediciones efectuadas, lo cual hace prevé que la presencia de la grieta, actúa como un manto permeable, por la cual fluye toda el agua subterránea. 2) Se ha notado una acumulación de barro en la punta de las sondas como se evidencia en la Figura 3.122.



Figura 3.122 Monitoreo Piezométrico

Tabla 3.29 Profundidad de la Tabla de Agua Durante el Monitoreo Piezométrico

PIEZÓMETRO	JORNADA DE MONITOREO / FECHA												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
FECHA	3/4/23	4/4/23	10/4/23	19/4/23	25/4/23	3/5/23	10/5/23	17/5/23	28/5/23	01/06/23	07/06/23	14/06/23	21/06/23
NF (M) CI-P-09	24.90	25.44	24.43	25.52	25.4	25.5	25.5	25.62	25.5	25.42	25.4	25.5	25.7

3.5.3.2 Monitoreo Inclinométrico

Los resultados de las primeras doce (13) mediciones realizadas en la perforación CI-P-01, muestra claramente una tendencia del terreno a desplazarse a partir de los 10 metros de profundidad. Si bien es cierto que estas deformaciones son del orden del centímetro, se encontró que el movimiento fue de gran magnitud entre el 4 y 10 de abril fechas entre las cuales se dio la mayor parte de las deformaciones, y un descenso en las deformaciones horizontales a partir de esa fecha, aunque con un leve aumento general en la última medición realizada. Esta profundidad de igual manera podría corresponder a una grieta de tracción que se esté generando actualmente en el barrio La Feria. En la Figura 3.123 a la Figura 3.127 se evidencia los gráficos que muestran las deformaciones calculadas. En particular la imagen de movimiento acumulado muestra la deformación del instrumento considerando la base como inmóvil.

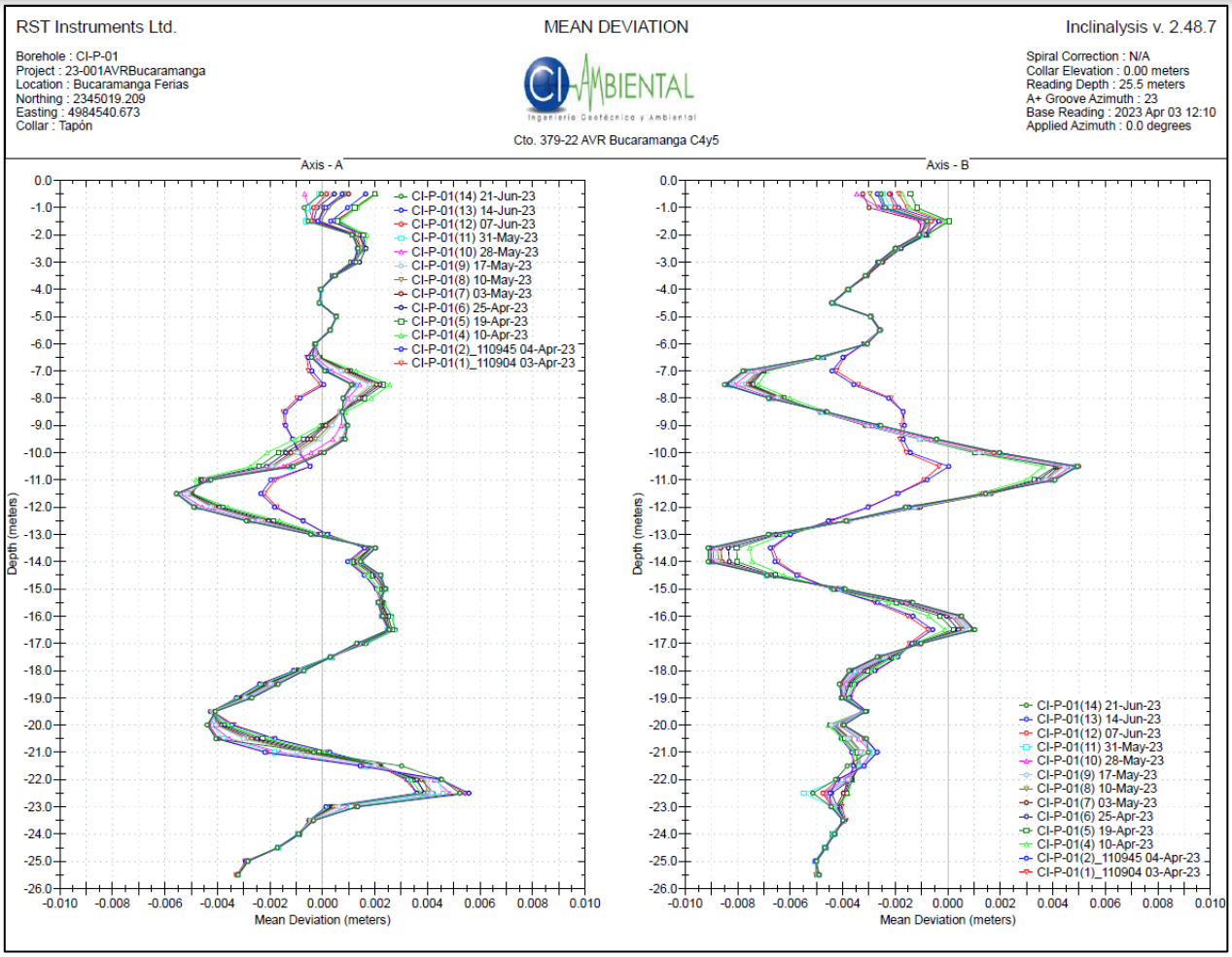


Figura 3.123 Desviación media registrado en el CI-P-01

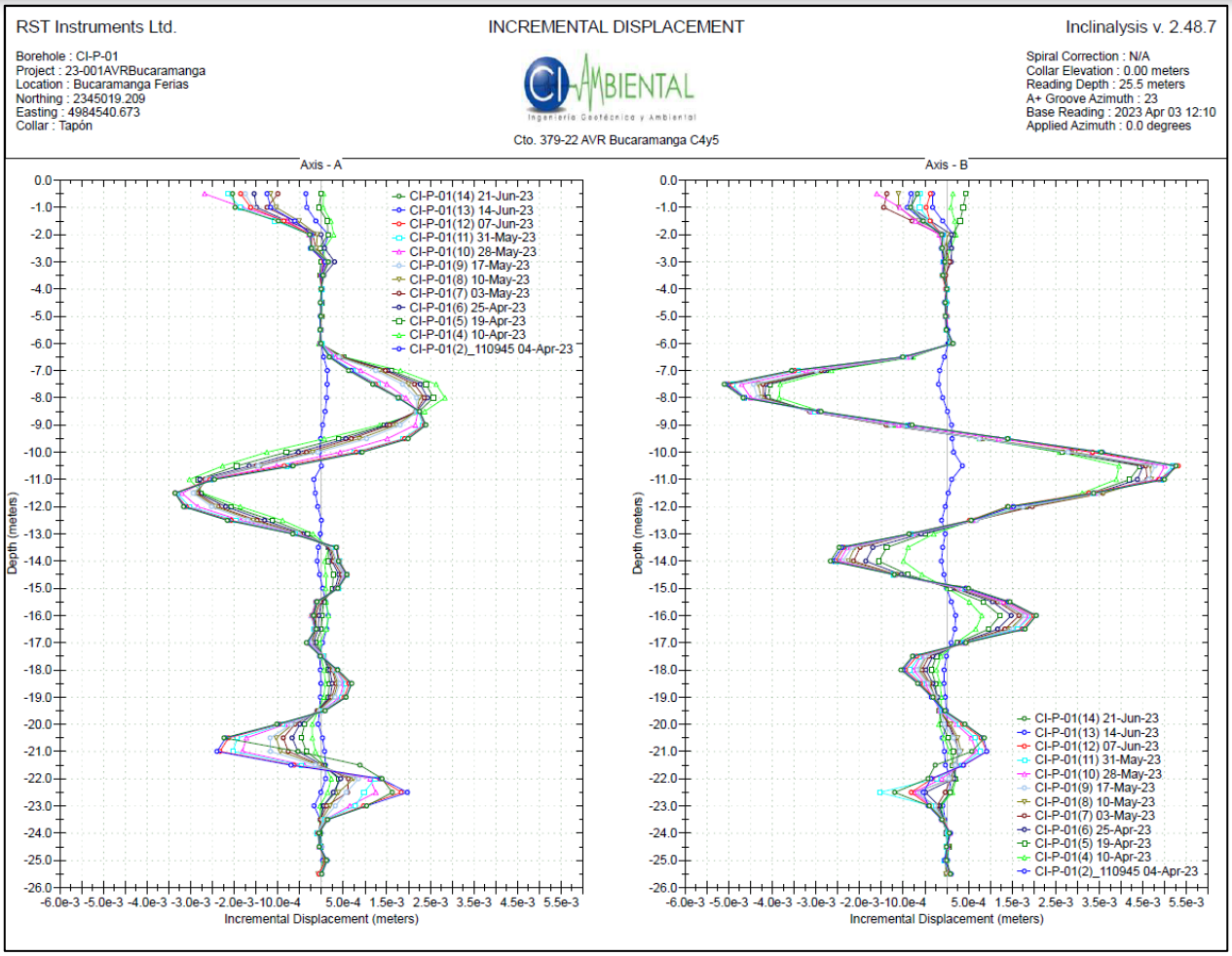


Figura 3.124 Incremento de desplazamiento registrado en el CI-P-01

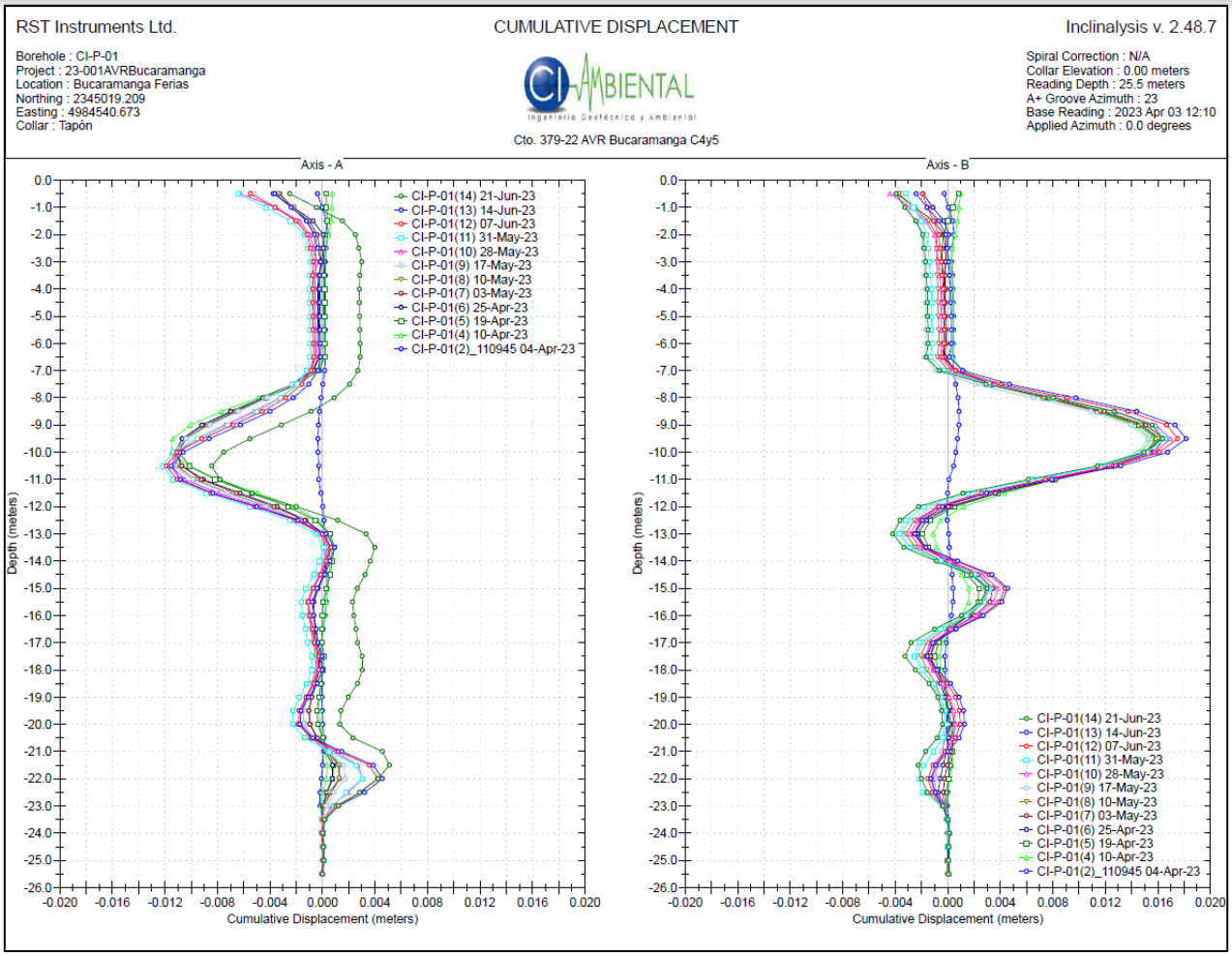


Figura 3.125 Desplazamiento acumulativo registrado en el CI-P-01

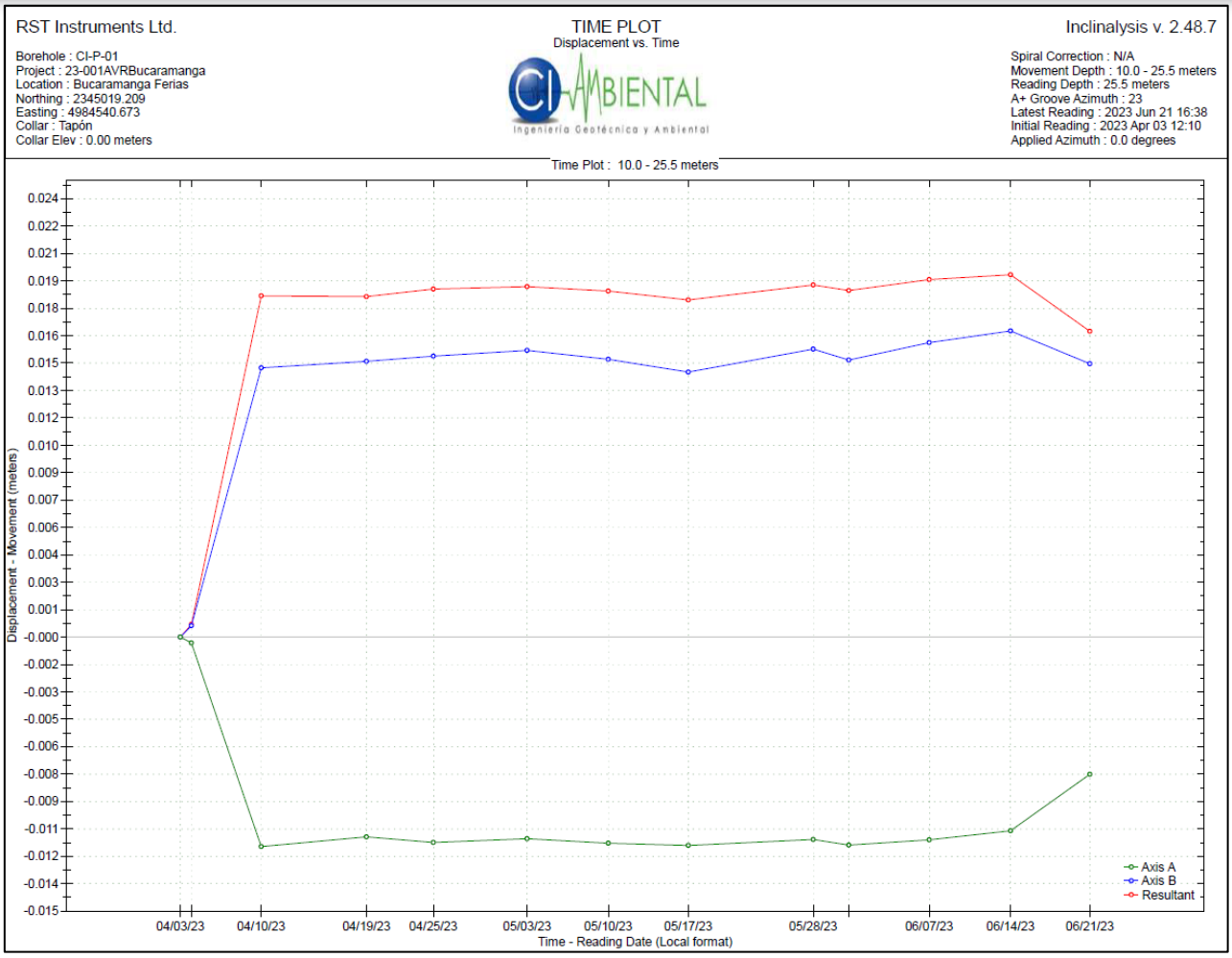


Figura 3.126 Desplazamiento vertical vs Tiempo registrado en el CI-P-01

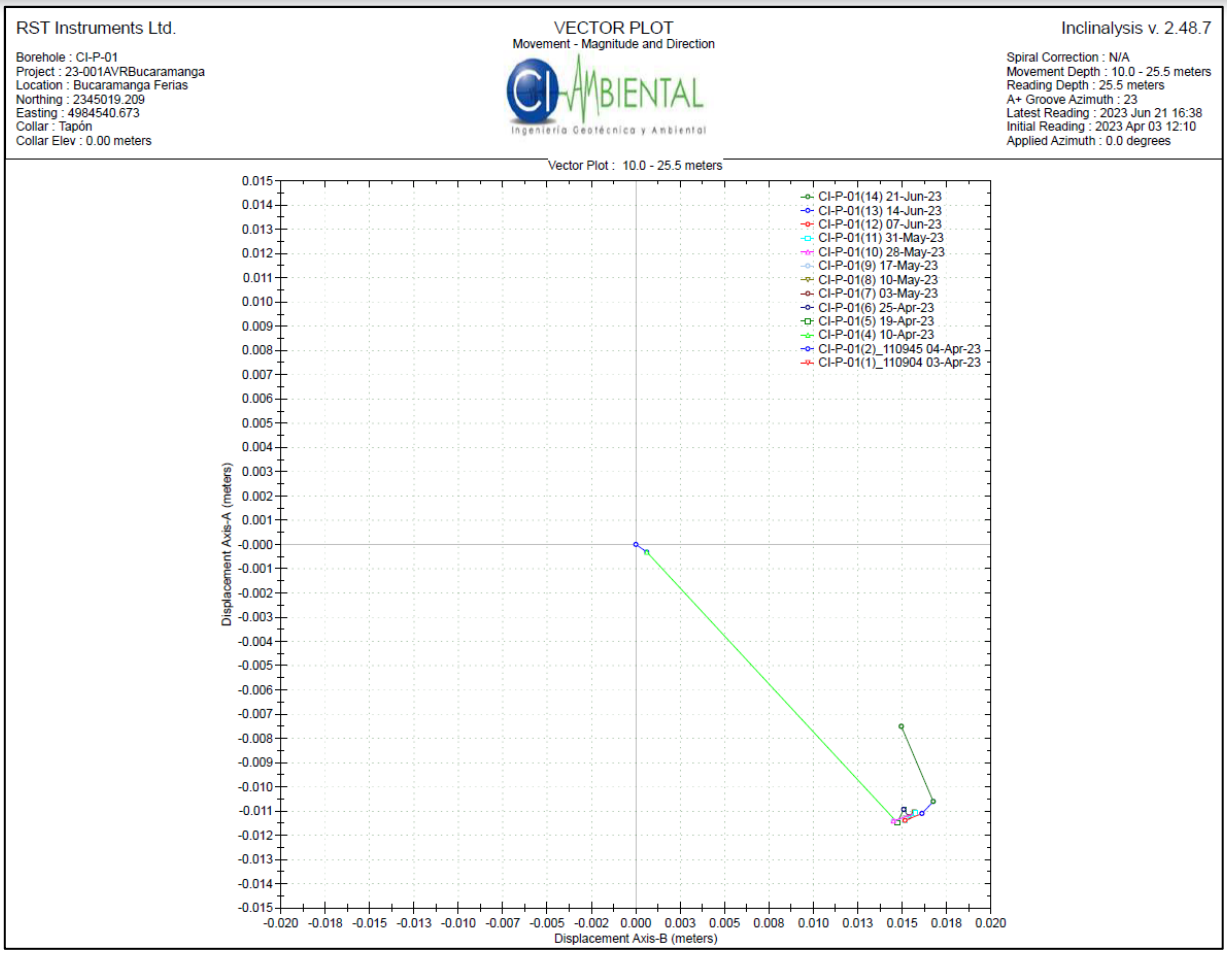


Figura 3.127 Representación vectorial de los desplazamientos registrado en el CI-P-01.

3.5.4 Exploración indirecta

3.5.4.1 Tomografías Eléctricas

El método de resistividad eléctrica consiste fundamentalmente en la generación de un campo eléctrico artificial para estudiar las variaciones en la profundidad del subsuelo de la propiedad física denominada resistividad eléctrica.

En la Figura 3.128 se muestra los rangos de variación de diferentes tipos de suelos, fluidos, minerales y rocas que usualmente se encuentran en el planeta Tierra.

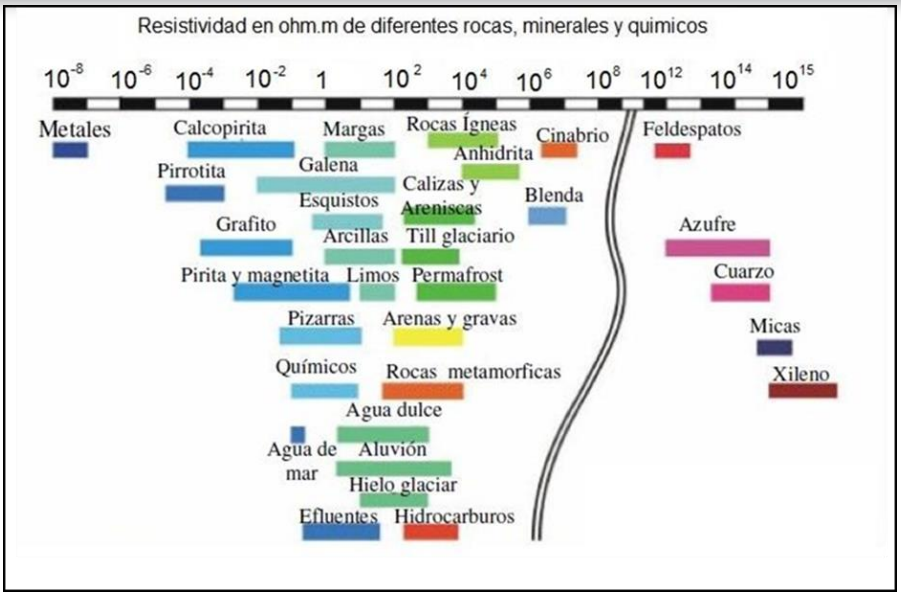


Figura 3.128 Resistividades de diferentes rocas y minerales
Fuente: (Modificado de Orellana, 1982)

<u>Actividades de Tomografías Eléctricas</u>

En cuanto a las cantidades establecida eran un total de 5 unidades de tomografías contratadas, ejecutándose finalmente el total de 5 tomografías eléctricas.

En la Tabla 3.30 se encuentran consignadas las coordenadas planas Magna Sirgas Origen Único Nacional, de las 5 Tomografías Eléctricas realizadas. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se evidencia a manera de ejemplo la ejecución del ensayo in situ. La ubicación de las tomografías eléctricas se ilustra en la Figura 3.129.

Tabla 3.30 Características Generales de las Tomografías Eléctricas

ID TOMOGRAFÍA	COORDENADAS INICIO			COORDENADAS FIN		
	ESTE (m)	NORTE (m)	ELEVACIÓN (M)	ESTE	NORTE	ELEVACIÓN (m)
CI-LT-01	1103592	1279530	886	1103618	1279622	865
CI-LT-02	1102958	1278986	884	1102865	1279000	886
CI-LT-03	1103133	1277936	893	1103203	1277989	894
CI-LT-04	1103319	1278210	893	1103378	1278217	893
CI-LT-05	1103551	1278239	902	1103664	1278333	910

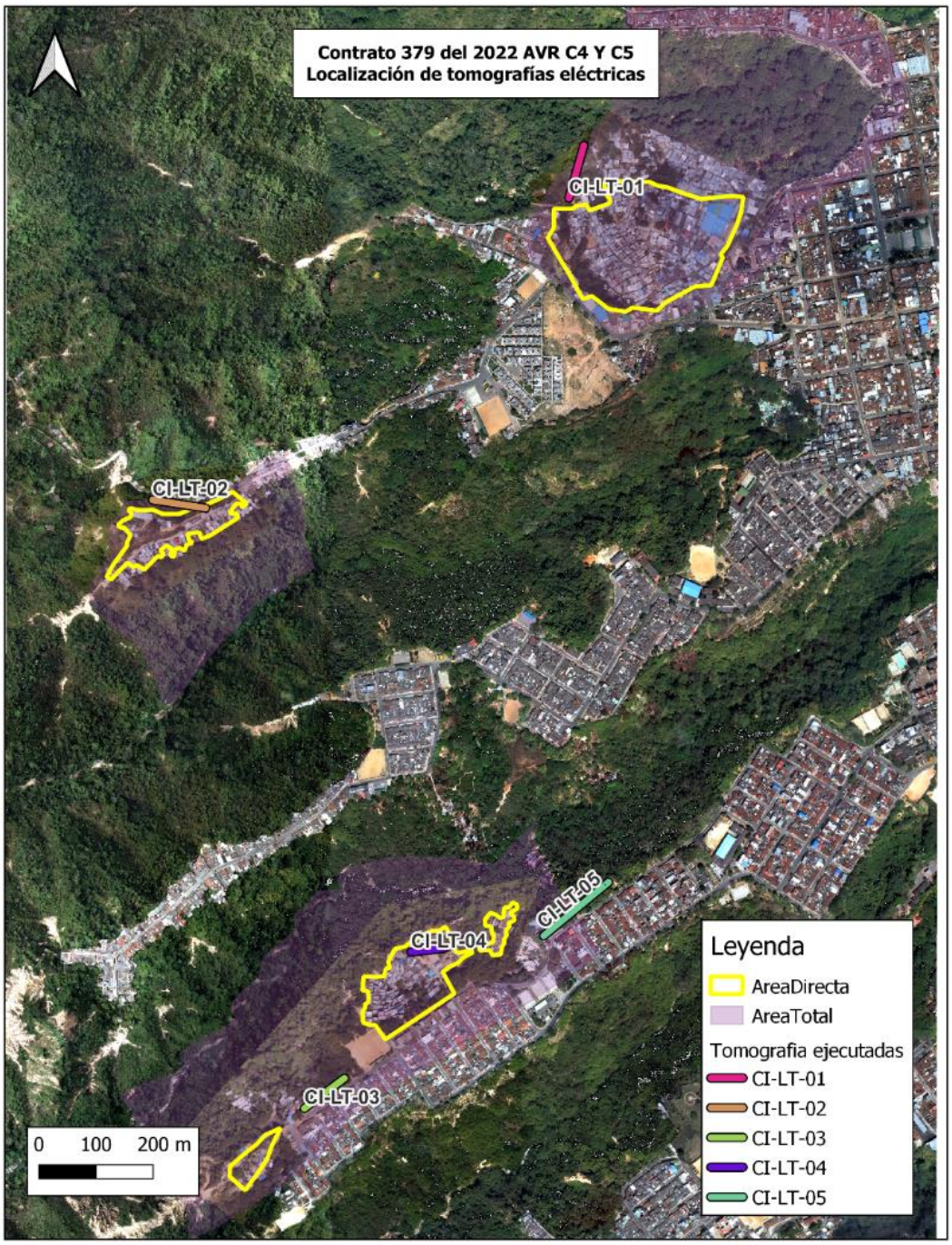


Figura 3.129 Localización de tomografías eléctricas

<u>Resultados de las Tomografías Eléctricas</u>

Los resultados de las Tomografías se detallan en las Figura 3.130 a la Figura 3.134 donde se encuentran las seudosecciones con los valores de resistividad aparente medidos en campo.

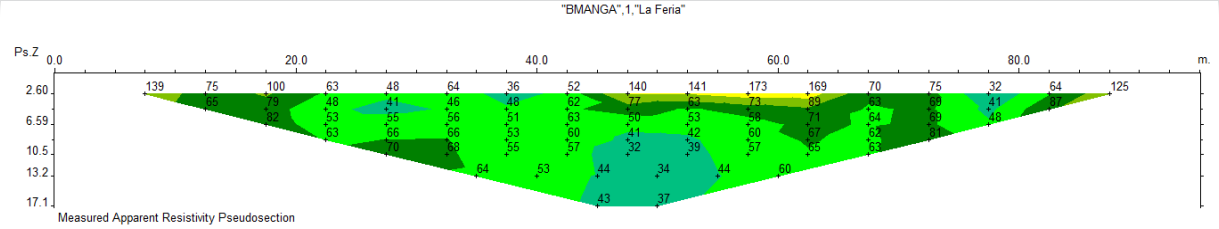


Figura 3.130 Resultados de la adquisición de la Tomografía Eléctrica - Zona La Feria

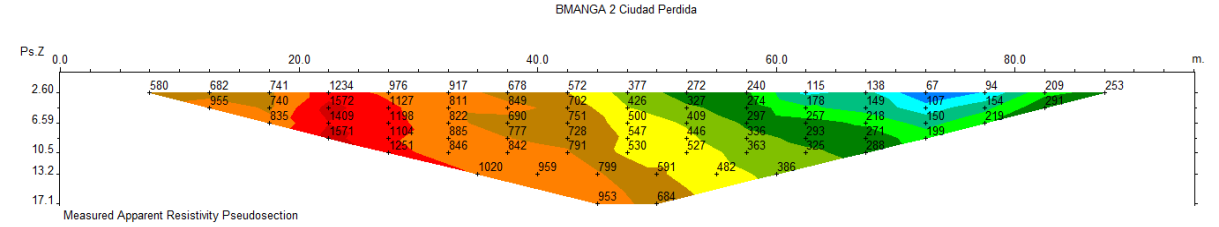


Figura 3.131 Resultados de la adquisición de la Tomografía Eléctrica - Zona Ciudad Perdida o Divino Niño

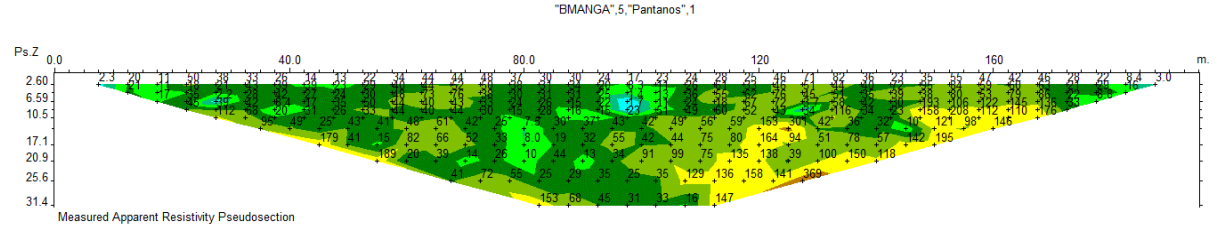


Figura 3.132 Resultados de la adquisición de la Tomografía Eléctrica - Zona Pantano 1

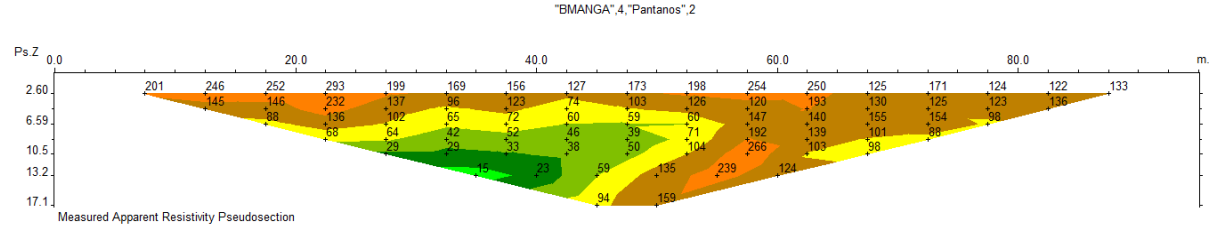


Figura 3.133 Resultados de la adquisición de la Tomografía Eléctrica - Zona Pantano 2

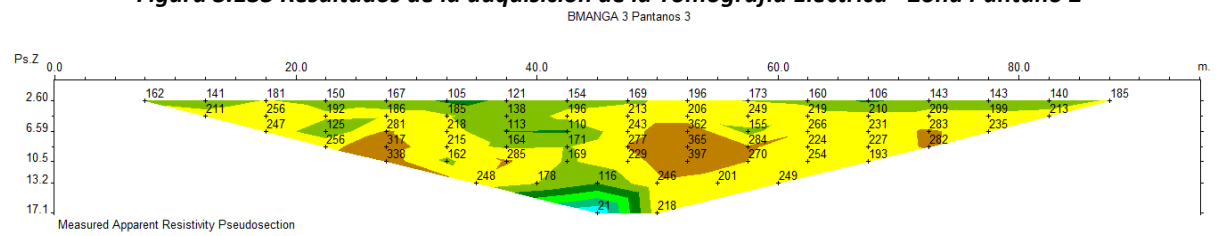


Figura 3.134 Resultados de la adquisición de la Tomografía Eléctrica - Zona Pantano 3

Interpretación de las Tomografías Eléctricas

- *Tomografía Eléctrica CI-LT-01*

  Se realizó de SW a NE con una longitud de 100 m. Para una mejor interpretación se procesó la imagen mediante la opción de procesamiento robusto de diferencias finitas del software RES2DINV y se obtuvo la imagen de la Figura 3.135.

  Unidad 1: En la parte más superficial se determinó una capa de valores de resistividad entre 136 y 791 ohm-m, correlacionables con Suelos transportados de arcillas y arenas secos del miembro Órganos de la Formación Bucaramanga. Tienen un espesor de 5 a 7 m (Staaob).

Unidad 2: Seguidamente y hacia mayor profundidad se encontraron valores de resistividad eléctrica de 42 a 75 ohm-m. Estos se correlacionan también con arcillas y arenas del miembro Órganos de la Formación Bucaramanga, pero saturados. Tienen un espesor mayor de 13 m.

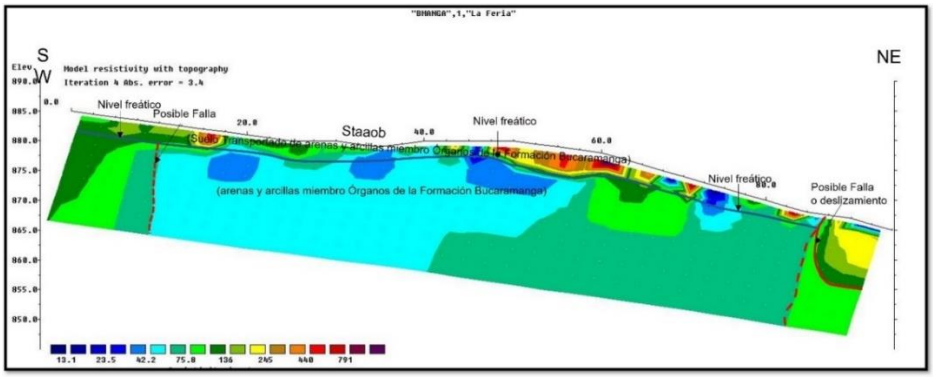


Figura 3.135 Interpretación de la Tomografía Eléctrica CI-LT-01

3.5.4.2 Ensayo de Líneas de Refracción Sísmica

Con el fin de complementar la exploración directa del subsuelo, se llevaron a cabo pruebas geofísicas para la obtención de propiedades dinámicas de los suelos. Entre los ensayos geofísicos realizados se incluyó la ejecución de ensayos de líneas de refracción sísmica. La ubicación de las líneas de refracción se muestra en la Figura 3.136.

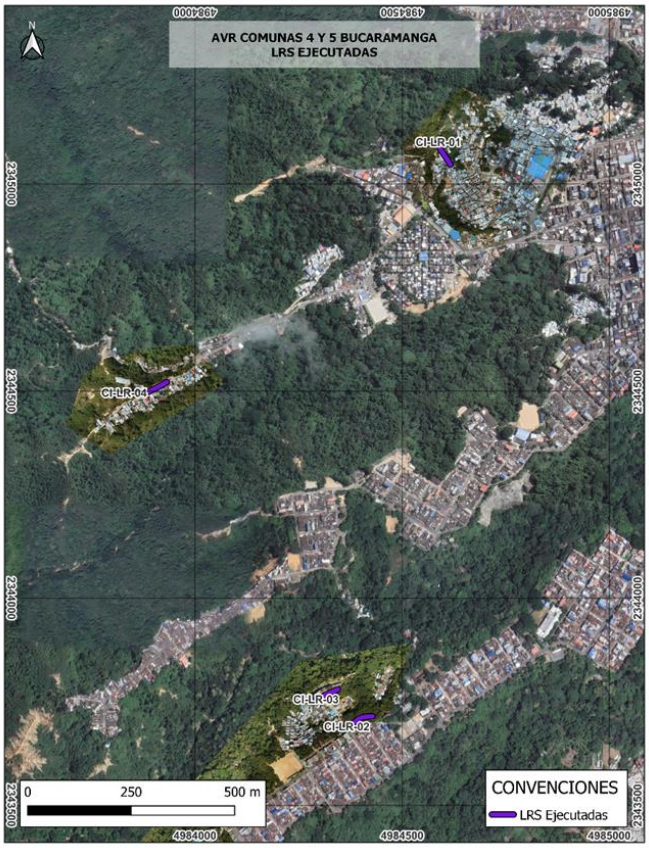


Figura 3.136 Ubicación de las LRS en planta

A continuación, se muestran los pormenores de la ejecución de cada una de las líneas de refracción ejecutadas:

- *CI-LR-01*

  Consistió en una línea de 60 m en dirección SE-NW y con distanciamiento de sensores cada 2.5 m aprovechando al máximo el espacio disponible, con ejecución de lecturas de ondas P y ondas S. Se ubicó a través de la zona afectada por el movimiento en masa ocurrido en el barrio Camilo Torres, que expuso material de suelo entre las superficies de vías andenes, y se ejecutó el día 19 de mayo de 2023.

  Se realizaron golpes en las posiciones 0, 15, 30, 45 y 60 m del trazado para las ondas P y ondas S. La Figura 3.137 muestra una fotografía durante la ejecución de las labores en este punto.



Figura 3.137 Ejecución de las labores para la CI-LR-01

El procesamiento anterior se llevó a cabo para cada una de las líneas de refracción realizadas tanto para ondas P como para ondas S. Los resultados finales de cada una de las líneas se presentan a continuación de la Figura 3.138 a la Figura 3.139 Gráfica de comportamiento morfológico para la CI-LR-01 ondas S y de la Tabla 3.31.

- *CI-LR-01*

Ondas P

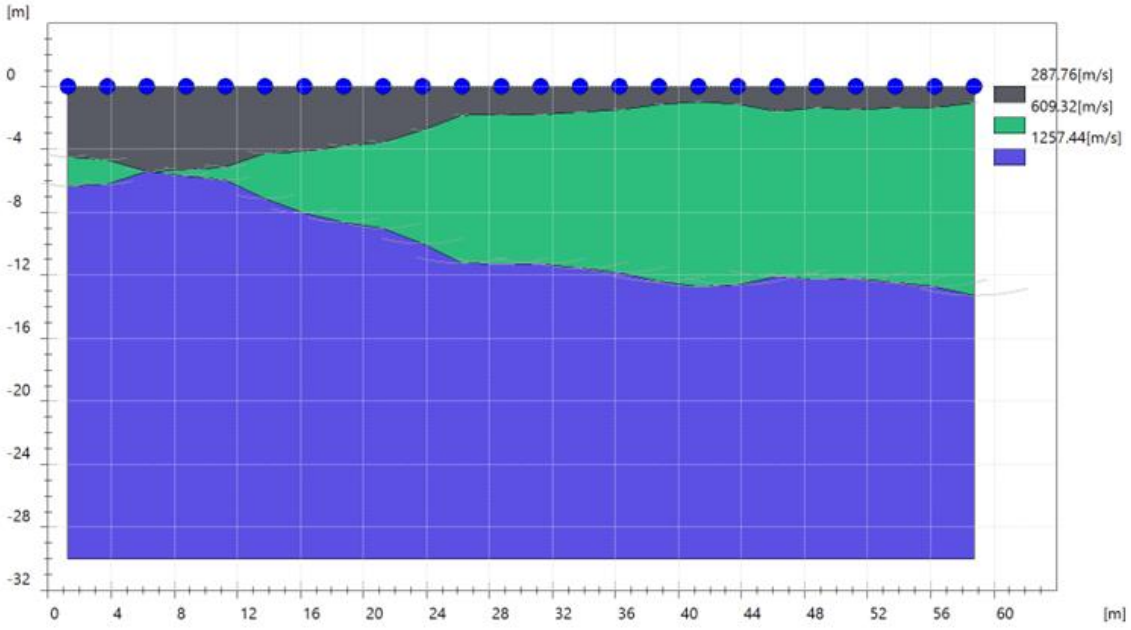


Figura 3.138 Gráfica de comportamiento morfológico para la CI-LR-01 ondas P

Ondas S



Figura 3.139 Gráfica de comportamiento morfológico para la CI-LR-01 ondas S

Tabla 3.31 Parámetros elásticos para la CI-LR-01

PARÁMETRO	ESTRATO N. 1	ESTRATO N. 2	ESTRATO N. 3
Coeficiente Poisson	0.30	0.42	0.36
Densidad [kg/m³]	1495.50	1724.61	1979.12
Vp [m/s]	290.13	599.02	1266.73
Vs [m/s]	155.08	222.47	592.46
G0 [MPa]	35.97	85.36	694.69
Ed [Mpa]	125.88	618.83	3175.73
M0 [MPa]	89.92	533.47	2481.04
Ey [Mpa]	93.51	242.41	1889.56

Las restantes líneas de refracción sísmica se presentan en el informe principal.

3.5.5 Ensayo Downhole

Con la finalidad de obtener datos para estimar las velocidades de ondas de cuerpo en el subsuelo de la zona anterior al movimiento en masa de la zona de La Feria, se ejecutó un ensayo Downhole hasta una profundidad de 25 metros.

La ejecución de esta actividad implicó la previa instalación de tubería de inclinometría, la cual además de servir para el monitoreo inclinométrico, se utiliza para facilitar el desplazamiento de la sonda del ensayo Downhole.

3.5.5.1 Equipos Utilizados

La ejecución de este ensayo y la toma de datos se realizaron con el equipo CROSSHOLE AND DOWNHOLE SEISMIC TEST de la casa OLSON INSTRUMENTS.

El equipo Downhole consta de los siguientes elementos:

- Geófono triaxial: Registra las ondas que viajan dentro del material de suelo. Capta ondas en sentido vertical, radial y transversal. Posee un neumático que lo empuja contra la pared del tubo.
- Cables de transmisión de datos: Transmiten la información registrada por el geófono y acelerómetro hacia el pc de adquisición de datos.
- Línea de aire: Se conecta al neumático ubicado en la parte posterior del geófono.
- Torpedo: permite la conexión del geófono a los cables de transmisión de datos y línea de aire, además que por su peso facilita el ingreso del geófono en la tubería, permitiendo además controlar la dirección en que registra los datos.
- PC de adquisición de datos: Computador portátil especial para campo con batería de larga duración, cuerpo resistente a condiciones adversas de clima y puertos de conexión.
- Tren de ondas de corte: Montaje mediante un madero, dos parales y dos martillos, que permite la generación de ondas de corte respecto a la posición del geófono.

- Hammer trigger: Acelerómetro en superficie que se ubica cerca de la zona de impacto para captar el momento en que se generan los golpes, y así definir el tiempo cero para los registros del geófono triaxial.

Accesorios: Bomba de aire, cuerda, cinta métrica, soporte de líneas, placa de acero, entre otros.

3.5.5.2 Procedimiento del Ensayo

El método Downhole se basa en determinar los tiempos de recorrido de las ondas compresionales (ondas P) y de corte (ondas S), desde un punto conocido (fuente sísmica) hasta una serie de puntos a diferentes profundidades en los que se ubica un elemento receptor (geófono) a lo largo de una perforación instrumentada.

Conociendo el tiempo en que las ondas emplean en recorrer la distancia que separa la fuente y los receptores, se puede determinar la velocidad de propagación del medio. A partir de los valores de velocidad se puede obtener un modelo del subsuelo compuesto por capas de material con valores o rangos de velocidad asociadas. Este método es muy útil para determinar, de manera indirecta, la estratigrafía del subsuelo, además de ser muy preciso para determinar la velocidad de propagación de onda de corte en el suelo, y constantes elásticas como relación de Poisson y módulos de cizalladura y de Young, entre otras. La conformación del subsuelo por este método se validó con las perforaciones realizadas previo a la realización de los ensayos. El ensayo de Downhole complementa los resultados de la perforación.

El torpedo, que transporta el geófono, se desplaza sin posibilidad de rotación, a lo largo de la perforación con la ayuda de ruedas metálicas que se encajan en las ranuras verticales propias la tubería, deteniéndose y registrando datos cada metro de profundidad. Además del cable de transmisión de datos, al torpedo se fija una cinta métrica para controlar claramente la profundidad a la que se encuentra el geófono, así como un pequeño artefacto inflable para garantizar que este se mantuviese quieto en el momento de recibir las ondas. La Figura 3.140 permite la visualización del geófono utilizado.

La ejecución del ensayo sigue los lineamientos descritos en la Norma ASTM-D7400. De esta manera, la adquisición de datos se inicia con la disposición de las fuentes de energía en superficie: i) un disco metálico que reposa en el suelo para ser golpeado verticalmente con un martillo, en el caso de la generación de las ondas compresionales, y ii) un arreglo que consta de una viga de madera de 2.4 m de longitud, en la que se asegura un martillo de 13 lb con cabo de 1.5 m en cada uno de los extremos, para crear ondas de corte (véase la Figura 3.141). Los elementos se ubican a distancias entre los 1 y los 3 metros de la perforación, y se debe garantizar que la viga y el sentido de lectura de las ondas de corte del geófono tengan la misma orientación.

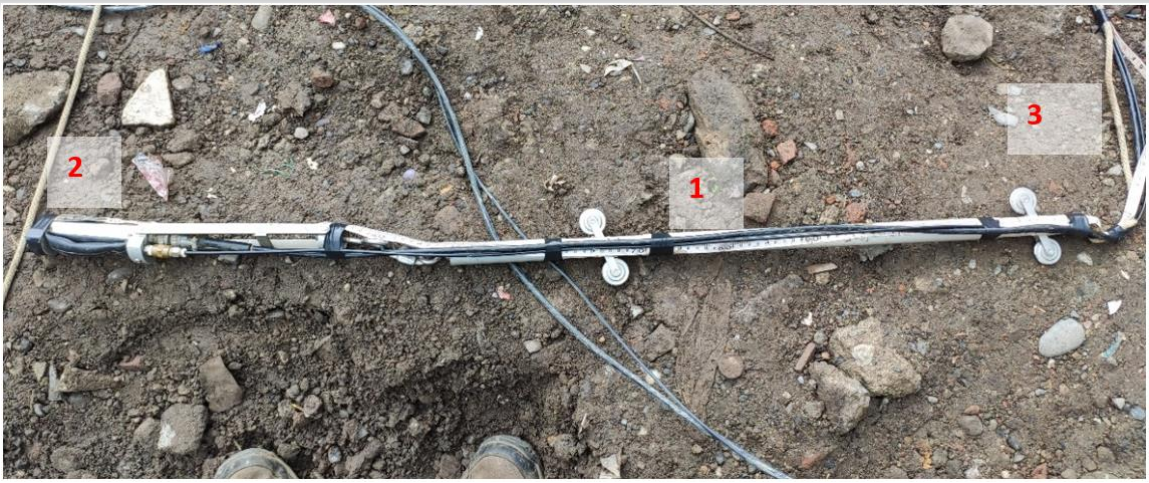


Figura 3.140 Torpedo de ensayo Downhole (1), donde se puede apreciar el geófono triaxial (2), cables de datos (3), manguera neumática (3) y cinta métrica (3).

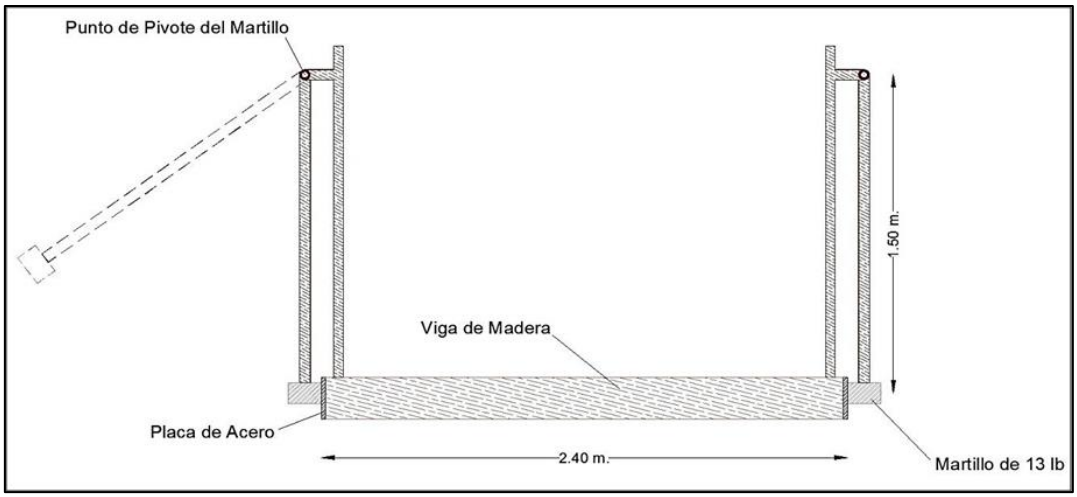


Figura 3.141 Fuente de Ondas de Corte para la ejecución del ensayo tipo Down Hole (conforme a lo requerido por la Norma ASTM D7400 – 08).

Ubicado el geófono a profundidad conocida dentro de la perforación, se procede a suministrar golpes sucesivos sobre el disco y en ambos extremos de la viga. Un sensor (acelerómetro) adherido a las fuentes registra el momento preciso en el que se originan las ondas, y envía un impulso electromagnético con el que se activa la recepción de señales vibratorias del geófono triaxial durante un tiempo, definido con anterioridad a la ejecución del ensayo. De este modo se obtiene el registro preciso del instante en el que se originan las ondas en superficie y del momento exacto en el que éstas son percibidas por el geófono a profundidad.

Para el almacenamiento de los datos, el equipo utiliza el software WINGEO, donde los datos de entrada son: el Sample Rate, el Número de Golpes, la ganancia del sistema para cada canal, el tiempo de lectura, y la Sensibilidad del Trigger, además de las posiciones del geófono triaxial y las direcciones de golpe.

3.5.5.3 Cálculos del Ensayo Downhole

La configuración del ensayo Down Hole se muestra en la Figura 3.142, en la cual se detalla su geometría y las variables medidas en campo: i) distancia horizontal desde la fuente de generación de ondas hasta la perforación (X), ii) profundidad del receptor a una profundidad dada (D), y iii) distancia recorrida de la fuente de energía hasta el geófono, la cual se calcula con las dos anteriores (L).

Por otro lado, en el software de interpretación de datos WINGEO, se escogen los primeros tiempos de llegada (timebreaks) de las ondas, tanto para la dirección vertical como para las direcciones en el plano horizontal (radial y transversal), según se muestra en la Figura 3.143.

Una vez registrados estos datos, se procede a realizar el cálculo de velocidades de ondas compresionales-Vp (dirección vertical) y cortantes-Vs (direcciones radial y transversal), según la fórmula de velocidad para movimiento rectilíneo uniforme:

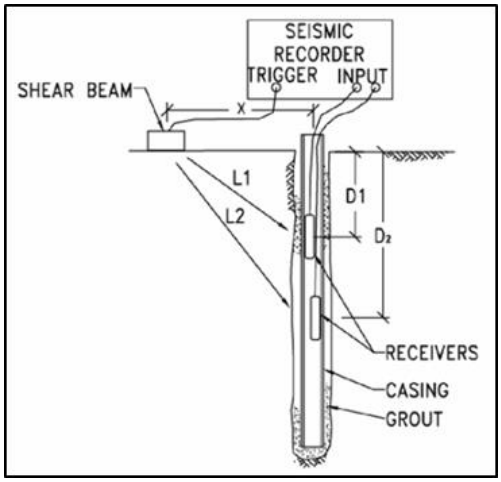


Figura 3.142 Esquema de prueba Down Hole en pozo encamisado (Tomado de: Norma ASTM-D7400).

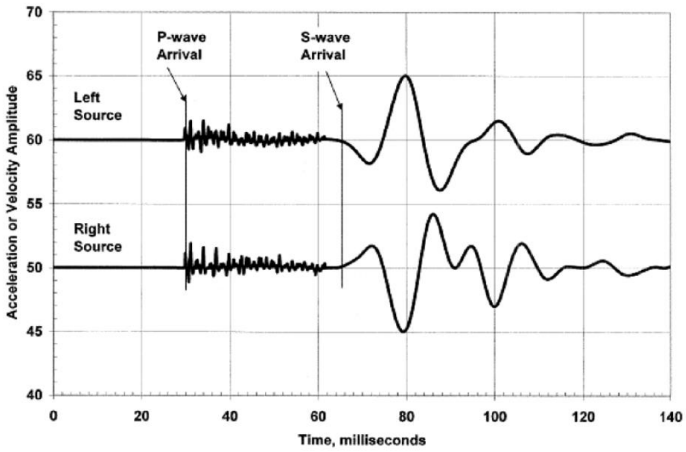


Figura 3.143 Esquema de ondas cortantes invertidas, provenientes de la fuente izquierda y derecha (ASTM D7400).

La ecuación utilizada para determinar la velocidad de las indas de cuerpo corresponde a:

$$V_s = (L_{R2} - L_{R1})/(\Delta T_{R2-R1})$$

Donde:

L_{R2} es la distancia al receptor en la profundidad inferior

L_{R1} es la distancia al receptor en la profundidad superior

ΔT_{R2-R1} es la diferencia de tiempo entre las llegadas de la onda al receptor inferior respecto a la llegada al receptor superior.

El uso de un geófono triaxial y a su vez un tren de ondas de corte, permite la comparación de golpes de izquierda y de derecha, lo que, a su vez, permite verificar la inversión de la señal, y de esta manera poder determinar la llegada de la onda de corte, respecto al ruido inicial por las ondas compresionales.

3.5.5.4 Ejecución de Ensayo DH CI-P-01

En las Figura 3.144 y Figura 3.145, se presenta los registros de llegada de las ondas P y S, respectivamente. Se realiza ensayo para ondas de corte y ondas compresionales por separado. Se presentan las gráficas de toma de tiempos de llegada para ondas compresionales y ondas cortantes (con inversión de ondas de izquierda y derecha).

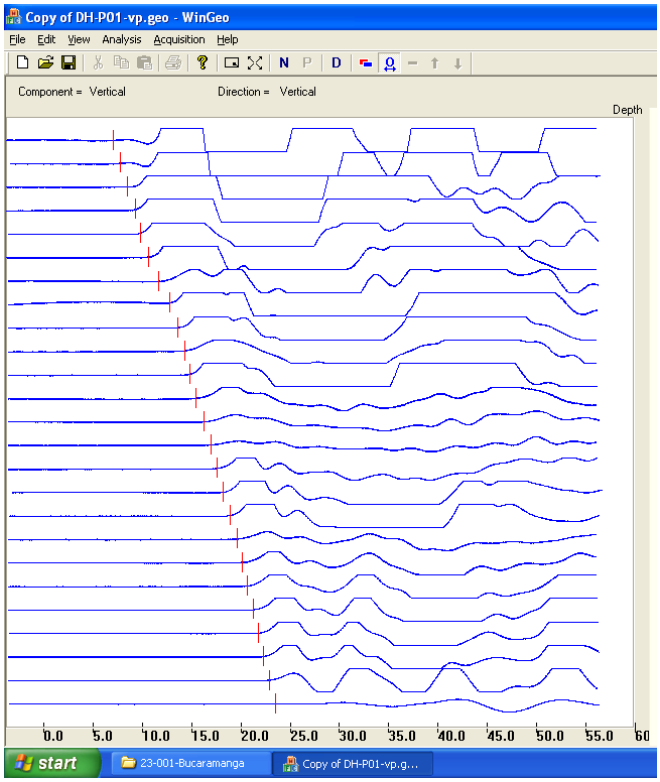


Figura 3.144 Registro de llegada de ondas P, Perforación CI-P-01.

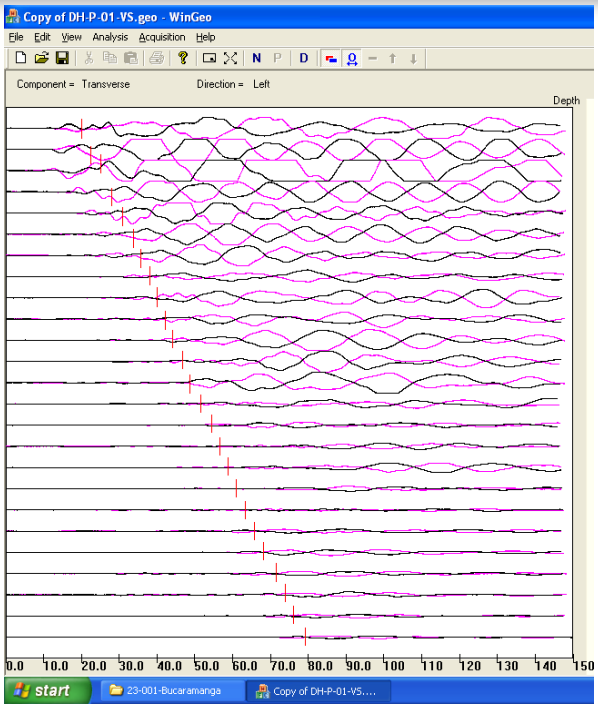


Figura 3.145 Registro de llegada de las ondas S, Perforación CI-P-01.

3.5.5.5 Procesamiento de Ensayos Downhole

A partir de los tiempos de llegada de las ondas, se computan las velocidades de onda compresional y de corte y a partir de estas los demás parámetros elásticos del suelo. El valor de las velocidades de onda de cuerpo Vs y Vp se obtendrá mediante la ecuación presentada en el numeral 5.2.3 Cálculos del ensayo downhole.

Se usarán las siguientes ecuaciones para el análisis de las líneas de propiedades elásticas:

$$\nu = \frac{0.5\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 1}{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 1}$$

$$G = \rho V_s^2$$

$$E = 2G(1+\nu)$$

Donde:

Vp y Vs corresponden a las velocidades de onda compresional y cortante respectivamente,

ν, corresponde a la relación de Poisson,

G, es el módulo cortante,

E, es el módulo elástico o módulo de Young.

Los resultados del cálculo de velocidades de onda compresional y cortante se presentan en la Tabla 3.32 y Figura 3.146.

Tabla 3.32 Resultados de velocidades de ondas P y S y cálculo de la relación de Poisson para el CI-P-01.

Prof. (m)	Onda Compresional				Onda Cortante				Vp/Vs	Relación de Poisson
	T (ms)	T (s)	Dist. (m)	Vp (m/s)	T (ms)	T (s)	Dist. (m)	Vs (m/s)		
1	7073	0.007073	1.166	165	20192	0.020192	1.166	58	2.855	0.430
2	7790	0.007790	2.088	1286	22596	0.022596	2.088	383	3.353	0.451
3	8506	0.008506	3.059	1357	25240	0.025240	3.059	367	3.693	0.460
4	9325	0.009325	4.045	1203	28125	0.028125	4.045	342	3.523	0.456
5	9837	0.009837	5.036	1936	31009	0.031009	5.036	344	5.633	0.484
6	10656	0.010656	6.030	1214	33894	0.033894	6.030	345	3.523	0.456
7	11680	0.011680	7.026	972	35817	0.035817	7.026	518	1.878	0.302
8	12738	0.012738	8.022	942	38221	0.038221	8.022	415	2.272	0.380
9	13603	0.013603	9.020	1153	40144	0.040144	9.020	519	2.223	0.373
10	14276	0.014276	10.018	1483	42307	0.042307	10.018	461	3.214	0.446
11	14761	0.014761	11.016	2058	44230	0.044230	11.016	519	3.965	0.466
12	15430	0.015430	12.015	1493	46875	0.046875	12.015	378	3.954	0.466
13	16287	0.016287	13.014	1166	48798	0.048798	13.014	519	2.244	0.376
14	16985	0.016985	14.013	1431	51682	0.051682	14.013	346	4.132	0.469
15	17550	0.017550	15.012	1768	54567	0.054567	15.012	346	5.106	0.480
16	18232	0.018232	16.011	1465	56730	0.056730	16.011	462	3.172	0.445
17	18940	0.018940	17.011	1411	58894	0.058894	17.011	462	3.056	0.440
18	19621	0.019621	18.010	1468	61057	0.061057	18.010	462	3.176	0.445
19	20142	0.020142	19.009	1918	63461	0.063461	19.009	416	4.614	0.475
20	20623	0.020623	20.009	2078	65625	0.065625	20.009	462	4.499	0.474
21	21300	0.021300	21.009	1476	68269	0.068269	21.009	378	3.905	0.465
22	21815	0.021815	22.008	1941	71634	0.071634	22.008	297	6.534	0.488
23	22327	0.022327	23.008	1952	74038	0.074038	23.008	416	4.695	0.476
24	22894	0.022894	24.007	1763	76201	0.076201	24.007	462	3.815	0.463
25	23519	0.023519	25.007	1600	79326	0.079326	25.007	320	5.000	0.479

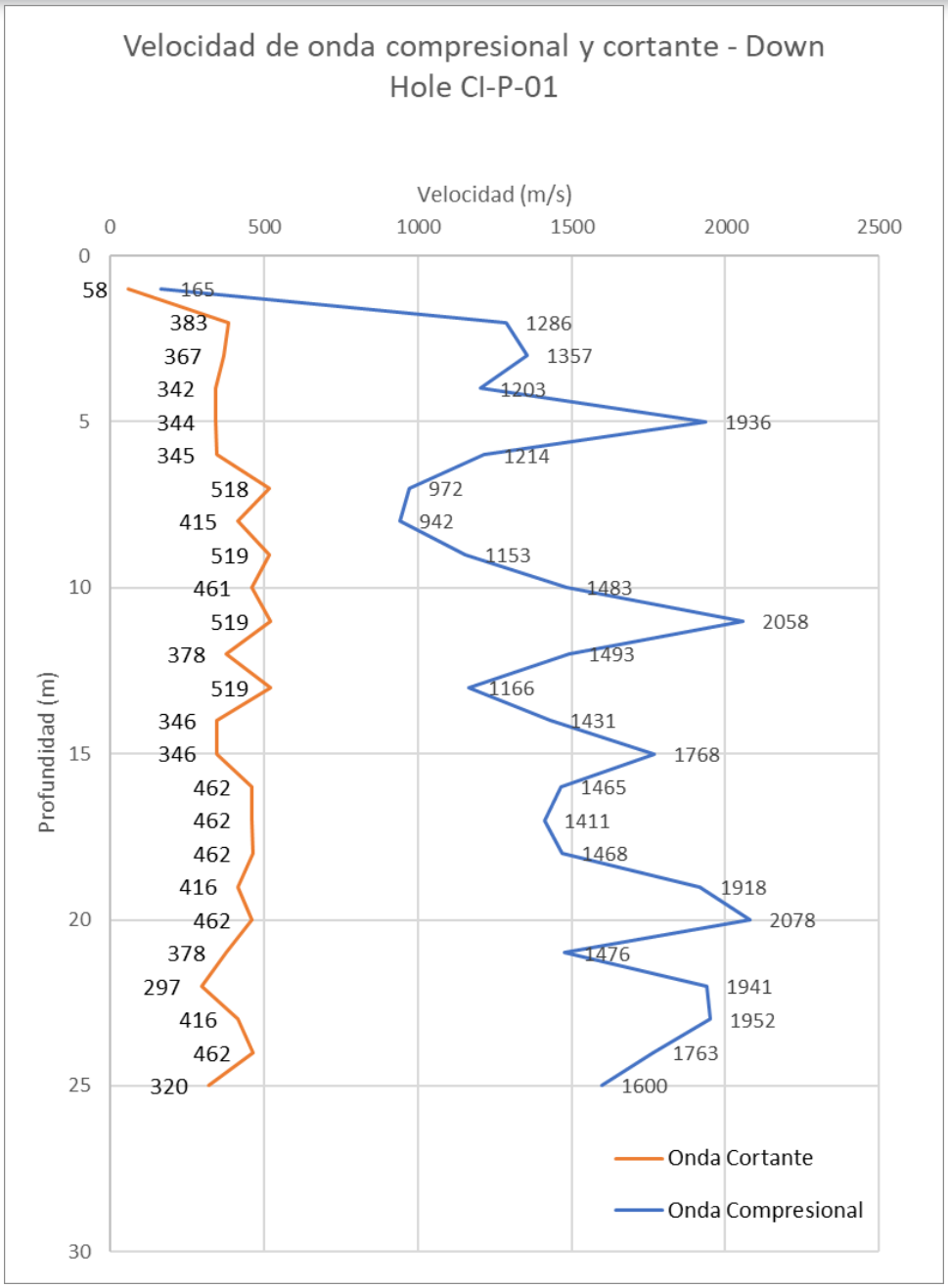


Figura 3.146 Gráfico de velocidades de onda P y S para el CI-P-01.

3.5.6 Caracterización Geotécnica

3.5.6.1 Ensayo de Laboratorio

El plan de ensayos de laboratorio fue definido para lograr una caracterización físico-mecánica de los materiales encontrados durante la exploración y, además, estuvo orientado de acuerdo con las necesidades asociadas a los análisis geotécnicos a realizar. A continuación, presenta un resumen los resultados obtenidos (véase la Tabla 1.15).

Tabla 3.33 Resumen de Resultados de Laboratorio

Perforación	Muestra	Profundidad (m)			Wn (%)	Gs	PU (kN/m3)	Límites de consistencia			Granulometría			Compresión Inconfinada en suelo			Corte directo				Consolidación				Permeabilidad
		De	A	Media				LL (%)	LP (%)	USCS	G (%)	S (%)	F (%)	qu (kPa)	Su (kPa)	E (MPa)	C'p (kPa)	Φ'p (°)	C'r (kPa)	Φ'r (°)	e0	Σ'p (kPa)	Cc	Cr	K a 20 C (cm/s)
CI-P-01	M1	0.00	0.45	0.23																					
CI-P-01	M1	0.45	1.50	0.98	18.80																				
CI-P-01	M2	1.50	2.50	2.00	24.20		15.30	50	19	CL o OL				70.4	35.22	2.2356									
CI-P-01	M2	2.50	3.00	2.75																					
CI-P-01	M3	3.00	4.50	3.75	23.40	2.729	19.91																		
CI-P-01	M4	4.50	6.00	5.25			15.00			SC	17.95%	41.53%	40.52%	46.08	23.04	0.82442									
CI-P-01	M5	6.00	7.50	6.75	21.59	2.763	15.40	39	17	CL o OL											0.79	36	0.301583	0.023641	
CI-P-01	M6	7.50	9.00	8.25						CL	5.26%	42.24%	52.50%												
CI-P-01	M7	9.00	10.50	9.75	21.80		19.03			SC	15.39%	39.33%	45.28%				0.00	43.1	0	41.9					
CI-P-01	M8	10.50	11.50	11.00	14.56	2.726		42	22	CL o OL															
CI-P-01	M8	11.50	12.00	11.75																					
CI-P-01	M9	12.00	13.50	12.75	17.70					GC o GM	44.72%	28.70%	26.58%												
CI-P-01	M10	13.50	15.00	14.25																					
CI-P-01	M11	15.00	16.50	15.75	9.40		20.55			SC o SM	10.48%	41.09%	48.43%				15.20	35.2	13.9	33.7					
CI-P-01	M12	16.50	18.00	17.25	22.50																				
CI-P-01	M13	18.00	19.50	18.75			16.68																		8.14E-06
CI-P-01	M14	19.50	20.50	20.00			17.70																		
CI-P-01	M14	20.50	21.00	20.75			20.43			GC o GM	43.89%	33.48%	22.62%	44.51	22.26	0.6886									
CI-P-01	M15	21.00	22.50	21.75	15.80		19.60										49.10	21.9	47.7	21					

Perforación	Muestra	Profundidad (m)			Wn (%)	Gs	PU (kN/m3)	Límites de consistencia			Granulometría			Compresión Inconfinada en suelo			Corte directo				Consolidación				Permeabilidad
		De	A	Media				LL (%)	LP (%)	USCS	G (%)	S (%)	F (%)	qu (kPa)	Su (kPa)	E (MPa)	C'p (kPa)	Φ'p (°)	C'r (kPa)	Φ'r (°)	e0	Σ'p (kPa)	Cc	Cr	K a 20 C (cm/s)
CI-P-02	M1	0.00	0.50																						
CI-P-02	M1	0.50	1.50	1.00			16.40							156.32	78.16	6.79074									
CI-P-02	M2	1.50	3.00	2.25	22.43	2.703		44	18								26.80	21.8	15.4	16.9					
CI-P-02	M3	3.00	4.50	3.75	26.40		20.27			CL	0.45%	36.71%	62.84%				17.30	33.2	14.6	29.8					2.09E-06
CI-P-02	M4	4.50	6.00	5.25	22.00	2.697																			
CI-P-02	M5	6.00	7.50	6.75	20.74			38	17					48.76	24.38	1.41278									
CI-P-02	M6	7.50	9.00	8.25	22.80	2.755				CL	0.10%	33.52%	66.39%												
CI-P-02	M8	10.50	12.00	11.25	24.58	2.698	19.18	38	14								16.00	30	14.6	28.3					
CI-P-02	M9	12.00	13.50	12.75	15.80					CL	0.00%	8.17%	91.83%												
CI-P-02	M10	13.50	15.00	14.25	19.26	2.724	16.20	38	16					76.89	38.45	1.15389									
CI-P-03	M1	0.00	1.50	0.75	23.77			40	17																
CI-P-03	M2	1.50	3.00	2.25	23.10		15.10			CL	0.00%	28.74%	71.26%	50.55	25.28	0.85									
CI-P-03	M3	3.00	4.50	3.75	23.01	2.745		47	22																
CI-P-03	M4	4.50	6.00	5.25	24.52			47	19																
CI-P-03	M5	6.00	7.50	6.75	23.60																				
CI-P-03	M6	7.50	9.00	8.25	20.83	2.757	19.20	40	21								31.60	27.40	26.70	27.1					
CI-P-03	M7	9.00	10.50	9.75	25.30																				
CI-P-03	M8	10.50	11.00	10.75	18.80	2.718		33	16																

Perforación	Muestra	Profundidad (m)			Wn (%)	Gs	PU (kN/m3)	Límites de consistencia			Granulometría			Compresión Inconfinada en suelo			Corte directo				Consolidación				Permeabilidad
		De	A	Media				LL (%)	LP (%)	USCS	G (%)	S (%)	F (%)	qu (kPa)	Su (kPa)	E (MPa)	C'p (kPa)	Φ'p (°)	C'r (kPa)	Φ'r (°)	e0	Σ'p (kPa)	Cc	Cr	K a 20 C (cm/s)
CI-P-03	M9	12.00	13.50	12.75	14.40		21.86																		
CI-P-03	M10	13.50	15.00	14.25						GP-GC o GM	80.47%	10.31%	9.22%												
CI-P-04	M2	1.50	3.00	2.25	21.65	2.719		50	22																
CI-P-04	M3	3.00	4.50	3.75			15.90							95.68	47.84	1.78									
CI-P-04	M4	4.50	6.00	5.25	22.87	2.726		47	22																
CI-P-04	M5	6.00	7.50	6.75	11.00		20.13																		6.14E-07
CI-P-04	M6	7.50	9.00	8.25		2.758					0.00%	38.73%	61.27%												
CI-P-04	M7	9.00	10.50	9.75	11.80						0.00%	41.28%	58.72%												
CI-P-04	M8	10.50	12.00	11.25	24.44	2.717	14.70	33	20	CL				38.95	19.48	0.75									
CI-P-04	M9	12.00	13.50	12.75	20.89		19.97	29	20																
CI-P-04	M10	13.50	15.00	14.25	22.20					CL	0.00%	39.21%	60.79%												
CI-P-04	M11	15.00	16.50	15.75	16.02	2.705		43	13																
CI-P-04	M12	16.50	18.00	17.25			20.85			CL	0.30%	40.44%	59.26%												
CI-P-04	M13	18.00	19.50	18.75			16.60				0.14%	41.20%	58.66%	86.23	43.12	1.47									
CI-P-05	M1A	0.00	1.50	0.75	23.10					SC	10.83%	40.20%	48.97%												
CI-P-05	M2	1.50	3.00	2.25	12.36	2.699		36	18																
CI-P-05	M3	3.00	4.50	3.75			15.80			CL	0.00%	37.34%	62.66%	44.48	22.24	1.72									
CI-P-05	M4	4.50	6.00	5.25	20.88	2.727		43	17																

Perforación	Muestra	Profundidad (m)			Wn (%)	Gs	PU (kN/m3)	Límites de consistencia			Granulometría			Compresión Inconfinada en suelo			Corte directo				Consolidación				Permeabilidad
		De	A	Media				LL (%)	LP (%)	USCS	G (%)	S (%)	F (%)	qu (kPa)	Su (kPa)	E (MPa)	C'p (kPa)	Φ'p (°)	C'r (kPa)	Φ'r (°)	e0	Σ'p (kPa)	Cc	Cr	K a 20 C (cm/s)
CI-P-05	M5	6.00	7.50	6.75	20.40		15.60			SC	1.18%	50.55%	48.27%												1.94E-07
CI-P-05	M6	7.50	9.00	8.25			19.40			CL	0.43%	39.14%	60.43%				20.50	28.20	20.30	26.4					
CI-P-05	M7	9.00	10.50	9.75	24.46	2.729		46	18																
CI-P-05	M8	10.50	12.00	11.25			15.81			CL	0.00%	44.63%	55.37%												2.84E-07
CI-P-05	M10	13.50	15.00	14.25	7.80																				
CI-P-05	M11	15.00	16.50	15.75	8.60		20.83			GC	38.45%	35.23%	26.32%				31.20	34.30	27.00	33.8					
CI-P-05	M12	16.50	18.00	17.25	18.32	2.719		41	19																
CI-P-05	M13	18.00	19.50	18.75						GP-GC	85.22%	9.02%	5.77%												
CI-P-06	M1	0.00	1.50	0.75	22.55			35	15	CL o OL	0.00%	44.75%	55.25%												
CI-P-06	M2	1.50	3.00	2.25	21.79	2.713	19.52	41	18	CL o OL															
CI-P-06	M3	3.00	4.50	3.75	16.75		19.70	42	20	CL o OL							20.20	37.80	19.20	37.1					
CI-P-06	M4	4.50	6.00	5.25	24.40	2.701				CL	0.00%	43.32%	56.68%												
CI-P-06	M5	6.00	7.50	6.75	25.40			48	22	CL o OL															
CI-P-06	M6	7.50	9.00	8.25	25.89		19.90	41	19	CL o OL							0.00	35.20	0.00	32.8					
CI-P-06	M7	9.00	10.50	9.75		2.743		33	19	CL o OL	0.00%	43.62%	56.38%												
CI-P-06	M8	10.50	12.00	11.25		2.71		47	21	CL o OL															
CI-P-06	M9	12.00	13.50	12.75	22.60					CL	0.67%	41.68%	57.65%												

Perforación	Muestra	Profundidad (m)			Wn (%)	Gs	PU (kN/m3)	Límites de consistencia			Granulometría			Compresión Inconfinada en suelo			Corte directo				Consolidación				Permeabilidad
		De	A	Media				LL (%)	LP (%)	USCS	G (%)	S (%)	F (%)	qu (kPa)	Su (kPa)	E (MPa)	C'p (kPa)	Φ'p (°)	C'r (kPa)	Φ'r (°)	e0	Σ'p (kPa)	Cc	Cr	K a 20 C (cm/s)
CI-P-06	M10	13.50	15.00	14.25			16.90	47	19	CL o OL				115.02	57.51	1.93									
CI-P-06	M11	15.00	16.50	15.75	23.20					SC o SM	1.20%	48.80%	49.99%												
CI-P-06	M13	18.00	19.50	18.75	20.70						0.00%	35.78%	64.22%												
CI-P-08	M1	0.00	1.50	0.75	25.40	2.715		64	25	CH	0.29%	30.07%	69.65%												
CI-P-08	M1	0.00	1.50								0.00%	30.28%	69.72%												
CI-P-08	M2	1.50	3.00	2.25	24.29			61	23	CH	0.33%	39.98%	59.69%												
CI-P-08	M3	3.00	4.50	3.75	19.90	2.724				CL	5.07%	38.66%	56.27%												
CI-P-08	M4	4.50	6.00	5.25	16.94			45	23																
CI-P-08	M5	6.00	7.50	6.75	18.15		20.47	48	18	CL	0.00%	27.67%	72.33%				27.40	26.70	14.90	23.6					
CI-P-08	M6	7.50	9.00	8.25	24.83	2.745		41	22																
CI-P-08	M7	9.00	10.50	9.75	22.98		16.10	43	17	CL	0.00%	38.02%	61.98%	56.60	28.30	1.98									
CI-P-08	M8	10.50	12.00	11.25	22.91	2.72		48	21	GC	75.15%	10.36%	14.49%												
CI-P-08	M10	13.50	15.00	14.25	16.50					SC o SM	2.75%	47.26%	49.99%												
CI-P-08	M11	15.00	16.50	15.75	21.10	2.719	19.83				0.65%	44.85%	54.50%				27.20	29.30	27.90	22.8					
CI-P-08	M12	16.50	18.00	17.25	20.60																				
CI-P-08	M13	18.00	19.50	18.75	14.70	2.708		32	13																
CI-P-08	M14	19.50	21.00	20.25	16.03			27	14	CL	0.10%	41.54%	58.36%												
CI-P-09	M1	0.00	0.10	0.05		2.729					53.10%	41.96%	4.94%								1.08	80	0.16375 5	0.015119	

Perforación	Muestra	Profundidad (m)			Wn (%)	Gs	PU (kN/m3)	Límites de consistencia			Granulometría			Compresión Inconfinada en suelo			Corte directo				Consolidación				Permeabilidad
		De	A	Media				LL (%)	LP (%)	USCS	G (%)	S (%)	F (%)	qu (kPa)	Su (kPa)	E (MPa)	C'p (kPa)	Φ'p (°)	C'r (kPa)	Φ'r (°)	e0	Σ'p (kPa)	Cc	Cr	K a 20 C (cm/s)
CI-P-09	M1	0.10	1.50				13.10				1.43 %	38.37%	60.19%												
CI-P-09	M2	1.50	3.00	2.25	22.54		20.18	49.00	21.00					64.84	32.42	0.75									
CI-P-09	M3	3.00	3.50				16.33																		4.94E-07
CI-P-09	M3	3.50	4.50	4.00	21.60	2.738				SC	28.40%	48.78%	22.82%												
CI-P-09	M4	4.50	6.00	5.25	22.56	2.723	16.20	47.00	24.00	GC	35.31%	31.25%	33.44%				11.50	32.10	10.50	31	0.68	57	0.2146	0.0273	
CI-P-09	M5	6.00	7.50	6.75	35.40		20.16			GC	37.06%	35.37%	27.57%	69.50	34.75	1.58									
CI-P-09	M6	7.50	9.00	8.25	23.20	2.738				GC	44.64%	27.35%	38.01%												
CI-P-09	M7	9.00	10.50	9.75	26.81		19.92	48.00	21.00	SC	12.97%	49.20%	37.83%												
CI-P-09	M8	10.50	12.00	11.25	15.99			47.00	22.00	GC	52.17%	18.42%	29.41%												
CI-P-09	M9	12.00	13.50	12.75	27.26	2.741	19.49	49.00	21.00	SC	28.46%	28.98%	42.57%												
CI-P-09	M11	15.00	16.50	15.75	15.90		20.87			CL	4.88 %	42.40%	52.71%												
CI-P-09	M12	16.50	18.00	17.25																					
CI-P-09	M13	18.00	19.50	18.75																					
CI-P-09	M14	19.50	21.00	20.25	19.20		20.93				18.65%	38.87%	42.48%				35.50	26.80	32.00	24.4					
CI-P-09	M15	21.00	22.50	21.75	15.90																				
CI-S-01	M2	1.00	2.00	1.50	8.60	2.696																			
CI-S-01	M3	2.00	3.00	2.50	15.40																				
CI-S-02	M3	2.00	3.00	2.50	15.30	2.717																			
CI-S-02	M4	3.00	4.00	3.50	10.90																				

Perforación	Muestra	Profundidad (m)			Wn (%)	Gs	PU (kN/m3)	Límites de consistencia			Granulometría			Compresión Inconfinada en suelo			Corte directo				Consolidación				Permeabilidad
		De	A	Media				LL (%)	LP (%)	USCS	G (%)	S (%)	F (%)	qu (kPa)	Su (kPa)	E (MPa)	C'p (kPa)	Φ'p (°)	C'r (kPa)	Φ'r (°)	e0	σ'p (kPa)	Cc	Cr	K a 20 C (cm/s)
CI-S-05	M1	0.00	1.00	0.50	15.70	2.677																			
CI-S-05	M2	1.00	2.00	1.50		2.742	22.10	35.00	16.00	CL-OL															
CI-S-05	M7	6.00	7.00	6.50	17.70	2.738																			
CI-S-11	M1	0.00	1.00	0.50	15.20	2.738																			
CI-S-11	M2	1.00	2.00	1.50	9.90																				
CI-S-14	M2	1.00	2.00	1.50	13.00	2.726																			
CI-S-14	M3	2.00	3.00	2.50	7.40																				
CI-S-15	M3	2.00	3.00	2.50	14.00	2.689																			
CI-S-15	M4	3.00	4.00	3.50	25.00																				
CI-S-17	M2	1.00	2.00	1.50	7.00	2.701																			
CI-S-17	M3	2.00	3.00	2.50	9.00																				
CI-A-01	M1	0.00	2.00	1.00	14.55	2.699	17.90	44	20	CL o OL															
CI-A-02	M1	0.00	2.00	1.00	5.65	2.695	16.40	N.A	N.A	N.A															
CI-A-02	M2	0.00	2.00	1.00	8.17	2.667	17.00	21	15	CL-ML															
CI-A-03	M1	0.00	2.00	1.00	9.86	2.686	17.20	33	15	CL o OL															
CI-A-04	M1	0.00	2.00	1.00	12.21	2.691	18.30	45	21	CL o OL															
CI-A-05	M1	0.00	2.00	1.00	18.26	2.697	17.90	48	20	CL o OL															
Recuento (Un)					**96**	**50**	**51**	**50**	**50**	**58**	**50**	**50**	**50**	**15**	**15**	**15**	**15**	**15**	**15**	**15**	**3**	**3**	**3**	**3**	**6**

3.6 ETAPA 5: HIDROLOGÍA

3.6.1 Análisis Hidroclimatológico

Para el análisis climatológico se tuvo en cuenta la recopilación de información primaria correspondiente a datos de precipitación (valores de precipitación mensual total y máxima en 24 horas), así como de valores máximos y mínimos de temperatura, humedad relativa y brillo solar, registradas por parte de las estaciones climatológicas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Adicionalmente se consideró para temas cartográficos la información predial y división político-administrativa del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Para la determinación de la estación a utilizar, se ubican las estaciones cercanas al área de influencia con el fin de determinar la estación más representativa, en la Figura 3.147 se muestran las estaciones cercanas y se identifican 7 estaciones climatológicas operadas por el IDEAM de las cuales 3 de ellas se encuentran suspendidas, y 4 en estado activo la cuales son: Neomundo Automática, Bucaramanga IDEAM, La Floresta y le Aeropuerto Palonegro, y que presentan información importante para las áreas de drenaje de interés, esta información es de vital importancia para identificar las estaciones que tienen mayor representación en el área de drenaje; por esta razón se realiza el análisis con las estaciones cercanas, y el resultado define la incidencia de las estaciones en la cuenca de interés. se realiza a su vez el análisis de polígonos de Thiessen con las estaciones escogidas, y el resultado que define la incidencia de las estaciones en la cuenca se muestra en la Figura 3.147.

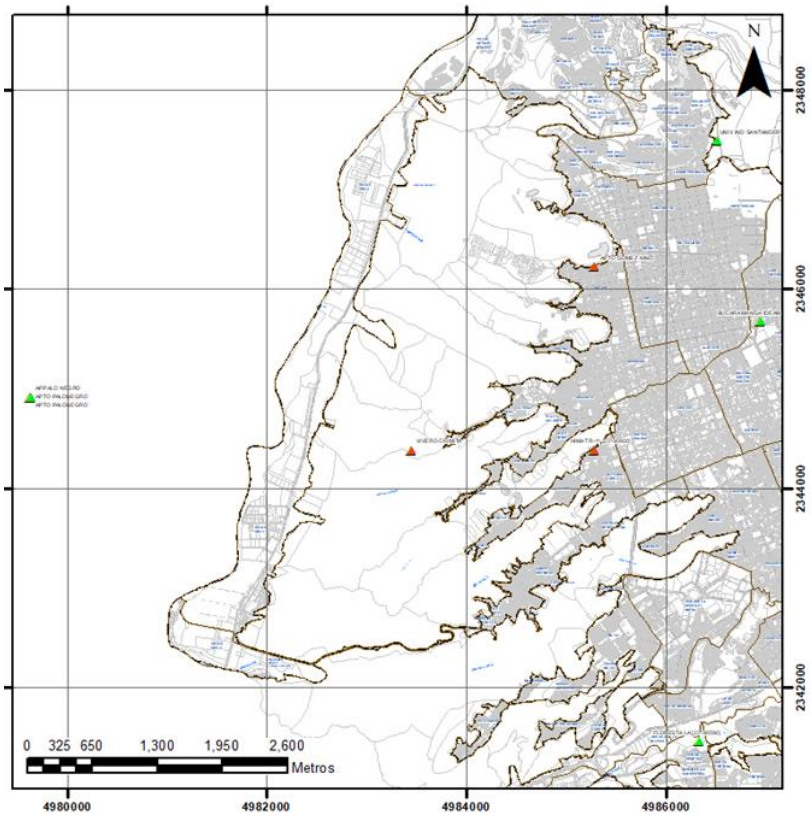


Figura 3.147 Ubicación de Estaciones Analizadas

3.6.2 Descripción Climática

Se realizó el análisis del comportamiento temporal de cada una de las variables de la estación Aeropuerto Palonegro para Brillo Solar, Humedad relativa, evaporación, temperatura y precipitación de las estaciones La Floresta y Bucaramanga IDEAM.

3.6.2.1 Precipitación

Se calcularon los valores medios mensuales multianuales de precipitación total para cada una de las estaciones. En la Figura 3.148 se ilustra la distribución temporal de la precipitación media, la cual presenta comportamiento bimodal a lo largo del año, con dos periodos marcados de lluvias, trascurridos en los meses de octubre y marzo, y un periodo eco en el mes de enero y julio.

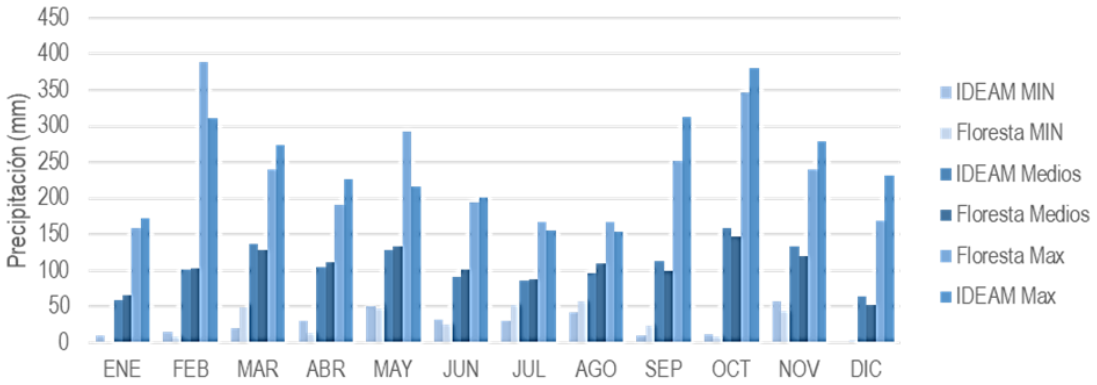


Figura 3.148 Distribución de la Precipitación Media Mensual Multianual de las Estaciones de Estudio

3.6.2.2 Temperatura

El análisis de la temperatura media se efectuó a partir de los valores de temperatura media diaria de la estación Aeropuerto Palonegro. En la Figura 3.149 se ilustra la distribución temporal de la temperatura media mensual multianual, donde se evidencia la temperatura también se encuentra influenciada por el efecto latitudinal, presentando un comportamiento bimodal a lo largo del año, donde los picos están ubicados en los meses febrero y julio.

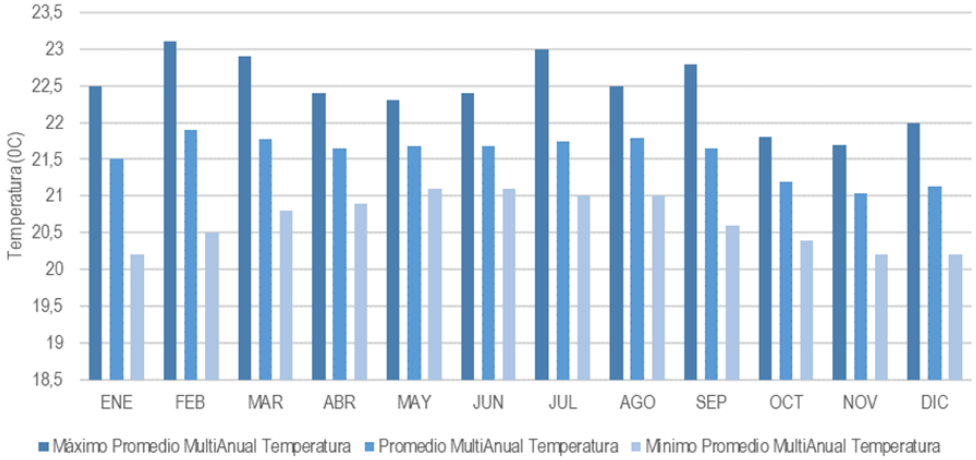


Figura 3.149 Distribución Temporal de la Temperatura Mensual Multianual

3.6.2.3 Brillo Solar

Los datos diarios de brillo solar fueron totalizados para generar las series mensuales de esta variable, En la Figura 3.150 se ilustra la distribución temporal del brillo solar medio mensual, el cual presenta un comportamiento bimodal con picos en los meses de enero y julio. Este hecho esta correlacionado con los valores de precipitación, dado a que en los meses de invierno la radiación directa que alcanza la corteza terrestre es menor, no obstante, los meses de menores precipitaciones se registran más horas de brillo solar.

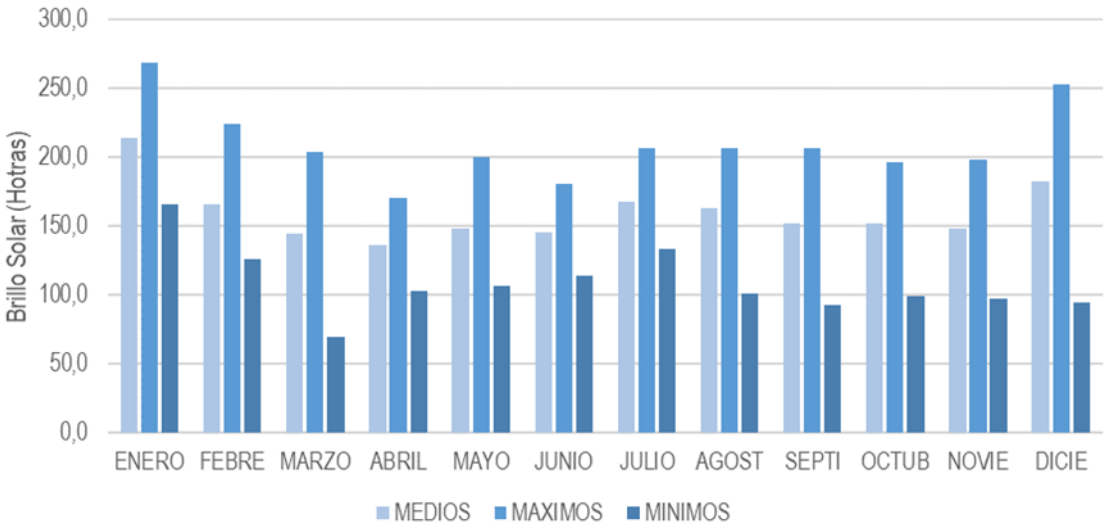


Figura 3.150 Distribución Temporal de Brillo Solar Medio Mensual.

3.6.2.4 Humedad Relativa

Se observa que la estación presenta fluctuaciones de 54 a 101 %, con un promedio anual de 86%. En la Figura 3.151 se ilustra la distribución temporal de la humedad relativa. El comportamiento de esta variable es bimodal, con picos en los meses de mayo y septiembre, con una relación directa al aumento de las precipitaciones en estos meses y al paso de la zona de confluencia intertropical.

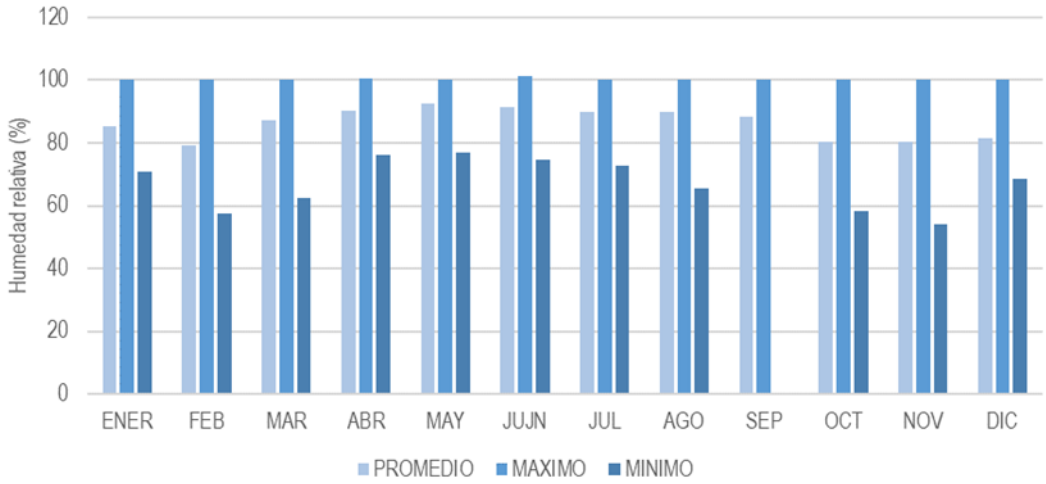


Figura 3.151 Distribución Temporal de la Humedad Relativa Media Mensual

3.6.2.5 Evaporación

Para el análisis de la evaporación, se utilizó la información de la estación Palonegro. En la Figura 3.152., se ilustra la distribución temporal de la evaporación, la cual presenta un comportamiento bimodal, con los mayores valores en los meses de enero y agosto, correspondientes a épocas secas, a su vez los meses de noviembre y abril registra la menor evaporación. Esta variable está directamente correlacionada con los datos de temperatura, brillo solar y nubosidad, dado que a altas temperatura y baja nubosidad aceleran la interacción de la humedad de la atmosfera y de los cuerpos de agua, así mismo la capacidad de retención de agua en la atmosfera haciendo que la humedad relativa aumente.

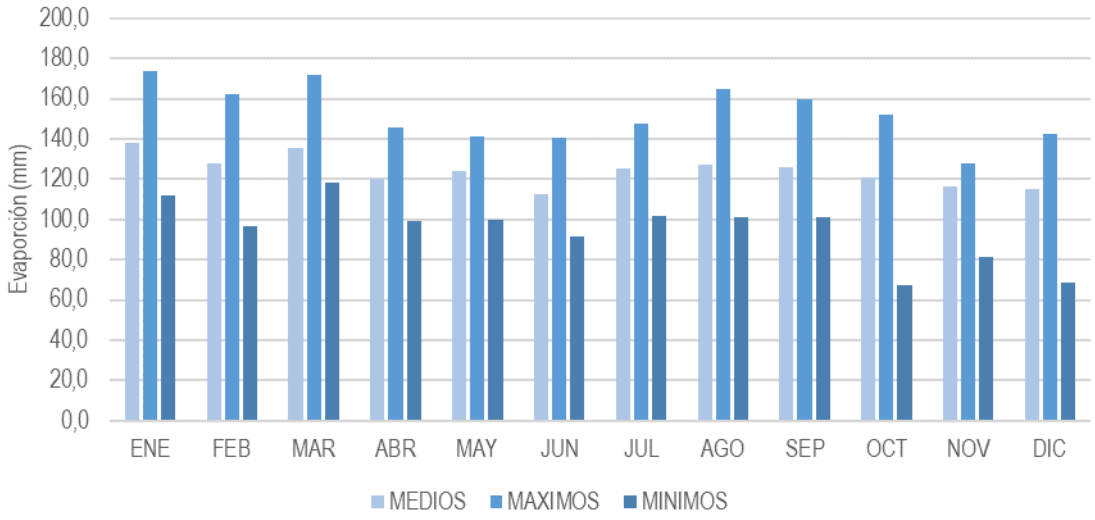


Figura 3.152 Distribución Temporal de la Evaporación Media Mensual Multianual

3.6.3 Balance Hídrico

Para el presente estudio se realizó el balance hídrico por medio de la metodología de Thornthwaite utilizando los datos de temperatura y precipitación media mensual multianual del área de influencia (Series sintéticas generadas) y con la información de aquellas estaciones del IDEAM que contaban con datos de precipitación y temperatura (Aeropuerto Palonegro, La Floresta y Bucaramanga IDEAM).

Inicialmente se calculó la Evapotranspiración Potencial por medio de la metodología general de Thornthwaite, la cual utiliza los datos de temperatura media mensual multianual.

Una vez obtenido el valor de la evapotranspiración potencial empleando el promedio mensual multianual de las estaciones utilizadas en el análisis de temperatura, se realizó el ajuste con el factor de corrección, para lo cual se introdujo el índice de iluminación mensual en unidades de 12 horas, que se multiplicó por la ETP sin ajustar para obtener la ETP corregida según Thornthwaite (mm/mes). En la Figura 3.153 se presenta la evapotranspiración media mensual del área de influencia, evidenciando que el mes de agosto y julio presentan los mayores valores, sin contar con las máximas temperaturas, sin embargo, la influencia de las horas de sol diaria y que estos meses cuentan con 31 días, los pone por encima del resto de meses. El mes de noviembre y febrero presentan los menores valores.

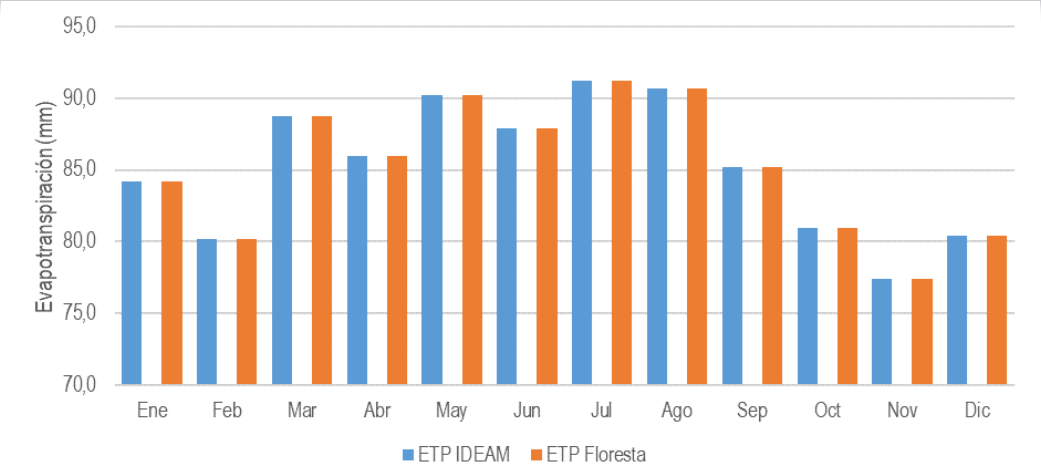


Figura 3.153 Evapotranspiración Media Mensual

En Figura 3.154, se ilustra el balance hídrico anual del área de influencia y las dos estaciones, presentando un exceso en los meses de febrero a noviembre, con picos en octubre y marzo, este resultado indica que en el área de influencia se presenta una buena acumulación de agua denominada reserva.

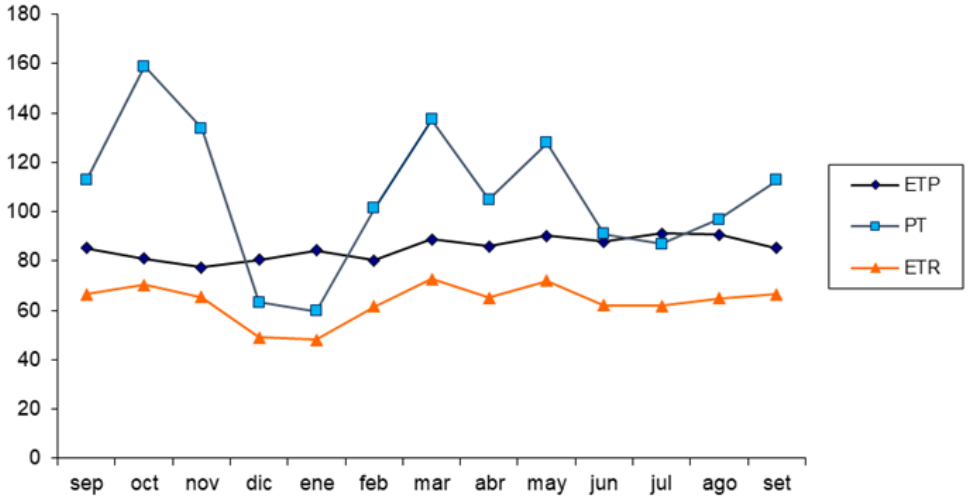


Figura 3.154 Balance Hídrico Pantano 1

3.6.4 Identificación de Drenajes

Se realiza un análisis a la información cartográfica del municipio en la cartografía general, con el fin de identificar los drenajes que tiene influencia en los asentamientos urbanos de la comuna 4 y 5 CAMILO TORRES, CUYANITA, MILAGRO DE DIOS, ZARABANDA, Y CIUDAD PERDIDA, PANTANO I, PANTANO II, Y PANTANO III y a su vez proponer alternativas para el manejo adecuado de las aguas generadas en la zona de estudio. Se utiliza la información de las características cartográficas IGAC para la posterior delimitación de las cuencas y drenajes identificados.

En la Figura 3.155 se presenta la plancha 120-II-A del IGAC, a escala 1:25.000, en la cual se observa los drenajes presentes en la zona de la comuna 4 y 5 correspondientes al área de drenaje de la quebrada Seca y la Quebrada Cuyamita y las aguas de escorrentías provenientes de los asentamientos urbanos.

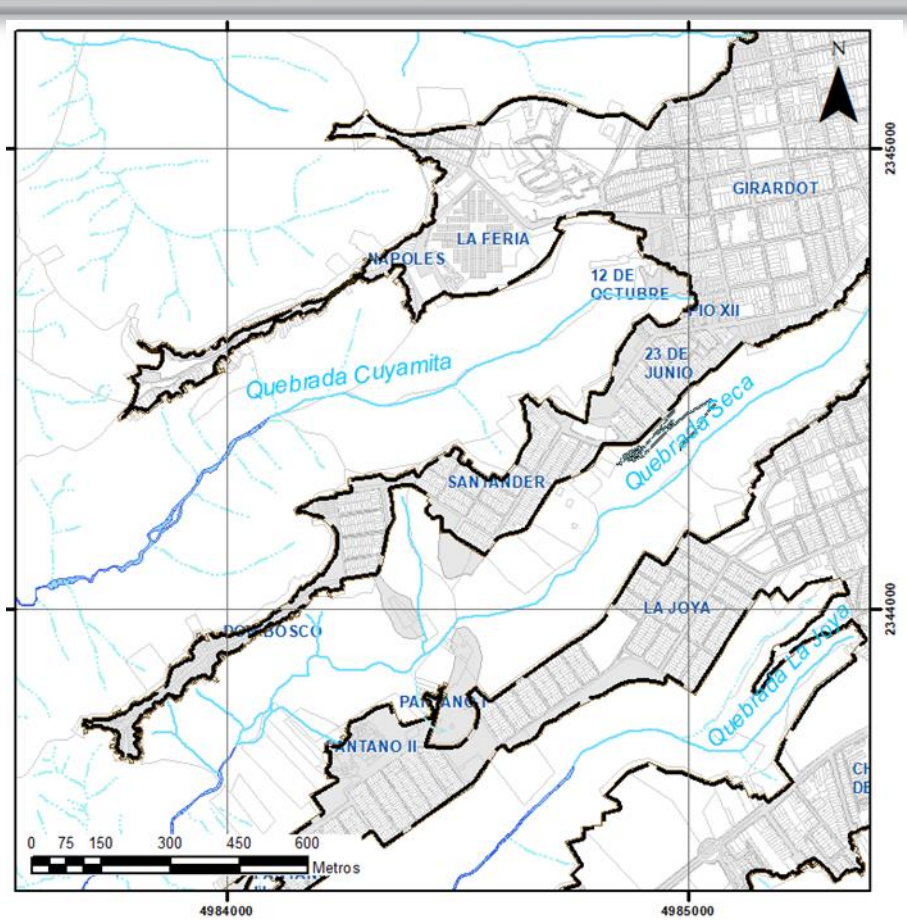


Figura 3.155 Ubicación Drenajes de los Asentamientos Urbanos

3.6.5 Análisis Morfométrico

Para el cálculo de los índices morfométricos en las cuencas y microcuencas del área del programa sísmico, inicialmente se determinaron las características generales de las unidades hidrográficas, a partir de esto se determinaron los diferentes índices clasificados de la siguiente manera:

- Relativos a la forma
- Relativos al drenaje
- Relativos al relieve
- Tiempo de concentración
- Patrones de drenaje

A continuación, se presentan las principales características de las cuencas que se localizan en el área de estudio, la información se presenta en la Tabla 3.34 donde se presentan las características generales de área de drenaje.

Tabla 3.34 Características Generales de las Áreas Hidrográficas

NOMBRE	ÁREA DE DRENAJE KM^2	PERÍMETRO KM	LONGITUD AXIAL KM	LONGITUD DEL CAUCE KM	ANCHO DE LA CUENCA KM
Pantano 1	0.041	0.78	0.28	0.26	0.22

Pantano 2	0.043	0.85	0.35	0.25	0.17
Pantano 3	0.033	0.73	0.30	0.29	0.16
Comuna 4	0.123	1.33	0.55	0.53	0.38
Ciudad Perdida 1	0.04	0.69	0.22	0.19	0.19
Ciudad Perdida 2	0.01	0.69	0.14	0.12	0.08
Ciudad Perdida 3	0.01	0.34	0.12	0.10	0.07

3.6.5.1 Relativos al Drenaje

En la Tabla 3.35, se presenta los parámetros e índices relativos a los drenajes para la zona de estudio, donde se evidencia que se presentan una densidad de drenaje muy alta, esto debido a las bajas longitudes de las corrientes, sabiendo que la zona de estudio no presenta drenajes permanentes indica la pertenecía de escorrentías en las épocas de lluvia.

Tabla 3.35 Índices Relativos al Drenaje de las Unidades Hidrográficas

NOMBRE	LONG DRENAJE	NUMERO CORRIENTE	DENSIDAD DRENAJE	DENSIDAD CORRIENTE
PANTANO 1	0.26	1	6.34	24.39
PANTANO 2	0.25	1	5.81	23.25
PANTANO 3	0.29	1	8.79	30.30
COMUNA 4	0.53	1	4.31	8.13
CIUDAD PERDIDA 1	0.19	1	5.36	28.21
CIUDAD PERDIDA 2	0.12	1	12.45	103.76
CIUDAD PERDIDA 3	0.10	1	13.40	136.72

3.6.5.2 Relativos al Relieve

El relieve es uno de los parámetros más determinantes de la oferta hídrica y del movimiento del agua a lo largo de la cuenca. De ella dependen en gran medida la cobertura vegetal, la biota, el clima, el tipo y uso del suelo y otras características fisiográficas de un territorio. Para las medidas de manejo ambiental de los programas de adquisición sísmica terrestre se realizó el análisis de los siguientes parámetros relativos al relieve.

3.6.5.3 Patrón de drenaje regional

Se conoce como patrón de drenaje a la forma cómo una red hídrica se distribuye en un área determinada y depende principalmente de siete (7) factores:

- Pendiente de las laderas y del área de drenaje
- Cobertura vegetal
- Resistencia de la litología
- Caudal

- Permeabilidad del suelo
- Nivel e intensidad de lluvias
- Actividad estructural

Tabla 3.36 Patrones de drenaje de las unidades hidrográficas

NOMBRE	PATRÓN DE DRENAJE
Pantano 1	Dendrítico
Pantano 2	Dendrítico
Pantano 3	Dendrítico
Comuna 4	Dendrítico
Ciudad Perdida 1	Dendrítico
Ciudad Perdida 2	Dendrítico
Ciudad Perdida 3	Dendrítico

Ac: Área de la cuenca (km2), Pc: Perímetro de la cuenca (km), Lx: Longitud axial, W: ancho de la cuenca (km)

3.6.6 Análisis de Eventos Históricos

Con el fin de identificar los eventos de inundación en el municipio de Bucaramanga y el área de trabajo que nos permita analizar las áreas que han presentado afectaciones y permita la clasificación de las zonas de estudio.

Una vez revisada la base de datos de DesInventar (https://desinventar.org/es/), se identificaron diferentes eventos (Tabla 3.37), que pudieron haber tenido alguna incidencia en el área influencia del sitio de estudio. A continuación, se presenta un cuadro resumen de los diferentes eventos identificados sobre la zona:

Tabla 3.37 Base de datos de Inundaciones DesInventar municipio de Bucaramanga

CÓDIGO	FECHA	OBSERVACIÓN
UNGRD-2016-0099	3/9/2016	CDGRD reporta en Bucaramanga fuerte lluvia de la madrugada del 08/03/2016 se han presentado inundaciones rio de Oro y el rio Frio presenta aumento en el caudal no representa peligro; en el barrio la Feria se desplomaron dos viviendas por las lluvias no afecto vidas humanas.
UNGRD-2014-0227	8/20/2014	Reporta la central de comunicaciones del departamento de policía Santander; a las 15:15 horas por causas de las lluvias; se deslizaron tres viviendas en el barrio Nápoles del norte de Bucaramanga; donde fueron evacuadas 17 personas que se encontraban habitando esas viviendas; se encuentra en el lugar del sitio el coordinador de gestión de riesgo de Bucaramanga; realizando un censo.

CÓDIGO	FECHA	OBSERVACIÓN
1980-0127	7/15/1980	Un torrencial aguacero acompañado por granizo cayó sobre la ciudad por 2 horas destruyo 24 casas e inundo varios barrios del sur igualmente la ciudad quedo sin energía eléctrica y cientos de vehículos resultaron averiados por las aguas. los barrios más afectados por las inundaciones fueron: el Nariño Girardot y Gaitán en donde el fenómeno de la erosión contribuyo al deslizamiento de las viviendas.
2005-0082	2/7/2005	3100 familias afectadas. grave afectación vial en servicio públicos e infraestructura productiva. afectados barrios galanes Gallineral convivir café Madrid y el túnel la playa la playita los colorados el rosal el pablon los laureles Miraflores morrorico pablo sexto parque industrial villa helena zarabanda balconcitos amaga la esperanza san Gerardo hacienda real brisas de Provenza estoraques corrales hacienda real brisas de Provenza Bucaramanga cordoncito el fonce las casitas diamante y la joya las hamacas buenos aires el diviso

De acuerdo con la información de DESINVENTAR se realiza la espacialización de los barrios afectados por eventos inundaciones endorreicas o encharcamiento y procesos de lluvias intensas que generaron problemas de deslizamientos, causando desplome de viviendas, como se observa la en la Figura 3.156, existen 4 eventos cercanos a la zona de estudio, que ha presentado problemas de inundación debido a las fuertes lluvias.

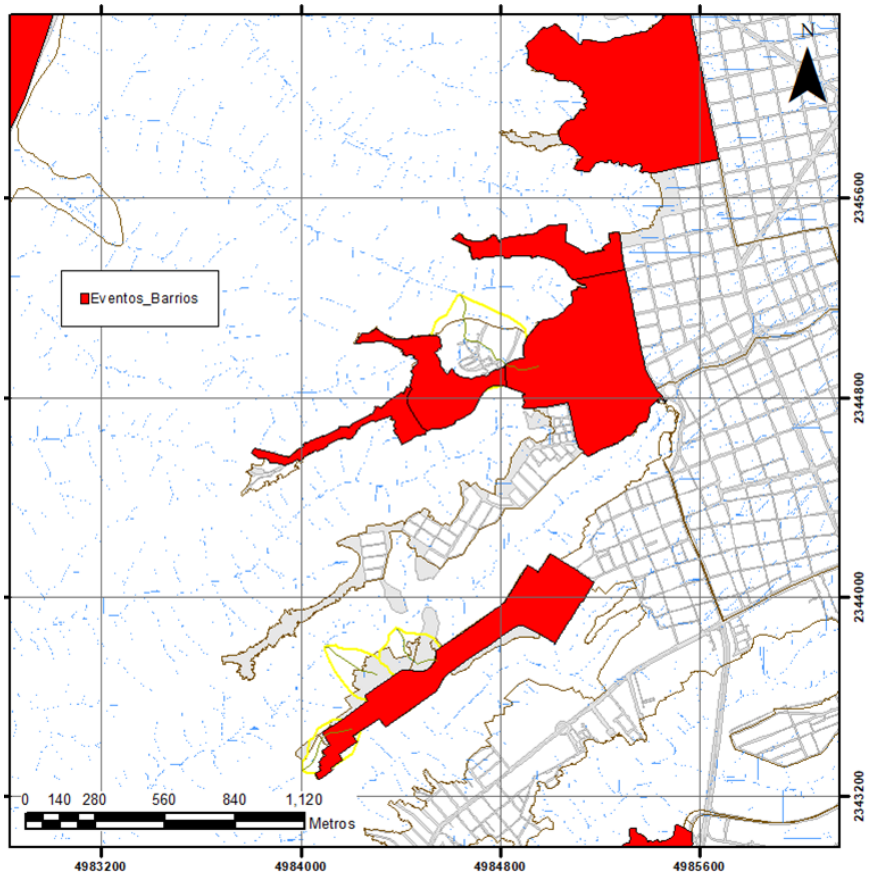


Figura 3.156 Eventos Históricos

3.6.7 Cálculo de Caudales Máximos

Para el cálculo de caudales máximos se utiliza el método lluvia escorrentía, por medio de una modelación en herramientas de sistemas información geográfica, para obtener caudales máximos en las áreas de drenaje.

El hidrograma unitario sintético del SCS es el hidrograma unitario adimensional desarrollado por Víctor Mockus en 1950. Este hidrograma fue estudiado con base en el análisis de un gran número de hidrogramas unitarios naturales de un amplio rango de tamaños de hoyas hidrográficas y sitios geográficos. (Ministerio de Transporte, 2009).

3.6.8 Características Morfométricas

Como parte de estas características se encuentra el área de drenaje, la longitud de la fuente hídrica, la pendiente y el tiempo de concentración.

3.6.8.1 Delimitación de la Cuenca

El área de drenaje de las comunas cuatro (Camilo Torres, Cuyanita, Milagro de Dios, Zarabanda, y Ciudad Perdida) y cinco (Pantano I, Pantano II, y Pantano III) se encuentra ubicado en la subcuenca del Rio de Oro, Cuenca Lebrija Alto, en la zona urbana del municipio de Bucaramanga, debido a esto y encontrarse en una zona donde no se evidencia drenajes permanentes, se hace necesario realizar la identificación de la acumulación de flujo para identificar las área de drenaje objeto del cálculo de caudales.

En la Figura 3.157 se observa el mapa de acumulación de flujo, para la zona de estudio, donde se identifican las zonas propensas a la acumulación de volúmenes en precipitaciones intensas; y en la Figura 3.158 se observan las áreas de drenaje correspondiente al cálculo de caudales.

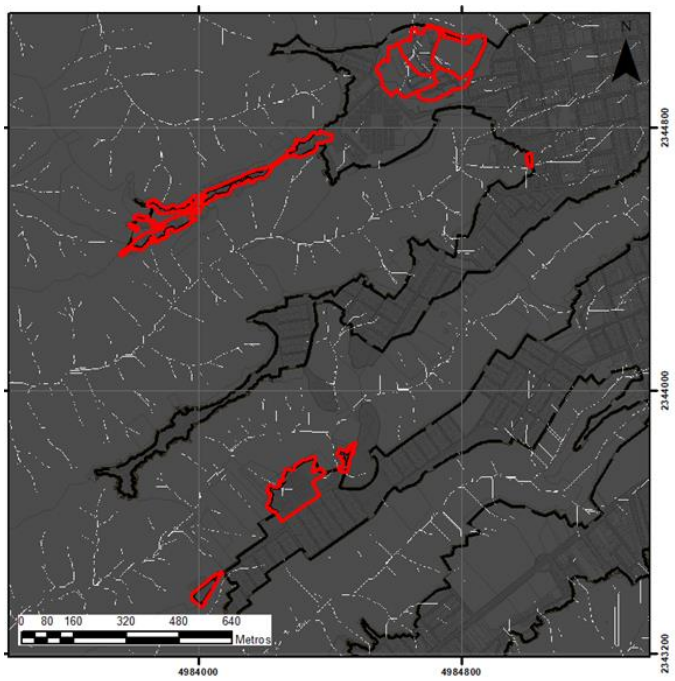


Figura 3.157 Acumulación de Flujo en la Zona de Estudio

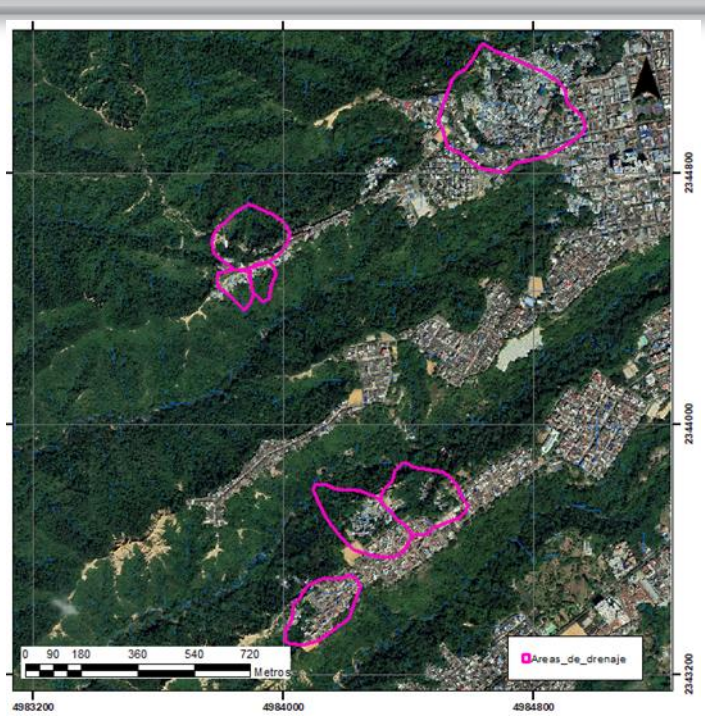


Figura 3.158 Áreas de Drenaje Hidrología de las Comunas 4 y 5

3.6.8.2 Tiempo de Concentración

Se estima para las áreas de drenajes que hacen parte de la cuenca del rio de Oro el tiempo de concentración por los diferentes métodos y se detallan las características morfométricas para la cuenca analizada en la Tabla 3.38.

Tabla 3.38 Valores Tiempo de Concentración

CUENCA	ÁREA (KM2)	LONG TOTAL LT (KM)	COTA MAYOR (M)	COTA MENOR (M)	S (M/M)	S (%)	KIRPICH TC (MIN)	TEMEZ TC (MIN)	GIADOTTI TC (MIN)	V T CHOW TC (MIN)	CALIFORNIA TC (MIN)	PROMEDIO
Pantano 1	0.04	0.26	900.16	820.42	0.3067	30.67	2.22	3.37	10.08	8.36	2.22	5.25
Pantano 2	0.04	0.25	898.00	808.00	0.3600	36.00	2.03	3.18	9.52	7.94	2.03	4.94
Pantano 3	0.03	0.29	895.30	850.00	0.1562	15.62	3.13	4.17	12.94	9.98	3.14	6.67
Comuna 4	0.12	0.53	924.00	822.00	0.1925	19.25	4.60	6.33	16.32	14.20	4.60	9.21
Ciudad Perdida 1	0.04	0.19	900.00	804.89	0.04	0.19	1.45	2.42	7.98	6.32	1.45	3.92
Ciudad Perdida 2	0.01	0.12	900.00	814.15	0.01	0.12	0.88	1.60	4.64	4.45	0.89	2.49
Ciudad Perdida 3	0.01	0.10	888.05	816.11	0.01	0.10	0.75	1.36	4.32	3.89	0.75	2.22

3.6.9 Periodo de Retorno (t)

De acuerdo con la normatividad vigente, para la determinación de los niveles máximos de inundación se deben utilizar periodos de retorno de 100 y 500 años, de acuerdo con las siguientes definiciones.

- **Creciente básico:** La creciente básica se define como la creciente que solo tiene 1% de posibilidad de ocurrencia en un año, equivalente a una creciente con periodo de retorno de 100 años.
- **Creciente máximo:** La creciente máxima o súper-creciente es la que tiene un 0.2% de probabilidad de ocurrencia en un año, equivalente a una creciente con periodo de retorno de 500 años.

3.6.9.1 Análisis Probabilístico de Datos

En el presente estudio se utilizó la distribución de valores extremos Gumbel tipo I, normal, log normal y log Gumbel, comúnmente utilizados y de bastante aceptación en el medio, que es un caso especial de la distribución GEV de tres parámetros descrita por el British Flood Studies Report en 1975.

3.6.10 Cálculo de Intensidad de la Lluvia

Se elaboran curvas sintéticas IDF para diferentes periodos de retorno, esta información corresponde a las 2 estaciones climatológicas que tienen influencia en el área de estudio. Para determinar las curvas de Intensidad Duración Frecuencia (IDF) del área de estudio, se empleó la metodología y los resultados encontrados en la investigación de Rodrigo Vargas (1998) de la Universidad de los Andes, denominado "Curvas Sintéticas de Intensidad Duración Frecuencia para Colombia" y presentado como método simplificado en el manual de drenaje del Instituto Nacional de Vías INVIAS.

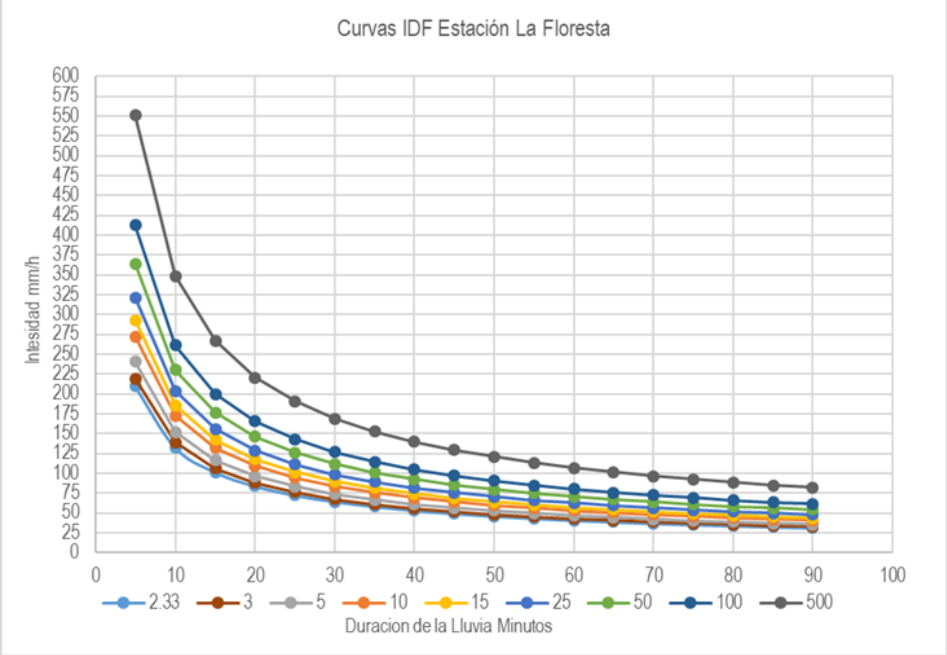


Figura 3.159 Curvas IFD para la Estación La Floresta
Fuente: Consultoría, a partir de información del IDEAM e IGAC

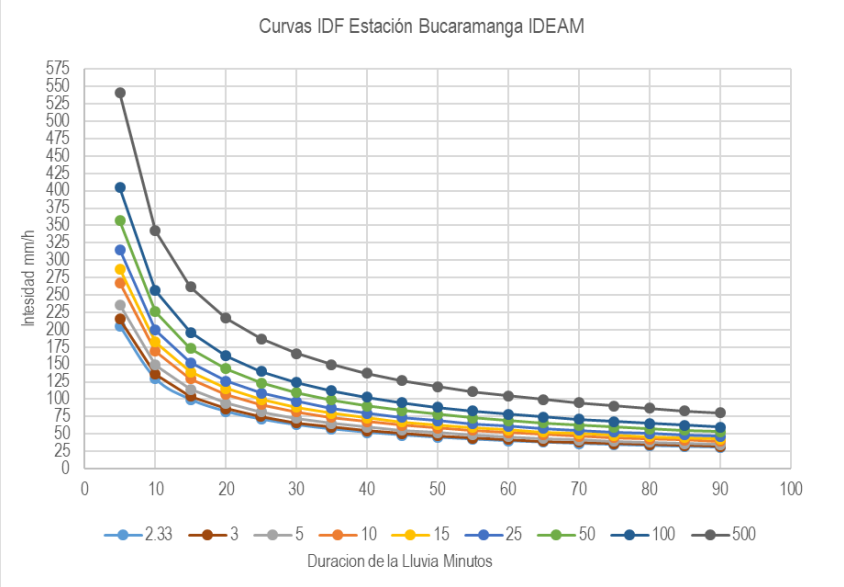


Figura 3.160 Curvas IFD para la Estación Bucaramanga IDEAM
Fuente: Consultoría, a partir de información del IDEAM e IGACEstimación del Número de Curva de Escorrentía, CN

3.6.10.1 Cálculo de la Curva Número

Para realizar el cálculo de la CN, se requiere información de los suelos y las coberturas que se presentan en el área de análisis, a continuación, se presentan al mapa de suelos presentes en la zona de estudio, los suelos del área de drenaje se encuentran suelos tipo C en mayor proporción seguido de suelos tipo B.

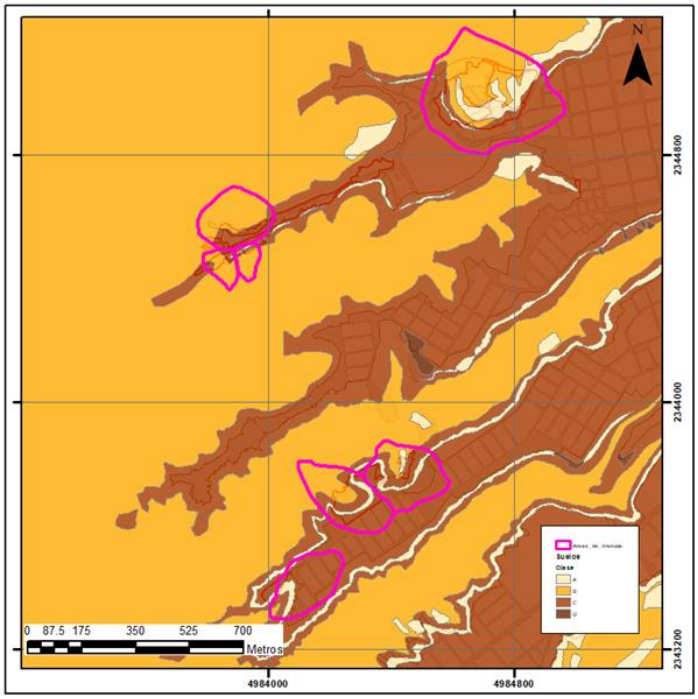


Figura 3.161 Mapa de Suelos Cuenca de estudio
Fuente: Consultoría, a partir de información del IDEAM e IGAC.

Con las características asignadas a los suelos se asume un grupo, siendo necesario para cada grupo determinar el tipo de coberturas (Arbustales, tejido urbano continuo y discontinuo, red vial, tierras desnudas y zonas industriales) establecidas y así estimar la curva número.

3.6.11 Modelación Hidrológica

La modelación hidrológica consiste en el cálculo de caudales máximos para diferentes periodos de retorno, los cuales permitan la modelación hidráulica de las fuentes hídricas principales de las microcuencas analizadas.

3.6.11.1 Método Racional

Es uno de los métodos de mayor aplicación para el cálculo de caudales extremos en cuencas pequeñas (áreas menores a 2.5 Km²), está basado en el concepto de que, si una lluvia de intensidad i comienza instantáneamente y continúa indefinidamente, la tasa de escorrentía aumentará hasta que se alcance el tiempo de concentración Tc, tiempo en el cual toda la cuenca está contribuyendo al flujo de salida en el cierre.

Tabla 3.39 Caudales Método Racional

CUENCA	TR	K	C	I (MM/HORA)	A (KM²)	CAUDAL (M³/S)
CDMUNA 4	2.33 años	0.278	0.51	132.878	0.12	2.24
	5 años	0.278	0.57	152.456	0.12	2.92
	10 años	0.278	0.62	172.715	0.12	3.57
	25 años	0.278	0.67	203.685	0.12	4.54
	50 años	0.278	0.7	230.752	0.12	5.38
	100 años	0.278	0.72	261.415	0.12	6.32
	500 años	0.278	0.77	349.257	0.12	9.01
PANTANO 1	2.33 años	0.278	0.58	204.766	0.04	1.32
	5 años	0.278	0.65	234.935	0.04	1.69
	10 años	0.278	0.69	266.154	0.04	2.04
	25 años	0.278	0.73	313.879	0.04	2.56
	50 años	0.278	0.76	355.588	0.04	3.01
	100 años	0.278	0.78	402.84	0.04	3.51
	500 años	0.278	0.82	538.205	0.04	4.93
PANTANO 2	2.33 años	0.278	0.61	212.89	0.04	1.44
	5 años	0.278	0.67	244.257	0.04	1.82
	10 años	0.278	0.71	276.714	0.04	2.19
	25 años	0.278	0.75	326.333	0.04	2.73
	50 años	0.278	0.78	369.697	0.04	3.2

CUENCA	TR	K	C	I (MM/HORA)	A (KM^2)	CAUDAL (M^3/S)
	100 años	0.278	0.8	418.824	0.04	3.73
	500 años	0.278	0.84	559.559	0.04	5.22
PANTANO 3	2.33 años	0.278	0.58	175.314	0.03	0.85
	5 años	0.278	0.65	201.144	0.03	1.09
	10 años	0.278	0.69	227.873	0.03	1.31
	25 años	0.278	0.73	268.733	0.03	1.64
	50 años	0.278	0.76	304.444	0.03	1.93
	100 años	0.278	0.78	344.899	0.03	2.25
	500 años	0.278	0.82	460.794	0.03	3.17
CIUDAD PERDIDA 1	2.33 años	0.278	0.36	231.157	0.04	0.83
	5 años	0.278	0.43	265.214	0.04	1.13
	10 años	0.278	0.48	300.457	0.04	1.42
	25 años	0.278	0.53	354.333	0.04	1.86
	50 años	0.278	0.57	401.418	0.04	2.25
	100 años	0.278	0.60	454.760	0.04	2.68
	500 años	0.278	0.66	607.571	0.04	3.93
CIUDAD PERDIDA 2	2.33 años	0.278	0.40	311.877	0.01	0.33
	5 años	0.278	0.47	357.828	0.01	0.45
	10 años	0.278	0.52	405.377	0.01	0.56
	25 años	0.278	0.57	478.067	0.01	0.73
	50 años	0.278	0.60	541.594	0.01	0.88
	100 años	0.278	0.63	613.564	0.01	1.04
	500 años	0.278	0.69	819.736	0.01	1.52
CIUDAD PERDIDA 3	2.33 años	0.278	0.31	336.420	0.01	0.21
	5 años	0.278	0.38	385.987	0.01	0.30
	10 años	0.278	0.43	437.279	0.01	0.38
	25 años	0.278	0.48	515.688	0.01	0.50
	50 años	0.278	0.52	584.215	0.01	0.61
	100 años	0.278	0.55	661.848	0.01	0.74
	500 años	0.278	0.61	884.245	0.01	1.09

Tabla 3.40 Resumen de Caudales

FUENTE	Q TR 2.33 M/S	Q TR 5 M/S	Q TR 10 M/S	Q TR 25 M/S	Q TR 50 M/S	Q TR 100 M/S	Q TR 500 M/S
PANTANO 1	1.32	1.69	2.04	2.56	3.01	3.51	4.93
PANTANO 2	1.44	1.82	2.19	2.73	3.20	3.73	5.22
PANTANO 3	0.85	1.09	1.31	1.64	1.93	2.25	3.17
COMUNA 4	2.24	2.92	3.57	4.54	5.38	6.32	9.01
CIUDAD PERDIDA 1	0.83	1.13	1.42	1.86	2.25	2.68	3.93
CIUDAD PERDIDA 2	0.33	0.45	0.56	0.73	088	1.04	1.52
CIUDAD PERDIDA 3	0.21	0.30	0.38	0.50	0.61	0.74	1.09

3.7 ETAPA 6: HIDROGEOLOGÍA

3.7.1 Descripción del Estudio

El componente de hidrogeología comprende la estimación de cambios en los niveles de aguas subterráneas con el fin de poder predecir cambios de la ubicación de la tabla de agua freática. En particular por su efecto detonante dentro de la generación de movimientos en masa, dicha información comprende gran utilidad para la etapa de amenaza por movimientos en masa.

3.7.2 Evaluación Hidrogeológica Regional

En la zona de estudio según Gómez, S (2015), en la zona de estudio existen acuíferos compartimentados: en la parte alta donde predominan manantiales y en la parte baja, donde el conocimiento hidrogeológico ha permitido definir piezométrica que revela dos niveles acuíferos, freático y profundo. Es importante destacar que anomalías en los análisis químicos, muestran que el acuífero freático ubicado bajo la ciudad metropolitana de Bucaramanga parece sufrir localmente de contaminación a partir de fuentes superficiales.

Es importante destacar que, en el área de la Terraza de Bucaramanga, son evidentes los niveles freáticos superficiales que se observan a lo largo de las escarpas, los cuales han sido medidos entre 1984 y 1992. Para tal fin, se construyeron piezómetros de 30 metros en el miembro gravoso (Qbg), donde se ha identificado un acuífero superficial que se extiende en toda la amplitud de la terraza de Bucaramanga, delimitado en la parte baja por el miembro Finos (Qbf), el cual se comporta como una capa impermeable. Gómez, S (2015), destaca los siguientes aspectos:

- Los espesores saturados en áreas cercanas a las escarpas pueden alcanzar valores mayores a 10 metros entre la escarpa norte y la Quebrada Seca.
- Hacia el sur de la Terraza entre Quebrada Seca y Quebrada la Iglesia estos espesores saturados toman valores entre 3 y 7 metros y más hacia el sur pierde conexión horizontal, encontrándose algunos acuíferos de pequeño espesor hasta su desaparición hacia el sur de la Quebrada La Cuellar.
- Hacia la zona central y oriental de la terraza aumenta el valor de los espesores saturados. Este acuífero ha sido llamado Acuífero Superficial de la Meseta de Bucaramanga, inicialmente fue estudiado con el fin de controlar los movimientos de masas de tierra que afectaban la escarpa occidental y norte de la terraza, donde se diseñaron numerosas obras de drenaje.

Este trabajo genera las isolíneas de cabeza de presión para el acuífero superficial y profundo de la meseta de Bucaramanga, las cuales se ilustran en la Figura 3.162.

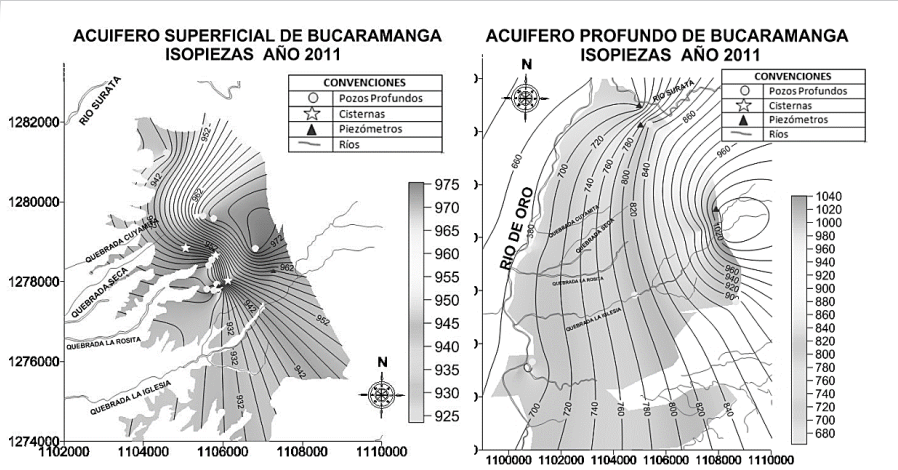


Figura 3.162 Líneas isopiezas de los acuíferos superficial y profundo en la zona aluvial de la Formación Bucaramanga

Fuente: Gómez, S (2015)

Para la determinación de los niveles freáticos y establecer las condiciones de permeabilidad de los estratos se realizaron tomografías eléctricas y pruebas de permeabilidad, orientados a la generación del modelo hidrogeológico conceptual.

<u>Tomografía CI-LT-01</u>

La Tomografía CI-LT-01 se realizó de SW a NE con una longitud de 100 m. Para una mejor interpretación se procesó la imagen mediante la opción de procesamiento robusto de diferencias finitas del software RES2DINV y se obtuvo la imagen de la Figura 3.163.

Unidad 1: En la parte más superficial se determinó una capa de valores de resistividad entre 136 y 791 ohm-m, correlacionables con Suelos transportados de arcillas y arenas secos del miembro Órganos de la Formación Bucaramanga. Tienen un espesor de 5 a 7 m (Staaob).

Unidad 2: Seguidamente y hacia mayor profundidad se encontraron valores de resistividad eléctrica de 42 a 75 ohm-m. Estos se correlacionan también con arcillas y arenas del miembro Órganos de la Formación Bucaramanga, pero saturados. Tienen un espesor mayor de 13 m.

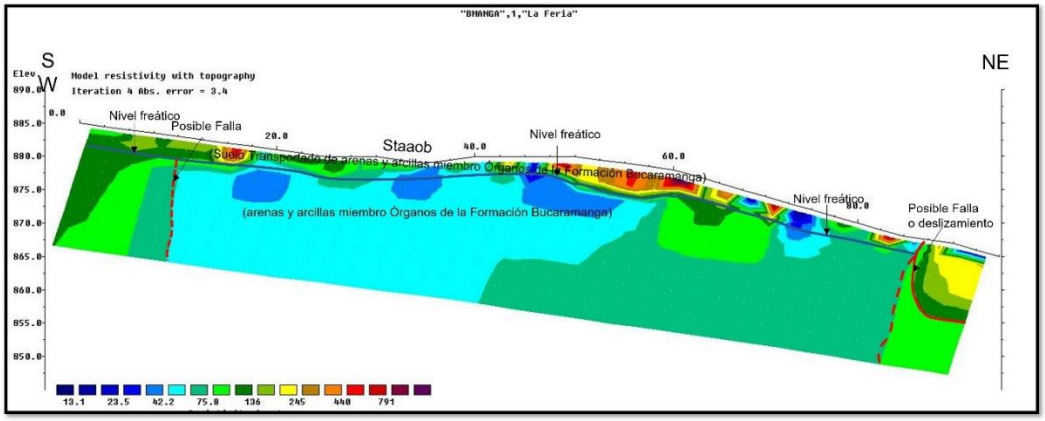


Figura 3.163 Interpretación de la Tomografía CI-LT-01

De lo expuesto anteriormente, se concluye lo siguiente:

- En las Tomografías realizadas se muestra una distribución de valores de resistividad eléctrica en profundidad y lateralmente que se puede agrupar en diez unidades:

  - **Unidad 1:** Es una Unidad geológica Superficial correspondiente a Suelos transportados areno arcillosos del miembro Órganos de la Formación Bucaramanga (Staaob), con valores de resistividad entre 136 y 791 ohm-m. Entre los 0 y 7 m de profundidad.
  - **Unidad 2:** Es una Unidad Geológica más profunda, situada bajo la anterior, correspondientes a arenas y arcillas del miembro Órganos de la Formación Bucaramanga, con valores entre 42 a 75 ohm-m. Se encuentra entre los 7 y más de 20 m de profundidad.
  - **Unidad 3:** Es una Unidad geológica Superficial correspondiente a Suelos transportados limo arcillosos del miembro Finos de la Formación Bucaramanga (Stlafb), con valores de resistividad entre 58 y 458 ohm-m. Entre los 0 y 10 m de profundidad.
  - **Unidad 4:** Es una Unidad geológica Superficial correspondiente a Suelos transportados coluviales (Stco), con valores de resistividad entre 458 y 765 ohm-m. Entre los 0 y 3 m de profundidad.
  - **Unidad 5:** Es una Unidad Geológica más profunda, situada bajo la anterior, correspondientes a bloques y gravas del miembro Gravoso de la Formación Bucaramanga, con valores entre 765 a 1279 ohm-m. Se encuentra entre los 3 y más de 20 m de profundidad.
  - **Unidad 6:** Es una Unidad Geológica más profunda, situada bajo la anterior, correspondientes a limolitas y arenitas compactas de la Formación Bucaramanga, con valores mayores a 1279 ohm-m. Se encuentra entre los 5 y más de 20 m de profundidad.
  - **Unidad 7:** Es una Unidad geológica Superficial correspondiente a Suelos transportados arcillosos y arenosos del miembro Gravoso de la Formación Bucaramanga (Stagb), con valores de resistividad entre 15 y 186 ohm-m. Entre los 0 y 7 m de profundidad.
  - **Unidad 8:** Es una Unidad Geológica más profunda, situada bajo la anterior, correspondientes a bloques y gravas del miembro Gravoso de la Formación Bucaramanga, con valores entre 186 a 644 ohm-m. Se encuentra entre los 7 y más de 20 m de profundidad.
  - **Unidad 9:** Es una Unidad geológica Superficial correspondiente a Suelos transportados limos arcillosos del miembro Limos Rojos de la Formación Bucaramanga (Stlalb), con valores de resistividad entre 65 y 326 ohm-m. Entre los 0 y 10 m de profundidad.
  - **Unidad 10:** Es una Unidad Geológica más profunda, situada bajo la anterior, correspondientes a arcillas, limos y arenas de la Formación Bucaramanga, con valores entre 13 y 326 ohm-m. Se encuentra entre los 7 y más de 20 m de profundidad.

- En las Tomografías 1 y 5, realizadas en sentido W-E, se advierte una posible zona de falla o deslizamiento de mayor riesgo.
- El nivel freático fue posible interpretarlo en las tomografías 1,3,4 y 5. En las Tomografías 1 y 3, el nivel está entre 5 y 6 m de profundidad, mientras que en las tomografías 4 y 5 se encuentra entre 5 y 10 m, y 5 y 15 m de profundidad, respectivamente. En la Tomografía 2 no se detecta con claridad el nivel freático. Posiblemente está por debajo de 20 m.

3.7.3 Ensayos de Permeabilidad

Se realizaron seis (6) ensayos de permeabilidad en cámara triaxial, para lo cual las muestras se consolidaban inicialmente a la presión de confinamiento existente en el terreno, y posteriormente, se realiza la prueba por el método D, cabeza de presión y flujo constantes. Un resumen de los resultados se ilustra en la Tabla 3.41, mientras que, los ensayos de laboratorio finales se presentan en el anexo de la etapa de exploración geotécnica. En general se observa, que los limos rojos corresponden a materiales relativamente impermeables, como se ha podido constatar, en los estudios regionales de agua subterránea de la meseta de Bucaramanga.

Tabla 3.41 Resultados del as pruebas de permeabilidad en cámara triaxial de cabeza constante

ENSAYO DE PERMEABILIDAD					
Id Perforación	Profundidad	ωi	ωf	Permeabilidad a 20°C (cm/s)	UGI
P01-M13	18,00 - 19,50	8.50	18.40	8.14E-06	Miembro Fino (Qbf)
P02-M3A	3,00 - 4,50	21.80	23.60	2.10E-06	Miembro Gravoso (Qbg)
P04-M5	6,00 - 7,50	12.40	23.00	6.14E-07	Miembro Limos Rojos (Qblr)
P05-M8	10,50 - 12,00	24.40	25.60	2.84E-07	Miembro Fino (Qbf)
P06-M5	6,00 - 7,50	22.60	23.80	1.94E-07	Miembro Limos Rojos (Qblr)
P09-M3A	3,00 - 4,50	22.10	23.40	4.94E-07	Miembro Gravoso (Qbg)

3.7.4 Niveles Piezométricos

Esta sección tiene por objeto, presentar los resultados de la posición del nivel freático detectado en los sondeos manuales y perforaciones mecánicas realizadas en el proyecto, así como el nivel freático detectado en las tomografías eléctricas. En las **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** a Tabla 3.42, se presenta un resumen de los resultados obtenidos durante la fase campo. Teniendo en cuenta lo anterior se obtienen los niveles piezométricos de la comuna 4 (Figura 3.164), el barrio Ciudad Perdida (Figura 3.165) y Comuna 5 (Figura 3.166).

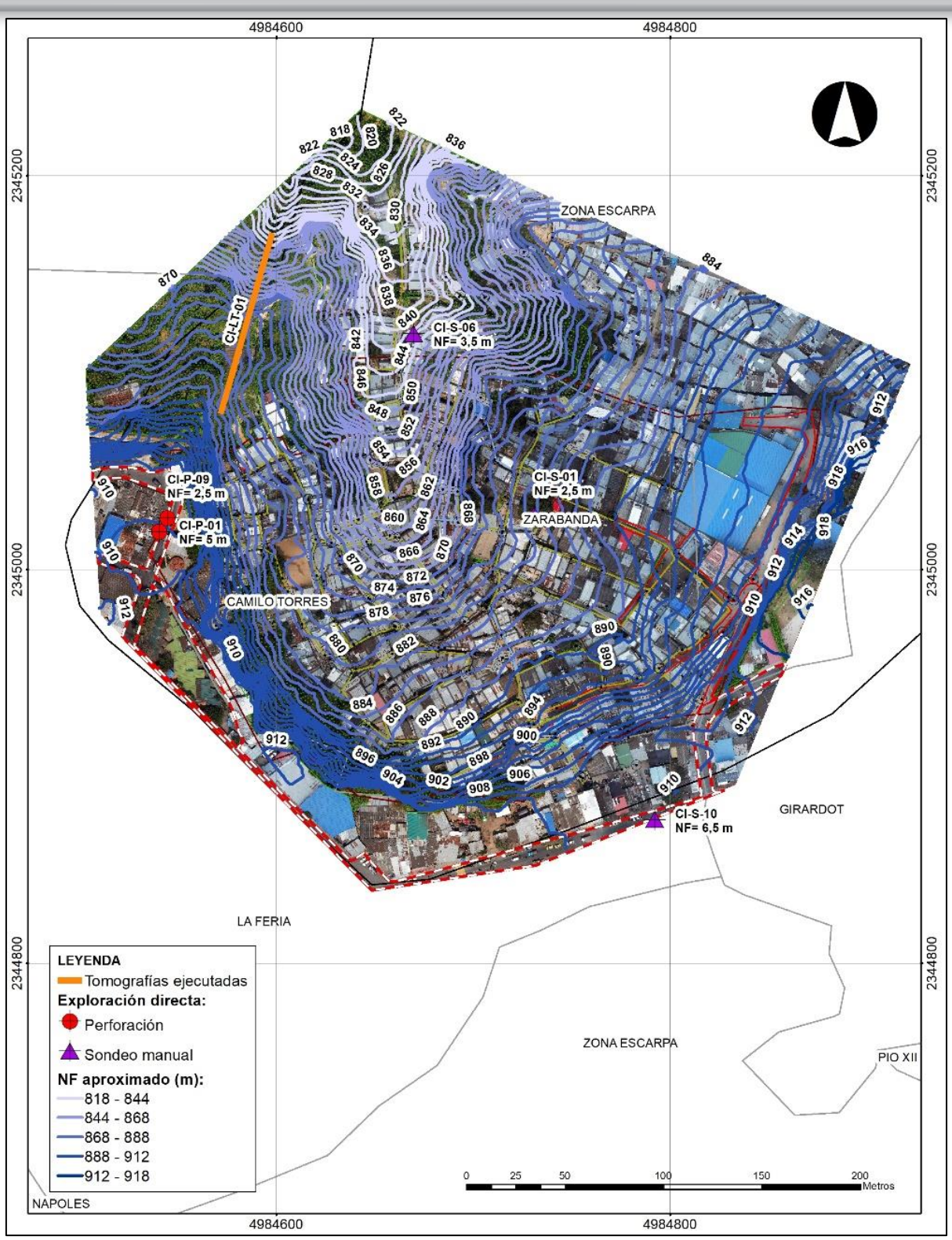


Figura 3.164 Niveles freáticos aproximados para la zona de Comuna 4

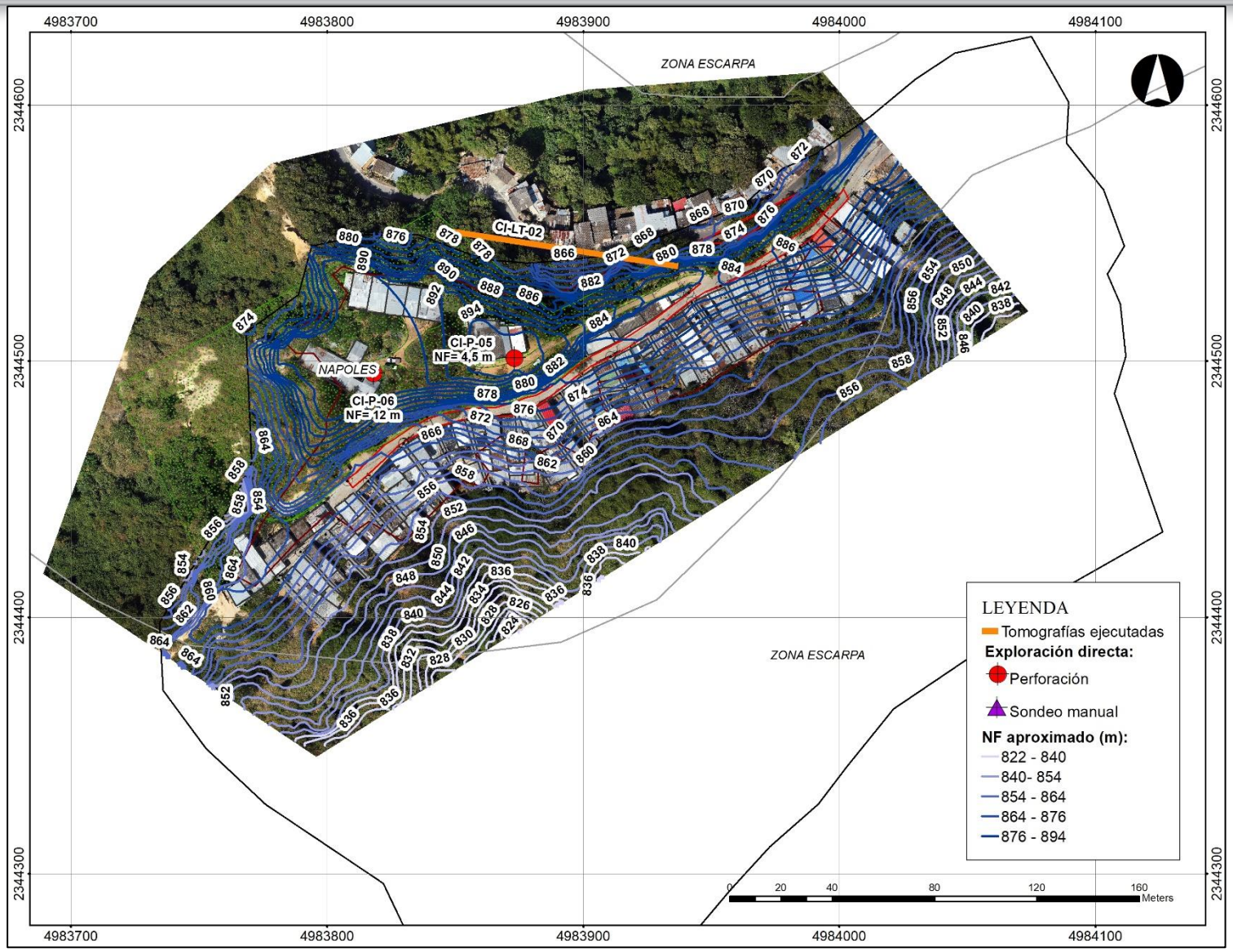


Figura 3.165 Niveles freáticos aproximados para la zona del barrio Ciudad Perdida

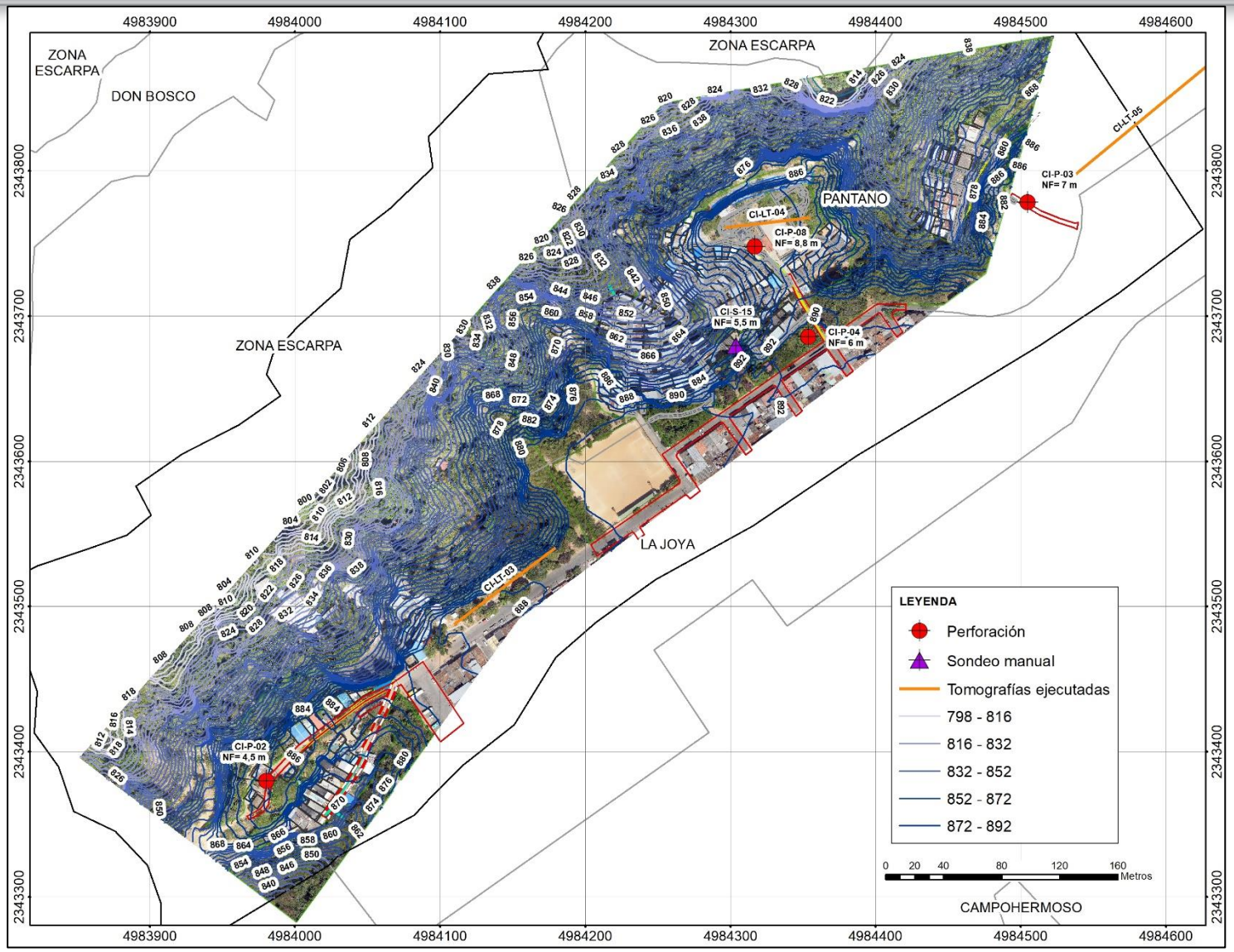


Figura 3.166 Niveles freáticos aproximados para la zona de Comuna 5

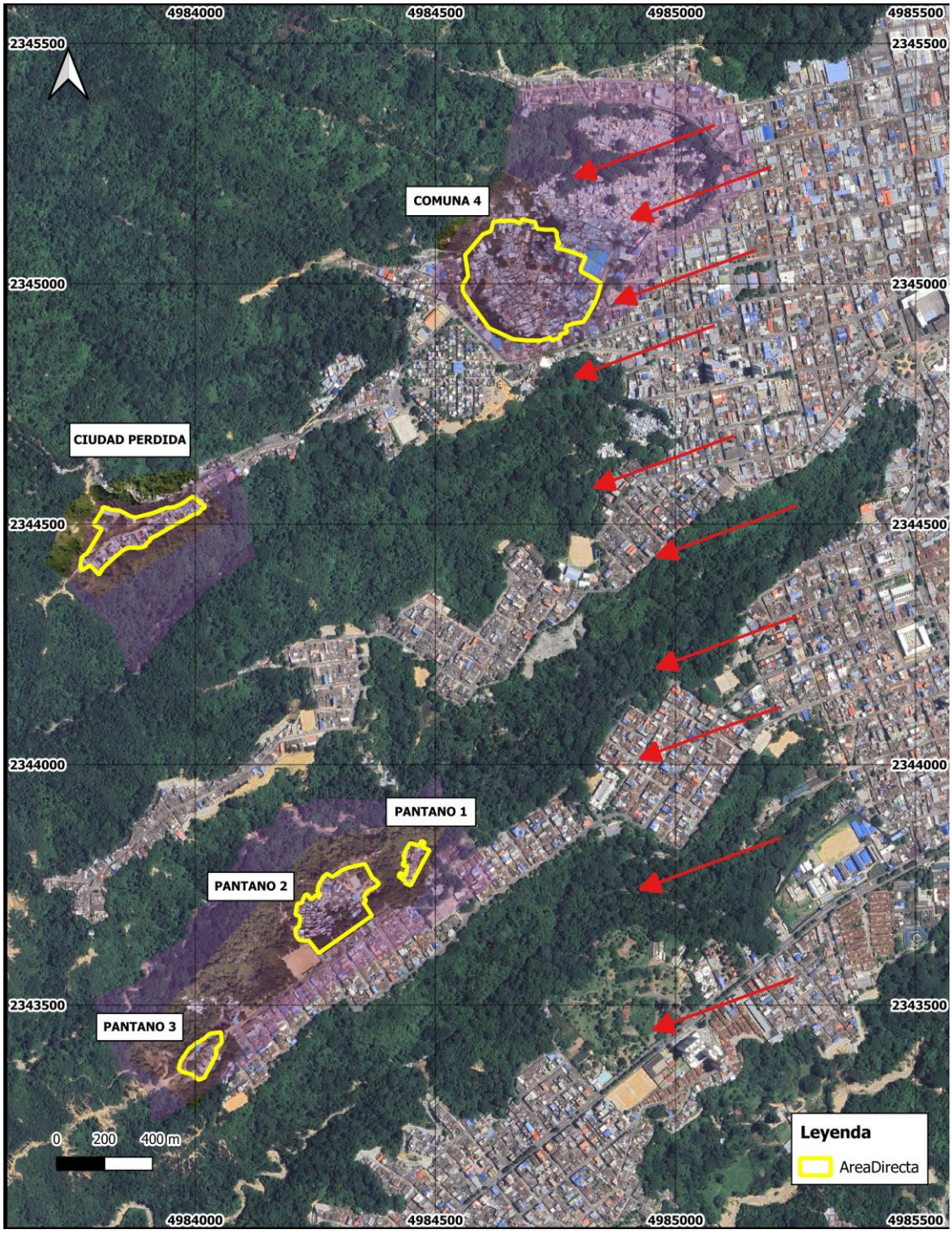


Figura 3.167 Esquema del modelo hidrogeológico conceptual

3.7.5 Efectos de la Lluvia Sobre el Nivel Freático

En esta sección, se analiza la evolución del nivel freático, de acuerdo con el periodo de retorno de las lluvias seleccionadas en el análisis. Para tal fin, haremos uso del método propuesto por el SGC (2016), el cual considera que los niveles freáticos son afectados por dos condiciones particulares:

- Se asume un incremento del nivel freático debido a lluvias antecedentes por lo que se lleva a cabo un análisis de los valores de precipitación anual y a partir del número de curva de las áreas del proyecto se definen los valores de lluvia infiltrada. Estos valores de lluvia infiltrada son entonces asociados a cambios del nivel freático, por lo que a partir de ellos datos anuales se definen valores estimados de variación y se asume una distribución normal de la ubicación del nivel freático.
- Adicional al anterior se considera un aumento del nivel freático debido a lluvias continuas por duración de 24 horas. Estas lluvias son estimadas a partir de las IDF para el proyecto.
- Los datos anteriores se combinan con el estimado de la profundidad de aguas freáticas encontrado en la exploración.

Y finalmente de la exploración geofísica, el ensayo capaz de detectar niveles freáticos corresponde a las tomografías eléctricas. Los apartados de ubicación del nivel freático a partir de estos ensayos se muestran a continuación en la Tabla 3.42:

Tabla 3.42 Ubicación del nivel freático a partir de líneas de tomografía eléctrica.

ID TOMOGRAFÍA	ZONA	NIVEL FREATICO (M)
CI-LT-01	La Feria	Entre 5 y 6 m
CI-LT-02	Divino Niño	No se encuentra. Posiblemente este por debajo de los 20 m
CI-LT-03	Pantano 3	Entre 5 y 6 m
CI-LT-04	Pantano 2	Entre 5 y 10 m
CI-LT-05	Pantano 1	Entre 5 y 15 m

Los valores de niveles para los barrios de la zona de La Feria daban un promedio de profundidad de 4.0 m, sin embargo, siendo consecuentes con la perforación cercana al deslizamiento ocurrido el 10 de marzo, se optó por tomar Pf=5.0 m para dicho sector (resaltado en verde).

En cuanto los valores del barrio Ciudad Perdida, se encontraron valores muy diferentes en las perforaciones mecánicas por rotación. Por lo anterior se contempló el menor de ambos (4.50 m resaltado en naranja), considerando éste como el más crítico.

Por su parte para la zona de los barrios Pantano I, Pantano II y Pantano III, los valores encontrados en múltiples sondeos y perforaciones del barrio Ciudad Perdida mostraron valores con relativa cercanía, motivo por el cual se consideró el promedio de estos valores (resaltados en azul), para un valor de 6.36 m.

Si bien se cuenta con monitoreo piezométrico, se ha encontrado que el nivel freático está muy profundo (del orden de 25 a 26 m), seguramente causado por grietas de tensión en la zona que afectan las aguas subterráneas, por lo que no se tuvo en cuenta.

3.7.6 Lluvias Infiltradas

Teniendo en cuenta las coberturas del suelo y el análisis hidrológico se obtuvieron los siguientes valores de numero de curva para cada sector:

- Sector Comuna 4 Ferias (Barrios Camilo Torres, Cuyanita, Milagro de Dios y Zarabanda): El valor del número de curva promedio se estimó en 81, grupo B, cobertura predominante de Tejido Urbano discontinuo.
- Sector Comuna 4 Ciudad Perdida: El valor del número de curva promedio se estimó en 74, grupo B, cobertura predominante de Tejido Urbano discontinuo.
- Sector Comuna 5 Pantano I, II y III: El valor del número de curva promedio se estimó en 81, grupo B, cobertura predominante de Tejido Urbano discontinuo.

3.7.7 Variación del Nivel Freático

A partir de los resultados de lluvias infiltradas y de los resultados de lluvias de 24 horas se procede a definir los cambios de nivel freático esperado para cada zona. En la tabla 3.85 se ilustra la variación del nivel freático para Pantanos I, II y III.

PERIODO DE RETORNO

$$Pf_{Tr} = (Pf - z * Cv * Pf) - (I_{i\,Tr} * 24)$$

Pf_{Tr}	Pf del NF para un perido de retorno	
Pf	Valor medio del Nf (mm)	**5000**
z	Valor asociado al periodo de retorno	
Cv	Coeficiente de variación del Pi	**0.26**
$I_{i\,Tr}$	Intensidad del periodo de retorno en 24 h (mm/h)	

Tr (años)	2.33	5	10	25	50	100
Z	0.17845	0.84162	1.28155	1.75069	2.05375	2.32635

Cálculo de Variación del Nivel Freático

Tr (años)	2.33	5	10	25	50	100
$I_{i\,Tr}$ (mm/h)	5.05	5.80	6.57	7.75	8.77	9.94
Pf_{Tr} (mm)	4642.42	3746.34	3145.26	2495.74	2069.70	1680.72
Pf_{Tr} (m)	**4.64**	**3.75**	**3.15**	**2.50**	**2.07**	**1.68**

Frente de infiltración	0.36	1.25	1.85	2.50	2.93	3.32

Tabla 3.43 Cambio del NF para diferentes periodos de retorno en la zona de Ciudad Perdida

CAMBIO DE LA PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO

$$Pf_{Tr} = (Pf - z * Cv * Pf) - (I_{i\,Tr} * 24)$$

Pf_{Tr}	Pf del NF para un perido de retorno	
Pf	Valor medio del Nf (mm)	**4500**
z	Valor asociado al periodo de retorno	
Cv	Coeficiente de variación del Pi	**0.27**
$I_{i\,Tr}$	Intensidad del periodo de retorno en 24 h (mm/h)	

Tr (años)	2.33	5	10	25	50	100
Z	0.17845	0.84162	1.28155	1.75069	2.05375	2.32635

Cálculo de Variación del Nivel Freático

Tr (años)	2.33	5	10	25	50	100
$I_{i\,Tr}$ (mm/h)	5.05	5.80	6.57	7.75	8.77	9.94
Pf_{Tr} (mm)	4159.09	3324.98	2765.01	2159.33	1761.61	1398.10
Pf_{Tr} (m)	**4.16**	**3.32**	**2.77**	**2.16**	**1.76**	**1.40**

Frente de infiltración	0.34	1.18	1.73	2.34	2.74	3.10

Tabla 3.44 Cambio del NF para diferentes periodos de retorno en la zona de Pantanos I, II y III

CAMBIO DE LA PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO

$$Pf_{Tr} = (Pf - z * Cv * Pf) - (I_{i\,Tr} * 24)$$

Pf_{Tr}	Pf del NF para un perido de retorno	
Pf	Valor medio del Nf (mm)	**6360**
z	Valor asociado al periodo de retorno	
Cv	Coeficiente de variación del Pi	**0.26**
$I_{i\,Tr}$	Intensidad del periodo de retorno en 24 h (mm/h)	

Tr (años)	2.33	5	10	25	50	100
Z	0.17845	0.84162	1.28155	1.75069	2.05375	2.32635

Calculo de Varciaón del Nivel Freatico

Tr (años)	2.33	5	10	25	50	100
$I_{i\,Tr}$ (mm/h)	5.05	5.80	6.57	7.75	8.77	9.94
Pf_{Tr} (mm)	5941.43	4818.70	4067.27	3257.41	2727.80	2245.65
Pf_{Tr} (m)	**5.94**	**4.82**	**4.07**	**3.26**	**2.73**	**2.25**

Frente de infiltración	0.42	1.54	2.29	3.10	3.63	4.11

Estos valores de ubicación del nivel freático serán los usados para involucrar los detonantes de lluvia en los modelos de amenaza.

3.7.8 Modelo Hidrogeológico Conceptual

Recolectando toda la información de pozos y aljibes de Bucaramanga, Duran. L. (2011), genera un modelo de flujo de la dirección del agua subterránea encontrando que la dirección de va de oriente a occidente, llegando al Río de Oro, ubicado en la parte occidental de la Meseta de Bucaramanga (Véase Figura 3.168).

La anterior es un buen punto de partida para el modelo hidrogeológico regional de la meseta de Bucaramanga. Para la zona de estudio se identificaron un acuífero superficial y un acuífero profundo. Es importante destacar, que los estudios hidrogeológicos han mostrado que el acuífero superficial, es el causante de un porcentaje importante de los problemas de inestabilidad detectados en las zonas.

Un primer muestreo realizado entre 2002 y 2003 (Gómez & Anaya, 2004) permitió observar que la recarga a los acuíferos de Bucaramanga proviene principalmente de la zona de la montaña (alturas mayores a 1800 msnm).

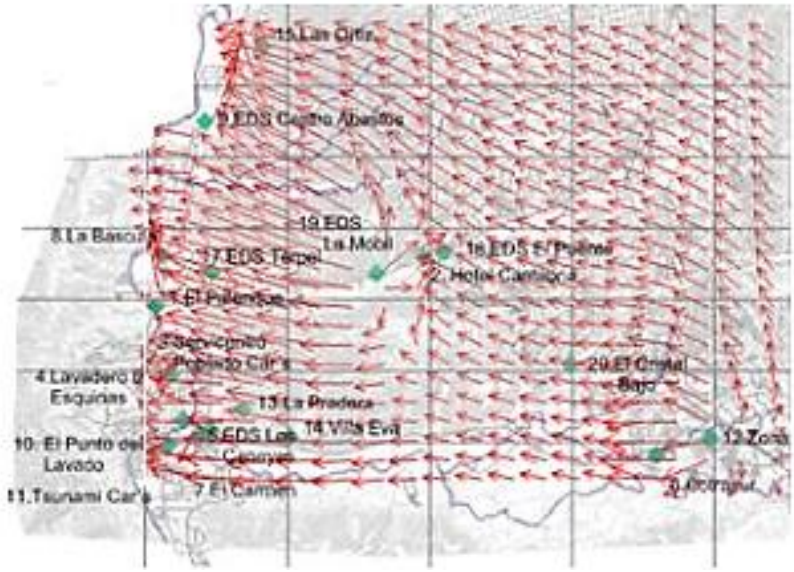


Figura 3.168 Mapa de direcciones de flujo de oriente a occidente de los puntos de agua subterránea
Fuente: Durán, L (2011)

Finalmente, se destaca que la principal unidad hidrogeológica del sector corresponde al miembro gravoso y el miembro órganos, correspondientes al acuífero superficial. En la Figura 3.169, se presenta el modelo conceptual de flujo para el acuífero superficial. En general se observa que el flujo se presenta de oriente a occidente, y destacándose el hecho que algunos investigadores han detectado un abatimiento importante en sectores aledaños a los lavaderos de carro.

Es importante destacar finalmente, que, en el alcance de los estudios, no se contempla la elaboración de modelos numéricos, bien sea para el caso estacionario o transitorio, y los estudios previos muestran que la recarga de estos acuíferos, en su mayoría están dados por el flujo regional proveniente de la meseta de Bucaramanga y el macizo de Santander. La recarga debido a la precipitación es relativamente baja, pero la presencia de agrietamientos en el terreno, y la actividad antrópica han ocasionado que el efecto de la lluvia sea un factor determinante en la estabilidad de las laderas.

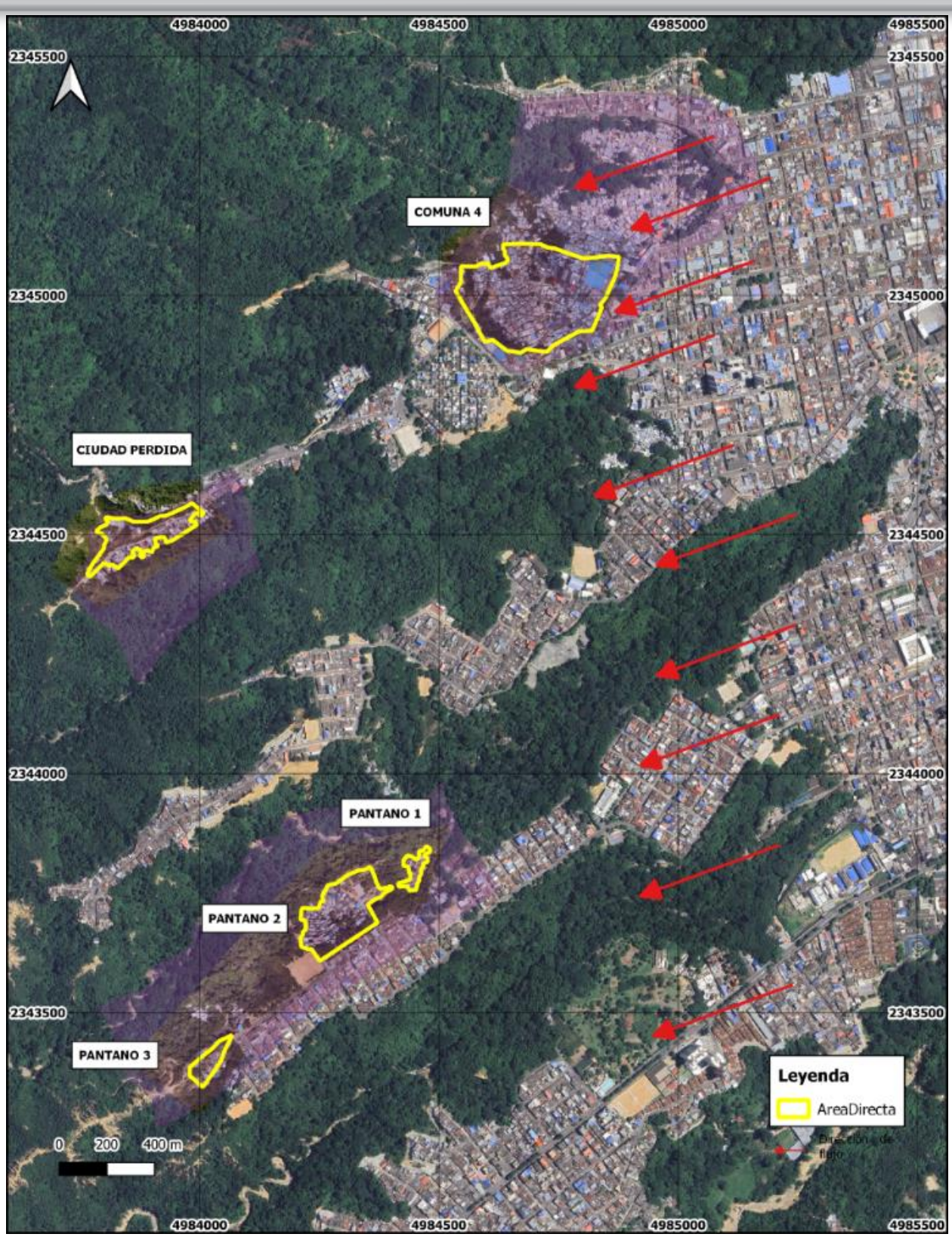


Figura 3.169 Esquema del modelo hidrogeológico conceptual

3.8 ETAPA 7: DIAGNÓSTICO DE OBRAS DE MITIGACIÓN EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Para la evaluación de vulnerabilidad, es indispensable el conocimiento urbano de las áreas de estudio, entendiéndose por Urbanismo "*el conjunto de conocimientos relacionados con la planificación y desarrollo de las ciudades*" (RAE,2020), es decir, el estudio del desarrollo de las condiciones del territorio, su organización y el planteamiento de redes de servicios prestados por entes públicos y privados.

Para abordar los temas mencionados, el análisis de documentación, el trabajo en campo y la obtención de información de los formatos de diagnóstico estructural e inspección visual de las obras consignados en la guía metodológica, han contribuido al análisis de las zonas de estudio; por esta razón es imperativo reconocer el contexto del lugar.

Dado lo anterior es válido aclarar ciertas premisas que se tuvieron en el estudio de caracterización y patología como lo son: el tipo de obras halladas, el acceso a las obras, fenómenos recientes, sobrecargas generadas.

3.8.1 Tipos de Estructuras Halladas

Las estructuras de contención son construcciones cuyo propósito es corregir o minimizar las posibles fallas de los taludes, incrementando la resistencia de los mismos y disminuyendo los deslizamientos, fallas y movimientos que puedan presentarse.

Los tipos de obras de mitigación hallados en la zona de inspección son las que se describen a continuación:

3.8.1.1 Muros de Gaviones

Son estructuras de contención en forma de paralelepípedo compuestas con roca dura y malla de alambre galvanizado. Se consideran estructuras flexibles que soportan grandes deformaciones sin perder su capacidad estructural. Se encontraron algunos muros con revestimiento total en concreto pobre, algunos con recubrimiento superior únicamente y alguno sin ningún tipo de recubrimiento.

3.8.1.2 Pantallas Ancladas

Son obras de concreto vaciado directamente sobre la cara del talud, con espesor entre 5-10 centímetros con malla electrosoldada cuya función es netamente de protección a erosión y desecación. Obtienen su capacidad de contención de una serie de cables o barras pre o postensadas colocadas en perforaciones realizadas previamente y ancladas a terreno firme detrás de la superficie de falla por medio de inyecciones de mortero.

3.8.1.3 Revestimiento de Taludes

Se refiere a la protección del talud con elementos estructurales como bloques de concreto o piedra pegada con mortero se recomienda su uso cuando no se puede garantizar la estabilidad a largo plazo o cuando el talud es susceptible a sufrir caídas de roca y deslizamientos. En este caso, se encontraron recubrimientos rígidos livianos, los cuales consisten en la colocación de mallas electrosoldada y la aplicación de concreto lanzado. Son obras de concreto vaciado directamente sobre la cara del talud,

con espesor entre 5-10 centímetros, cuya función es netamente de protección a erosión y desecación mas no de contención.

3.8.2 Acceso a las Estructuras

La mayoría de las obras encontradas permitieron una inspección visual directa sobre cada una de ellas, sin embargo, en algunos casos se imposibilita el acceso a las obras debido a los mallados de protección que se encuentran sobre algunas estructuras.

Siendo así los muros de gaviones encontrados pudieron evaluarse en su totalidad de forma directa y cercana, sin embargo, dos de las pantallas de anclajes, no permitieron un acceso directo para una inspección visual más a detalle.

Así mismo, debido a la pendiente de los taludes y la altura de las pantallas encontradas no era posible llegar de forma directa a la totalidad de las obras, ni acceder al registro directo de cada una de las patologías encontradas, más allá de la inspección visual de las mismas.

3.8.3 Sobrecargas Existentes

En la visita realizada para la inspección de las obras entre el 3 y el 5 de abril de 2023 y dada la inexistencia de estudios y diseños de las obras que permitan determinar exactamente las cargas de diseño, fechas de construcción, normativas y demás, se procedió a indagar con la comunidad sobre la construcción de las obras, fechas, estado, fenómenos recientes y alteraciones a las cargas de cada estructura.

Como conclusión general de las obras, las cargas que han soportado las obras de mitigación desde su construcción no han tenido incrementos o mayoraciones por fenómenos recientes o construcciones nuevas, salvo el fenómeno acontecido y evidenciado luego del sismo que tuvo lugar el 11 de marzo de 2023, el cual se describe a continuación.

3.8.3.1 Fenómeno de Remoción en Masa marzo de 2023

Desde el 11 de marzo del 2023 en la comuna 4, barrio Camilo Torres se presentó una falla sobre la zona superior del barrio, exactamente sobre el final de la carrera primera, la cual en un inicio presentó la rotura de la capa de pavimento y un hundimiento de aproximadamente 10 centímetros de la bancada.



Figura 3.170 Falla inicial - 15 de marzo de 2023

Debido al fenómeno descrito se realizó la evacuación inmediata de las 3 viviendas ubicadas sobre la vía carrera 1 costado occidental. Posterior evacuación de las viviendas de margen inferior de la falla, las cuales se encuentran en inminente riesgo.



Figura 3.171 Zona de falla 3 de abril de 2023



Figura 3.172 Zona de falla 19 de abril de 2023

3.8.4 Diagnóstico de Obras Hidráulicas Existentes

El objetivo de este diagnóstico es proporcionar una visión integral del estado actual de las obras de drenaje existentes en las comunas 4 y 5 de Bucaramanga.

3.8.4.1 Ciudad Perdida

En el barrio Ciudad Perdida, se evidencia una ausencia de redes hidrosanitarias convencionales. En lugar de ello, la vía principal del barrio funciona como un canal de conducción para las aguas de escorrentía provenientes del talud. Estas aguas no son transportadas mediante un sistema de alcantarillado o drenaje pluvial, sino que son descargadas mediante los peatonales del asentamiento y, posteriormente, siguen su curso natural.

La Figura 3.173 presenta los resultados obtenidos para el asentamiento humano en el sector Ciudad Perdida.

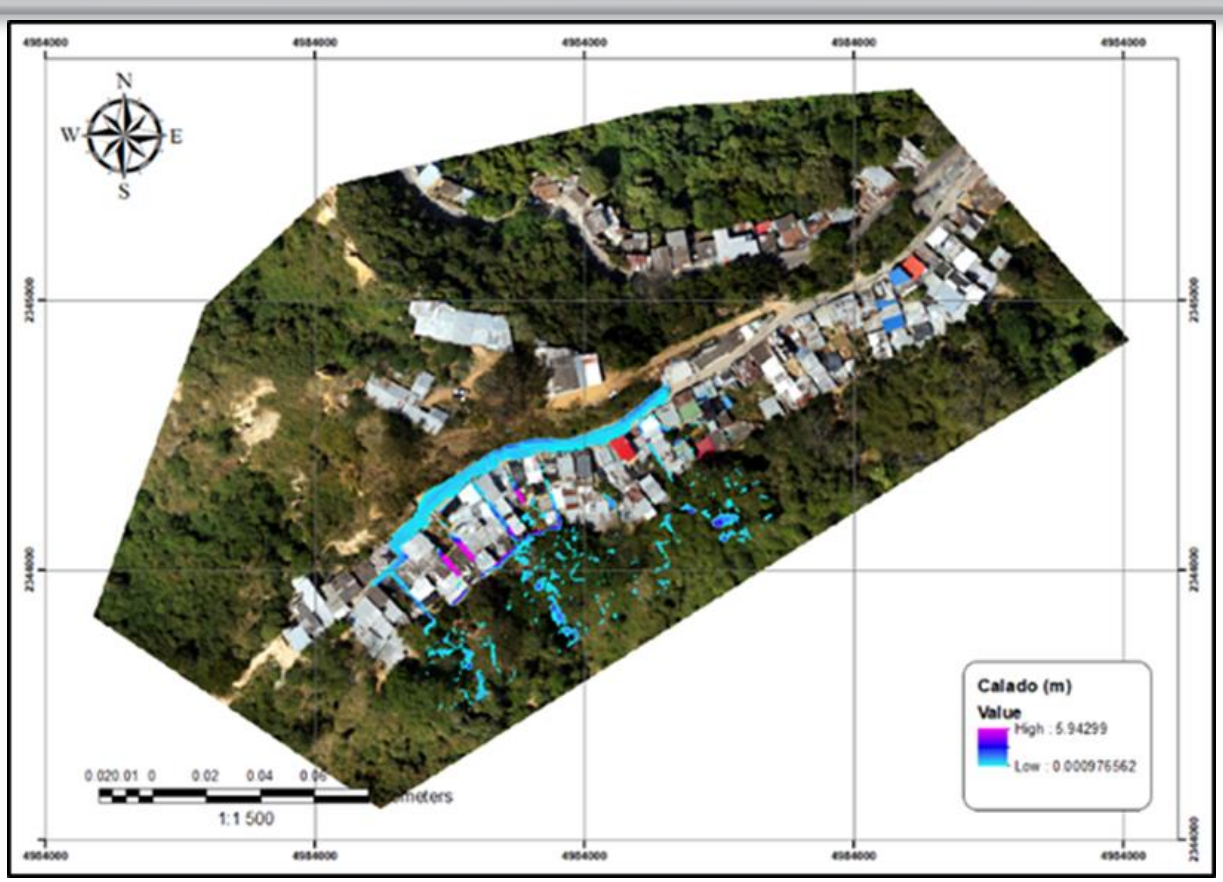


Figura 3.173 Análisis bidimensional por asentamiento humano en el sector Ciudad Perdida

Esta situación plantea varios retos en términos de gestión y control del agua. La falta de una infraestructura adecuada para el manejo de aguas de escorrentías genera problemas como entrada de agua a las viviendas, erosión del terreno, usabilidad de las vías y peatonales ante fenómenos de lluvia intensa, por tanto, es evidente la implementación de obras de alcantarillado que permitan manejar adecuadamente la captación, conducción, tratamiento y disposición adecuada de las aguas.

3.8.4.2 Pantano I

En el sector de Pantano I, se ha identificado que el asentamiento cuenta con un canal existente que cumple con la función de canalizar una parte significativa de escorrentía. Sin embargo, mediante un análisis de modelación, se ha afirmado que la sección hidráulica de este canal no es adecuada para drenar eficientemente durante eventos de precipitación intensa.

Esto implica que, ante lluvias fuertes o prolongadas, el canal existente no es capaz de manejar el caudal de agua generado. Lo que resulta en posibles problemas como desbordamientos y acumulaciones de aguas en el área circundante (véase Figura 3.174). Por tanto, es necesario la implementación de obras de alcantarillado que permitan evacuar de forma óptima estas acumulaciones.

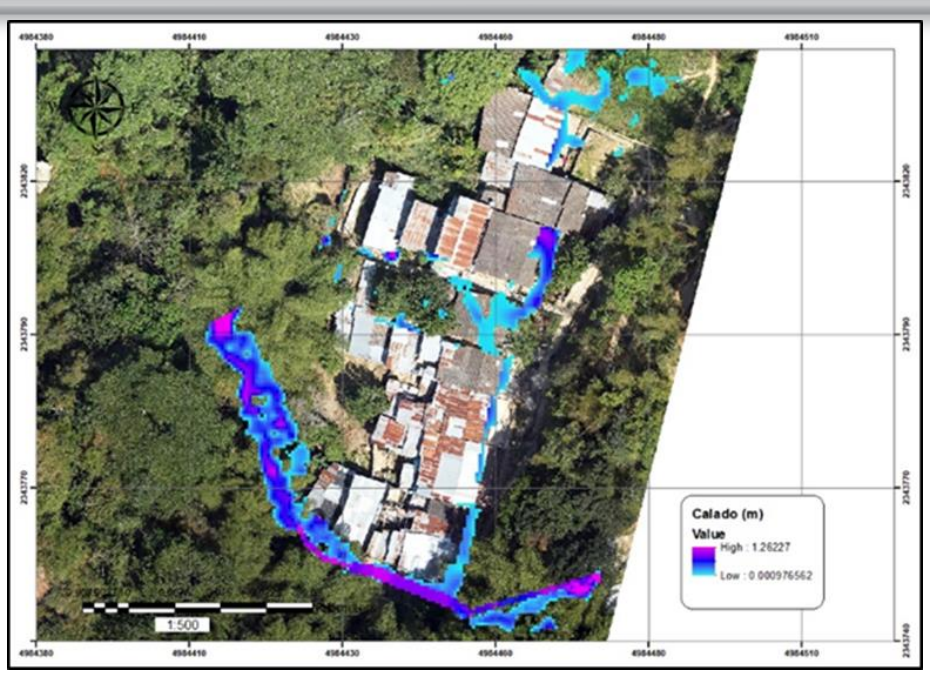


Figura 3.174 Análisis bidimensional por asentamiento humano en el sector Pantano I

3.8.4.3 Pantano II

El asentamiento actualmente se encuentra implementada una red de alcantarillado. Sin embargo, debido a los alcances del marco contractual, no es posible determinar si la infraestructura cuenta con la capacidad hidráulica necesaria para un adecuado drenaje. Además, existe un desconocimiento sobre las ubicaciones específicas de entrada y salida de las mayorías de estas alcantarillas, así como la posibilidad de conexiones incorrectas en el sistema que puedan afectar su capacidad de drenaje (véase la Figura 3.175).

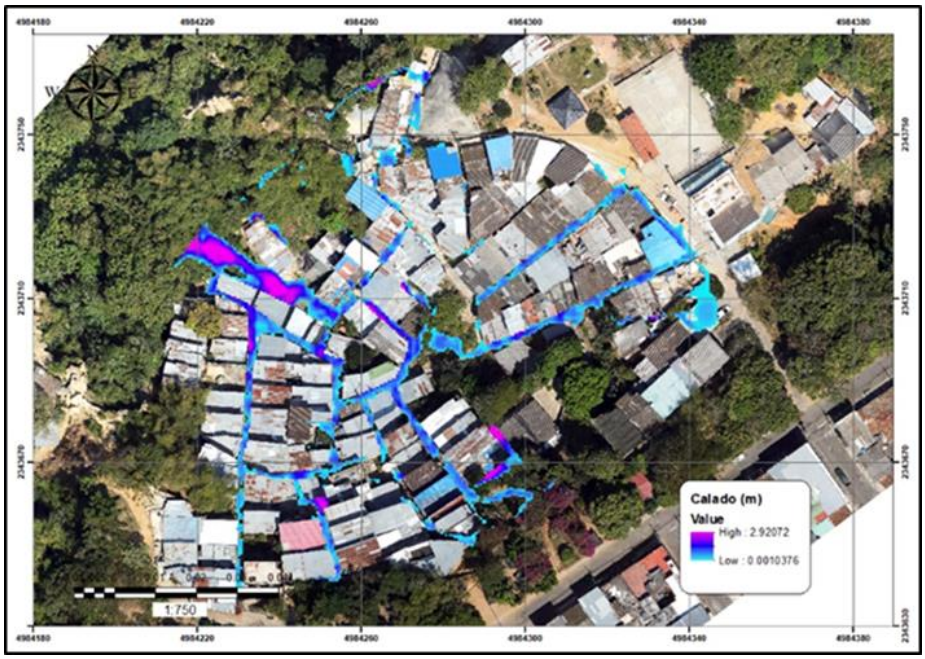


Figura 3.175 Análisis bidimensional por asentamiento humano en el sector Pantano II

3.8.4.4 Pantano III

En el caso de Pantano III, se lleva a cabo un análisis del sistema de drenaje existente adyacente al asentamiento. Se determina que no existen afectaciones significativas causadas por crecientes TR100 y TR500 (véase la Figura 3.176)

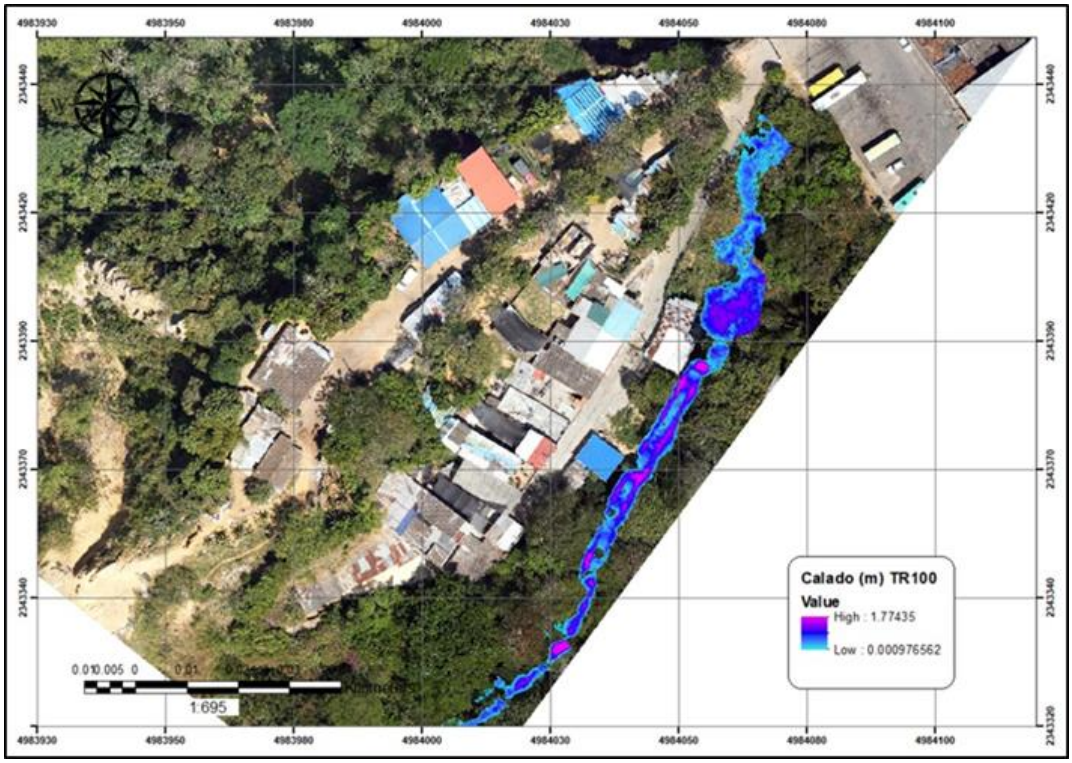


Figura 3.176 Análisis bidimensional por asentamiento humano en el sector Pantano III

Sin embargo, es importante destacar que estos resultados se basan en análisis específicos de los eventos de crecientes TR100 y TR500. Otros eventos de mayor magnitud o de naturaleza excepcional podría tener un impacto diferente.

3.8.4.5 Comuna 4

El análisis realizado para el asentamiento humano de la Comuna 4 revela que las aguas de escorrentía generadas por los taludes adyacentes y los tejados de las viviendas fluyen a través de las vías y peatonales del asentamiento. Esto se debe a la falta de un sistema de drenaje propiamente dicho en el asentamiento, debido a las construcciones existentes.

La Figura 3.177 detalla el resultado bidimensional realizado para el asentamiento humano en el sector de comuna 4.

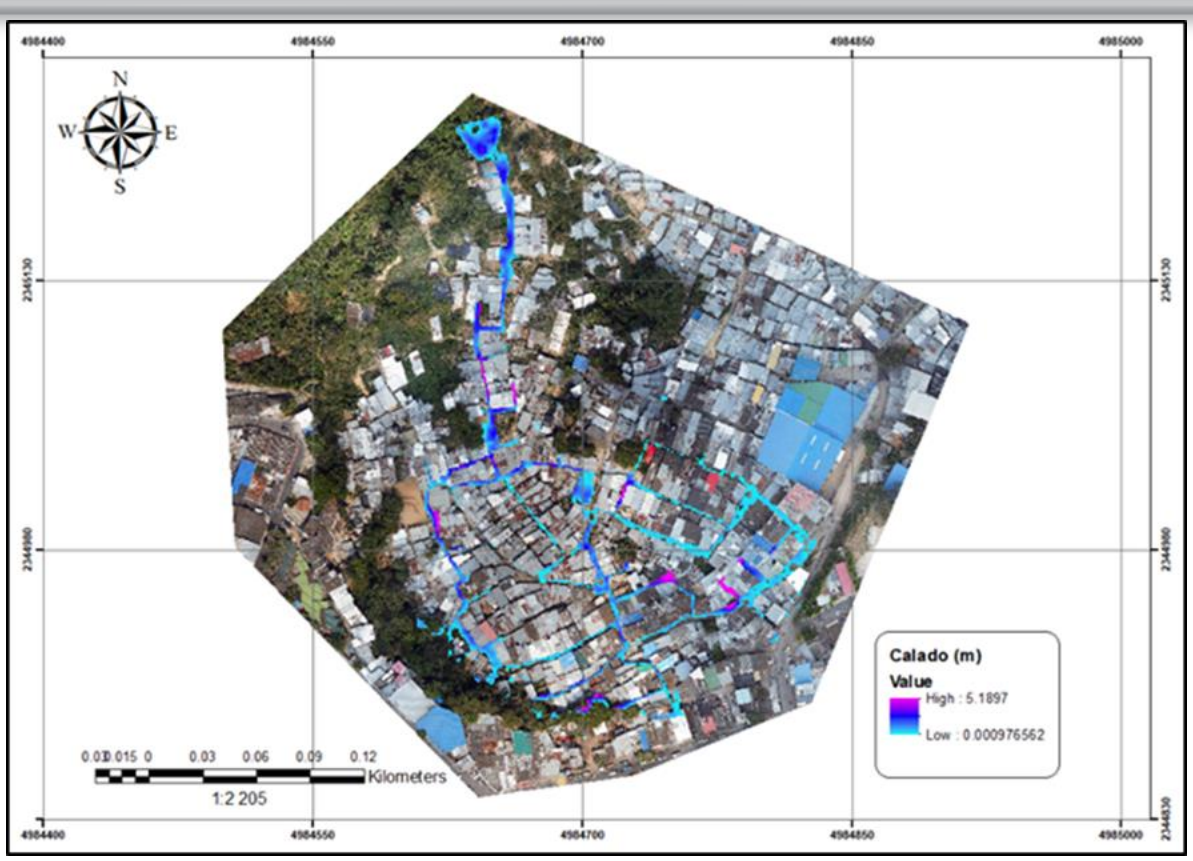


Figura 3.177 Análisis bidimensional por asentamiento humano Comuna 4

Se evidencia la necesidad de planificar obras de alcantarillado que permitan gestionar de manera adecuada las aguas de escorrentía provenientes de los taludes y tejados de las viviendas. Esto es importante para prevenir fenómenos de erosión y promover la seguridad y utilización efectiva de las vías y peatonales durante eventos de lluvia intensa.

Recomendaciones

- Es de vital importancia que EMPAS, proceda a realizar todo un plan de revisión del sistema de acueducto y alcantarillado de las comunas 4 y 5, ya que estos son muy antiguos y no cumplen las especificaciones técnicas mínimas para el manejo de las aguas negras.
- Se pudo comprobar que las tuberías son muy antiguas, el material se encuentra muy deteriorado y en algunos sectores ni siquiera existe, lo cual ha venido generando problemas de malos olores e infiltración hacia el terreno natural, el cual ya se encuentra muy deteriorado por la actividad antrópica. En este orden de ideas, es altamente recomendable el reemplazo de la totalidad del alcantarillado construido por los habitantes del sector.
- En general, se debe prohibir el vertimiento de las aguas negras al talud, ya que como se mencionó con anterioridad, se está generando la degradación de las laderas, ya de por si inestables.
- Los habitantes de las comunas 4 y 5, destacan que en varias ocasiones se ha invitado a los funcionarios del EMPAS, parte administrativa para que les colaboren con el cambio de la

tubería y descarga final de las aguas de alcantarillado, ya que son demasiadas viviendas, y en cualquier momento se podría presentar una emergencia sanitaria, debido a que estas tuberías no están en capacidad de evacuar todas las aguas negras.

- En conclusión, se recomienda adelantar por parte de EMPAS, un estudio para el mejoramiento de todo el sistema de acueducto y alcantarillado, de las comunas 4 y 5, y posteriormente, proceder al reemplazo de la totalidad de la tubería tanto de acueducto como alcantarillado. En el entendido, que se detectaron muchos puntos donde se produce filtración de aguas, los cuales deterioran aún más el terreno, y en el mediano plazo, se podría presentar un deslizamiento similar al que ocurrió en Cuyanita y Camilo Torres. Este reemplazo de la tubería ayudará definitivamente a mejorar la estabilidad del sector.

Diagnóstico Obras Mitigación

A continuación, se presentan el diagnóstico de las 11 obras de mitigación encontradas en el área de estudio, en el cual se presentan sus principales características, patologías, descripción del estado actual y registro fotográfico de la visita.

3.8.4.6 Diagnóstico de Obras de Mitigación Comuna 4 – Sector 1

Descripción Geológica – Geotécnica Zona Comuna 4 – Sector 1

A partir del estudio geológico ejecutado en la zona de estudio, la unidad geológica que aflora en las distintas obras de mitigación existentes corresponde a la unidad geológica "Suelo Transportado limo arcilloso del miembro limos rojos de la formación Bucaramanga – Stalb". Sin embargo, el apartado del estudio geotécnico de los estudios y diseños existentes para dichas obras de mitigación no se encontró, es decir, no hay registro y/o antecedentes de los parámetros geomecánicos o de caracterización.

Pantalla Anclada 1 – Camilo Torres



Figura 3.178 Vista general Pantalla anclada 1

- *Descripción General*

  Pantalla con anclajes, presencia de gran cantidad de fisuras y grietas, en su mayoría cubiertas cumpliendo recomendación del informe de visita realizado en 2020. Adicionalmente, se observa abundante crecimiento de material vegetal, humedades, moho y eflorescencias en el concreto.
- *Vida Útil*

  Debido a la falta de estudios y diseños de esta obra, se consultó con la comunidad el tiempo de construcción de esta obra, informando que tienen aproximadamente de 20 a 25 años de construida.
- *Recomendaciones*

  Se requiere un mantenimiento con prioridad alta, en el cual se realice la poda de todo tipo de material vegetal con el fin de evitar que se den mayores fisuras o aberturas por crecimiento de raíces y aumento del material vegetal existente.

  Se debe realizar un mantenimiento periódico en el que se realice la limpieza, secado y sellado de fisuras con mortero como mezcla seca, poda de material vegetal invasivo, así mismo, se deberá da manejo a las aguas de escorrentía en la zona ya que no se identifican canalización de las mismas, lo que genera humedades y moho en varias zonas.

Muro de Gaviones – Camilo Torres



Figura 3.179 Deslizamiento en inicio de Muro gaviones

- *Descripción General*

  Muro en gaviones con falla en su inicio, debido al deslizamiento que se produjo en la zona aledaña. Así mismo, presenta protección en concreto en la zona superior, sin embargo, se observa deterioro y crecimiento de material vegetal en varias zonas. Adicionalmente, no se ve comprometida su estabilidad.
- *Vida Útil*

  Debido a la falta de estudios y diseños de esta obra, se consultó con la comunidad el tiempo de construcción de esta obra, informando que tienen aproximadamente de 20 a 25 años de construida.

- *Recomendaciones*

  Para la zona inicial se deberán ejecutar el diseño de obras de mitigación que controlen los efectos que se presentaron desde el 11 de marzo de 2023.

  Se requiere un mantenimiento con prioridad alta sobre la zona final del muro la cual no se vio afectada por el fenómeno de remoción en masa, en el cual se realice la poda de todo tipo de material vegetal, verificar el estado de la malla en las zonas cubiertas por vegetación excesiva y realizar en dado caso el reforzamiento de la estructura con malla eslabonada.

Protección en Concreto 1 – Camilo Torres



Figura 3.180 Falla de Protección en concreto

- *Vida útil*

  Debido a la falta de estudios y diseños de esta obra, se consultó con la comunidad el tiempo de construcción de esta obra, informando que tienen aproximadamente de 4 meses de construida.

- *Recomendaciones*

  Se debe realizar el diseño de obras de mitigación que garanticen el control de .de los efectos generados posterior al fenómeno de remoción en masa que produjo el colapso de esta protección.

Pantalla Anclada 2 – Camilo Torres



Figura 3.181 Vista general Pantalla anclada 2

- *Descripción General*

  La anterior, es una pantalla con anclajes a la cual no fue posible acceder directamente para su inspección. Se observa gran presencia de crecimiento de material vegetal, humedades, moho y eflorescencias en el concreto. Adicionalmente, se tienen depósitos antrópicos en la zona.

  Por otra parte, no se observan fallas, deslizamientos o grietas que sugieran la inestabilidad de la obra, sin embargo, se deben tomar medidas para corregir y minimizar los daños a causa de las patologías encontradas.

- *Vida útil*

  Debido a la falta de estudios y diseños de esta obra, se consultó con la comunidad el tiempo de construcción de esta obra, informando que tienen aproximadamente de 20 a 25 años de construida.

- *Recomendaciones*

  Se requiere un mantenimiento con prioridad alta, en el cual se realice la poda de todo tipo de material vegetal con el fin de evitar que se den mayores fisuras o aberturas por crecimiento de raíces y aumento del material vegetal existente.

  Se debe realizar un mantenimiento periódico en el que se realice la limpieza, secado y sellado de fisuras con mortero como mezcla seca, poda de material vegetal invasivo, así mismo, se deberá da manejo a las aguas de escorrentía en la zona ya que no se identifican canalización de las mismas, lo que genera humedades y moho en varias zonas.

3.8.4.7 Diagnóstico de Obras de Mitigación Comuna 4 – Sector 2

Descripción Geológica – Geotécnica Zona Comuna 4 – Sector 1

Con base en el apartado del estudio geológico y las obras de mitigación existentes que se encuentran en la zona de estudio, la unidad geológica que aflora es "Suelo transportado limo arenoso del miembro finos de la formación Bucaramanga". Como se mencionó anteriormente, en el apartado de los estudios geotécnicos de los estudios y diseños existentes para las obras no hay información referente a parámetros geo mecánicos o de caracterización.

Pantalla Anclada 1 – Ciudad Perdida



Figura 3.182 Vista superior Pantalla anclada 1

- *Descripción General*

  La anterior, es una pantalla con anclajes a la cual no fue posible acceder directamente para su inspección. Se observa presencia de crecimiento de material vegetal, fisuras, moho y eflorescencias en el concreto. Adicionalmente se tienen depósitos de desechos en la zona.

  Por otra parte, no se observan fallas, deslizamientos o grietas que sugieran la inestabilidad de la obra, sin embargo, se deben tomar medidas para corregir y minimizar los daños a causa de las patologías encontradas.

- *Vida Útil*

  Debido a la falta de estudios y diseños de esta obra, se consultó con la comunidad el tiempo de construcción de esta obra, informando que tienen aproximadamente de 20 años de construida.

- *Recomendaciones*

  Se requiere un mantenimiento con prioridad alta, en el cual se realice la poda de todo tipo de material vegetal con el fin de evitar que se den mayores fisuras o aberturas por crecimiento de raíces y aumento del material vegetal existente.

  Se debe realizar un mantenimiento periódico en el que se realice la limpieza, secado y sellado de fisuras con mortero como mezcla seca, poda de material vegetal invasivo, así mismo, se deberá da manejo a las aguas de escorrentía en la zona ya que no se identifican canalización de las mismas, lo que genera humedades y moho en varias zonas.

Protección en Concreto – Ciudad Perdida



Figura 3.183 Eflorescencias y material vegetal Protección en concreto

- *Descripción General*

  Protección del talud en concreto para evitar erosión y desecación, sin embargo, no cuenta como contención. Se observa presencia de eflorescencias, fisuras menores y crecimiento de material vegetal.

- *Vida Útil*

  Debido a la falta de estudios y diseños de esta obra, se consultó con la comunidad el tiempo de construcción de esta obra, informando que tienen aproximadamente de 3 años de construida.

- *Recomendaciones*

  Se requiere un mantenimiento con prioridad alta, en el cual se realice la poda de todo tipo de material vegetal con el fin de evitar que se den mayores fisuras o aberturas por crecimiento de raíces y aumento del material vegetal existente.

3.8.4.8 Diagnóstico de Obras de Mitigación Comuna 5

Descripción Geológica – Geotécnica Zona Comuna 5

A partir del estudio geológico ejecutado en la zona de estudio, la unidad geológica que aflora en las distintas obras de mitigación existentes corresponde a la familia "Suelo Transportado limo arenoso del miembro finos de la formación Bucaramanga – Stafb". Sin embargo, el apartado del estudio geotécnico existente para dichas obras de mitigación no se encontró, es decir, no hay registro y/o antecedentes de los parámetros geomecánicos

Muro de Gaviones – La Joya Pantano 1



Figura 3.184 Vista general Muro gaviones Pantano 1

- *Descripción General*
  Muro en gaviones con falla en varios sectores, en donde se observa mal estado o rompimiento de la malla eslabonada, sin embargo, no se ve comprometida su estabilidad.
  Se presenta deterioro y crecimiento de material vegetal en varias zonas, humedades y moho, así como falta de mantenimiento preventivo y rutinario. Adicionalmente, se deben corregir los sectores que se encuentran en mal estado, realizar limpieza de la zona y realizar mantenimiento en la obra.
- *Vida Útil*
  Debido a la falta de estudios y diseños de esta obra, se consultó con la comunidad el tiempo de construcción de esta obra, informando que tienen aproximadamente de 30 años de construida.
- *Recomendaciones*
  Se requiere un mantenimiento con prioridad alta, en el cual se realice la poda de todo tipo de material vegetal, verificar el estado de la malla, reconformar la estructura inicial en donde se

ha visto afectada por el rompimiento de la malla. Se debe realizar un mantenimiento periódico en el que se realice la limpieza, poda de material vegetal invasivo.

Pantalla Anclada – La Joya Pantano2



Figura 3.185 Vista general Pantalla anclada Pantano 2

- *Descripción General*

  Pantalla con anclajes, presenta gran cantidad de fisuras y grietas, se observa material vegetal, humedades, moho y eflorescencias en el concreto.

  La estructura de contención depende de los anclajes y sus dados, los cuales no pueden ser evaluados con la inspección visual realizada, la protección en concreto (pantalla) es solo para evitar erosión y desecación del talud, pero no cuenta como contención.

  Adicionalmente, no se observan fallas o deslizamientos que sugieran la inestabilidad de la obra, sin embargo, se deben tomar medidas para corregir y minimizar los daños a causa de las patologías encontradas.

- *Vida Útil*

  Debido a la falta de estudios y diseños de esta obra, se consultó con la comunidad el tiempo de construcción de esta obra, informando que tienen aproximadamente de 20 años de construida.

- *Recomendaciones*

  Se requiere un mantenimiento con prioridad alta, en el cual se realice la poda de todo tipo de material vegetal con el fin de evitar que se den mayores fisuras o aberturas por crecimiento de raíces y aumento del material vegetal existente.

  Se debe realizar un mantenimiento periódico en el que se realice la limpieza, secado y sellado de fisuras con mortero como mezcla seca, poda de material vegetal invasivo, así mismo, se deberá da manejo a las aguas de escorrentía en la zona ya que no se identifican canalización de las mismas, lo que genera humedades y moho en varias zonas.

Pantalla Anclada – La Joya Pantano 3



Figura 3.186 Material vegetal Pantalla anclada Pantano 3

- *Descripción General*

  Pantalla con anclajes, presenta gran cantidad de material vegetal, humedades, moho y eflorescencias en el concreto.

  La estructura de contención depende de los anclajes, los cuales no pueden ser evaluados con la inspección visual realizada, la protección en concreto (pantalla) es solo para evitar erosión y desecación del talud, sin embargo, no cuenta como contención.

  Sin embargo, no se observan fallas o deslizamientos que sugieran la inestabilidad de la obra, pero, se deben tomar medidas para corregir y minimizar los daños a causa de las patologías encontradas.

- *Vida Útil*

  Debido a la falta de estudios y diseños de esta obra, se consultó con la comunidad el tiempo de construcción de esta obra, informando que tienen aproximadamente de 20 a 25 años de construida.

- *Recomendaciones*

  Se requiere un mantenimiento con prioridad alta, en el cual se realice la poda de todo tipo de material vegetal con el fin de evitar que se den mayores fisuras o aberturas por crecimiento de raíces y aumento del material vegetal existente.

Se debe realizar un mantenimiento periódico en el que se realice la limpieza, secado y sellado de fisuras con mortero como mezcla seca, poda de material vegetal invasivo, así mismo, se deberá da manejo a las aguas de escorrentía en la zona ya que no se identifican canalización de las mismas, lo que genera humedades y moho en varias zonas.

Muro de Gaviones 1 – La Joya Pantano 3



Figura 3.187 Fisuras y grietas en inicio Muro gaviones 1 Pantano 3

- *Descripción General*

  En las anteriores figuras se muestra un muro en gaviones con recubrimiento en concreto con presencia de grietas y fisuras. Se presenta deterioro y crecimiento de material vegetal en varias zonas, humedades y moho, así como falta de mantenimiento preventivo y rutinario.

  Se deben corregir los sectores que se encuentran en mal estado, realizar limpieza de la zona y recomponer la obra.

- *Vida Útil*

  Debido a la falta de estudios y diseños de esta obra, se consultó con la comunidad el tiempo de construcción de esta obra, informando que tienen aproximadamente de 20 a 25 años de construida.

  .

- *Recomendaciones*

  Se requiere un mantenimiento con prioridad alta, en el cual se realice la poda de todo tipo de material vegetal, se debe demoler la protección de concreto que se encuentra afectada y remplazarla en su totalidad, verificar el estado de la malla en las zonas cubiertas por vegetación excesiva y realizar en dado caso el reforzamiento de la estructura con malla eslabonada.

  Se debe realizar un mantenimiento periódico en el que se realice la limpieza, poda de material vegetal invasivo, así mismo, se deberá da manejo a las aguas de escorrentía en la zona ya que no se identifican canalización de las mismas, lo que genera humedades y moho en varias zonas.

Muro de Gaviones 2 – La Joya Pantano 3



Figura 3.188 Vista general Muro gaviones 2 Pantano 3

- *Descripción General*

  Muro en gaviones con recubrimiento en concreto con grietas, fisuras y bastante humedad. Se logra determinar que es un sistema de gaviones por la descripción de los habitantes de la zona y la zona inferir desprotegida de la capa de concreto superficial.

  Se presenta deterioro y crecimiento de material vegetal en varias zonas, humedades y moho, así como falta de mantenimiento preventivo y rutinario. Por tanto, se deben corregir los sectores que se encuentran en mal estado, realizar el mantenimiento anteriormente mencionado.

- *Vida Útil*

  Debido a la falta de estudios y diseños de esta obra, se consultó con la comunidad el tiempo de construcción de esta obra, informando que tienen aproximadamente de 20 a 25 años de construida.

- *Recomendaciones*

  Se requiere un mantenimiento con prioridad alta, en el cual se realice la poda de todo tipo de material vegetal, se debe demoler la protección de concreto que se encuentra afectada y remplazarla en su totalidad, verificar el estado de la malla en las zonas cubiertas por vegetación excesiva y realizar en dado caso el reforzamiento de la estructura con malla eslabonada.

  Se debe realizar un mantenimiento periódico en el que se realice la limpieza, poda de material vegetal invasivo, así mismo, se deberá da manejo a las aguas de escorrentía en la zona ya que no se identifican canalización de las mismas, lo que genera humedades y moho en varias zonas.

3.9 ETAPA 8: ANÁLISIS DETALLADO DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA

Colectada la información primaria y secundaria, y reconocidos los componentes geológico, geomorfológico, hidrogeológico, hidroclimatológico y geotécnico, se procede a efectuar la evaluación de la amenaza por movimientos en masa para los polígonos de estudio.

El análisis del movimiento en masa detonado en el barrio La Feria en marzo de 2023 permite reconocer que los procesos que afectan la zona responden a superficies de falla traslacional, y entregan elementos útiles en la validación de los parámetros geomecánicos obtenidos de los ensayos de laboratorio que se implementan en la evaluación de la condición de estabilidad de toda el área. Por esto, los análisis de estabilidad se enfocan en buena medida en el estudio del modo y la posibilidad de movilización de los cuaternarios por los mecanismos de falla traslacional (deslizamientos traslacionales y planares, evaluados por el método del talud infinito), para lo que se aborda la respuesta pseudo-estática de los estados probables de movilización de los materiales de suelos identificados (según la geometría de las laderas, el material, su disposición estratigráfica y las condiciones del drenaje).

3.9.1 Unidades Geotécnicas Homogéneas

Las Unidades de Ladera, también conocidas como Unidades Geotécnicas Homogéneas, son conceptos geotécnicos utilizados para dividir un terreno en segmentos o áreas homogéneas con características geotécnicas similares. Estas unidades se definen con base en su comportamiento mecánico, geológico y geotécnico, lo que permite una mejor comprensión de la estabilidad y comportamiento de la ladera en diferentes condiciones.

La delimitación de las Unidades de Ladera se realiza considerando factores como la litología (tipo de roca o suelo), la estructura geológica (presencia de fracturas o fallas), la presencia de materiales sueltos o cohesionados, la geometría de la ladera, la distribución de las capas geológicas, los drenajes naturales, etc. Cada unidad se caracteriza por tener un comportamiento geotécnico similar y por lo tanto sirven para generalizar resultados que por su naturaleza no es fácil de generarse a un nivel más detallado (p.e. modelaciones en Slide2).

Teniendo en cuenta lo anterior se definen las unidades de ladera para cada una de las zonas. Las UGH de los sectores de Comuna 4 (barrios de Camilo Torres, Cuyanita, Milagro de Dios y Zarabanda), Ciudad Perdida y Pantanos y a su vez de forma paralela se definen secciones de análisis. Las vistas en planta de las UGH con perfiles se presentan en las Figura 3.189, Figura 3.190 y Figura 3.191:

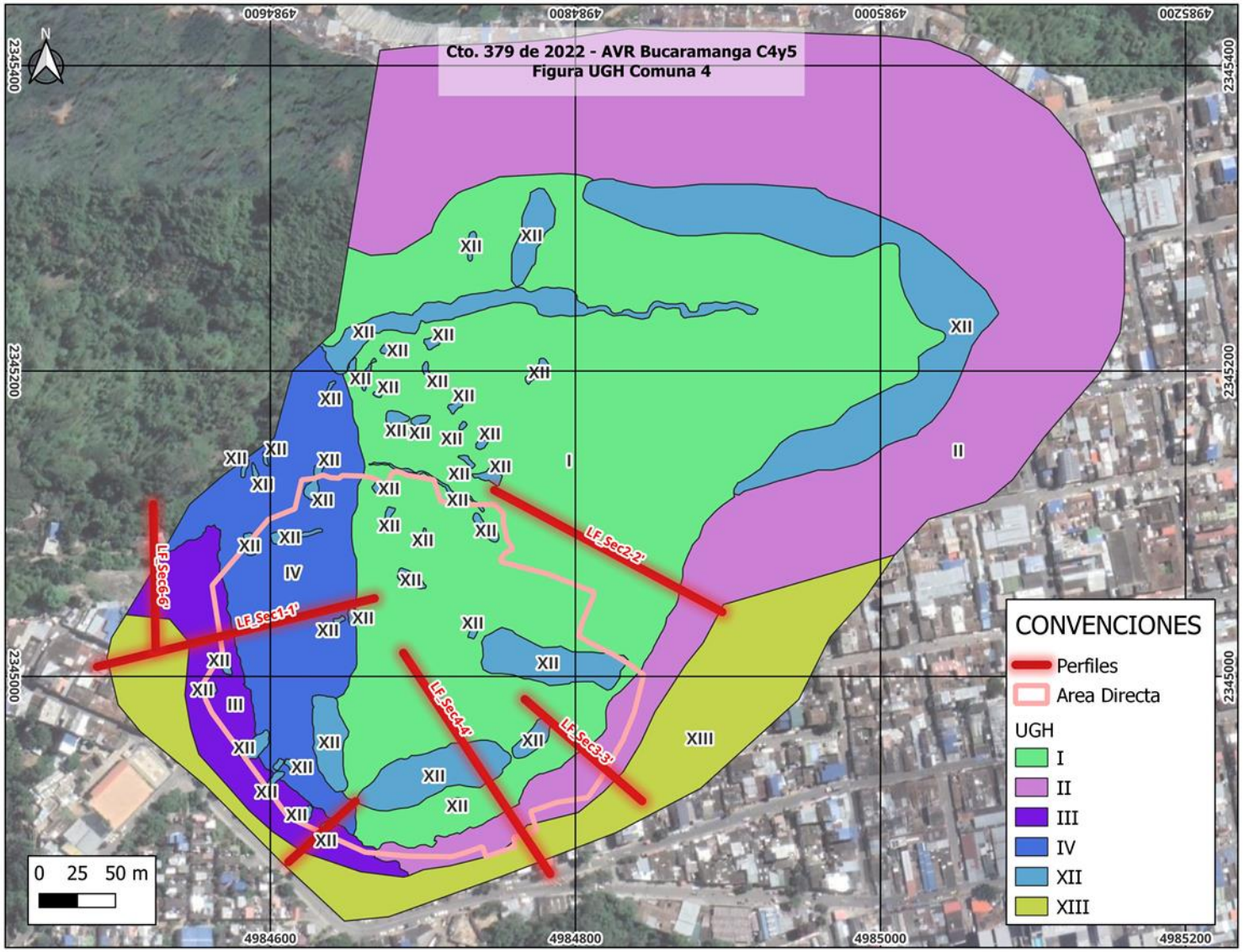


Figura 3.189 Unidades Geotécnicas Homogéneas para la zona de Comuna 4 barrios de Camilo Torres, Cuyanita, Milagro de Dios y Zarabanda

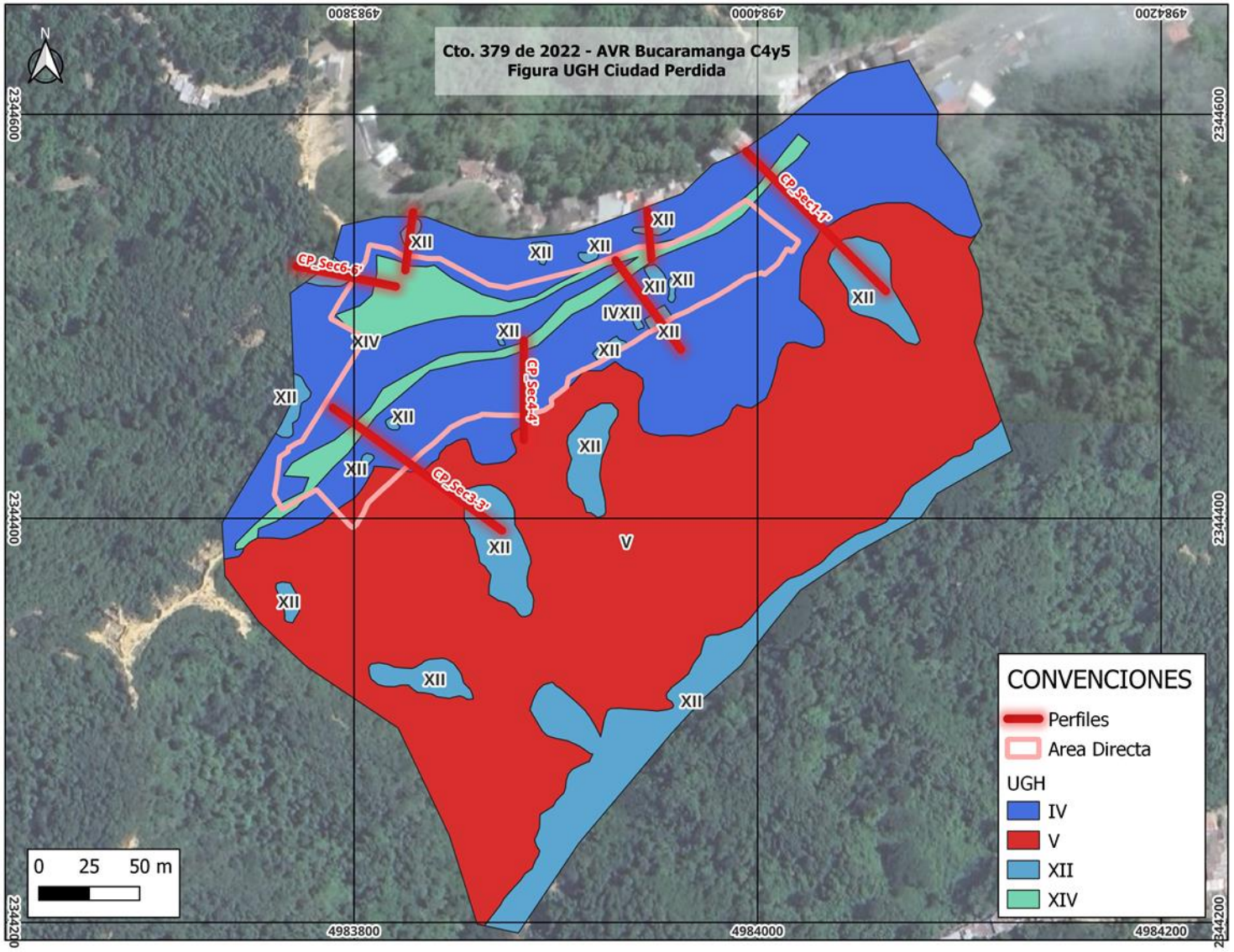


Figura 3.190 Unidades Geotécnicas Homogéneas para la zona de Comuna 4 barrio Ciudad Perdida

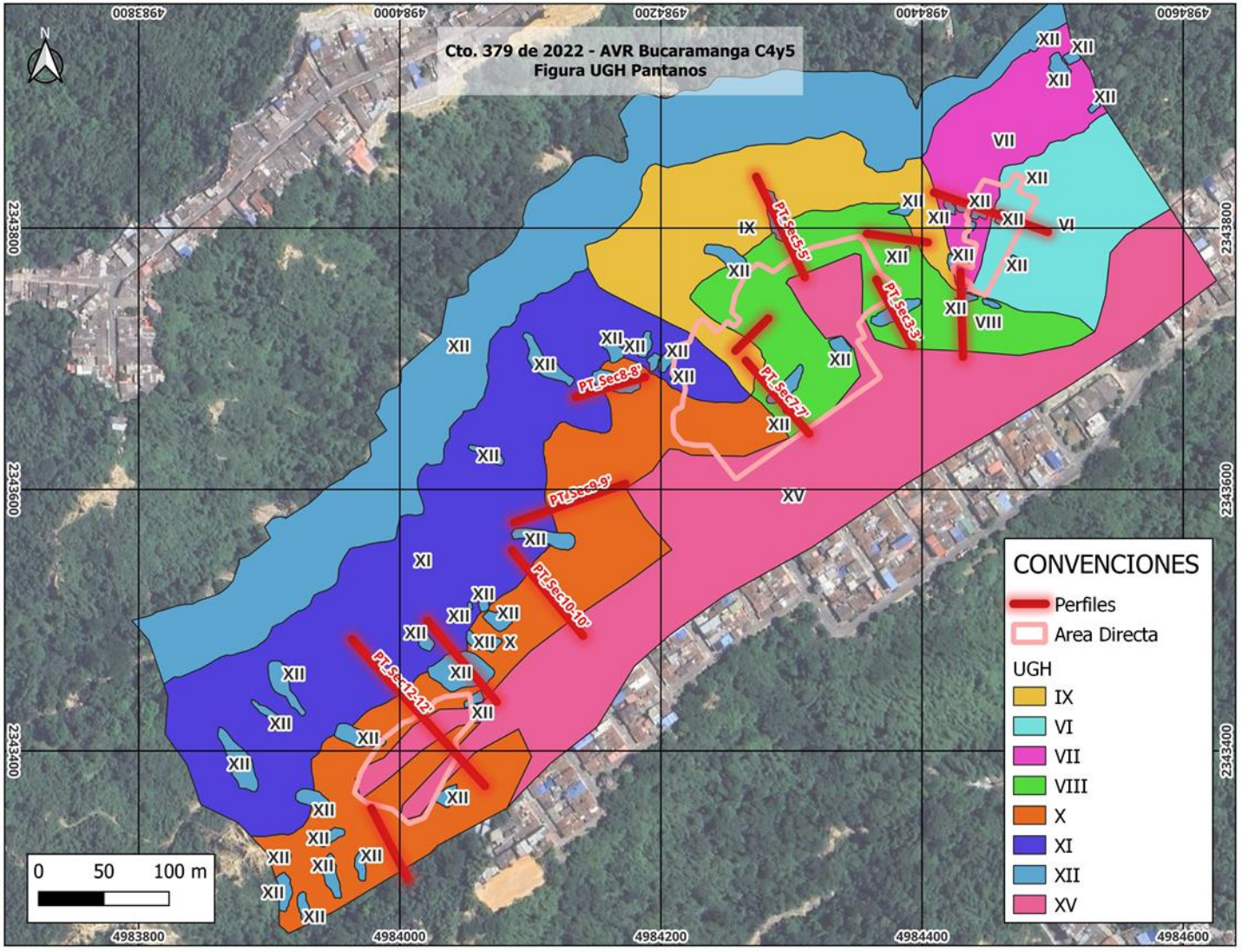


Figura 3.191 Unidades Geotécnicas Homogéneas para la zona de Comuna 5 barrios Pantano I, Pantano II y Pantano III

3.9.2 Caracterización de las UGH

Como se indicó previamente, las UGH fueron definidas considerando criterios de geología, geomorfología, pendiente, etc., que permitieron agrupar áreas grandes en las que se espera un comportamiento geotécnico similar. A continuación, se detalla los pormenores de caracterización de cada una de estas:

3.9.2.1 UGH I

Definido para la Comuna 4 en donde la UGI predominante con un 89% del área corresponde a la Staaob (Suelo transportado areno arcilloso del Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga). La pendiente de esta zona tiene valores promedio de 19°, con un valor promedio de aspecto de su pendiente de 286° con dirección NWN. En general se ubica al oriente del área de estudio del sector de comuna 4.

3.9.2.2 UGH II

Definido para la Comuna 4 en donde la UGI predominante con un 85% del área corresponde a la Stlafb (Suelo transportado limo arenoso del Miembro Finos de la Formación Bucaramanga). La pendiente de esta zona tiene valores promedio de 25°, con un valor promedio de aspecto de su pendiente de 300° con dirección NWN. En general se ubica al oriente del área de estudio del sector de comuna 4.

3.9.2.3 UGH III

Definido para la Comuna 4 en donde las UGI predominantes corresponden a la Stlafb (Suelo transportado limo arenoso del Miembro Finos de la Formación Bucaramanga) con 42% del área, un 30% de la unidad Stlalb (Suelo transportado limo arcilloso del Miembro Limos Rojos de la Formación Bucaramanga) y un 28% de la unidad Stalgb (Suelo transportado areno limoso del Miembro Gravoso de la Formación Bucaramanga). La pendiente de esta zona tiene valores promedio de 27°, con un valor medio de aspecto de su pendiente de 90° con dirección E. En general se ubica sobre el sector occidental del área de estudio del sector de comuna 4.

3.9.2.4 UGH IV

Definido para la Comuna 4 y el barrio Ciudad Perdida en donde las UGI predominantes corresponden a la Stlafb (Suelo transportado limo arenoso del Miembro Finos de la Formación Bucaramanga) con 46% del área y la Staaob (Suelo transportado areno arcilloso del Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga) con 44% del área. La pendiente de esta zona tiene valores promedio de 30° y con picos de valor de aspecto de su pendiente de 80° (E) y 160° (SSE). En general se ubica sobre el sector occidental del área de estudio del sector de comuna 4 y norte de Ciudad Perdida.

3.9.2.5 UGH V

Definido para el barrio de Ciudad Perdida en donde la UGI predominante con un 100% del área corresponde a la Staaob (Suelo transportado areno arcilloso del Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga). La pendiente de esta zona tiene valores promedio de 33.4° y con aspecto promedio de 148° dirección SSE. Se ubica al sur del barrio Ciudad Perdida.

3.9.2.6 UGH VI

Definido para la comuna 5 en donde la UGI predominante con un 89% del área corresponde a la Stlafb (Suelo transportado limo arenoso del Miembro Finos de la Formación Bucaramanga). La pendiente de esta zona tiene valores promedio de 28° y con aspecto promedio de 292° dirección NWN. Se ubica sobre la zona superior del barrio Pantano I.

3.9.2.7 UGH VII

Definido para la comuna 5 en donde la UGI predominante con un 100% del área corresponde a la Staaob (Suelo transportado areno arcilloso del Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga). La pendiente de esta zona tiene valores promedio de 31° y con aspecto promedio de 293° dirección NWN. Se ubica sobre la zona inferior del barrio Pantano I.

3.9.2.8 UGH VIII

Definido para la comuna 5 en donde la UGI predominante con un 45% del área corresponde a la Stlafb (Suelo transportado limo arenoso del Miembro Finos de la Formación Bucaramanga) y 36% del área en la unidad Stagb (Suelo transportado arcilloso del Miembro Gravoso de la Formación Bucaramanga). La pendiente de esta zona tiene valores promedio de 29° y con picos de valor de aspecto promedio de 318° dirección NW. Se ubica sobre la zona superior del barrio Pantano II.

3.9.2.9 UGH IX

Definido para la comuna 5 en donde la UGI predominante con un 100% del área corresponde a la Staaob (Suelo transportado areno arcilloso del Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga). La pendiente de esta zona tiene valores promedio de 38° y con picos de valor de aspecto en 336° dirección NNW. Se ubica sobre la zona inferior del barrio Pantano II.

3.9.2.10 UGH X

Definido para la comuna 5 en donde las UGI predominantes con un 52% del área corresponde a la Stlafb (Suelo transportado limo arenoso del Miembro Finos de la Formación Bucaramanga) y 30% del área en la unidad Stagb (Suelo transportado arcilloso del Miembro Gravoso de la Formación Bucaramanga). La pendiente de esta zona tiene valores promedio de 31° y con picos de valor de aspecto en 316° (NW) y 160° (SSE). Se ubica sobre la zona superior del barrio Pantano III y la zona rural hasta donde inicia Pantano II.

3.9.2.11 UGH XI

Definido para la comuna 5 en donde la UGI predominante con un 100% del área corresponde a la Staaob (Suelo transportado areno arcilloso del Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga). La pendiente de esta zona tiene valores promedio de 36° y aspecto de la pendiente con valores pico de 314° (NW). Se ubica sobre la zona inferior del barrio Pantano III en la zona rural hasta donde inicia Pantano II.

3.9.2.12 UGH XII

Definido para todas las zonas de estudio sobre las zonas de materiales de la unidad Stco (Suelo transportado coluvial). La pendiente de esta zona tiene valores promedio de 32° y aspecto de la

pendiente con valores pico de 317° (NW). Corresponden a depósitos aislados dentro de las 3 zonas que comprenden el área de estudio.

3.9.2.13 UGH XIII

Definido para la zona de estudio en la comuna 4 en las partes planas superiores, donde la unidad UGI predominante es la Stlalb (Suelo transportado limo arcilloso del Miembro Limos Rojos de la Formación Bucaramanga). La pendiente de esta zona tiene valores promedio de 2° y al ser tan plana la mayoría del área no tiene un aspecto indicado.

3.9.2.14 UGH XIV

Definido para la zona de estudio en el barrio Ciudad Perdida en las partes planas superiores, donde las unidades UGI predominantes son la Stlafb (Suelo transportado limo arenoso del Miembro Finos de la Formación Bucaramanga) con 57% y la Stlalb (Suelo transportado limo arcilloso del Miembro Limos Rojos de la Formación Bucaramanga) con 43%. La pendiente de esta zona tiene valores promedio de 5° y al ser tan plana la mayoría del área no tiene un aspecto indicado.

3.9.2.15 UGH XV

Definido para la zona de estudio en la comuna 5 en las partes planas superiores, donde la unidad UGI predominante es la Stlalb (Suelo transportado limo arcilloso del Miembro Limos Rojos de la Formación Bucaramanga). La pendiente de esta zona tiene valores promedio de 4° y al ser tan plana la mayoría del área no tiene un aspecto indicado.

3.9.3 Modelos Geológico-Geotécnicos

Con el fin de realizar la evaluación de estabilidad considerando la condición de falla traslacional, se estableció un modelo geológico-geotécnico de análisis, representativo de la condición actual del terreno en su horizonte más superficial. En este orden de ideas, el mecanismo de falla corresponde básicamente a una falla planar en talud infinito.

Por lo anterior, se optó por utilizar el método con celdas de tamaño B de 2 m, que pueden representar de manera adecuada los fenómenos locales de inestabilidad a la escala de trabajo del presente estudio. La Figura 3.192 muestra el esquema gráfico de la aplicación del método. Para este análisis se evalúa el factor de seguridad de la ladera mediante una rutina implementada en plataforma SIG de acuerdo con la siguiente expresión:

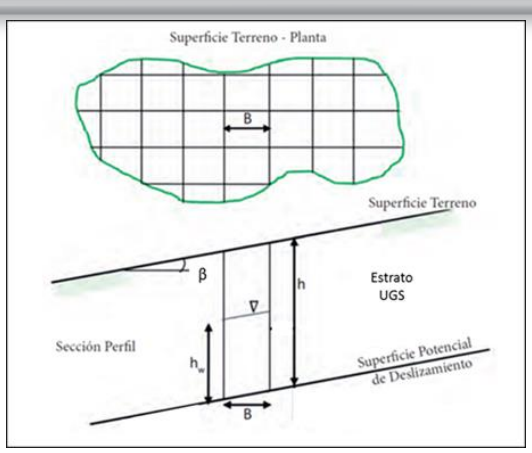


Figura 3.192 Esquema del Mecanismo de Falla por Talud Infinito

Fuente: Adaptada de: Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, SGC, 2015

$$FS = \frac{c' + \left(\gamma h \cos^2 \beta - \alpha h \gamma \sin \beta \cos \beta - m \gamma_w h \cos^2 \beta\right) \tan \phi'}{\gamma h \sin \beta \cos \beta + \alpha \gamma h \cos^2 \beta}$$

Dónde:

c'= Cohesión efectiva

Φ' = Ángulo efectivo de fricción

β = Pendiente del terreno

γ = Peso unitario del suelo

γ_w = Peso unitario del agua

h = Espesor de estrato deslizante

h_w = Posición del nivel freático

m= (h_w/h) = Proporción del estrato deslizante que se encuentra saturado

α = Coeficiente de aceleración sísmica horizontal

Ahora bien, el modelo geológico – geotécnico se construye en uso de la información topográfica, geológica de superficie y en profundidad, que se han colectado en esta investigación. El destino del modelo es ser involucrado en el análisis de estabilidad en dos dimensiones. Para la ejecución de este último, se adopta la teoría de falla de Mohr-Coulomb, y se recurre a los métodos de equilibrio límite Bishop simplificado, GLE-Morgestern-Price, Janbú simplificado y Spencer. Dicho análisis se efectúa en provecho del software Slide 2.

3.9.3.1 Parámetros de Resistencia

El análisis estadístico de los resultados de los ensayos de laboratorio ha permitido prever los parámetros de respuesta de los materiales con participación en el área de estudio, y dada la variabilidad intrínseca de los parámetros de resistencia de los materiales, se toman las variaciones estadísticas recomendadas en el Eurocode, que establece valores para la incertidumbre asociada de los parámetros de resistencia (véase la Tabla 3.45) en el caso de que los valores obtenidos a partir del análisis estadístico de parámetros tenga valores demasiado elevados de desviación.

En resumidas cuentas, la selección de los parámetros geomecánicos se funda en el resultado del plan de ensayos de laboratorio y en la revisión bibliográfica.

Tabla 3.45 Valoración Incertidumbre - Coeficientes de Variación Según Eurocode

PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DE MODELACIÓN	CoV (%)
Tangente del ángulo de Fricción	10
Cohesión	35
Peso Unitario	10

Los parámetros adoptados para cada uno de los materiales contemplados, son los que se recopilan en la Tabla 3.46, en la que se reportan los ángulos de fricción, las cohesiones y los pesos unitarios, y las correspondientes desviaciones estándar implementadas en el análisis probabilístico.

Tabla 3.46 Parámetros Geomecánicos Empleados en la Modelación de la Condición de Estabilidad

UGS	Momento estadístico	ρ (kN/m^3)	γ (kN/m^3)	ϕ'_{pico} (°)	C'_{pico} (kPa)	$\phi'_{residual}$ (°)	$C'_{residual}$ (kPa)
Stlalb	μ	1.98	19.77	**31.47**	**16.50**	29.03	14.73
	σ	0.02	0.18	8.50	5.775	10.82	12.29
Stalgb	μ	1.96	19.65	**34.02**	**18.32**	32.72	15.76
	σ	0.09	0.90	5.72	6.412	5.67	11.44
Stlafb	μ	1.97	19.70	**29.88**	**21.26**	27.98	17.28
	σ	0.06	0.56	3.22	5.87	3.69	4.01
Staaob	μ	2.01	20.12	**24.35**	**42.30**	22.70	39.85
	σ	0.08	0.82	3.46	9.62	2.40	11.10

En cuanto a los depósitos superficiales de menor extensión correspondientes a los materiales Stal, Stlob, Stco, Stat y Sab fueron caracterizados a partir de los sondeos manuales CI-S-01 y CI-S-02, mientras que los valores para el material Sall fue tomado a partir de los resultados de los sondeos CI-S-04 y CI-S-10.

3.9.3.2 Perfiles Geológico-Geotécnicos

A partir de los parámetros estimados para los materiales, la topografía de la zona, los contactos definidos por la geología, y los valores de niveles freáticos existentes de la exploración, se definen las secciones de corte de cada uno de los perfiles de análisis definidos antes en la planta de las zonas de estudio. En cuanto a las sobrecargas por viviendas, se determinó según la predominancia de número de pisos de edificaciones para los sectores, asignando un valor de 10 kN/m^2 por piso de vivienda.

La esquematización de un perfil geológico-geotécnicos se presenta en la Figura 3.193.

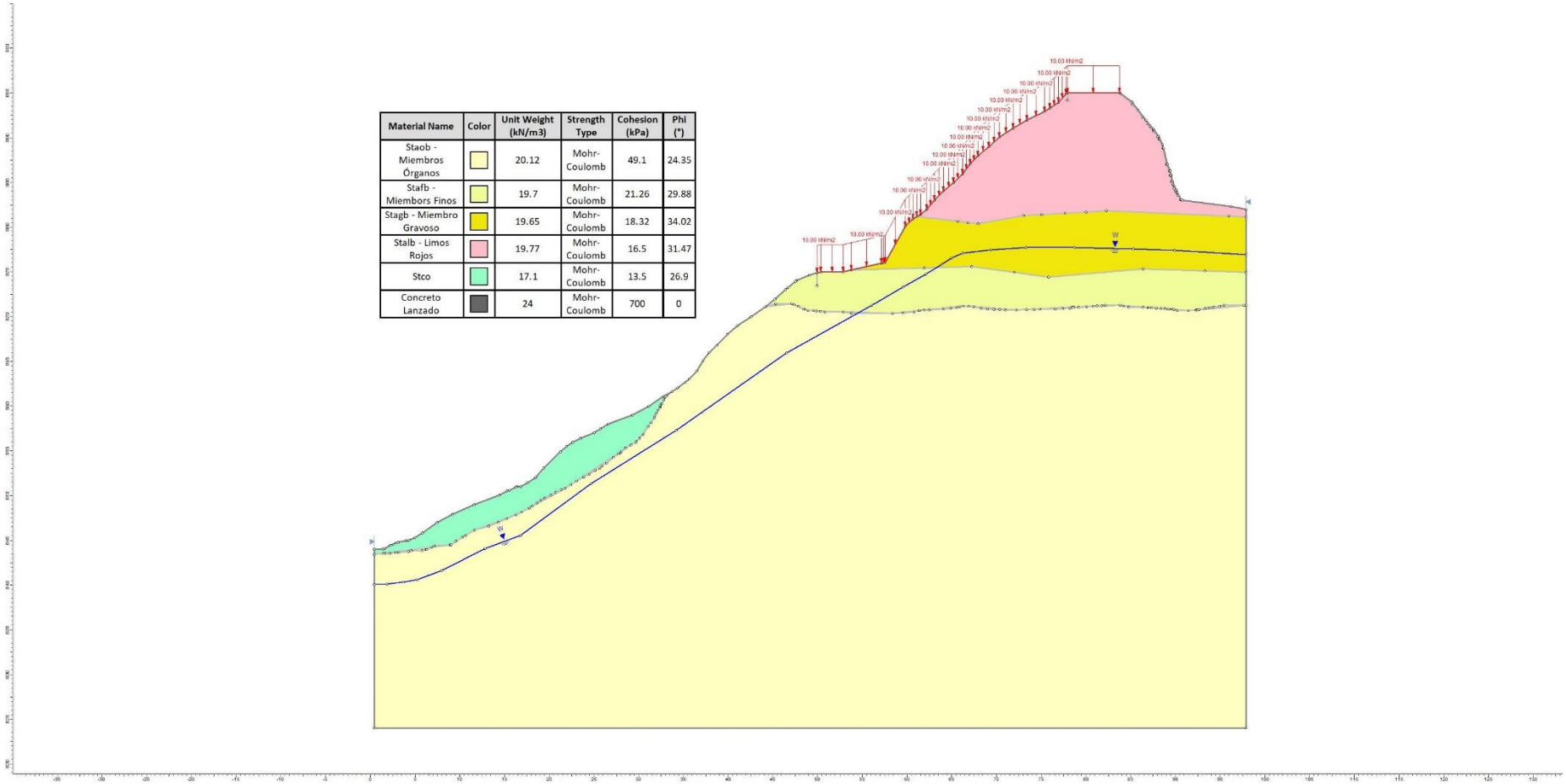


Figura 3.193 Modelo Geológico – Geotécnico de la Sección CP-Secc1-1' de Ciudad Perdida

3.9.4 Agentes Detonantes

Una vez definidos los parámetros geomecánicos a implementar en el análisis de estabilidad, se definen los agentes detonantes que se han de considerar en la previsión de la condición de amenaza para los polígonos de estudio. Dentro de los agentes detonantes que pueden afectar la estabilidad de las laderas en el área de estudio, se considera la presencia de agua en el subsuelo en función de su grado de saturación. Por otro lado, se contempla el detonante sismo en el escenario de análisis.

3.9.4.1 Sismo

Las evaluaciones de amenaza sísmica elaboradas para todo el territorio nacional, realizados recientemente por el SGC, permiten la obtención de puntos con información de valores de aceleración pico (PGA) para diferentes periodos de retorno. De éstos, se consideran los valores de aceleración para el periodo de retorno de 475. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran los valores de aceleración PGA para sismos con periodo de retorno de 225 años en el área de influencia del estudio.

El mapa de amenaza sísmica ubica la zona en niveles de amenaza alta, con valores de excedencia de aceleraciones pico a nivel de suelo (PGA) para periodos de retorno de sismos como se ve en la Tabla 3.47. La aceleración horizontal a involucrar en los análisis pseudo-estáticos de estabilidad será de kh=2/3*PGA, considerando las recomendaciones de la NSR-10 título H y que es ligeramente mayor al coeficiente recomendado por Kramer (1996) basado en los resultados de Hynes-Griffin y Franklin (1984) correspondiente a un coeficiente de 0.5. La aceleración vertical se asigna como kv=1/3*kh de forma conservadora al modelo.

Tabla 3.47 Aceleraciones Pico PGA para Diferentes Periodos de Retorno

TR (AÑOS)	PGA	(2/3) PGA
31	0.0655	0.0437
225	0.1914	0.1276
475	0.2620	0.1746
975	0.3478	0.2318

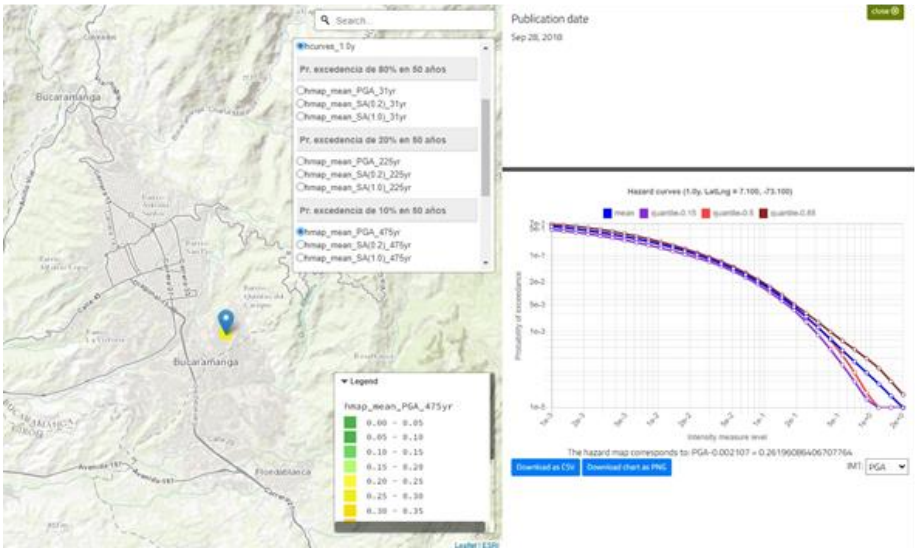


Figura 3.194 Curvas y PGA de amenaza sísmica para sismo con periodo de retorno de 475 años
Fuente: SGC

3.9.4.2 Niveles de Aguas Freáticas

Si bien, los resultados del análisis hidrogeológico realizado en el marco de este estudio son explicados con detalle en el aparte destinado a este fin, es conveniente mencionar que en contemplación del importante espesor de los cuaternarios y de los análisis de columna en modelo parcialmente saturado, se ha establecido que, con la condición de permeabilidad del suelo, y frente a su exposición a un régimen de lluvias, es de esperar estados no saturados en la mayor parte del tiempo.

Tabla 3.48 Frentes de Saturación Comuna 5 Pantanos

$$Pf_{Tr} = (Pf - z * Cv * Pf) - (I_{i\,Tr} * 24)$$

Pf_{Tr}	Pf del NF para un perido de retorno	
Pf	Valor medio del Nf (mm)	**6360**
z	Valor asociado al periodo de retorno	
Cv	Coeficiente de variación del Pi	**0.26**
$I_{i\,Tr}$	Intensidad del periodo de retorno en 24 h (mm/	

Tr (años)	2.33	5	10	25	50	100
Z	0.17845	0.84162	1.28155	1.75069	2.05375	2.32635

Cálculo de Variación del Nivel Freático

Tr (años)	2.33	5	10	25	50	100
$I_{i\,Tr}$ (mm/h)	5.05	5.80	6.57	7.75	8.77	9.94
Pf_{Tr} (mm)	5941.43	4818.70	4067.27	3257.41	2727.80	2245.65
Pf_{Tr} (m)	**5.94**	**4.82**	**4.07**	**3.26**	**2.73**	**2.25**

Pf (hw)	0.42918	0.20000	0.10000	0.04000	0.02000	0.01000

Frente de infiltración	0.42	1.54	2.29	3.10	3.63	4.11

Tabla 3.49 Frentes de Saturación Comuna 4 Ciudad Perdida

$$Pf_{Tr} = (Pf - z * Cv * Pf) - (I_{i\,Tr} * 24)$$

Pf_{Tr}	Pf del NF para un perido de retorno	
Pf	Valor medio del Nf (mm)	**4500**
z	Valor asociado al periodo de retorno	
Cv	Coeficiente de variación del Pi	**0.27**
$I_{i\,Tr}$	Intensidad del periodo de retorno en 24 h (mm/	

Tr (años)	2.33	5	10	25	50	100
Z	0.17845	0.84162	1.28155	1.75069	2.05375	2.32635

Cálculo de Variación del Nivel Freático

Tr (años)	2.33	5	10	25	50	100
$I_{i\,Tr}$ (mm/h)	5.05	5.80	6.57	7.75	8.77	9.94
Pf_{Tr} (mm)	4159.09	3324.98	2765.01	2159.33	1761.61	1398.10
Pf_{Tr} (m)	**4.16**	**3.32**	**2.77**	**2.16**	**1.76**	**1.40**

Pf (hw)	0.42918	0.20000	0.10000	0.04000	0.02000	0.01000

Frente de infiltración	0.34	1.18	1.73	2.34	2.74	3.10

Tabla 3.50 Frentes de Saturación Comuna 4 La Feria

$$Pf_{Tr} = (Pf - z * Cv * Pf) - (I_{i\,Tr} * 24)$$

Pf_{Tr}	Pf del NF para un perido de retorno	
Pf	Valor medio del Nf (mm)	**5000**
z	Valor asociado al periodo de retorno	
Cv	Coeficiente de variación del Pi	**0.26**
$I_{i\,Tr}$	Intensidad del periodo de retorno en 24 h (mm/h)	

Tr (años)	2.33	5	10	25	50	100
Z	0.17845	0.84162	1.28155	1.75069	2.05375	2.32635

Cálculo de Variación del Nivel Freático

Tr (años)	2.33	5	10	25	50	100
$I_{i\,Tr}$ (mm/h)	5.05	5.80	6.57	7.75	8.77	9.94
Pf_{Tr} (mm)	4642.42	3746.34	3145.26	2495.74	2069.70	1680.72
Pf_{Tr} (m)	**4.64**	**3.75**	**3.15**	**2.50**	**2.07**	**1.68**

Pf (hw)	0.42918	0.20000	0.10000	0.04000	0.02000	0.01000

Frente de infiltración	0.36	1.25	1.85	2.50	2.93	3.32

Así, pues, en el análisis hidrogeológico se surten los procesos y se obtienen los elementos suficientes para establecer que en el análisis de estabilidad se deben asumir espesores de saturación superficial, como se especifica en el informe del estudio hidrogeológico, en el que se explica cómo se obtienen y cuáles son los frentes de saturación esperados para los periodos de análisis acogidos en esta investigación (visibles aquí de la Tabla 3.48 a la Tabla 3.50).

3.9.5 Escenarios de Análisis

Para los análisis de estabilidad se consideraron 24 escenarios de análisis, de acuerdo con las indicaciones dadas por SGC (2016), en los cuales se incluyó la variabilidad de los parámetros geotécnicos. A continuación, se detallan los tiempos de retorno para cada evento detonante considerado, así como su probabilidad de ocurrencia anual asociada:

Tabla 3.51 Probabilidad de Ocurrencia de los Eventos Detonantes

PERIODO EXPOSICIÓN (AÑOS)	1 – 10 - 50					
PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE LLUVIAS P(H_w)						
TIEMPO DE RETORNO (AÑOS)	2.33	5	10	25	50	100
PROBABILIDAD DE OCURRENCIA 1 AÑO	42.92%	20.00%	10.00%	4.00%	2.00%	1.00%
PROBABILIDAD DE OCURRENCIA 10 AÑOS	99.63%	89.26%	65.13%	33.52%	18.29%	9.56%
PROBABILIDAD DE OCURRENCIA 50 AÑOS	100.00%	100.00%	99.48%	87.01%	63.58%	39.50%
PROFUNDIDAD DE FALLA	0.42	1.54	2.29	3.10	3.63	4.11

Comuna 5 Pantanos (m) Profundidad De Falla	0.34	1.18	1.73	2.34	2.74	3.10
Comuna 4 Ciudad Perdida (m) Profundidad De Falla	0.36	1.25	1.85	2.50	2.93	3.32
Comuna 5 La Feria (m)						

Probabilidad Anual De Ocurrencia De Sismos P(K)				
Tiempo De Retorno (Años)	31	225	475	975
Probabilidad De Ocurrencia En 1 Año	3.174%	0.443%	0.210%	0.103%
Probabilidad De Ocurrencia En 10 Años	27.57%	4.35%	2.08%	1.02%
Probabilidad De Ocurrencia En 50 Años	80.07%	19.93%	9.99%	5.00%
Aceleración Horizontal (2/3*Pga)	0.0437	0.1276	0.1746	0.2318

Los escenarios de análisis corresponden entonces a las combinaciones de eventos detonantes de lluvia (6) por el número de eventos de sismo (4) y un escenario adicional sin lluvia y sin sismo para un total de 25 combinaciones.

El escenario de detonante antrópico por su parte podría asociarse a aumentos súbitos del nivel freático producto de fugas de agua proveniente de la red de acueducto y alcantarillado, por lo que este escenario puede asociarse a una condición de saturación extrema, es decir, el escenario de lluvia de periodo de retorno de 100 años con una combinación de sismo de baja intensidad correspondiente a la aceleración para el periodo de retorno de 31 años.

3.9.6 Métodos Numéricos de Análisis

Los métodos de análisis utilizados están basados en la teoría de equilibrio límite, aplicando como modelo constitutivo el criterio de resistencia de Mohr – Coulomb para los materiales de suelo involucrados. Para efectos de cálculo, se utilizó una rutina en plataforma SIG que soporta el modelo de talud infinito. Bajo los lineamientos anteriores y con el fin de adelantar la tarea de evaluación de estabilidad, se utilizaron los parámetros de resistencia definidos para el escenario establecido.

3.9.6.1 Modelo de Pendientes del Terreno

Un aspecto de suma importancia dentro del modelo corresponde a la inclinación del terreno. Se puede entender de la ecuación presentada para el cálculo del factor de seguridad por talud Infinito, que la única información necesaria del relieve, corresponde a la inclinación del terreno. Para tener en cuenta esta variable se generan los respectivos mapas de pendientes, que se ilustra en la Figura 3.195.

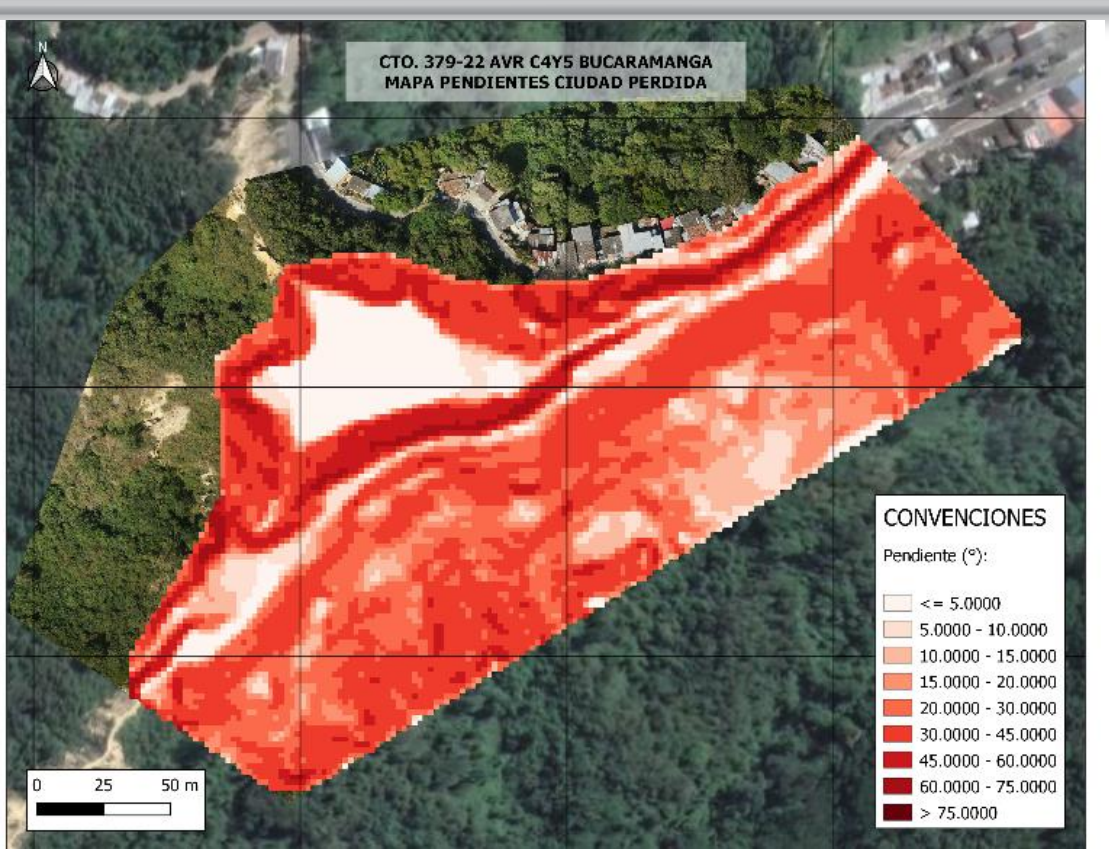


Figura 3.195 Mapa de pendientes de la Comuna 4 Ciudad Perdida

3.9.6.2 Resultados Mecanismo de Falla Planar-Traslacional

Estos análisis se realizaron sobre los horizontes superficiales, que se consideran variables en el área de acuerdo con la unidad geológica y los registros estratigráficos. Para llevar a cabo estos análisis se necesitó del desarrollo de las siguientes matrices de valores, todas de igual tamaño (m x n): i) matriz de pendientes (se desarrolla haciendo uso de las herramientas de GIS), y ii) matrices de valores de cohesión, ángulo de fricción y peso unitario del suelo, datos provenientes de la cartografía geológica y caracterización geotécnica. Para el tratamiento de tales datos, se creó un código iterativo donde se genera una matriz de tamaño (m x n) que contiene además los valores de factor de seguridad calculados para cada pixel del mapa y a partir de estos valores de FS se estiman probabilidades de falla por medio de simulación de Monte Carlo.

3.9.7 Evaluación de Amenaza por Movimientos en Masa

En este numeral se presenta el establecimiento del nivel de amenaza a que se encuentra expuesta el área de estudio, para los escenarios de análisis establecidos previamente. Partiendo de los resultados “crudos” de probabilidad de falla, se someten a un proceso de categorización de acuerdo con los lineamientos establecidos en la Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, pero en particular para el cálculo de la amenaza que se hizo a partir de probabilidades anuales de falla, se optó por utilizar los valores de PF recomendados por la USACE en el documento “Risk-based analysis in Geotechnical Engineering for Support of Planning Studies, Engineering and Design” de 1997 y la comparación de

probabilidad de falla anual vs pérdidas propuesta por Baecher (1982) , con rangos de probabilidad de falla presentados en la Tabla 3.52.

Tabla 3.52 Criterio para la clasificación de la amenaza por movimientos en masa en función de la probabilidad de falla

NIVEL DE AMENAZA	PROBABILIDAD ANUAL DE FALLA	PROBABILIDAD DE FALLA A 10 Y 50 AÑOS
Baja	0%-0.1%	0%-1%
Media	0.1%-0.6%	1%-16%
Alta	>0.6%	>16%

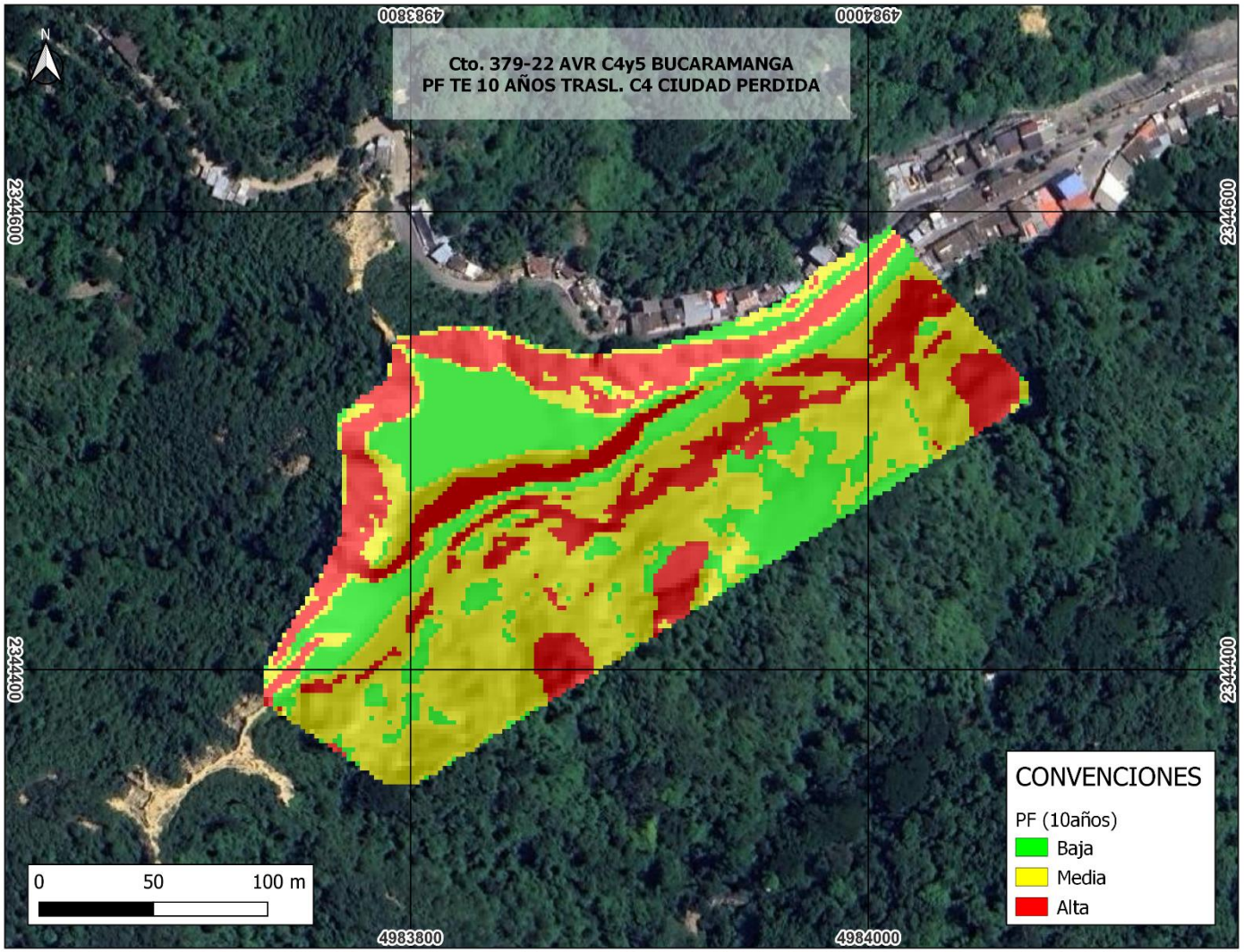


Figura 3.196 Mapa de amenaza por movimientos en masa para la Comuna 4 Ciudad Perdida, categorizado correspondiente a la probabilidad total de falla por mecanismo de falla traslacional para un tiempo de exposición de 10 años

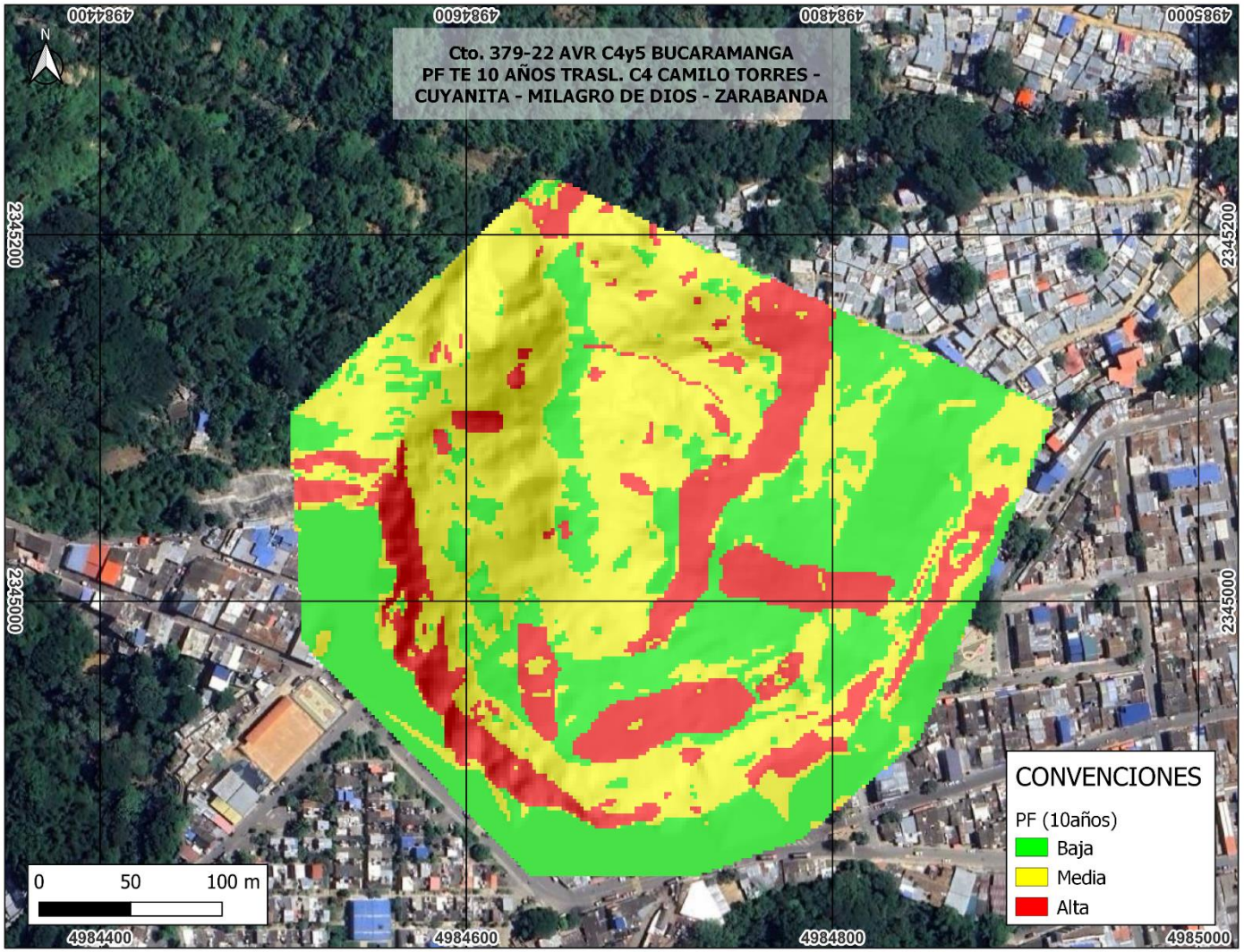


Figura 3.197 Mapa de amenaza por movimientos en masa para la Comuna 4 Camilo Torres – Cuyanita – Milagro de Dios – Zarabanda, categorizado correspondiente a la probabilidad total de falla traslacional para un tiempo de exposición de 10 años

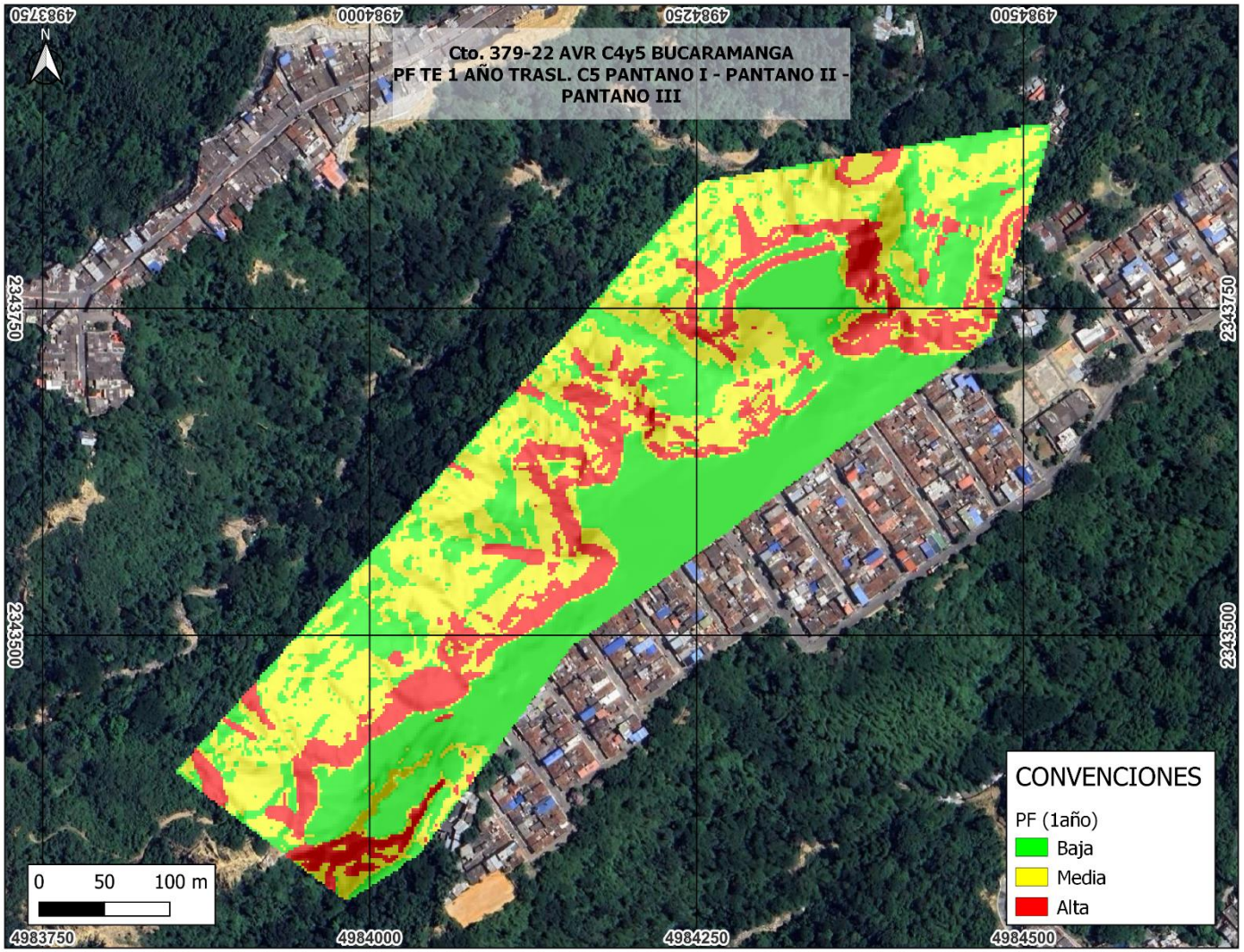


Figura 3.198 Mapa de amenaza por movimientos en masa para la Comuna 5 Pantano I – Pantano II – Pantano III, categorizado por la probabilidad total de falla traslacional para un tiempo de exposición de 10 años

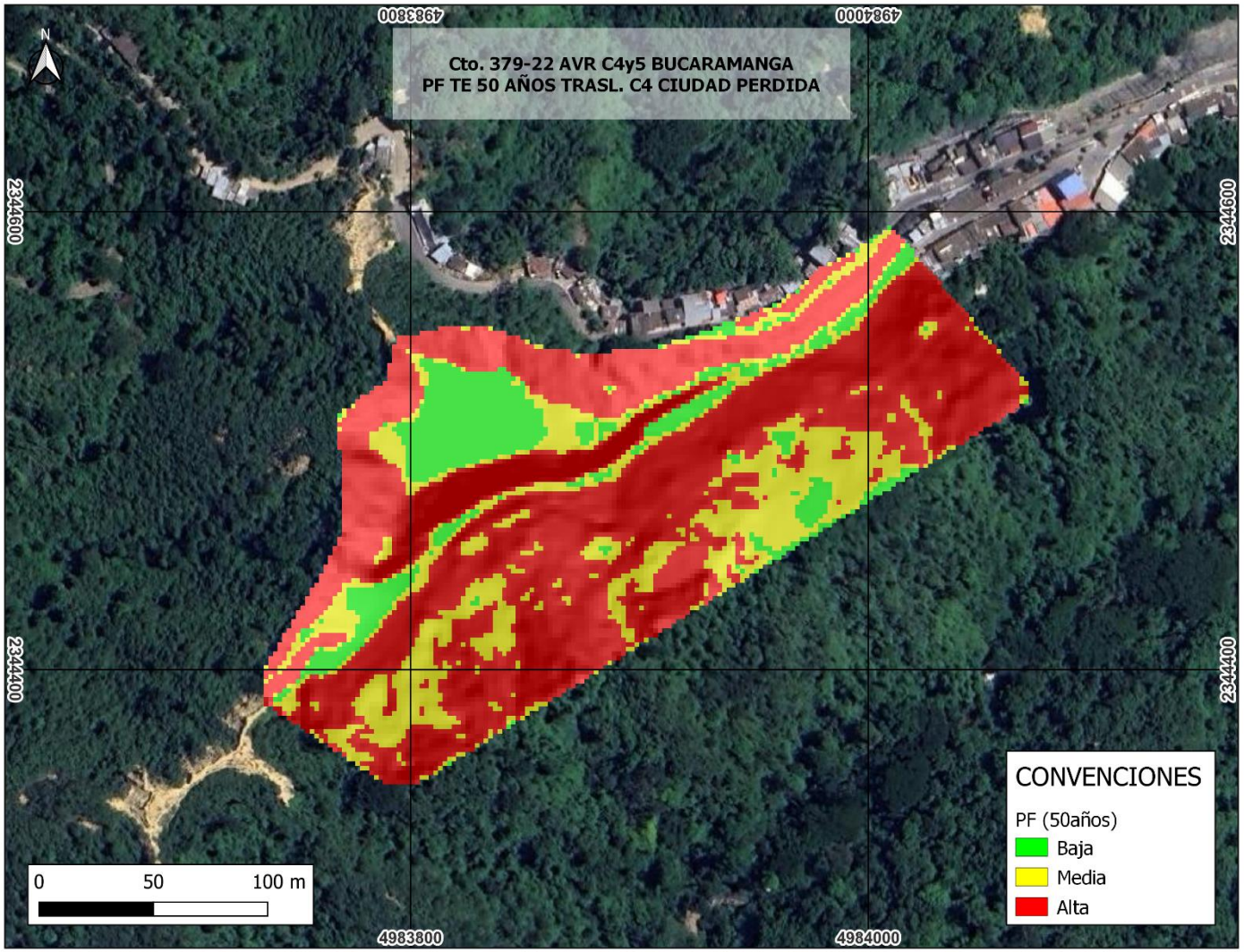


Figura 3.199 Mapa de amenaza por movimientos en masa para la Comuna 4 Ciudad Perdida, categorizado correspondiente a la probabilidad total de falla por mecanismo de falla traslacional para un tiempo de exposición de 50 años

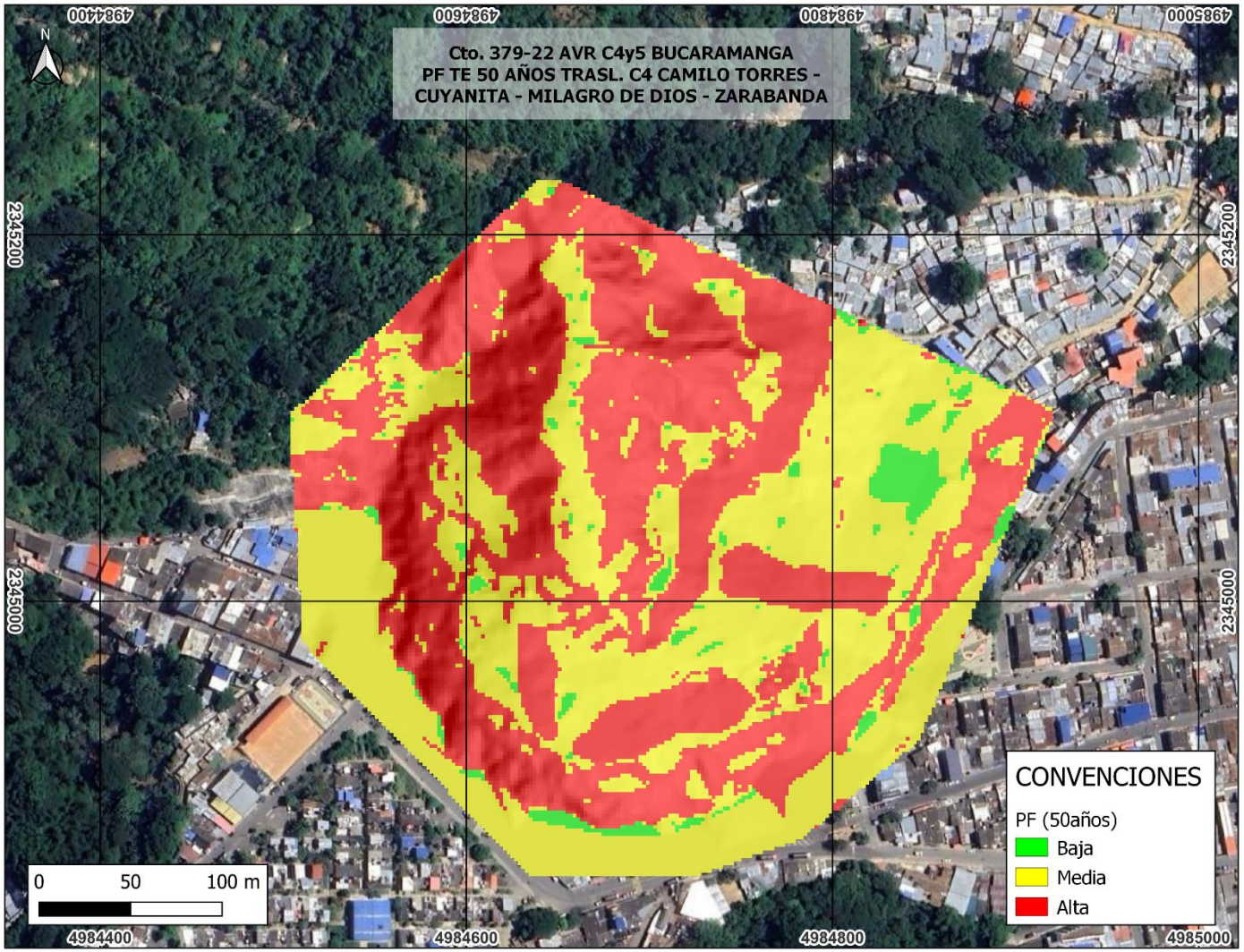


Figura 3.200 Mapa de amenaza por movimientos en masa para la Comuna 4 Camilo Torres – Cuyanita – Milagro de Dios – Zarabanda, categorizado correspondiente a la probabilidad total de falla traslacional para un tiempo de exposición de 50 años

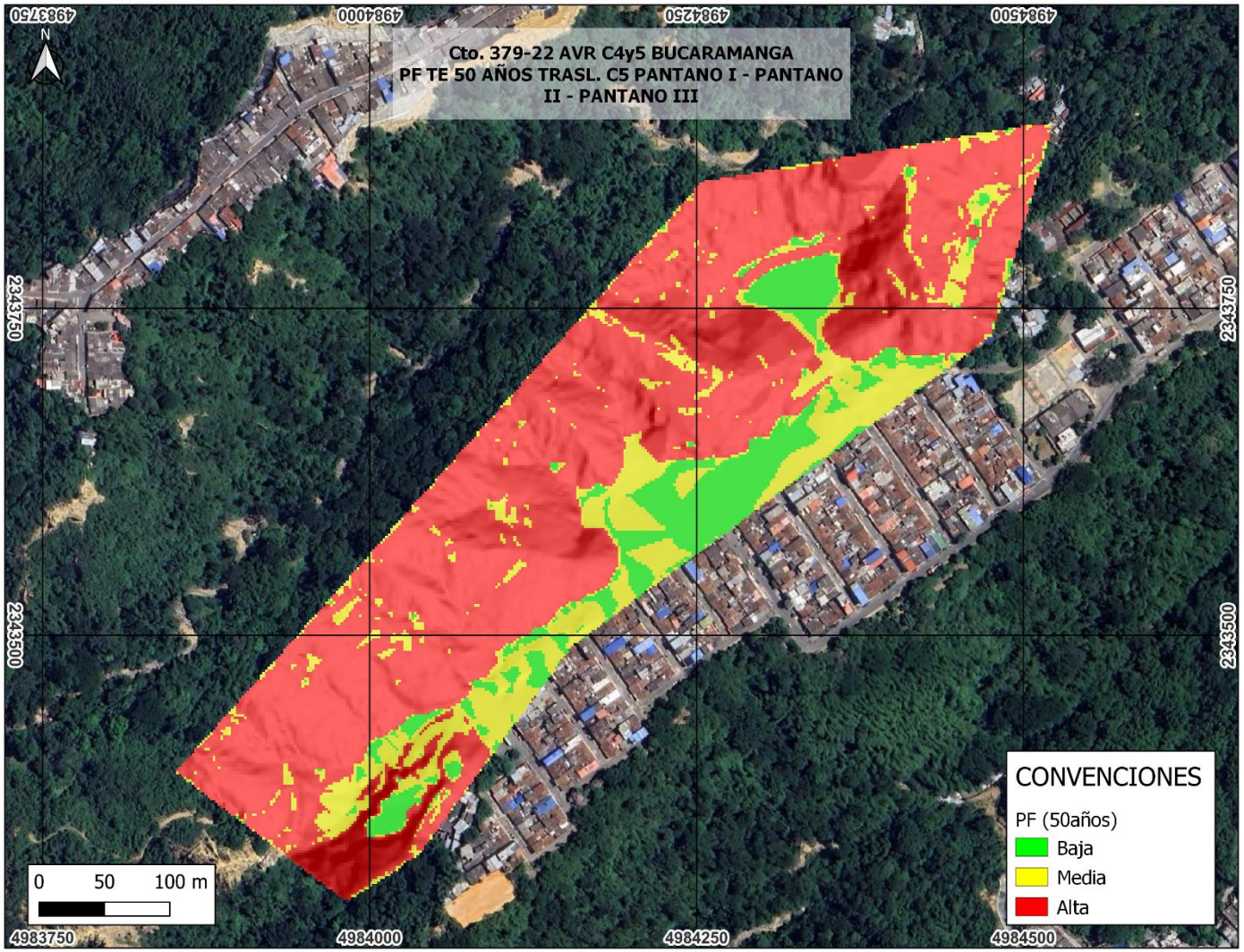


Figura 3.201Mapa de amenaza por movimientos en masa para la Comuna 5 Pantano I – Pantano II – Pantano III, categorizado por la probabilidad total de falla traslacional para un tiempo de exposición de 50 años

3.9.8 Resultados Mecanismo de Falla Rotacional 2D

Teniendo en cuenta que los mecanismos traslacionales considerados sólo involucran análisis de falla del terreno en sus horizontes más superficiales y considerando el evento ocurrido en la comuna, era necesario complementar los resultados de probabilidades de falla superficial con análisis de falla rotacional profunda.

Para cada uno de los perfiles definidos con el modelo geológico-geotécnico se realiza un modelo dentro del software Slide2 involucrando:

- Topografía de los perfiles y la ubicación de los contactos entre los diferentes materiales.
- Parámetros geomecánicos de los materiales, en valores medios y valores acorde a la distribución considerada (distribución normal).
- Ubicación del nivel freático acorde a los resultados del análisis hidrogeológico para los diferentes eventos de lluvia.
- Cargas sísmicas acorde al análisis de aceleraciones para cada uno de los eventos de sismo considerados.
- Sobrecargas por viviendas, construcciones, vías, etc.
- Obras o elementos de contención existentes.

Los modelos fueron corridos considerando que las condiciones de nivel freático y de sismos prescriben un total de 24 escenarios, para los cuales se realizan corridas independientes en las que el sistema de forma automática define superficies de falla, calculando para todos los factores de seguridad. En particular a la superficie de falla con el valor mínimo de factor de seguridad se le realiza un análisis probabilístico en que se varían los valores de los parámetros de entrada del modelo para obtener las probabilidades de falla de cada escenario.

Los resultados de las corridas en su totalidad se incluyen en los anexos. Resultados de cada uno de los perfiles se presentan de la Figura 3.202.

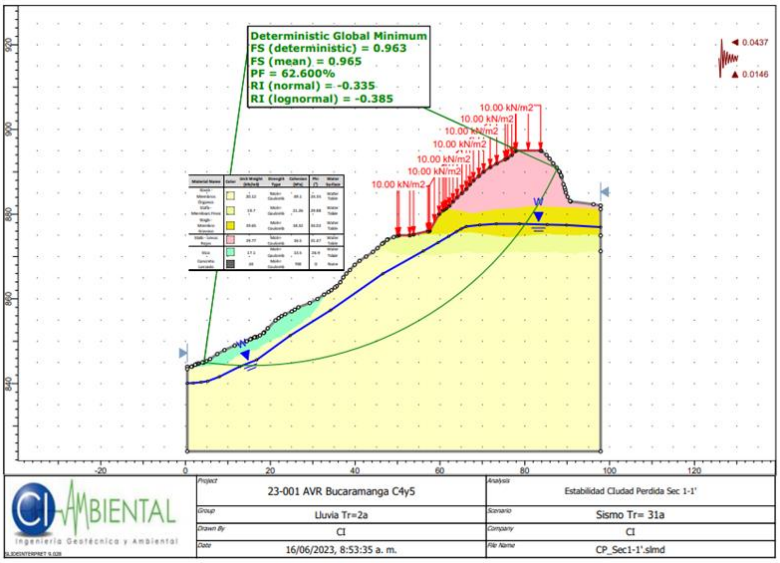


Figura 3.202 Resultados de FS y PF para uno de los escenarios corridos para la sección CP-Sec1-1'

A partir de los valores de probabilidad de falla de cada escenario, se calcula la probabilidad de falla total para cada sección considerando la ecuación presentada anteriormente para probabilidad de falla total.

Así entonces para un periodo de exposición de 50 años, la probabilidad total de falla para la sección LF 1-1' es de 92.98%. Las tablas con los cálculos de cada una de las probabilidades de falla de cada sección para las 3 temporalidades consideradas se presentan en los anexos. Las tablas de resumen de valores de probabilidad total de cada sección en todos los tiempos de exposición considerados se muestran en la Tabla 3.53 a la Tabla 3.55.

Tabla 3.53 Resumen de valores de probabilidad de falla total para Ciudad Perdida

CIUDAD PERDIDA			
SECCIONES	**PF 1 AÑO**	**PF 10 AÑOS**	**PF 50 AÑOS**
CP SEC 1-1'	2.2094%	57.6186%	99.5660%
CP SEC 2-2'	0.0182%	0.9090%	8.1867%
CP SEC 3-3'	1.8705%	52.2019%	99.1654%
CP SEC 4-4'	0.0388%	1.9645%	16.1241%
CP SEC 5-5'	2.4424%	60.6153%	99.7398%
CP SEC 6-6'	0.5992%	23.3676%	87.0897%
CP SEC 7-7'	0.7605%	26.7562%	88.6994%

Tabla 3.54 Resumen de valores de probabilidad de falla total para Comuna 4 – Camilo Torres, Cuyanita, Milagro de Dios y Zarabanda

COMUNA 4			
SECCIONES	**PF 1 AÑO**	**PF 10 AÑOS**	**PF 50 AÑOS**
LF SEC 1-1'	1.4405%	42.8839%	97.1390%
LF SEC 2-2'	0.3511%	11.9863%	52.6368%
LF SEC 3-3'	0.0323%	1.4183%	11.2883%
LF SEC 4-4'	0.2562%	9.9479%	54.8613%
LF SEC 5-5'	0.7180%	23.4110%	80.9713%
LF SEC 6-6'	0.8511%	27.0239%	85.7246%

Tabla 3.55 Resumen de valores de probabilidad de falla total para Comuna 5 – Pantano I, II y III

COMUNA 5			
SECCIONES	**PF 1 AÑO**	**PF 10 AÑOS**	**PF 50 AÑOS**
PT SEC 1-1'	1.2393%	39.4197%	96.3855%
PT SEC 2-2'	1.8657%	52.9770%	99.3507%
PT SEC 3-3' i-d	0.0042%	0.2125%	2.0879%
PT SEC 3-3' d-i	0.2129%	7.3178%	35.0314%
PT SEC 4-4'	3.0280%	69.4440%	99.9812%
PT SEC 5-5'	3.0212%	69.3922%	99.9810%
PT SEC 6-6'	0.0623%	2.6581%	19.1163%
PT SEC 7-7'	0.8438%	29.9961%	91.8831%
PT SEC 8-8'	0.9573%	33.2818%	93.8679%
PT SEC 9-9'	2.4469%	62.5226%	99.8874%
PT SEC 10-10'	2.5512%	63.6033%	99.9015%
PT SEC 11-11'	2.4632%	62.3407%	99.8654%
PT SEC 12-12'	3.0968%	70.2572%	99.9865%
PT SEC 13-13'	3.0472%	69.6375%	99.9825%

Las tablas de cálculo de la probabilidad combinada se presentan de la Tabla 3.56 a la Tabla 3.58.

Tabla 3.56 Cálculo de probabilidad de falla combinada para la zona de Comuna 4 Ciudad Perdida

CP		Análisis 2D Rot.						Análisis Talud inf.			PF combinado		
UGH	Sección	PF_01a	PF_10a	PF_50a	PF_01a	PF_10a	PF_50a	PF_01a	PF_10a	PF_50a	PF_01a	PF_10a	PF_50a
IV	2-2'	0.02%	0.91%	8.19%	0.77%	22.72%	59.97%	0.31%	7.11%	70.67%	0.54%	14.91%	65.32%
	4-4'	0.04%	1.96%	16.12%									
	5-5'	2.44%	60.62%	99.74%									
	6-6'	0.60%	23.37%	87.09%									
	7-7'	0.76%	26.76%	88.70%									
V	1-1'	2.21%	57.62%	99.57%	1.37%	37.26%	71.62%	0.05%	3.22%	29.37%	0.71%	20.24%	50.49%
	3-3'	1.87%	52.20%	99.17%									
	4-4'	0.04%	1.96%	16.12%									
XII	1-1'	2.21%	57.62%	99.57%	1.36%	39.99%	93.63%	3.01%	67.87%	97.53%	2.18%	53.93%	95.58%
	3-3'	1.87%	52.20%	99.17%									
	6-6'	0.60%	23.37%	87.09%									
	7-7'	0.76%	26.76%	88.70%									
XIV								0.01%	0.19%	0.71%	0.01%	0.19%	0.71%

Tabla 3.57 Cálculo de probabilidad de falla combinada para la zona de Comuna 4 – Camilo Torres, Cuyanita, Milagro de Dios y Zarabanda

Comuna 4		Análisis 2D Rot.						Análisis Talud inf.			PF combinado		
UGH	Sección	PF_01a	PF_10a	PF_50a	PF_01a	PF_10a	PF_50a	PF_01a	PF_10a	PF_50a	PF_01a	PF_10a	PF_50a
I	2-2'	0.35%	11.99%	52.64%	0.21%	7.78%	39.60%	0.03%	3.86%	5.51%	0.12%	5.82%	22.55%
	3-3'	0.03%	1.42%	11.29%									
	4-4'	0.26%	9.95%	54.86%									
II	2-2'	0.35%	11.99%	52.64%	0.21%	7.78%	39.60%	0.03%	6.19%	65.61%	0.12%	6.99%	52.60%
	3-3'	0.03%	1.42%	11.29%									
	4-4'	0.26%	9.95%	54.86%									
III	6-6'	0.85%	27.02%	85.72%	1.00%	31.11%	87.94%	0.40%	29.07%	83.08%	0.70%	30.09%	85.51%
	1-1'	1.44%	42.88%	97.14%									
	5-5'	0.72%	23.41%	80.97%									
IV	1-1'	1.44%	42.88%	97.14%	1.08%	33.15%	89.06%	0.04%	4.60%	40.49%	0.56%	18.88%	64.77%
	5-5'	0.72%	23.41%	80.97%									
XII	4-4'	0.26%	9.95%	54.86%	0.26%	9.95%	54.86%	2.60%	61.44%	94.31%	1.43%	35.69%	74.59%
XIII								0.01%	0.38%	2.84%	0.01%	0.38%	2.84%

Tabla 3.58 Cálculo de probabilidad de falla combinada para la zona de Comuna 5 Pantano I – Pantano II – Pantano III

Comuna 5		Análisis 2D Rot.						Análisis Talud inf.			PF combinado		
UGH	Sección	PF_01a	PF_10a	PF_50a	PF_01a	PF_10a	PF_50a	PF_01a	PF_10a	PF_50a		PF_10a	PF_50a
VI	1-1'	1.24%	39.42%	96.39%	1.24%	39.42%	96.39%	0.02%	30.86%	78.54%	0.63%	35.14%	87.46%
VII	1-1'	1.24%	39.42%	96.39%	1.55%	46.20%	97.87%	0.06%	6.01%	45.95%	0.81%	26.11%	71.91%
	2-2'	1.87%	52.98%	99.35%									
VIII	2-2'	1.87%	52.98%	99.35%	1.29%	33.14%	63.92%	0.82%	33.24%	82.83%	1.05%	33.19%	73.37%
	3-3'id	0.00%	0.21%	2.09%									
	3-3'di	0.21%	7.32%	35.03%									
	4-4'	3.03%	69.44%	99.98%									
	5-5'	3.02%	69.39%	99.98%									
	6-6'	0.06%	2.66%	19.12%									
	7-7'	0.84%	30.00%	91.88%									
IX	4-4'	3.03%	69.44%	99.98%	1.74%	42.87%	77.74%	0.15%	7.55%	52.75%	0.94%	25.21%	65.24%
	5-5'	3.02%	69.39%	99.98%									
	6-6'	0.06%	2.66%	19.12%									
	7-7'	0.84%	30.00%	91.88%									
X	8-8'	0.96%	33.28%	93.87%	2.43%	60.27%	98.92%	0.83%	33.09%	85.26%	1.63%	46.68%	92.09%
	9-9'	2.45%	62.52%	99.89%									
	10-10'	2.55%	63.60%	99.90%									
	11-11'	2.46%	62.34%	99.87%									
	12-12'	3.10%	70.26%	99.99%									
	13-13'	3.05%	69.64%	99.98%									
XI	8-8'	0.96%	33.28%	93.87%	2.30%	58.40%	98.70%	0.15%	7.12%	50.28%	1.23%	32.76%	74.49%
	9-9'	2.45%	62.52%	99.89%									
	10-10'	2.55%	63.60%	99.90%									
	11-11'	2.46%	62.34%	99.87%									
	12-12'	3.10%	70.26%	99.99%									
XII	8-8'	0.96%	33.28%	93.87%	1.71%	47.81%	96.87%	2.96%	66.98%	93.61%	2.33%	57.39%	95.24%
	11-11'	2.46%	62.34%	99.87%									
XV								0.01%	0.29%	2.82%	0.01%	0.29%	2.82%

3.9.9 Probabilidad de Falla Combinada y Zonificación de Amenaza

Una vez obtenidos los resultados de probabilidades de falla por medio de talud infinito y por el método de equilibrio límite rotacional en software 2D, se procedió a realizar la combinación de la información de la siguiente manera:

- Inicialmente se calcularon los valores de áreas de cada una de los rangos de amenaza por talud infinito considerando los valores por cada pixel del modelo, y determinando el rango de amenaza predominante en cada uno de las Unidades Geotécnicas Homogéneas.
- Se calcula el valor promedio de probabilidad de falla por talud infinito predominante en cada unidad geotécnica, y se calcula el valor promedio de probabilidad de falla de los perfiles bidimensionales de Slide2 para las UGH en que se encuentran.
- Finalmente se asigna como valor final de probabilidad de falla el promedio entre los resultados del rango predominante de talud infinito con el promedio de probabilidad de falla de los perfiles para cada una de las UGH y para cada uno de los tiempos de exposición.

3.9.9.1 Zonificación de la Amenaza para un Tiempo de Exposición de 10 años

Teniendo los valores finales de probabilidad de falla, se espacializa la amenaza de cada uno de los sectores como se ve en la Figura 3.203 a la Figura 3.205.

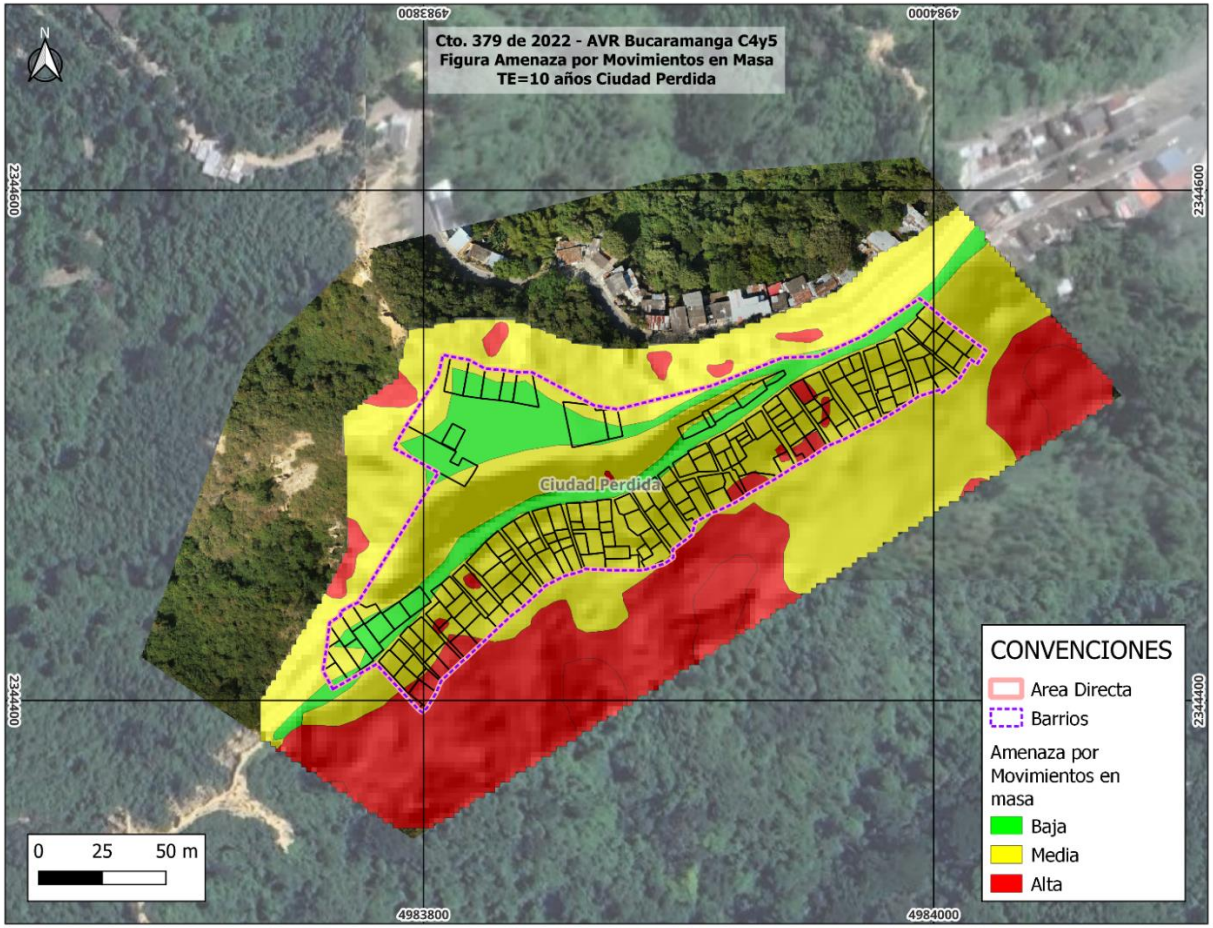


Figura 3.203 Zonificación de la amenaza Para Comuna 4 Ciudad Perdida con 10 años de exposición

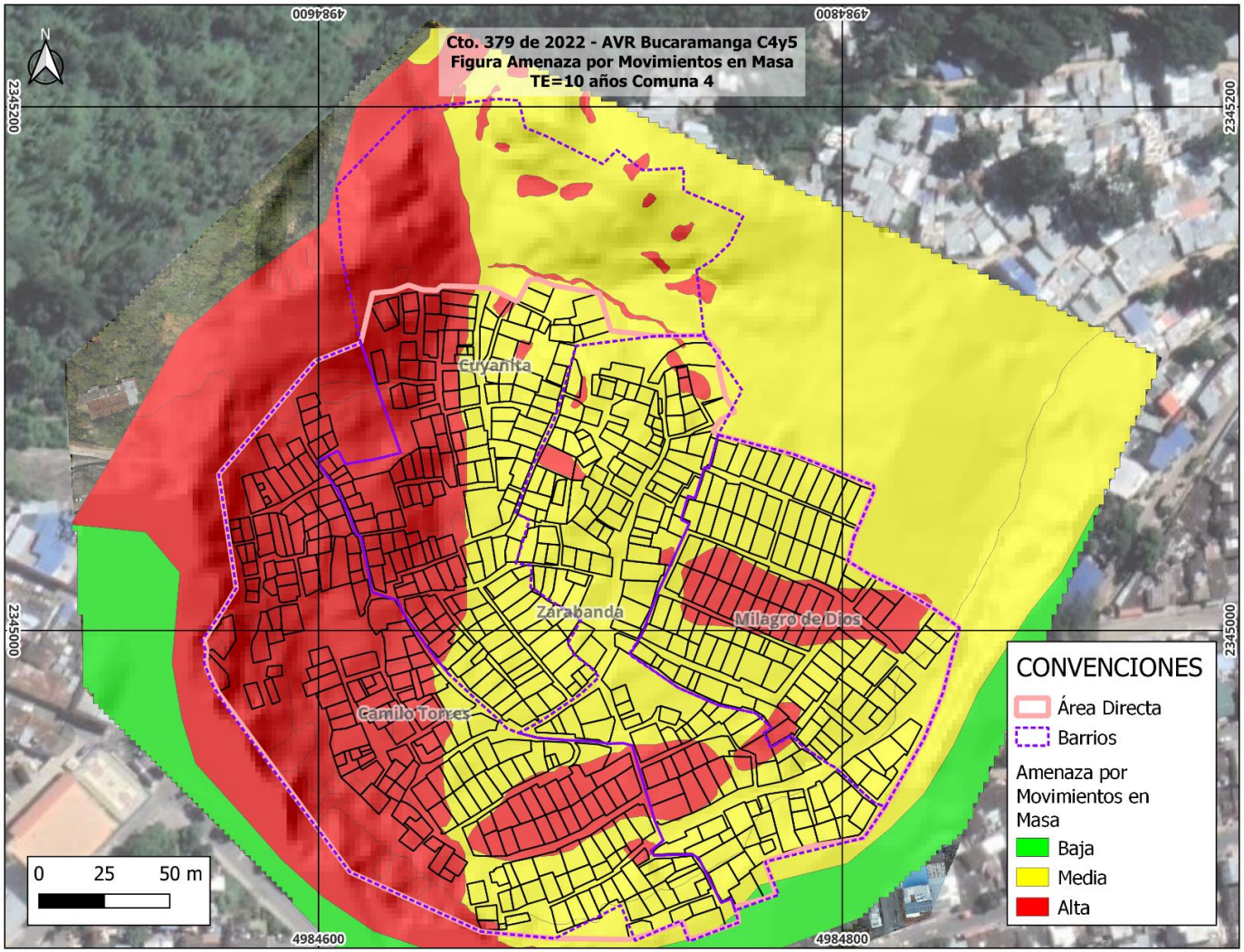


Figura 3.204 Zonificación de la amenaza Para Comuna 4– Camilo Torres, Cuyanita, Milagro de Dios y Zarabanda con 10 años de exposición

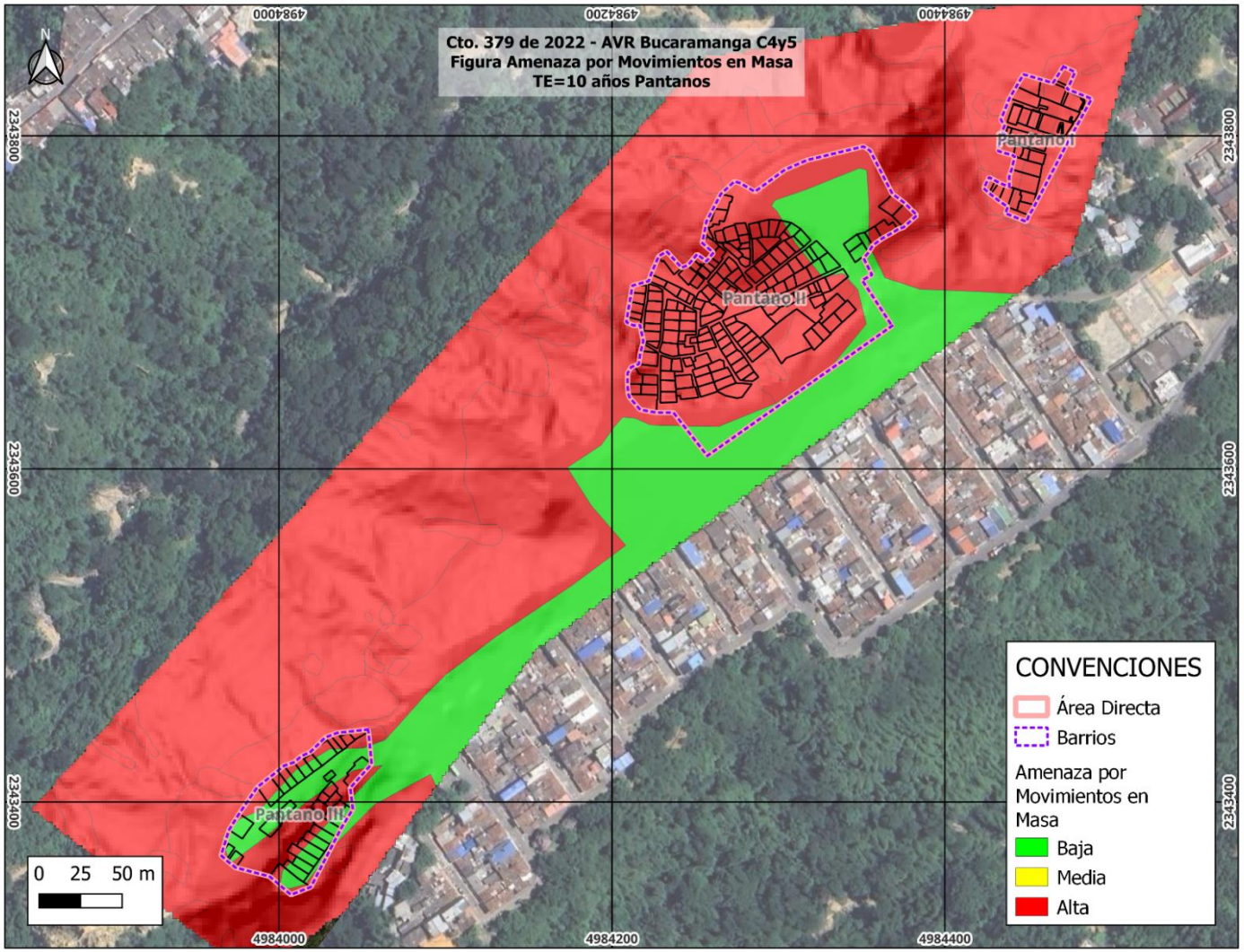


Figura 3.205 Zonificación de la amenaza Para Comuna 5– Pantano I – Pantano II – Pantano III con 10 años de exposición

3.9.9.2 Zonificación de la Amenaza para un Tiempo de Exposición de 50 años

Teniendo los valores finales de probabilidad de falla, se espacializa la amenaza de cada uno de los sectores como se ve en la Figura 3.206 a la Figura 3.208.

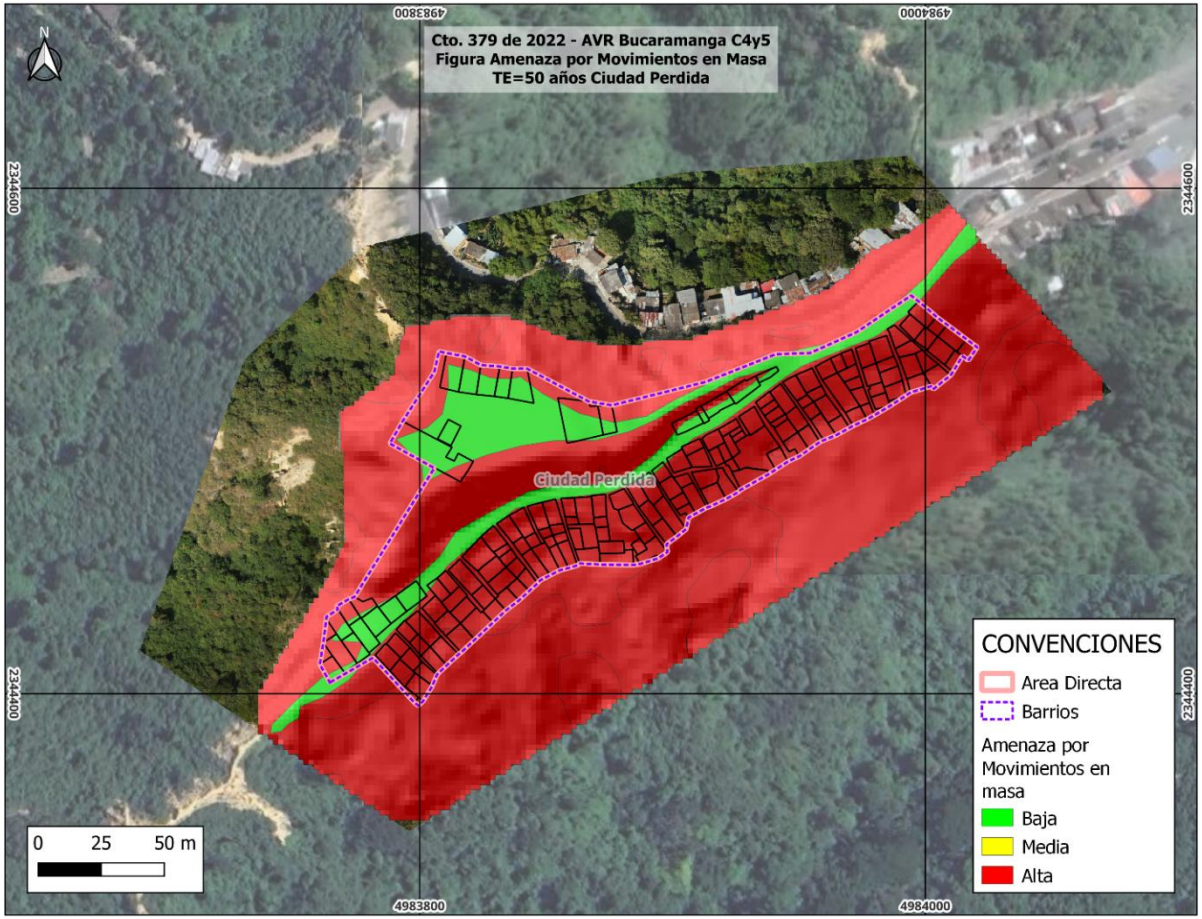


Figura 3.206 Zonificación de la amenaza Para Comuna 4 Ciudad Perdida con 50 años de exposición

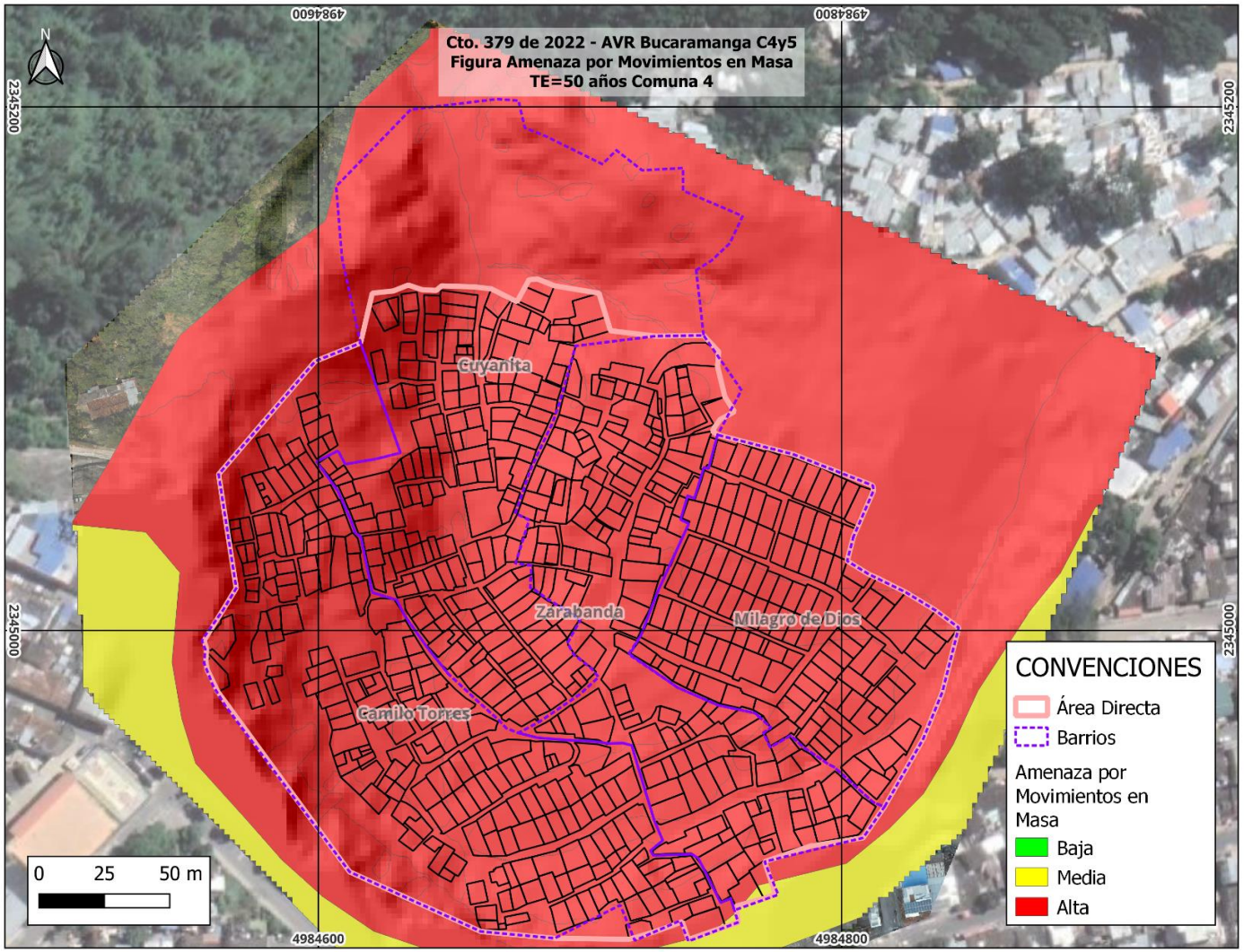


Figura 3.207 Zonificación de la amenaza Para Comuna 4– Camilo Torres, Cuyanita, Milagro de Dios y Zarabanda con 50 años de exposición

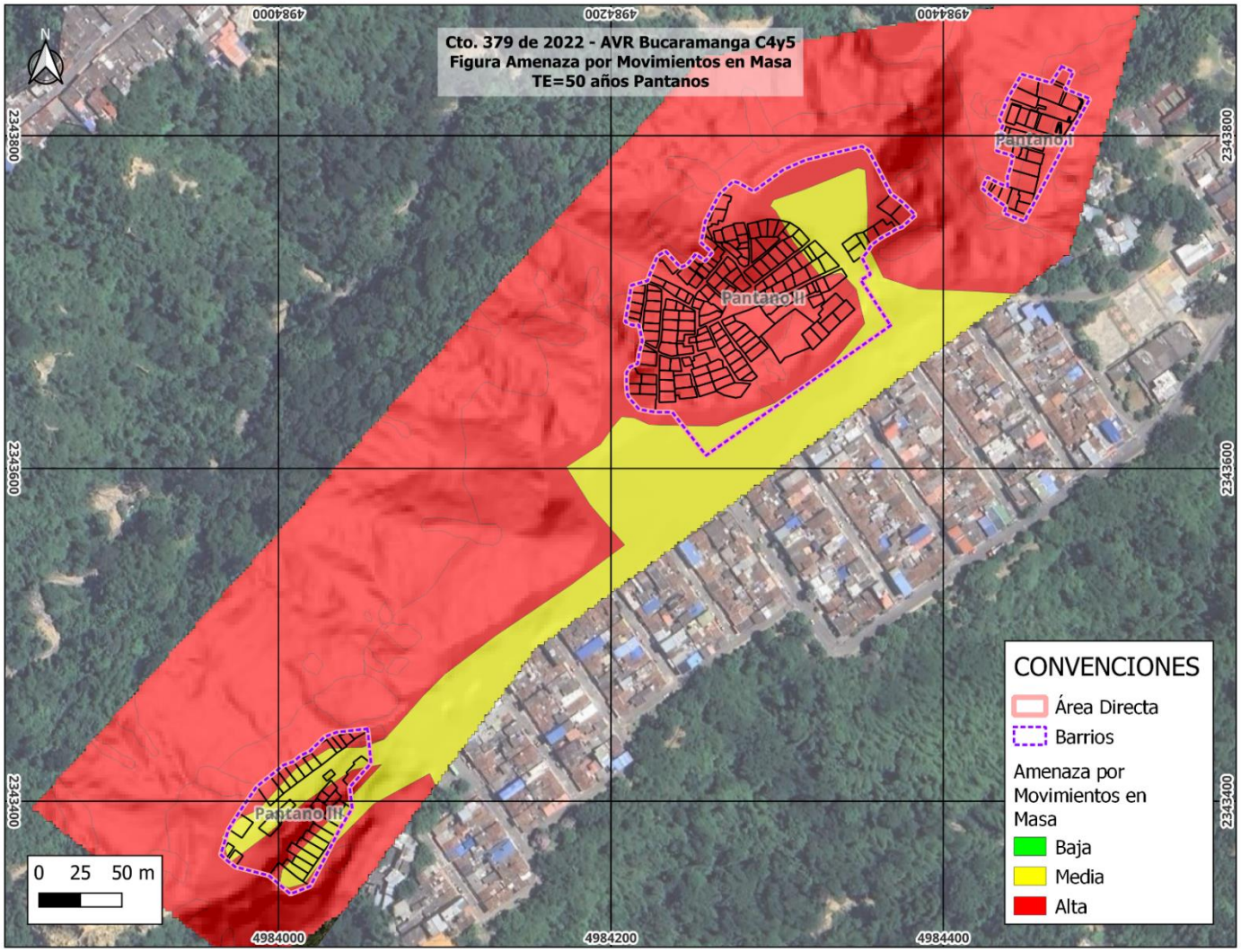


Figura 3.208 Zonificación de la amenaza Para Comuna 5– Pantano I – Pantano II – Pantano III con 50 años de exposición

3.9.10 Caracterización de la Amenaza

A continuación, se presentan los resultados de la caracterización de la amenaza para los periodos de exposición de 10 y 50 años.

Tabla 3.59 Caracterización de la amenaza por movimientos en masa para las comunas 4 y 5 TE 10 años

AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA (TE 10 AÑOS) BUCARAMANGA COMUNA 4 CAMILO TORRES - CUYANITA - MILAGRO DE DIOS - ZARABANDA					
SIMBOLOGÍA	**ID**	**AMENAZA**	**DESCRIPCIÓN**	**ÁREA (Ha)**	**PORCENTAJE**
	1	Baja	Corresponde a sectores relativamente estables, donde no se detectaron problemas de inestabilidad y que actualmente presentan un comportamiento adecuado. Zonas con una probabilidad de falla promedio de 0.38%, comprendidos en su mayoría por zonas de la unidad miembro Limos Rojos de la formación Bucaramanga (Stlalb); con pendientes promedio de 2° y con valores máximos de pendiente que van a los 28°	1.032	10.01%
	2	Media	Corresponde a sectores que se encuentran en estabilidad aceptable, susceptibles de sufrir desizamientos ante un inadecuado manejo de las aguas superficiles y ante la ocurrencia de eventos detonantes de alta intensidad. Zonas con una probabilidad de falla promedio de 6%, comprendidos en su mayoría por zonas de la unidad miembro Órganos de la formación Bucaramanga (Staaob); con pendientes promedio de 20° y con valores máximos de pendiente que van a los 69°	5.596	54.26%
	3	Alta	Corresponde a sectores que se encuentran en estabilidad marginal, susceptibles de sufrir desizamientos ante un inadecuado manejo de las aguas superficiles y ante la ocurrencia de eventos detonantes de intensidad media. Zonas con una probabilidad de falla promedio de 25.72%, comprendidos en su mayoría por zonas de la unidad miembro Órganos de la formación Bucaramanga (Staaob); con pendientes promedio de 25° y con valores máximos de pendiente que van a los 70°	3.685	35.73%

AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA (TE 10 AÑOS) BUCARAMANGA COMUNA 4 CIUDAD PERDIDA					
SIMBOLOGÍA	**ID**	**AMENAZA**	**DESCRIPCIÓN**	**ÁREA (Ha)**	**PORCENTAJE**
	1	Baja	Corresponde a sectores relativamente estables, donde no se detectaron problemas de inestabilidad y que actualmente presentan un comportamiento adecuado. Zonas con una probabilidad de falla promedio de 0.19%, comprendidos en su mayoría por zonas de las unidades miembro Finos (Stlafb) y miembro Limos Rojos de la formación Bucaramanga (Stlalb); con pendientes promedio de 6° y con valores máximos de pendiente que van a los 46°	0.422	10.55%
	2	Media	Corresponde a sectores que se encuentran en estabilidad aceptable, susceptibles de sufrir desizamientos ante un inadecuado manejo de las aguas superficiles y ante la ocurrencia de eventos detonantes de alta intensidad. Zonas con una probabilidad de falla promedio de 14.91%, comprendidos en su mayoría por zonas de la unidad miembro Finos (Stlafb); con pendientes promedio de 30° y con valores máximos de pendiente que van a los 72°	2.387	59.64%
	3	Alta	Corresponde a sectores que se encuentran en estabilidad marginal, susceptibles de sufrir desizamientos ante un inadecuado manejo de las aguas superficiles y ante la ocurrencia de eventos detonantes de intensidad media. Zonas con una probabilidad de falla promedio de 28.61%, comprendidos en su mayoría por zonas de la miembro Órganos (Staaob); con pendientes promedio de 31° y con valores máximos de pendiente que van a los 75°	1.193	29.81%

AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA (TE 10 AÑOS) BUCARAMANGA COMUNA 5 PANTANO I - PANTANO II - PANTANO III					
SIMBOLOGÍA	**ID**	**AMENAZA**	**DESCRIPCIÓN**	**ÁREA (Ha)**	**PORCENTAJE**
	1	Baja	Corresponde a sectores relativamente estables, donde no se detectaron problemas de inestabilidad y que actualmente presentan un comportamiento adecuado. Zonas con una probabilidad de falla promedio de 0.29%, comprendidos en su mayoría por zonas de la unidad miembro Limos Rojos de la formación Bucaramanga (Stlalb); con pendientes promedio de 4° y con valores máximos de pendiente que van a los 36°	2.274	16.35%
	2	Alta	Corresponde a sectores que se encuentran en estabilidad marginal, susceptibles de sufrir desizamientos ante un inadecuado manejo de las aguas superficiles y ante la ocurrencia de eventos detonantes de intensidad media. Zonas con una probabilidad de falla promedio de 37.31%, comprendidos en su mayoría por zonas de la unidad miembro Órganos (Staaob) y miembro Finos de la formación Bucaramanga (Stlafb); con pendientes promedio de 33° y con valores máximos de pendiente que van a los 80°	11.636	83.65%

Tabla 3.60 Caracterización de la amenaza por movimientos en masa para las comunas 4 y 5 TE 50 años

AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA (TE 50 AÑOS) BUCARAMANGA COMUNA 4 CAMILO TORRES - CUYANITA - MILAGRO DE DIOS - ZARABANDA					
SIMBOLOGÍA	**ID**	**AMENAZA**	**DESCRIPCIÓN**	**ÁREA (Ha)**	**PORCENTAJE**
	1	Media	Corresponde a sectores que se encuentran en estabilidad aceptable, susceptibles de sufrir desizamientos ante un inadecuado manejo de las aguas superficiles y ante la ocurrencia de eventos detonantes de alta intensidad. Zonas con una probabilidad de falla promedio de 2.84%, comprendidos en su mayoría por zonas de la unidad miembro Limos Rojos de la formación Bucaramanga (Stlalb); con pendientes promedio de 2° y con valores máximos de pendiente que van a los 28°	1.032	10.01%
	2	Alta	Corresponde a sectores que se encuentran en estabilidad marginal, susceptibles de sufrir desizamientos ante un inadecuado manejo de las aguas superficiles y ante la ocurrencia de eventos detonantes de intensidad media. Zonas con una probabilidad de falla promedio de 45.2%, comprendidos en su mayoría por zonas de la unidad miembro Órganos de la formación Bucaramanga (Staaob); con pendientes promedio de 22° y con valores máximos de pendiente que van a los 70°	9.282	89.99%

AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA (TE 50 AÑOS) BUCARAMANGA COMUNA 4 CIUDAD PERDIDA					
SIMBOLOGÍA	**ID**	**AMENAZA**	**DESCRIPCIÓN**	**ÁREA (Ha)**	**PORCENTAJE**
	1	Baja	Corresponde a sectores relativamente estables, donde no se detectaron problemas de inestabilidad y que actualmente presentan un comportamiento adecuado. Zonas con una probabilidad de falla promedio de 0.71%, comprendidos en su mayoría por zonas de las unidades miembro Finos (Stlafb) y miembro Limos Rojos de la formación Bucaramanga (Stlalb); con pendientes promedio de 6° y con valores máximos de pendiente que van a los 46°	0.422	10.55%
	2	Alta	Corresponde a sectores que se encuentran en estabilidad marginal, susceptibles de sufrir desizamientos ante un inadecuado manejo de las aguas superficiles y ante la ocurrencia de eventos detonantes de intensidad media. Zonas con una probabilidad de falla promedio de 64.11%, comprendidos en su mayoría por zonas de la unidad miembro Finos (Stlafb) y miembro Órganos (Staaob); con pendientes promedio de 30° y con valores máximos de pendiente que van a los 75°	3.580	89.45%

AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA (TE 50 AÑOS) BUCARAMANGA COMUNA 5 PANTANO I - PANTANO II - PANTANO III					
SIMBOLOGÍA	**ID**	**AMENAZA**	**DESCRIPCIÓN**	**ÁREA (Ha)**	**PORCENTAJE**
	1	Media	Corresponde a sectores que se encuentran en estabilidad aceptable, susceptibles de sufrir desizamientos ante un inadecuado manejo de las aguas superficiles y ante la ocurrencia de eventos detonantes de alta intensidad. Zonas con una probabilidad de falla promedio de 2.82%, comprendidos en su mayoría por zonas de la unidad miembro Limos Rojos de la formación Bucaramanga (Stlalb); con pendientes promedio de 4° y con valores máximos de pendiente que van a los 36°	2.274	16.35%
	2	Alta	Corresponde a sectores que se encuentran en estabilidad marginal, susceptibles de sufrir desizamientos ante un inadecuado manejo de las aguas superficiles y ante la ocurrencia de eventos detonantes de intensidad media. Zonas con una probabilidad de falla promedio de 79.90%, comprendidos en su mayoría por zonas de la unidad miembro Órganos (Staaob) y miembro Finos de la formación Bucaramanga (Stlafb); con pendientes promedio de 33° y con valores máximos de pendiente que van a los 80°	11.636	100.00%

3.9.11 Parámetros de Intensidad por Movimientos en Masa (MM)

Para el cálculo de la intensidad se consideraron diferentes factores para cada uno de los elementos expuestos, asociados a la amenaza percibida para cada uno de los mismos. En este sentido y siguiendo con la metodología propuesta por la Guía del SGC se asignan para cada predio los siguientes valores:

- **Zona del movimiento:** la zona del movimiento corresponde con la ubicación del elemento expuesto en función de las diferentes partes de un movimiento en masa activo. Las zonas a considerar se presentan en la Figura 3.209

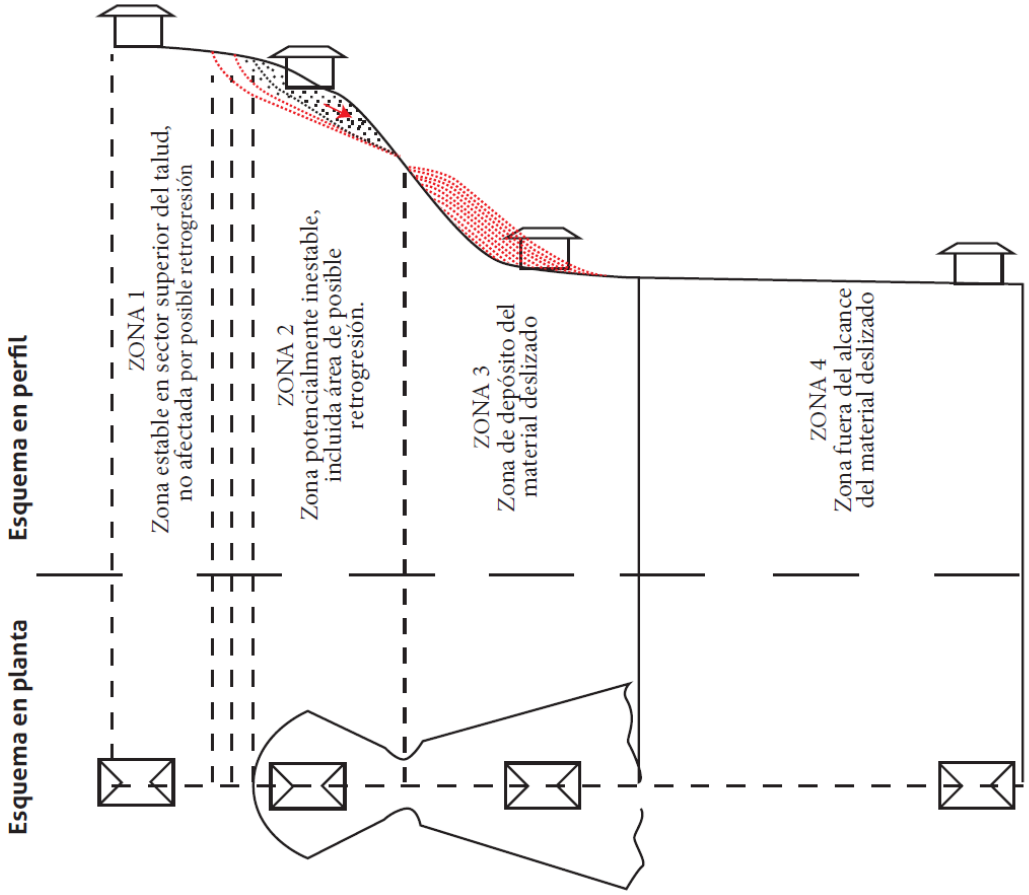
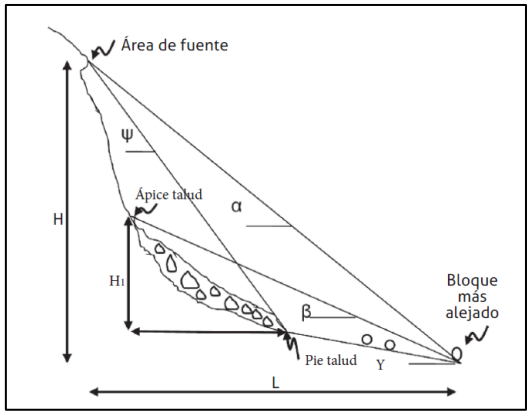


Figura 3.209 Zona de exposición de los elementos expuestos ante un deslizamiento (SGC, 2016).

El tipo de zona se asocia con la solicitación que se haría sobre la edificación, siendo que podría ser solicitada por medio de deformaciones verticales de importancia o por otro lado la solicitación sobre la vivienda podría darse en la forma de un empuje horizontal del material movilizado.

Con el fin de poder definir la zona de afectación 3, es necesario hacer el análisis de distancia de viajes de los deslizamientos. Se presenta el ejemplo de la sección LFSecc1-1', de la cual se muestra la geometría del deslizamiento en la Figura 3.210.



Miembors Finos		19.3	Mohr-Coulomb	15.2	35.2	Water Surface	Automatically Calculated
Stagb - Miembro Gravoso		18.6	Mohr-Coulomb	11.5	32.1	Water Surface	Automatically Calculated
Stalb - Limos Rojos		17.1	Mohr-Coulomb	26.8	21.8	Water Surface	Automatically Calculated

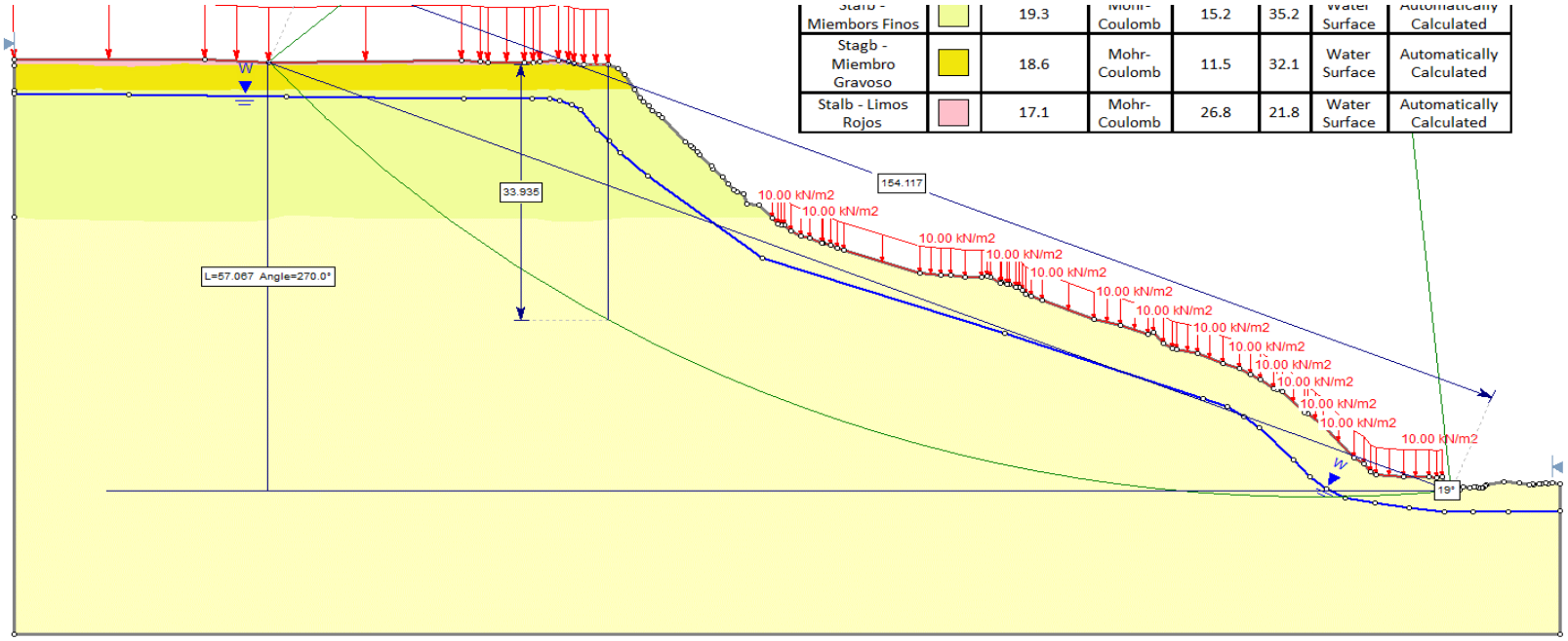


Figura 3.210 Variables geométricas del deslizamiento para la sección LF_Secc1-1'

El resumen de parámetros y el cálculo del volumen del deslizamiento (intensidad) se presenta en la Tabla 3.61:

Tabla 3.61 Cálculo del volumen y de los ángulos para la sección LF_Secc1-1'.

Cálculo Volumen		
L_r	154.117	m
D_r	33.995	m
W_r	78.695	m
f_{exp}	1.3	
V	280643.32	m3
H	57.067	m
Ψ	19	°
α	9.3	°

A partir de las ecuaciones de distancia de viaje de Corominas (1996) y Hungr et al. (2005), se define la distancia total de viaje como $\log(H/L) = A + B * \log(V)$, mediante los parámetros de la Tabla 3.62.

Tabla 3.62 Parámetros para el cálculo de distancia de deslizamiento según el tipo de mecanismo (SGC, 2016).

TIPO DE DESLIZAMIENTO	TRAYECTORIA	A	B	R2
Caída de rocas	Todo	0,210	- 0,109	0,76
	Obstruido	0,231	- 0,091	0,83
	Sin obstruir	0,167	- 0,119	0,92
Deslizamiento traslacional	Todo	- 0,159	- 0,068	0,67
	Obstruido	- 0,133	- 0,057	0,76
	Sin obstruir	- 0,143	- 0,080	0,80
Flujo de detritos	Todo	- 0,012	- 0,105	0,76
	Obstruido	- 0,049	- 0,108	0,85
	Sin obstruir	- 0,031	- 0,102	0,87
Flujos de tierra	Todo	- 0,214	- 0,070	0,65
	Sin obstruir	- 0,220	- 0,138	0,91

Tomando los parámetros para flujos de tierras sin obstruir, se obtiene una distancia de viaje desde la corona de 150.8m, por lo que al tener un ancho de 145.5m, el alcance del movimiento a partir de la pata del movimiento es de 6.3m.

En general para las edificaciones dentro de los polígonos de estudio las zonas de estudio involucradas se encontraron dentro de las zonas 2, 3 y 4, como se puede ver en las imágenes de la Figura 3.211 a la Figura 3.213.

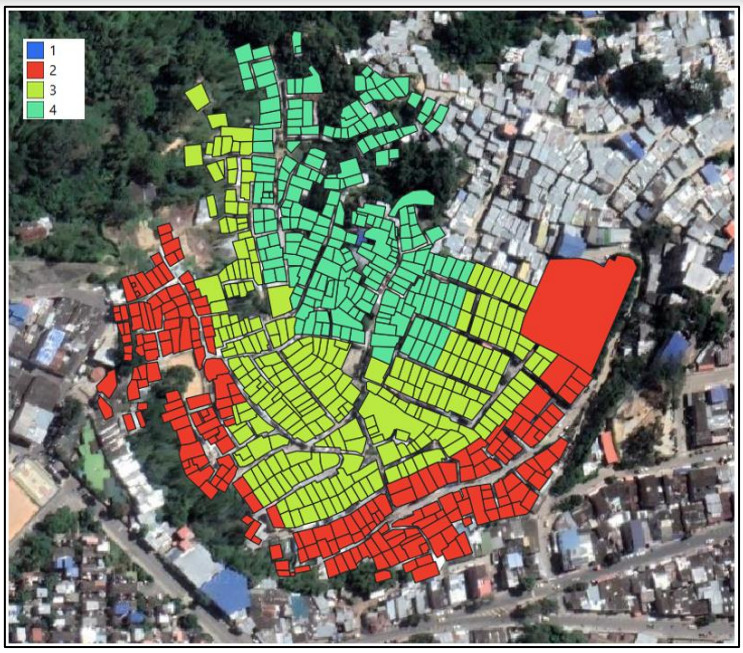


Figura 3.211 Zona de movimiento para los elementos en la Comuna 4 barrios Camilo Torres, Cuyanita, Milagro de Dios y Zarabanda



Figura 3.212 Zona de movimiento para los elementos en la Comuna 4 barrio Ciudad Perdida

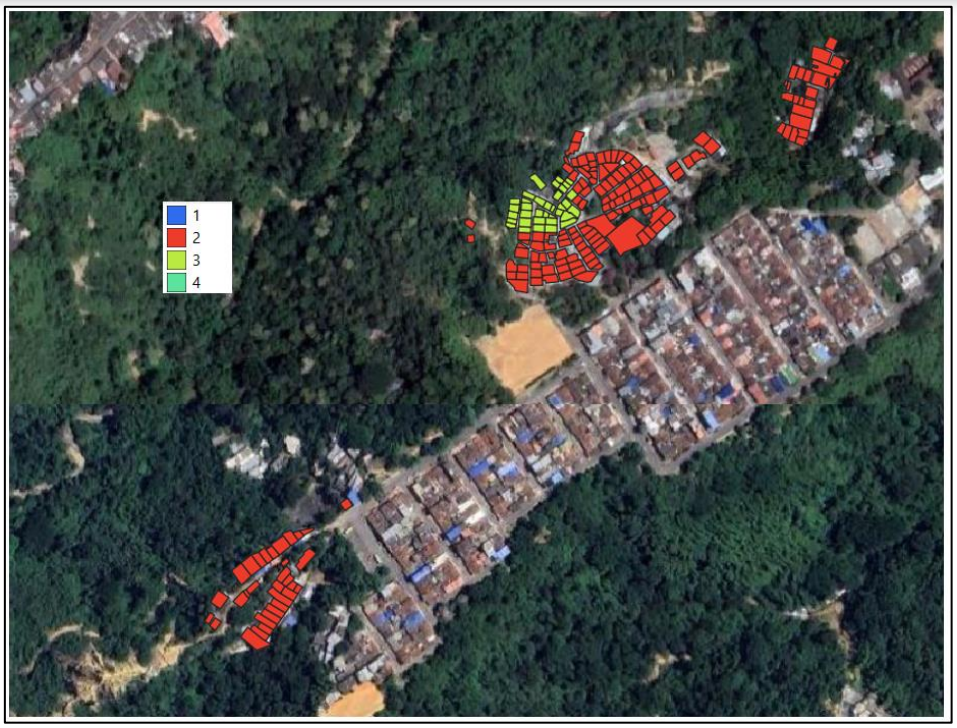


Figura 3.213 Zona de movimiento para los elementos en la Comuna 5 Pantano I, Pantano II y Pantano III

Para la designación de las zonas de movimientos tuvieron en cuenta los resultados de la modelación de amenaza por equilibrio límite en dos dimensiones, en los cuales era posible determinar las zonas de movilización. Mediante los cálculos de distancias de viaje presentados en la Guía metodológica del SGC, fue posible establecer las viviendas con zonas de movimiento 3 y 4.

- **Profundidad del movimiento:** Se asocia con la respuesta de las cimentaciones de las viviendas antes los movimientos. Si el movimiento en masa ocurre por encima de la cimentación, la estructura tendrá una respuesta más adecuada que si la superficie de falla coincide o pasa por debajo del cimiento.

  Las profundidades de movimiento se estiman en metros (m) y son obtenidas a partir de las modelaciones de estabilidad que se estimaron en el marco del cálculo de la amenaza por movimientos en masa. Los valores de profundidad fueron tomados de los resultados en Slide2 tomando las profundidades de los movimientos más representativos. En cuanto a los elementos por fuera de las curvas críticas, se tomaron profundidades asociadas al método de análisis por talud infinito.
  Las esquematizaciones de la profundidad de movimiento se presentan de la Figura 3.214 a la Figura 3.216.

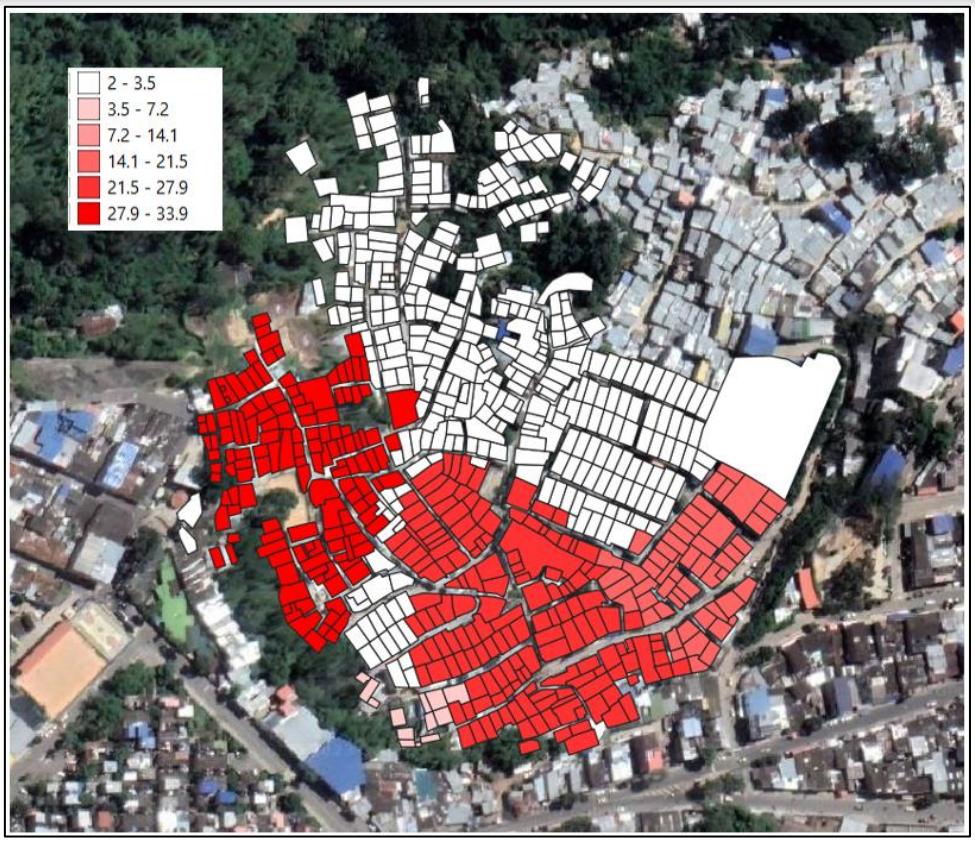


Figura 3.214 Profundidad de movimiento en metros (m) para los elementos en la Comuna 4 barrios Camilo Torres, Cuyanita, Milagro de Dios y Zarabanda



Figura 3.215 Profundidad de movimiento en metros (m)para los elementos en la Comuna 4 barrio Ciudad Perdida

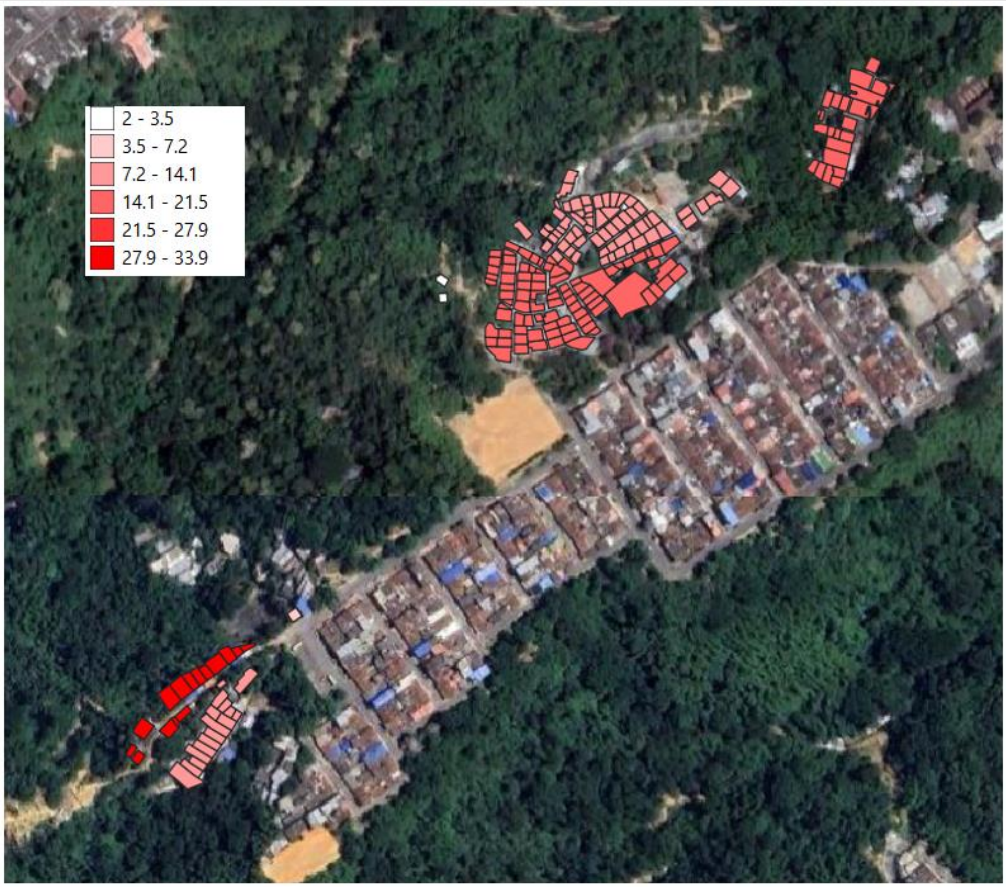


Figura 3.216 Profundidad de movimiento en metros (m) para los elementos en la Comuna 5 Pantano I, Pantano II y Pantano III

- **Velocidad del movimiento:** la velocidad del movimiento está asociada con la respuesta de las edificaciones ante las deformaciones que se presenten debido a los movimientos que se espera se presenten una vez desencadenado un evento de movimiento en masa.

  Las visualizaciones de velocidad de movimiento acorde a las categorías mencionadas se presentan de la Figura 3.217 a la Figura 3.219.

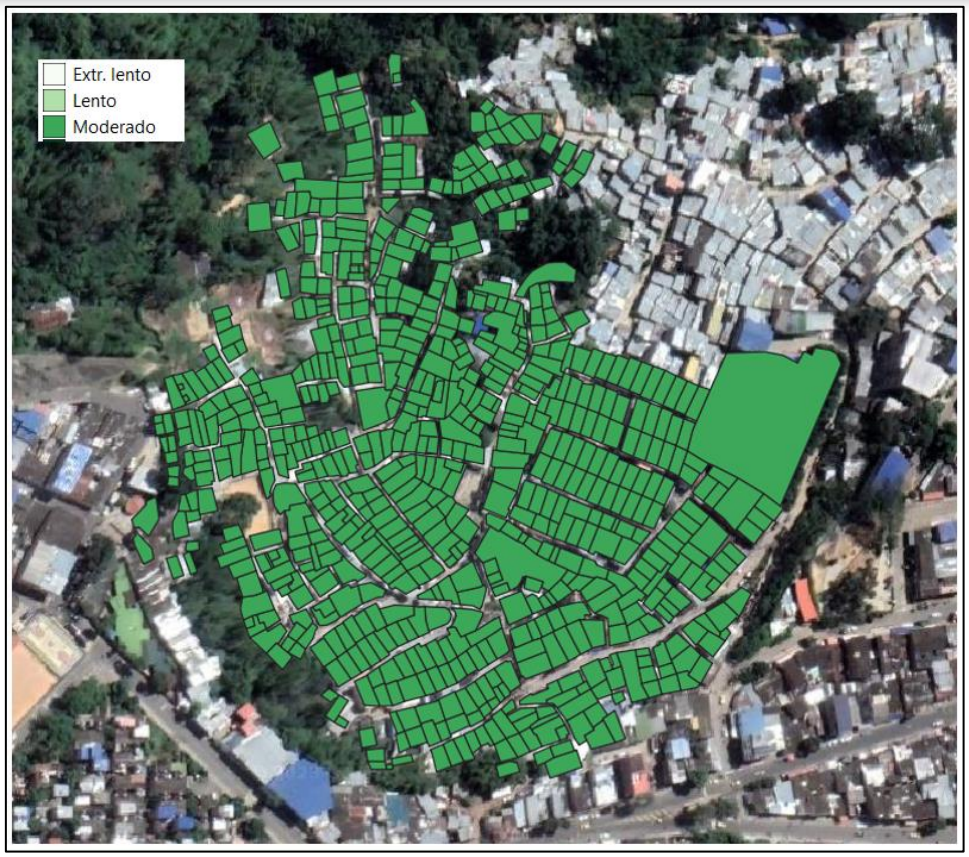


Figura 3.217 Velocidad de movimiento para los elementos en la Comuna 4 barrios Camilo Torres, Cuyanita, Milagro de Dios y Zarabanda



Figura 3.218 Velocidad de movimiento para los elementos en la Comuna 4 barrio Ciudad Perdida



Figura 3.219 Velocidad de movimiento para los elementos en la Comuna 5 Pantano I, Pantano II y Pantano III

3.10 ETAPA 9: ANÁLISIS DE DETALLADO DE AMENAZA DE INUNDACIÓN

3.10.1 Modelación Hidráulica

El análisis hidráulico es esencial para determinar el comportamiento de las aguas de escorrentía que fluyen a través de asentamiento humanos con especial interés los casos donde se presentan precipitaciones extremas que pueden generar inundación o infiltración excesiva y desestabilización del terreno. Este análisis hidráulico permitirá identificar las áreas que son más susceptibles a la inundación, evaluar la magnitud y la probabilidad de inundaciones en diferentes escenarios, y servir como insumo para diseñar medidas de gestión de riesgos contra inundaciones y de infraestructura para el manejo de escorrentía en el asentamiento humano, permitiendo así, reducir las afectaciones en estas comunidades ante futuros eventos hidrológicos extremos y favoreciendo su seguridad y bienestar.

A continuación, se presenta la metodología para la estimación de estas propiedades según el tipo de inundación a tratar.

3.10.1.1 Distribución Vectorial del Flujo

En la hidrología e hidráulica se han adoptado herramientas geoespaciales como la acumulación del flujo a partir de modelos de elevación del terreno para predecir las zonas por las que circulara el agua de escorrentía de una cuenca hidrográfica. Sin embargo, en el caso de las zonas urbanas, se hace necesario la realización análisis complementarios de tipo vectorial a partir de modelos de elevación de superficie que permitan tener en cuenta los cambios de dirección y flujo debido a las edificaciones y otros obstáculos existente.

Este tipo de analisis pérmite analizar las tendencias del flujo en una zona de interes para determinar si existen zonas de acumulacion o encharcamiento, asi como tambien las principales zonas de entrada y salida de aguas de escorrentia. A continuacion se presenta el analisis vectorial realizado para los asentamientos de interes mediante la herramienta vector grid bajo el motor de Golden Sufer.

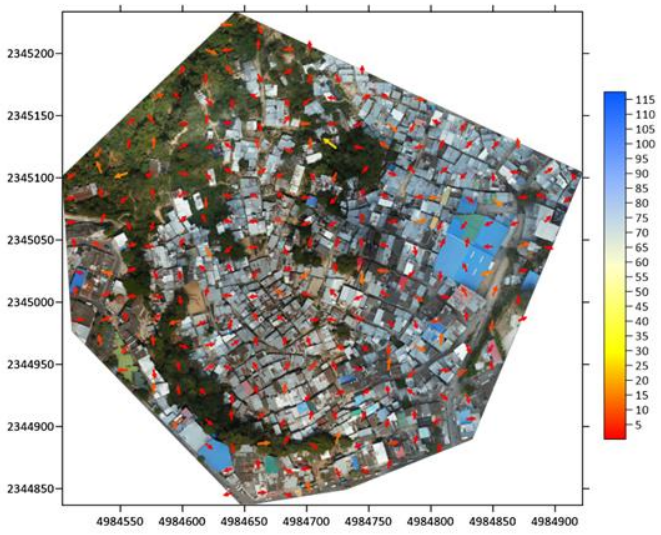


Figura 3.220 Distribución Vectorial del Flujo Asentamiento Humano La Feria



Figura 3.221 Distribución Vectorial del Flujo Asentamiento Divino Niño

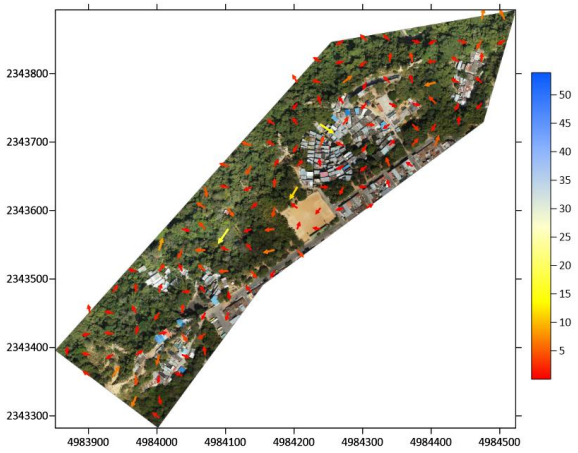


Figura 3.222 Distribución Vectorial del Flujo Asentamiento Humano Pantano

3.10.1.2 Modelo Bidimensional

El modelo HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System) es un software ampliamente utilizado en la modelación hidráulica de ríos y canales. En particular, HEC-RAS ofrece la capacidad de realizar análisis bidimensionales del flujo de agua en sistemas hidráulicos. Esta característica permite una representación más precisa y detallada del comportamiento hidráulico en comparación con los enfoques unidimensionales.

Así mismo se requiere definir condiciones de contorno del modelo las cuales un papel fundamental en los modelos HEC-RAS bidimensionales, ya que definen los límites y las interacciones del flujo de agua con el entorno. Estas condiciones son esenciales para simular adecuadamente el comportamiento hidráulico y obtener resultados precisos y realistas. De forma general se definieron condiciones de contorno para la salida del flujo basadas en un tirante hidráulico normal y una pendiente de fricción de 0.02. Por otra parte, las condiciones de contorno de entrada se establecen a partir de hidrogramas de creciente que distribuyen los caudales hidrológicos en diferentes puntos de entrada cercanos a las zonas duras y peatonales de los asentamientos humanos por donde se espera fluyan las aguas de escorrentía.

Finalmente se definió un valor general de rugosidad de Manning de 0.030 teniendo en cuenta que los flujos esperados se dan a través de peatonales y caminos representados en general por una clasificación de cobertura como tejido urbano discontinuo.

Proceso

El procesamiento de modelos hidráulicos bidimensionales requiere de la configuración de múltiples parámetros de análisis que permitan la obtención de resultados precisos. Entre los parámetros mas significativos se encuentran el tamaño del paso y el tiempo de calentamiento para la determinación de condiciones iniciales.

Otro aspecto importante en los modelos bidimensionales es el tiempo de calentamiento en el cual el modelo hidráulico se estabiliza antes de que se registren los resultados de interés. Durante este tiempo, las condiciones de flujo y las variables hidráulicas alcanzan un estado estable permitiendo "humectar" aquellas celdas cuyas condiciones iniciales cuentan con un flujo para permitir el correcto desarrollo de las ecuaciones de onda difusa utilizadas por el programa. A continuación, se presentan los parámetros utilizados para el modelamiento realizado.

Postproceso y Análisis de Resultados

Finalmente se presentan los resultados de calado y velocidad del flujo para cada asentamiento humanos. En la Figura 3.223 y Figura 3.224 presenta los resultados obtenidos para el asentamiento humano divino niño. En este podemos observar como la vía principal se convierte en el canal conductor de las aguas de escorrentía provenientes del talud, las cuales son finalmente descargadas mediante las peatonales saliendo del asentamiento y retomando el cauce natural. Estos resultados no constituyen en si mismos una amenaza por inundación según lo establecido formalmente por la resolución 1294 de la CDMB, ya que no existe un drenaje en si en el asentamiento. Sin embargo, si se evidencia la necesidad de proyectar obras de alcantarillado que permitan manejar adecuadamente las aguas de escorrentía derivadas de los taludes y tejados en general de las viviendas para evitar fenómenos de erosión, así como favorecer la seguridad y usabilidad de las vías y peatonales ante fenómenos de lluvia intensa.

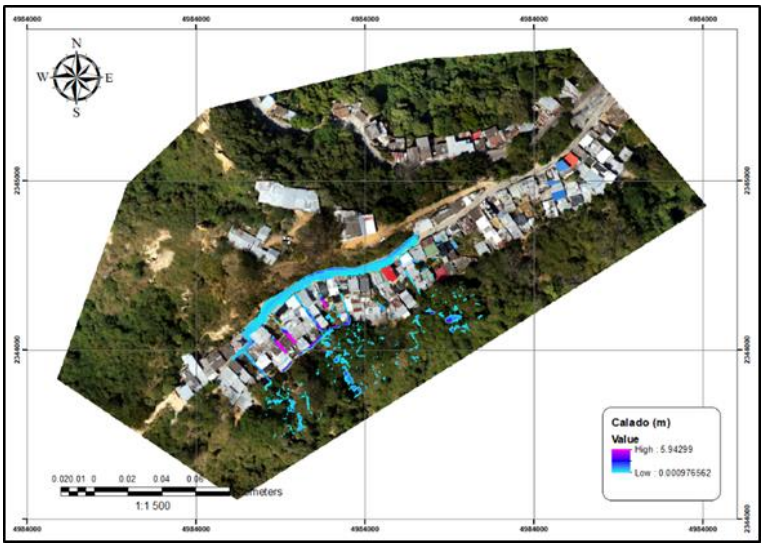


Figura 3.223 Calado (m) Análisis Bidimensional Asentamiento Humano Divino Niño

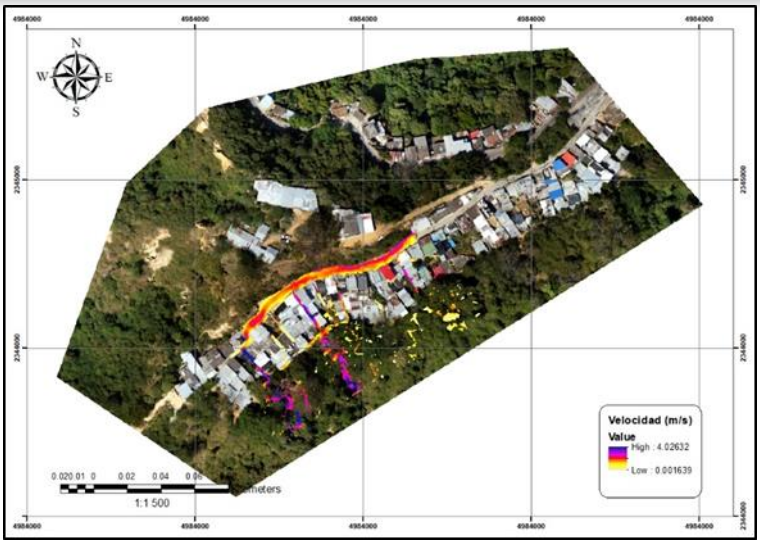


Figura 3.224 Velocidad (m/s) Análisis Bidimensional Asentamiento Humano Divino Niño

La Figura 3.225 y Figura 3.226 presentan los resultados obtenidos para el asentamiento Pantano 1. Actualmente el asentamiento cuenta con un canal que canaliza buena parte de las aguas de escorrentía, sin embargo, a partir de la modelación se evidencio que la sección hidráulica de este canal no es suficiente para drenar ante eventos de intensa precipitación (TR100). Así mismo se evidenciaron algunas zonas de encharcamiento o acumulación con velocidades muy bajas en el pie del talud junto a las viviendas existentes por lo que se evidencia la necesidad de implementar obras de alcantarillado que permitan evacuar de forma óptima estas acumulaciones.

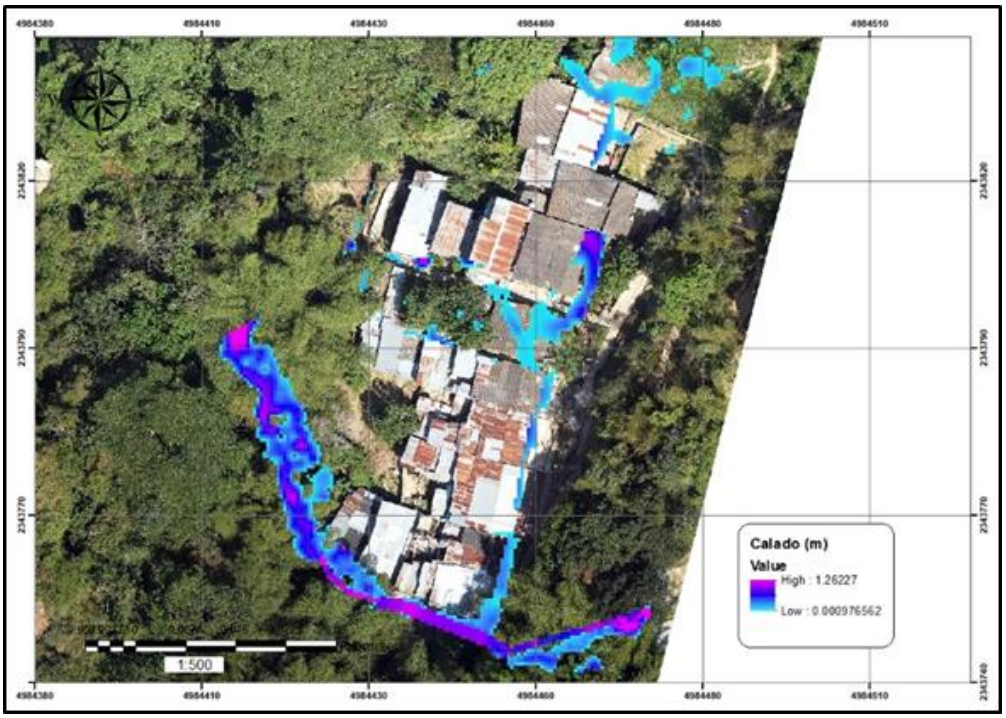


Figura 3.225 Calado (m) Análisis Bidimensional Asentamiento Humano Pantano I

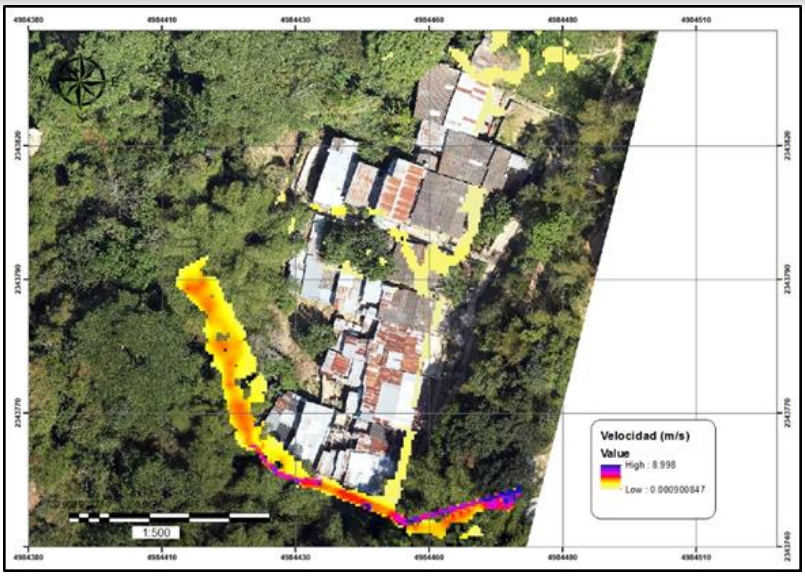


Figura 3.226 Velocidad (m/s) Análisis Bidimensional Asentamiento Humano Pantano I

La Figura 3.227 y Figura 3.228 presentan los resultados obtenidos para calado y velocidad del asentamiento Pantano II. En estas se puede observar como las aguas de escorrentía transitan a través de las zonas duras y peatonales del asentamiento hasta confluir finalmente en el nuevo inicio del drenaje natural debido a las modificaciones morfométricas de origen antrópico. Este asentamiento cuenta actualmente con una red de alcantarillado, sin embargo, debido a los alcances mismos del estudio, no fue posible determinar si la infraestructura existente cuenta con capacidad hidráulica suficiente para el correcto drenaje de estas aguas. Así mismo existe se desconoce la entrada y salida de la mayoría de estas alcantarillas y si existen o no conexiones erradas en el sistema que afecten esta capacidad de drenaje.

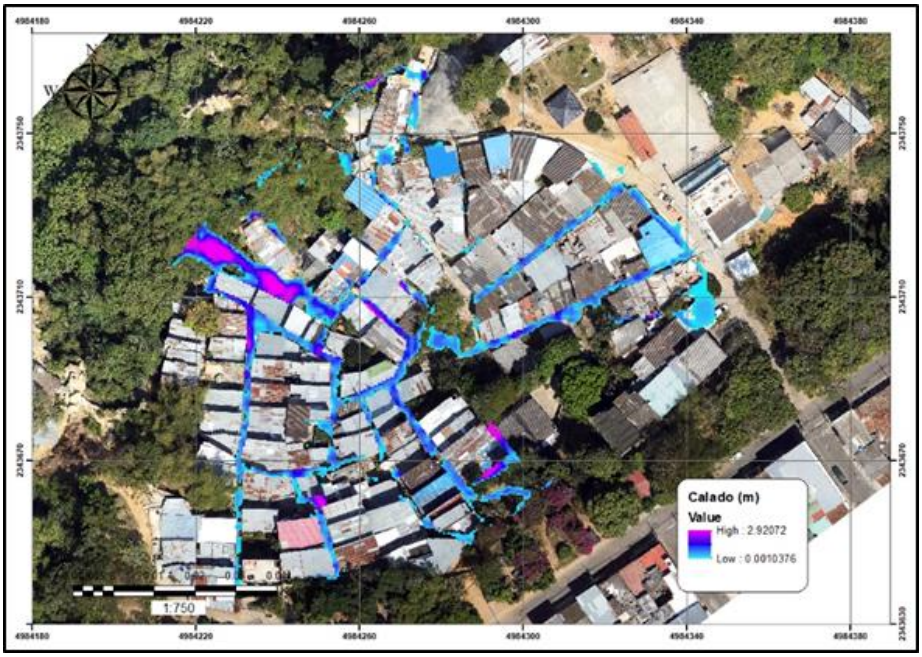


Figura 3.227 Calado (m) Análisis Bidimensional Asentamiento Humano Pantano II

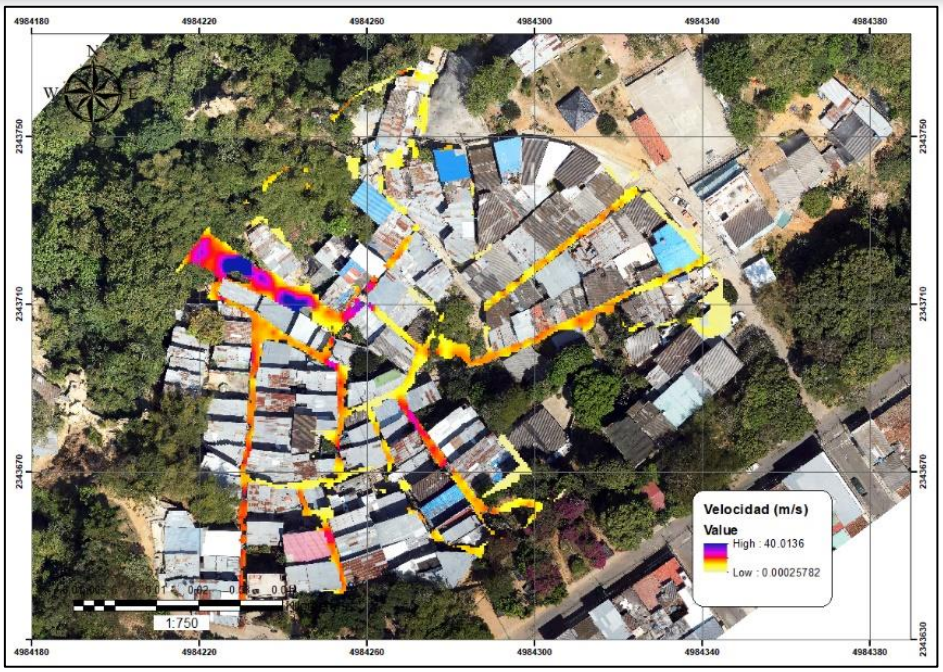


Figura 3.228 Velocidad (m/s) Análisis Bidimensional Asentamiento Humano Pantano II

En el caso del asentamiento Pantano III se analizó el drenaje existente adyacente al asentamiento con resultados positivos debido a que no se presentan afectaciones por crecientes TR100 y TR500 para este asentamiento según. lo presenta la Figura 3.229 y Figura 3.230.

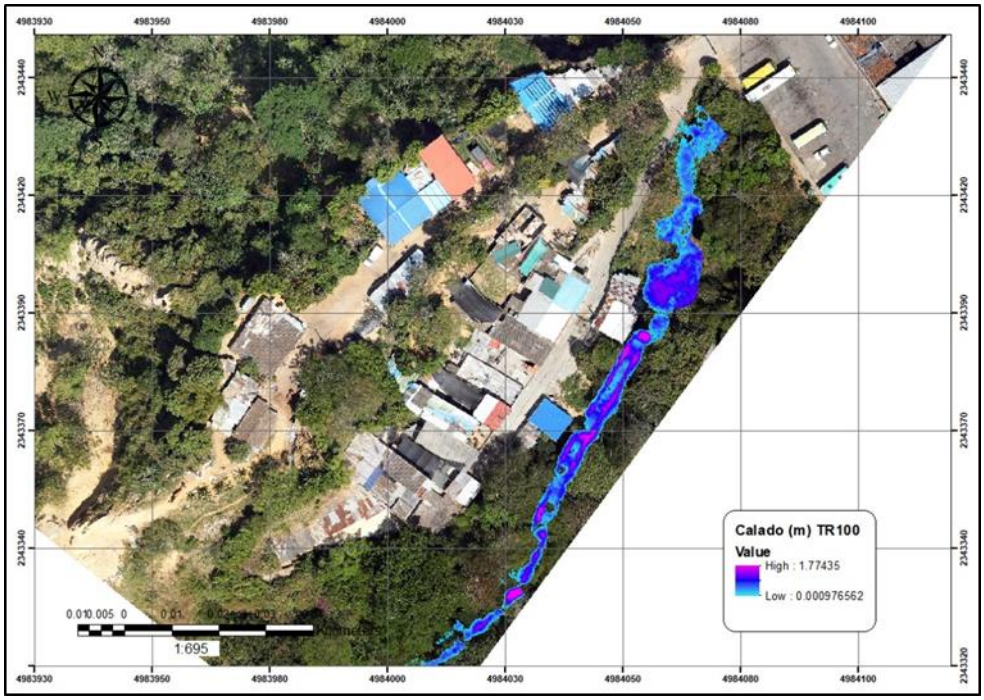


Figura 3.229 Calado TR100 (m) Asentamiento Humano Pantano III

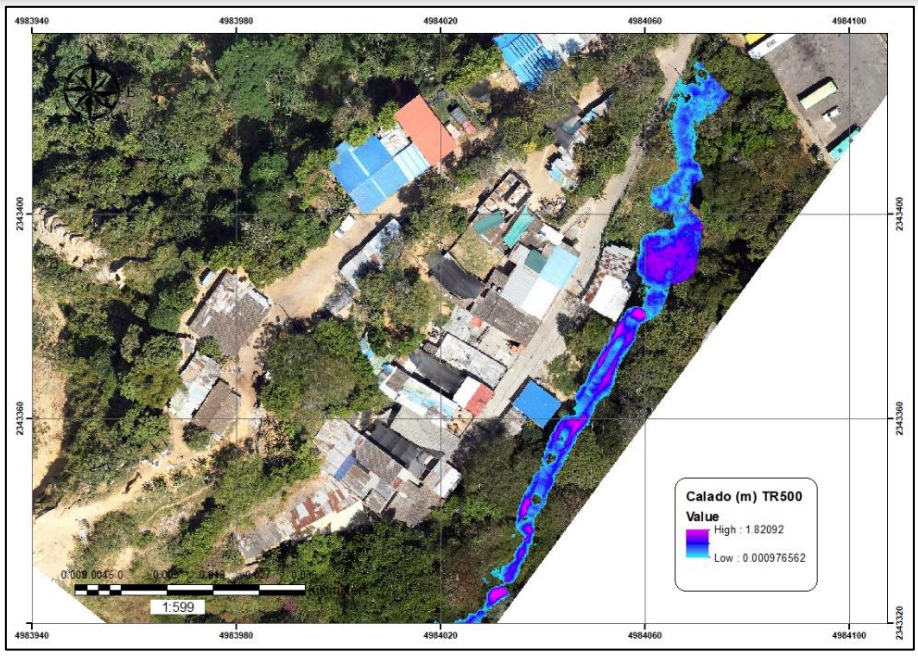


Figura 3.230 Calado TR500 (m) Asentamiento Humano Pantano III

Finalmente, el análisis realizado para el asentamiento humano de la Comuna 4 permite evidenciar como las aguas de escorrentía provenientes de los taludes adyacentes y tejados de las viviendas fluyen a través de las vías y peatonales del asentamiento. Nuevamente, estos resultados no constituyen en sí mismos una amenaza por inundación según lo establecido formalmente por la resolución 1294 de la CDMB, ya que no existe un drenaje en si en el asentamiento debido a las construcciones realizadas. Sin embargo, si se evidencia la necesidad de proyectar obras de alcantarillado que permitan manejar adecuadamente las aguas de escorrentía derivadas de los taludes y tejados en general de las viviendas para evitar fenómenos de erosión, así como favorecer la seguridad y usabilidad de las vías y peatonales ante fenómenos de lluvia intensa.

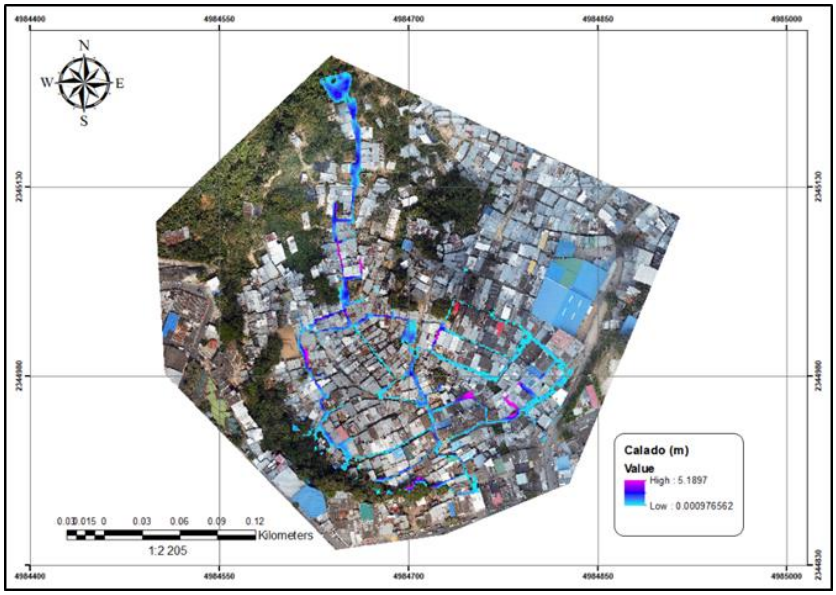


Figura 3.231 Calado (m) Asentamiento Humano Comuna

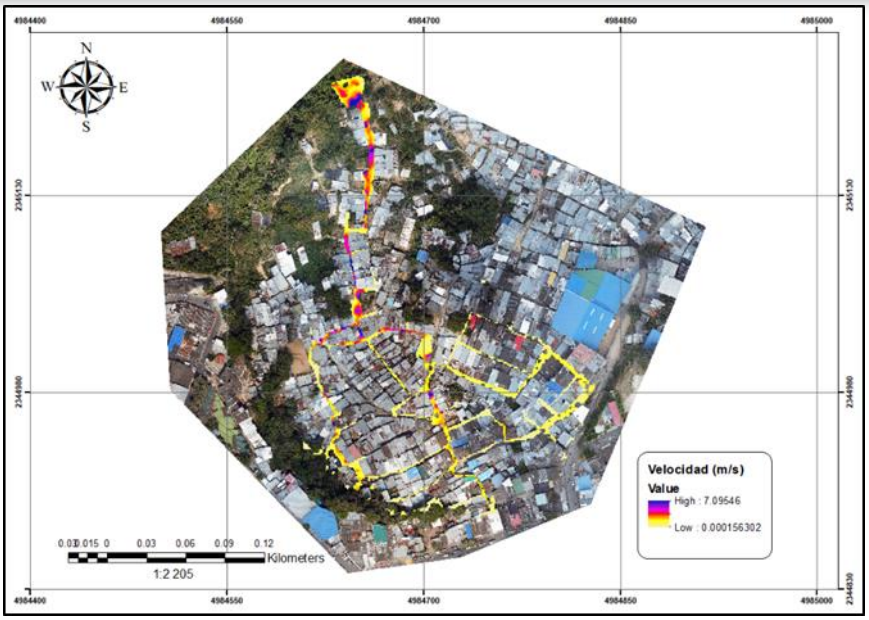


Figura 3.232 Velocidad (m/s) Asentamiento Humano Comuna 4

3.11 ETAPA 10: ANÁLISIS DETALLADO DE AMENAZA POR AVENIDA TORRENCIAL

3.11.1 Desarrollo de la Metodología de Susceptibilidad Ante Eventos de Avenidas Torrenciales

3.11.1.1 Identificación del Área de Estudio

Las áreas de estudio se encuentran ubicada en el área de drenaje de la Quebrada Argelia para los asentamientos Camilo Torres, Cuyanita, Zarabanda y Milagro de Dios, el área de influencia y sobre la margen izquierda de la quebrada Cuyamita, para el asentamiento Divino Niño de la Comuna 4, y la quebrada Seca sobre la margen derecha en los asentamientos Pantano I, Pantano II y Pantano III de la comuna 5 del municipio de Bucaramanga. En la siguiente figura se presenta la identificación de estos sectores.

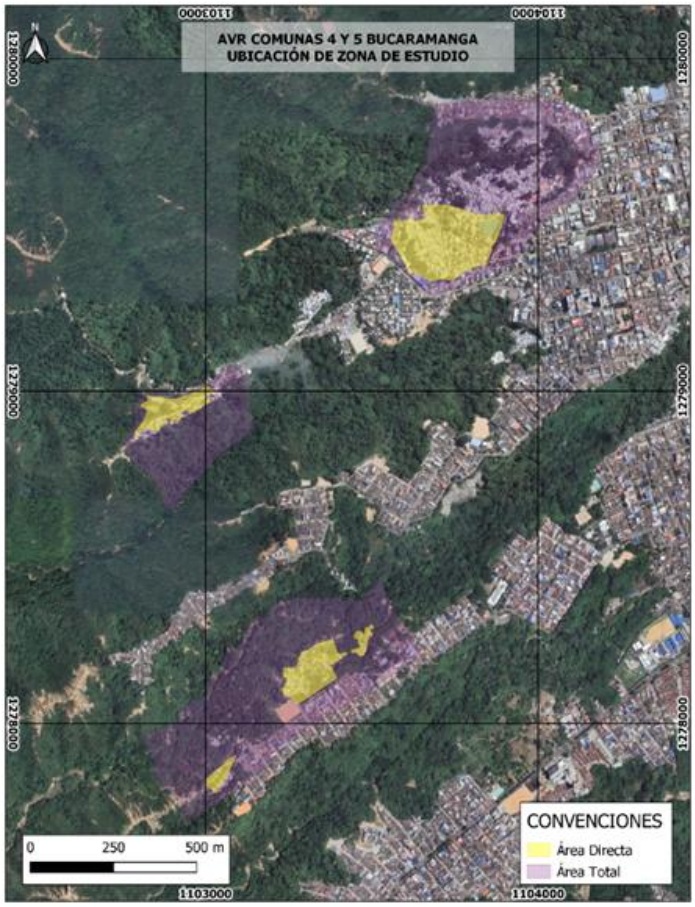


Figura 3.233 Localización de los sectores objeto de estudio en el análisis de amenaza por avenidas torrenciales

3.11.1.2 Recopilación de Eventos Torrenciales en las Comunas 4 y 5

Históricamente no se tiene registro de avenidas torrenciales propiamente en el área de estudio en fuentes oficiales como Desinventar, UNGRD o DNP. Es decir, al realizar la consulta de la información secundaria con el fin de conocer el registro fluviotorrencial histórico, en las zonas de interés no se evidenciaron eventos torrenciales, esto se puede explicar desde el punto de vista geomorfológico debido a la localización geográfica a nivel de las cuencas sobre las que se ubican los elementos

expuestos, para el caso de la comuna 4 en el sector de los Barrios Cuyanita, Camilo Torres, Zarabanda y Milagro de Dios el área de interés se localiza en la zona de divisoria o parteaguas sobre la margen izquierda de la quebrada Argelia o Cantera; mientras que, para el caso de Ciudad Perdida las viviendas se localizan en la divisoria de la margen derecha de la quebrada Cuyamita.

Finalmente, en la zona de la comuna 5 en los sectores de Pantanos I, II y III las zonas urbanizadas se ubican sobre la parte alta y a media ladera de la margen derecha de la quebrada Seca. No obstante, y de acuerdo al reconocimiento de campo realizado en el presente estudio no se identificaron geoformas indicativas de depósito dentro del área de interés asociadas a sitios que pueden afectarse por materiales transportados por eventos de tipo flujo o avenida torrencial que movilicen porcentajes volumétricos de sólidos que puedan afectar drásticamente las viviendas.

Susceptibilidad Ante Eventos Torrenciales Según la Pendiente

Esta variable corresponde al ángulo que forma una ladera o terreno respecto a un plano horizontal. La inclinación de la ladera está relacionada con el tipo de material que conforma la unidad morfológica y con la susceptibilidad de dicha unidad a presentar movimientos en masa, así mismo con la identificación de posibles zonas de aporte volumétrico a los cauces ante un evento de avenida torrencial.

Para analizar este parámetro morfométrico, se generó el modelo de pendientes del terreno utilizando la herramienta slope de ArcMap, partiendo del insumo el modelo de elevación digital de alta resolución (0,2 m/píxel), este modelo fue reclasificado según los 7 rangos de pendiente propuestos por Carvajal (2012), que van desde plana o suavemente inclinada a muy escarpada.

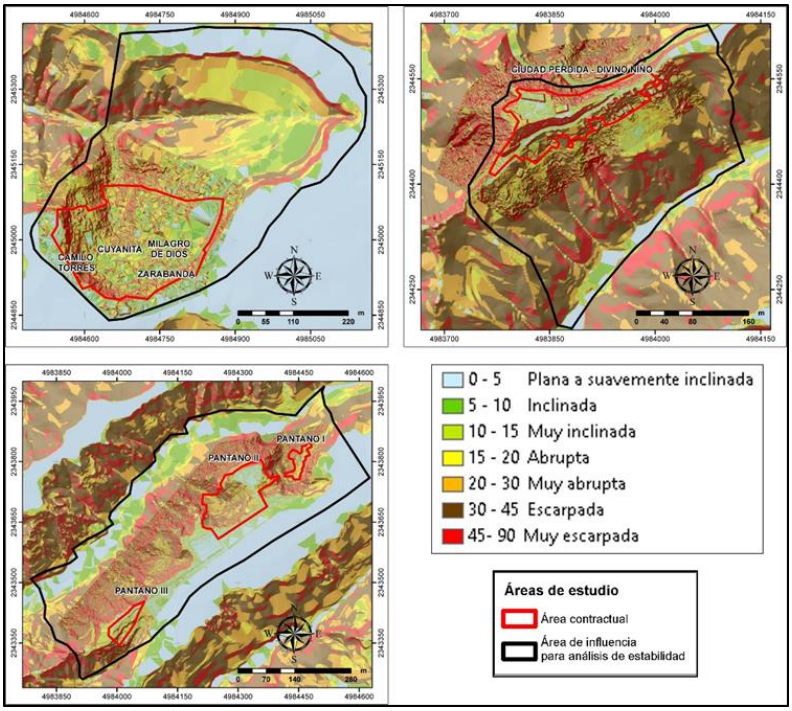


Figura 3.234 Rangos de pendiente en los sectores objeto de estudio para el análisis de amenaza por avenidas torrenciales, en sistema de coordenadas origen único nacional CTM12

Se presenta la tabla de reclasificación de la pendiente

Tabla 3.63 Reclasificación de Pendiente

PENDIENTE %	CÓDIGO
0-8	1
8-16	2
16-24	3
24-45	4
>45	5

A continuación, se presentan los mapas de reclasificación de las pendientes de cada uno de los asentamientos

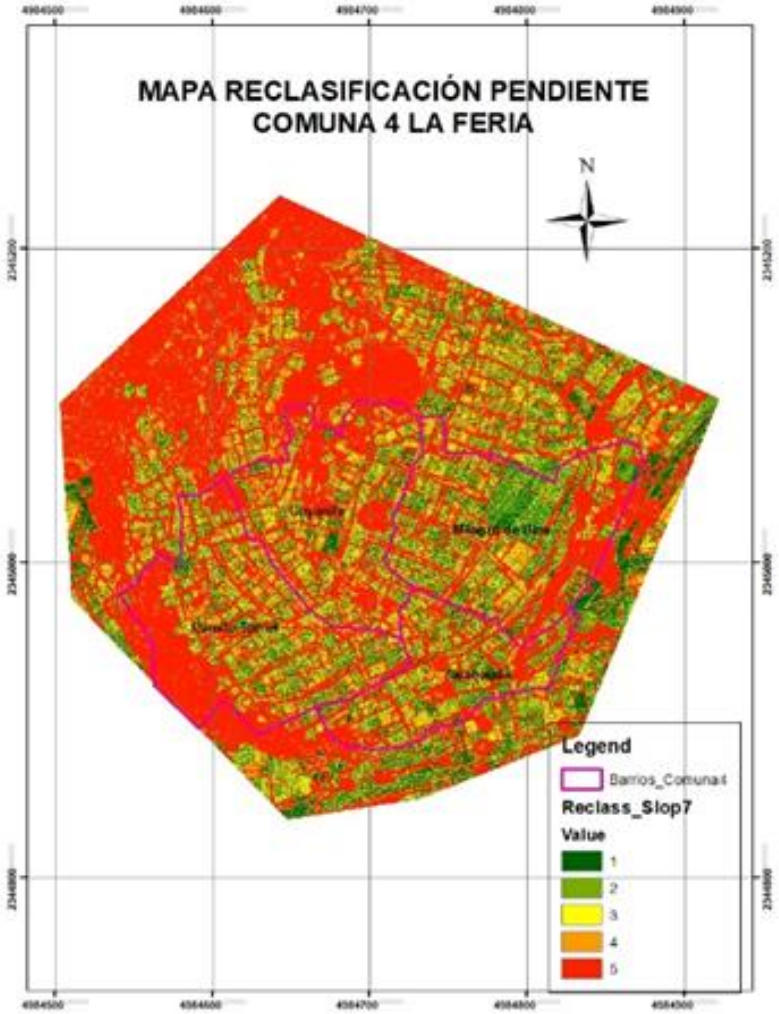


Figura 3.235 Reclasificación de pendiente La Feria, en sistema de coordenadas origen único nacional CTM12

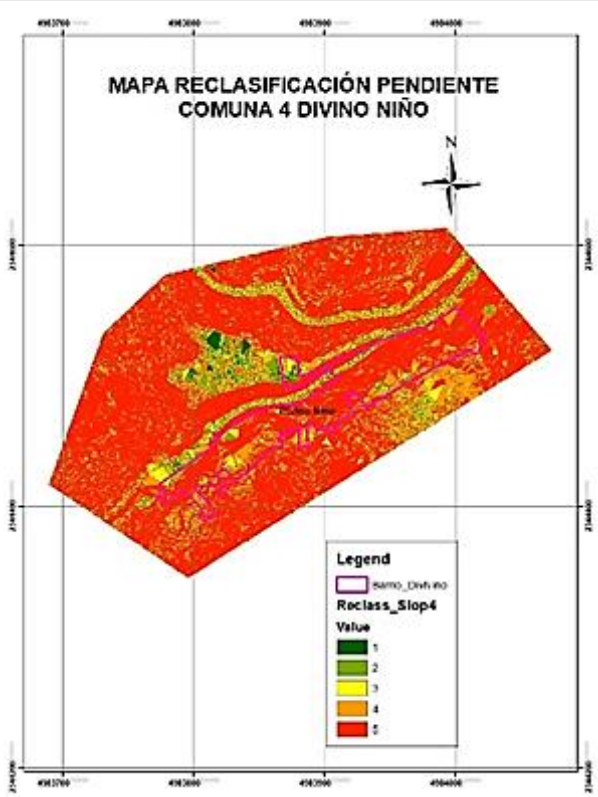


Figura 3.236 Reclasificación de pendiente Divino Niño, en sistema de coordenadas origen único nacional CTM12

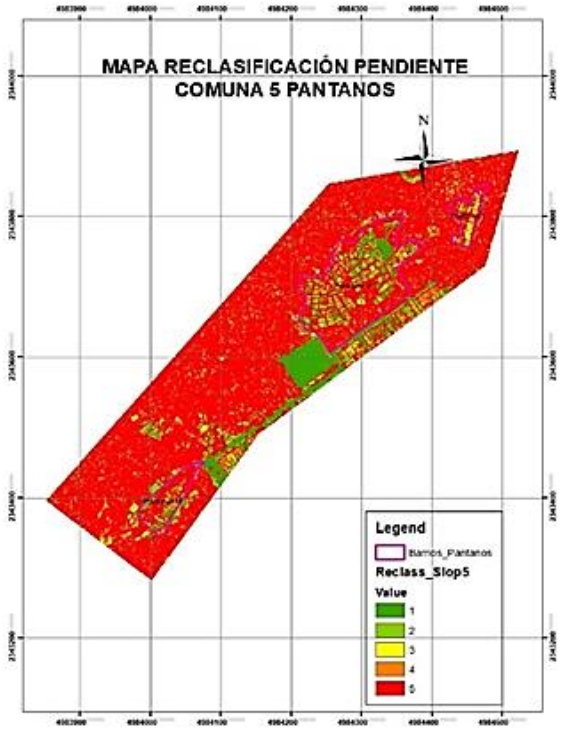


Figura 3.237 Reclasificación de pendiente Pantanos, en sistema de coordenadas origen único nacional CTM12

Susceptibilidad Ante Eventos Torrenciales Según la Cobertura

Generalmente los eventos de avenidas torrenciales están estrechamente relacionados a la perdida de cobertura vegetal, ya que influyen en la estabilidad del terreno al permitir un mayor grado de erosión y modificar la capacidad de infiltración de los suelos, lo cual indica un mayor aporte de sedimentos o carga sólida. Por otro lado, las coberturas con abundante vegetación permiten una mayor capacidad de infiltración de los suelos y protección de los mismos ante el fenómeno de erosión, en cuanto a las zonas impermeabilizadas estas contribuyen a la estabilidad y reducción de aportes de carga sólida ante eventos torrenciales.

Se presenta tabla de reclasificación de la cobertura

Tabla 3.64 Reclasificación de la Cobertura

COBERTURA	CÓDIGO
Red vial y terrenos asociados	1
Tejido urbano continuo	
Arbustal denso	2
Otras zonas verdes urbanas	
Parques urbanos	
Tejido urbano discontinuo	
Areas deportivas	3
Herbazal denso de tierra de firme no arbolado	
Herbazal abierto arenoso	4
Arbustal abierto esclerófilo	5
Ríos	
Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas	
Tierras desnudas y degradadas	

A continuación, se presenta los mapas de reclasificación de las coberturas de los asentamientos

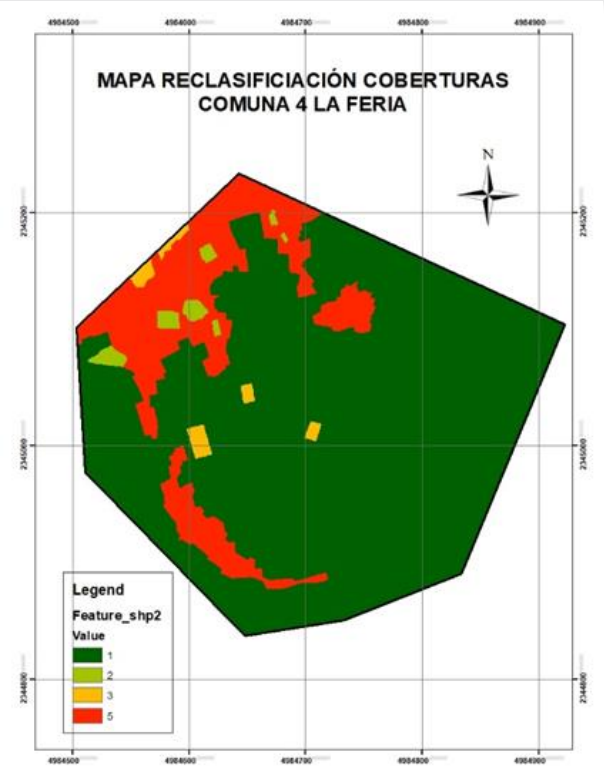


Figura 3.238 Reclasificación de Coberturas La Feria, en sistema de coordenadas origen único nacional CTM12

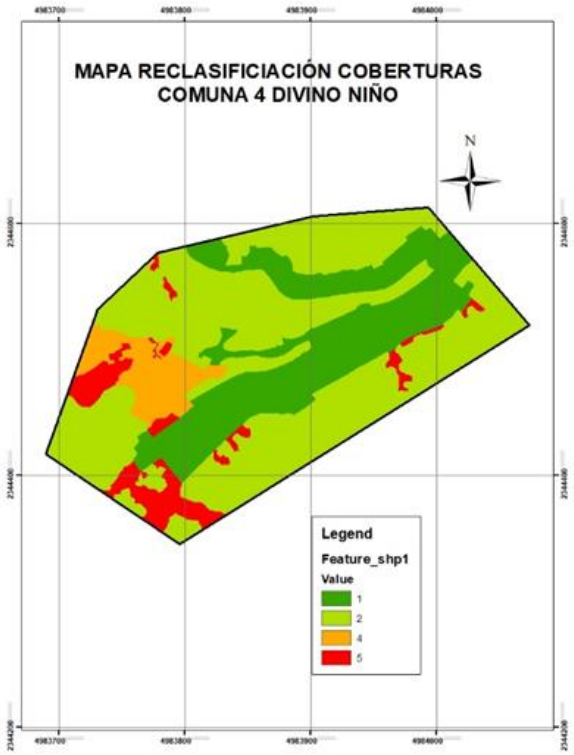


Figura 3.239 Reclasificación de Coberturas Divino Niño, en sistema de coordenadas origen único nacional CTM12

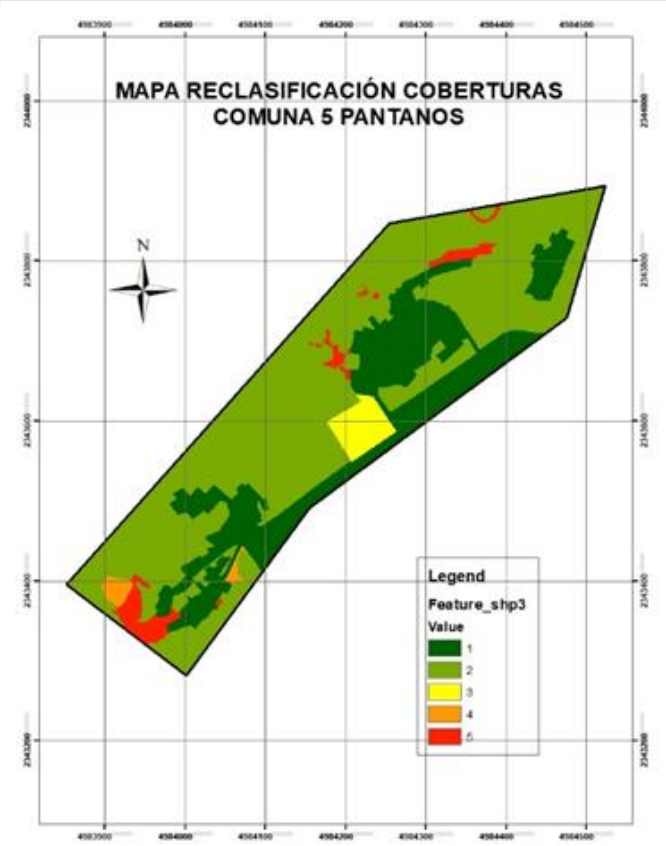


Figura 3.240. Reclasificación de Coberturas Pantanos, en sistema de coordenadas origen único nacional CTM12

<u>Susceptibilidad Ante Eventos Torrenciales Según el Inventario de Movimientos en Masa</u>

Esta fase comprende los movimientos en masa que han sido identificados y cartografiados a través de la fotointerpretación de sensores remotos, y, además, aquellos que fueron verificados y/o levantados mediante las comisiones de campo. Para el presente proyecto, la mayoría de movimientos en masa y procesos erosivos cartografiados se obtuvieron a partir del inventario geomorfológico, y la interpretación de sensores remotos, posteriormente validados en el levantamiento de campo en dos campañas realizadas en los meses de febrero y marzo de 2023.

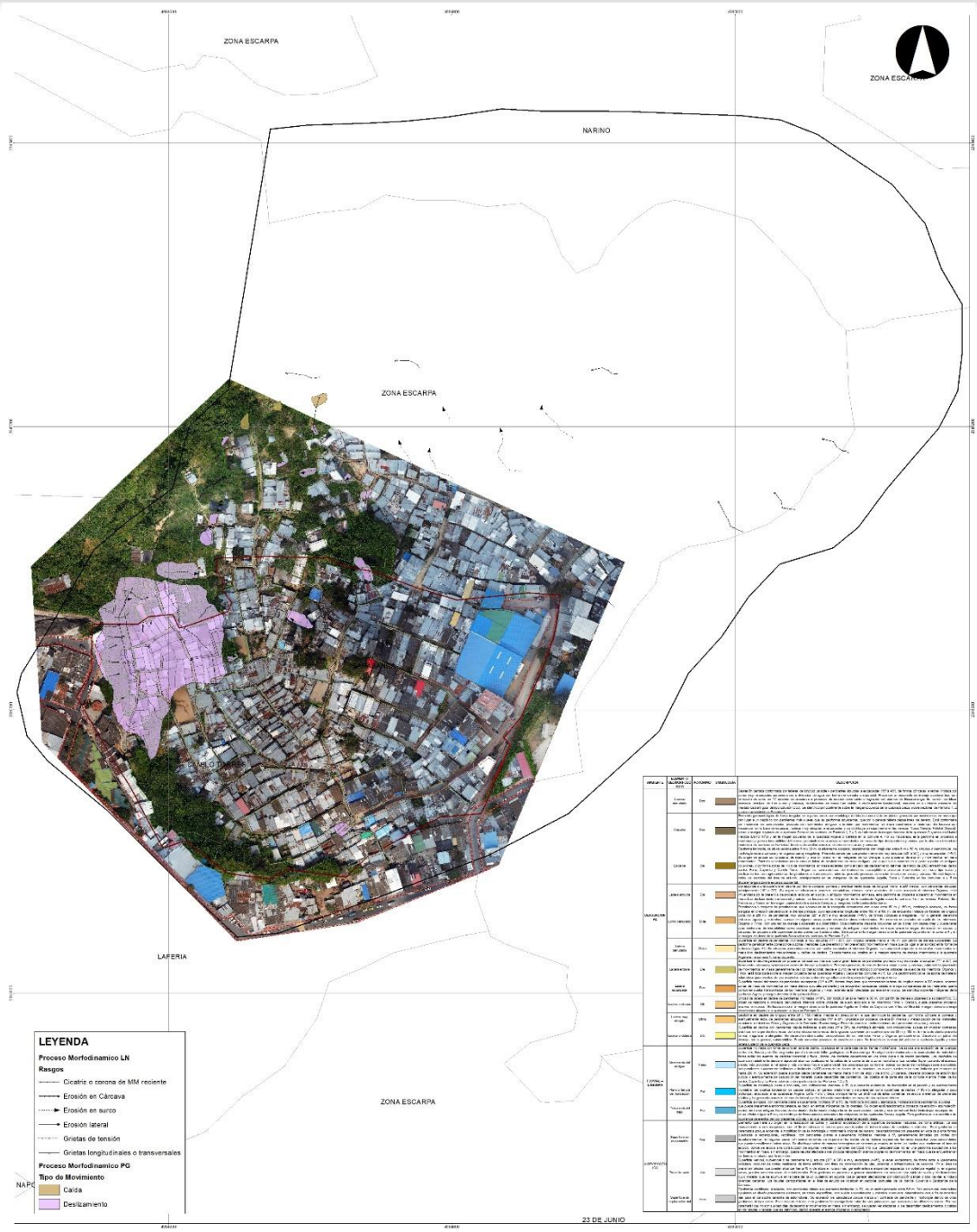


Figura 3.241 Esquema del mapa de inventario de procesos morfodinámicos del área de estudio en la comuna 4, barrios Zarabanda, Camilo Torres, Milagro de Dios y Cuyanita

El esquema se encuentra en el sistema de coordenadas del origen único nacional CTM12



Figura 3.242 Esquema del mapa de inventario de procesos morfodinámicos del área de estudio en el barrio Ciudad Perdida (Divino Niño) de la comuna 4

El esquema se encuentra en el sistema de coordenadas del origen único nacional CTM12



Figura 3.243 Esquema del mapa de inventario de procesos morfodinámicos del área de estudio en la comuna 5, barrios Pantano 1, 2 y 3

El esquema se encuentra en el sistema de coordenadas del origen único nacional CTM12

Una vez realizado el inventario de procesos morfodinámicos se logró identificar que los movimientos en masa presentes dentro de las áreas de estudio no llegan directamente a los canales o drenajes, aunque se lograron identificar aquellos que tienen una cercanía potencial de aporte volumétrico hacia el drenaje, aunque es importante precisar que si estos procesos presentan un avance hacia laderas inferiores por intervenciones antrópicas se deberá monitorear y evitar el aporte volumétrico y posibles

represamientos de los drenajes (por detritos leñosos o material antrópico). Así mismo dentro del análisis se cartografiaron zonas de erosión lateral como rasgos geomorfológicos asociados a la dinámica fluvial normal de los cursos de las quebradas Cuyamita, Argelia y Seca, el cual se presenta en las siguientes figuras.

Para el caso de la margen derecha de la quebrada Argelia que cubre parte de la comuna 4, se identificaron 4 deslizamientos y 2 caídas que por cercanía al cauce y un potencial comportamiento avanzado, podrían aportar volumen a la quebrada ante una eventual avenida torrencial; mientras que para el caso de los sectores de ciudad perdida, Pantanos I, II y III, los MM se localizan hacia la divisoria y parte alta de la ladera, lo que permite evidenciar e inferir un aporte mínimo al cauce ante un evento fluviotorrencial.

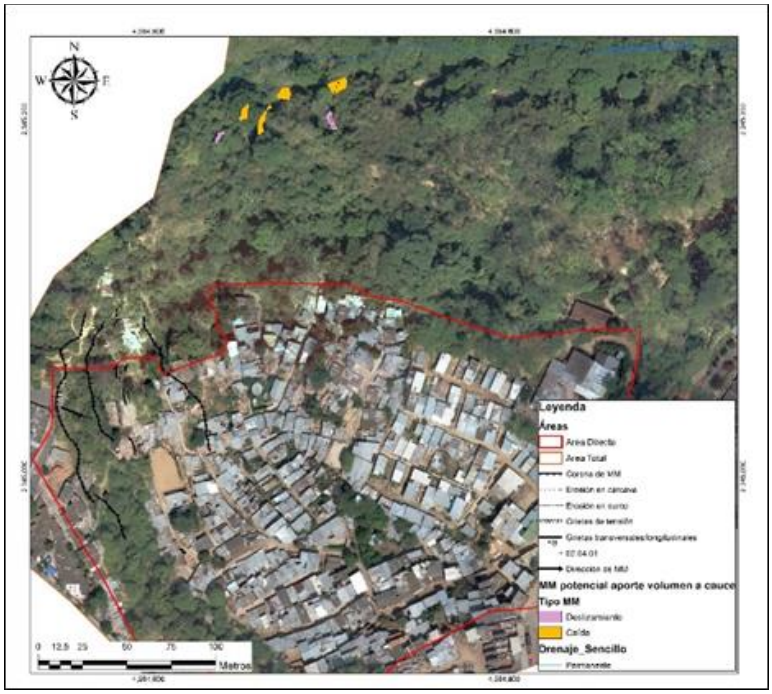


Figura 3.244 Esquema que presenta los MM con posible aporte volumétrico a la quebrada Argelia, según el tipo, 4 deslizamientos y caídas, sobre la comuna 4, barrios Zarabanda, Camilo Torres, Milagro de Dios y Cuyanita

El esquema se encuentra en el sistema de coordenadas del origen único nacional CTM12

Se presenta tabla de reclasificación de movimiento en masa

Tabla 3.65 Reclasificación de Movimientos en Masa

MOVIM_MASA	CÓDIGO
Sin Movim en Masa	1
Deslizamiento	3
Caída	

A continuación, se presentan los mapas de reclasificación de los movimientos en masa de los asentamientos.

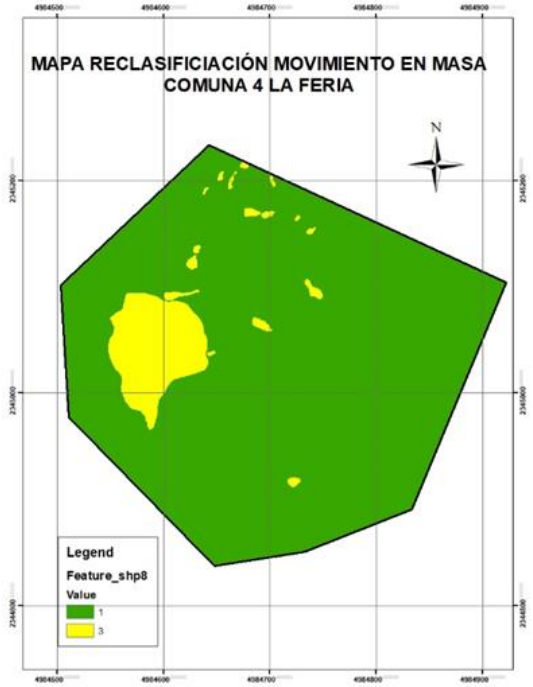


Figura 3.245 Reclasificación de Movimiento en masa La Feria, en sistema de coordenadas origen único nacional CTM12

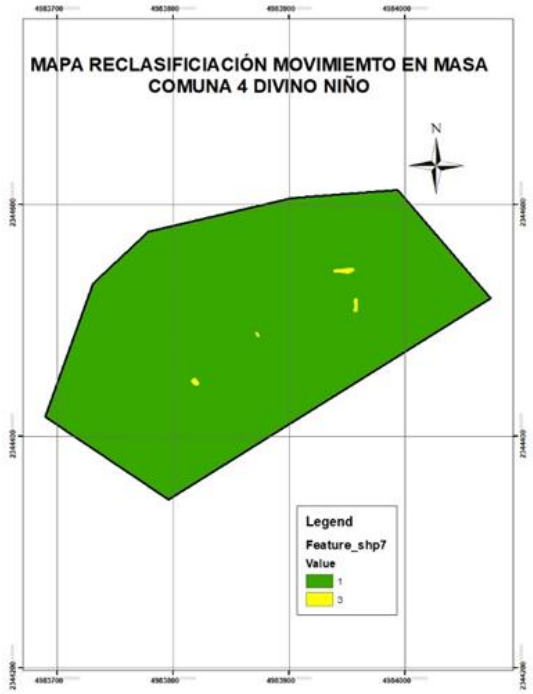


Figura 3.246 Reclasificación de Movimiento en masa Divino Niño, en sistema de coordenadas origen único nacional CTM12

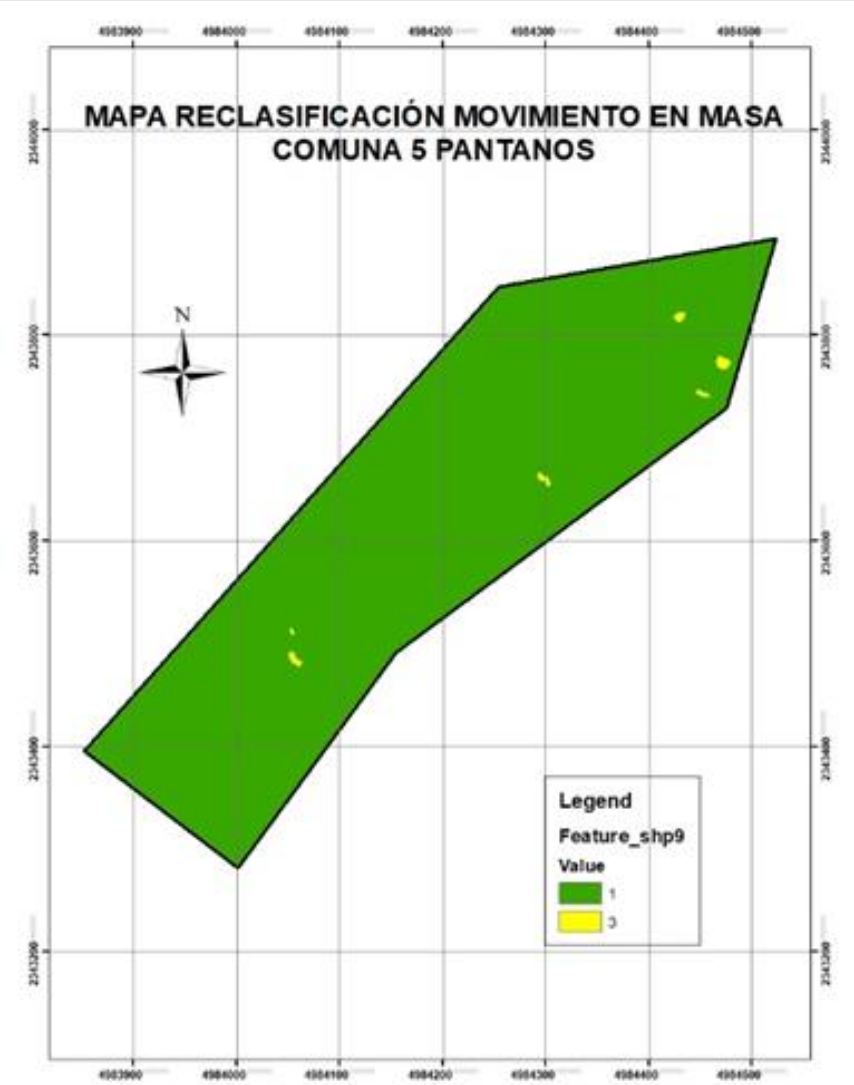


Figura 3.247 Reclasificación de Movimiento en masa Pantanos, en sistema de coordenadas origen único nacional CTM12

<u>Susceptibilidad Ante Eventos Torrenciales Según los Drenajes</u>

Para el reconocimiento de zonas de alta susceptibilidad ante avenidas torrenciales se tiene en cuenta la presencia de drenajes que representen un gran aporte al flujo que se presenta por una lluvia. En el caso de la zona de estudio de Comuna 4 y 5 no existen drenajes consolidados reconocidos en la zona urbana que representen un flujo constante en la zona, sin embargo, al analizar la distribución de lluvias en la zona en el software ArcGIS mediante la herramienta "Acumulación de flujo" la cual calcula el flujo acumulado como el peso acumulado de todas las celdas que fluyen hacia cada celda con pendiente descendente en el ráster, se logra identificar que la escorrentía superficial fluye por los peatonales y escaleras de acceso. Estos drenajes efímeros que son formados gracias a la distribución geomorfológica y pendiente del terreno se les asignó una clasificación de 3, representando una susceptibilidad ante avenidas torrenciales de valor medio, por otro lado, las zonas en donde no se presentan drenajes efímeros se asignó un valor de 1, zonificándose con un valor bajo.

Tabla 3.66 Rangos de Reclasificación Acumulación de flujos

ACUM_FLUJO	CÓDIGO
No se presenta drenajes continuos o intermitentes	1
No se presenta drenajes continuos solamente drenajes intermitentes	3

A continuación, se presentan los mapas de reclasificación de acumulación de flujos para los asentamientos

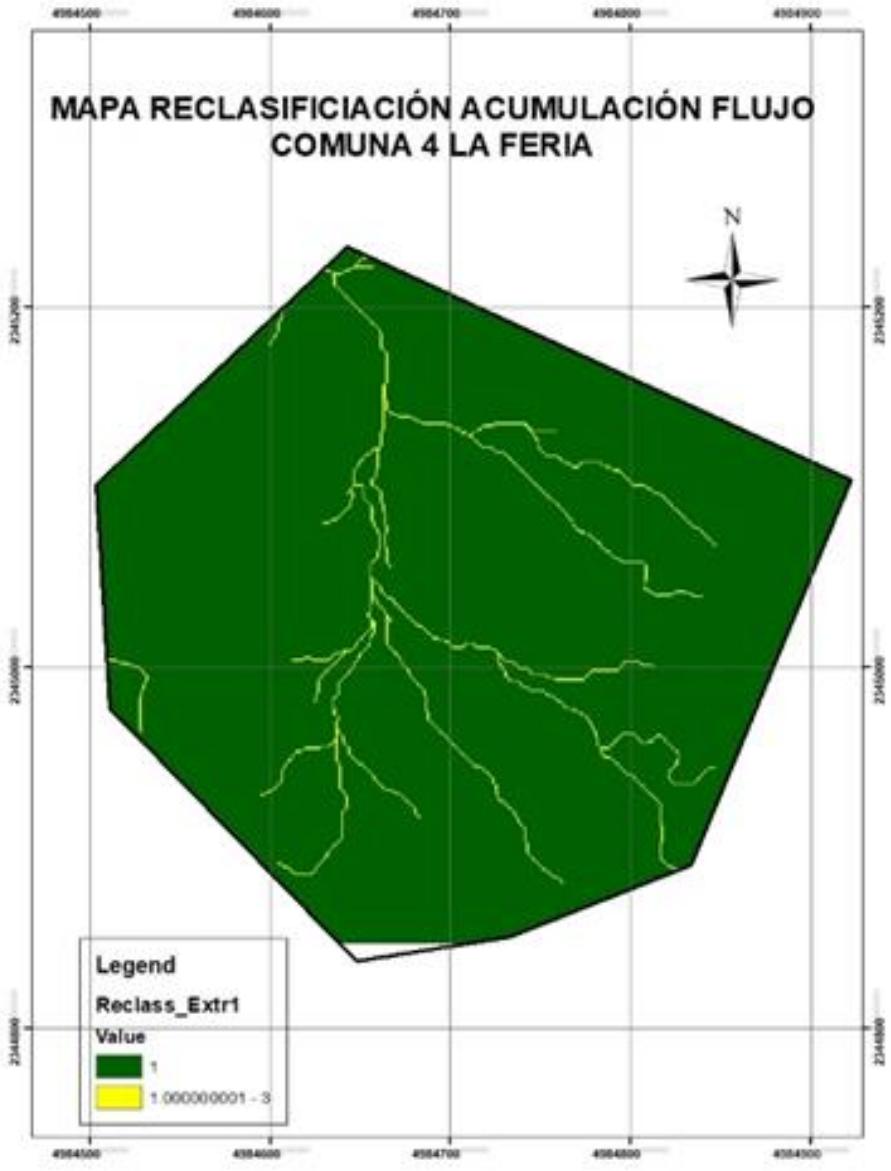


Figura 3.248 Reclasificación de Acumulación de Flujo La Feria, en sistema de coordenadas origen único nacional CTM12

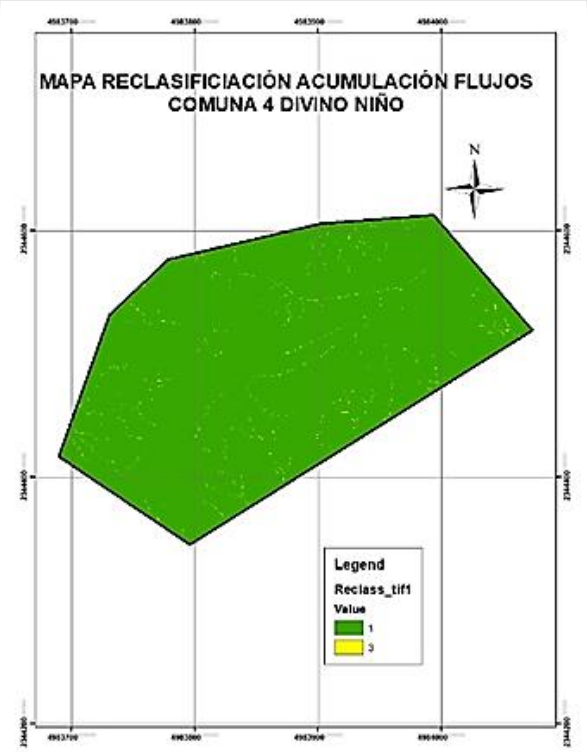


Figura 3.249 Reclasificación de Acumulación de Flujo Ciudad Perdida (Divino Niño), en sistema de coordenadas origen único nacional CTM12

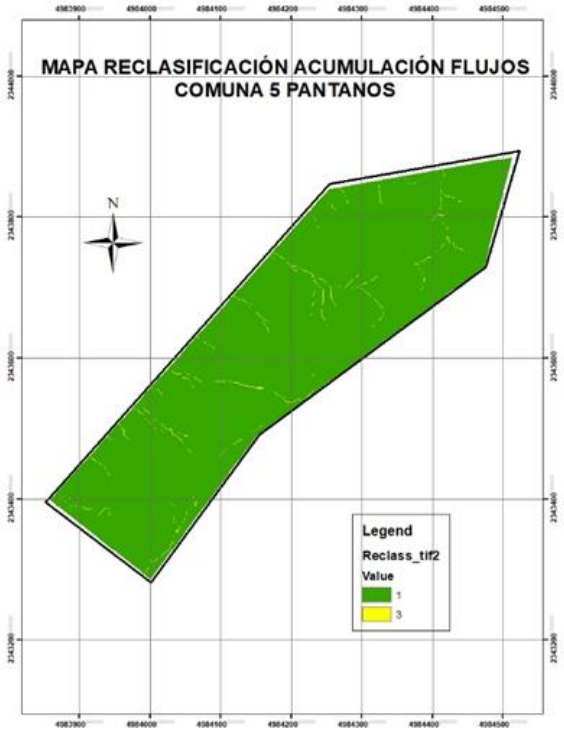


Figura 3.250 Reclasificación de Acumulación de Flujo Pantanos, en sistema de coordenadas origen único nacional CTM12

Susceptibilidad Ante Eventos Torrenciales Según la Geomorfología

Las geoformas que fueron definidas como indicativas de depósito fueron categorizadas a su vez con niveles de susceptibilidad alta, media y baja. Es necesario precisar que existen geoformas que pueden estar clasificadas en más de una categoría de susceptibilidad según el contexto geomorfológico y la cuenca en la que se encuentren, incluso se involucran geoformas que están dentro del área de influencia de este tipo de procesos y que están asociados a otros ambientes como el denudacional, o las geoformas que hayan sido afectada por avulsiones de avenidas torrenciales recientes, en este último caso aumentaría la susceptibilidad de la geoforma independiente de la altura o distancia respecto del canal. A partir de la información geomorfológica levantada se lograron identificar los elementos geomorfológicos de plano o llanura de inundación (Fpi) y terraza aluvial baja (Ftb), el cual corresponden a geoformas con calificación de susceptibilidad alta por avenidas torrenciales, pero no se encuentran sobre la zona de estudio directa en dónde se localizan los elementos expuestos de las comunas 4 y 5 del municipio de Bucaramanga. Así mismo estas zonas que además de estar por fuera del área de estudio deben estar desprovistas de elementos expuestos ni equipamientos, con el fin de evitar afectaciones por eventos fluviotorrenciales.

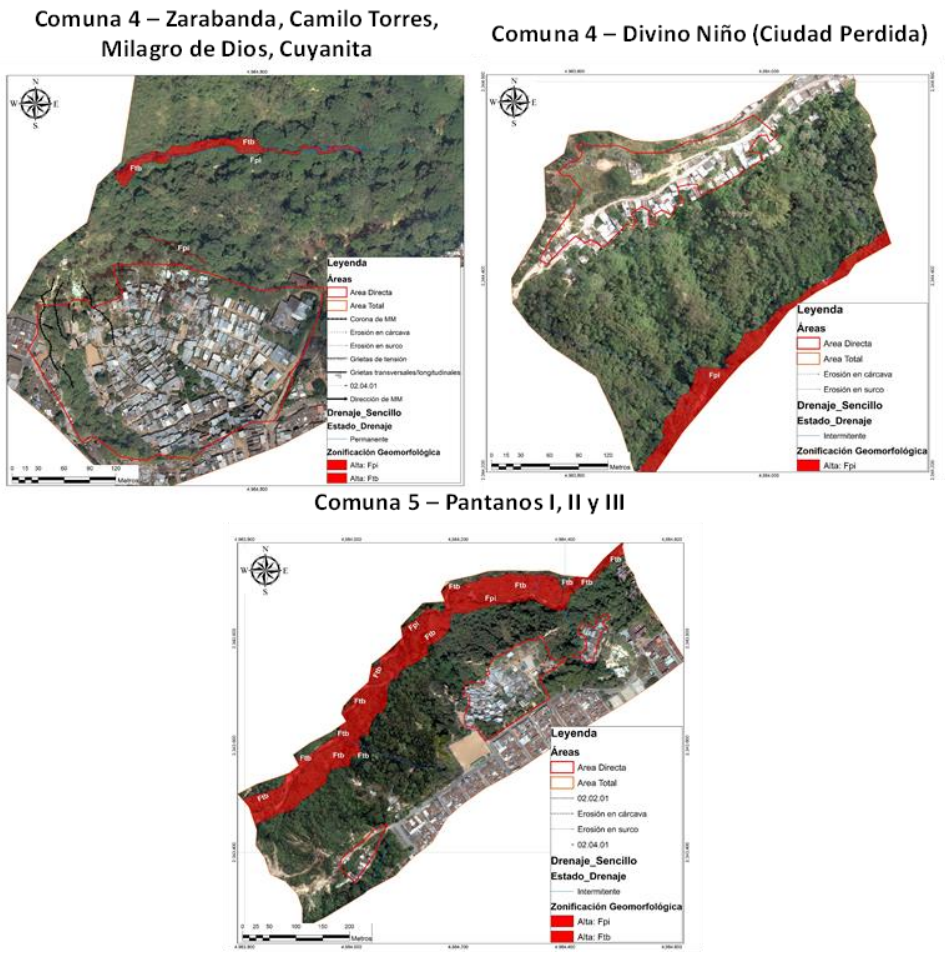


Figura 3.251 Esquema del mapa geoformas indicativas de depósito con la zonificación geomorfológica para avenidas torrenciales, se evidenciaron fuera del área de estudio directa

El esquema se encuentra en el sistema de coordenadas del origen único nacional CTM12

Se presenta la tabla de reclasificación de las geoformas

Tabla 3.67 Rangos de reclasificación de las geoformas

GEOFORMA	CÓDIGO
Ladera ondulada	1
Lomo denudado	
Superficie de explanación	
Superficie de explanación vial	
Ladera abrupta	2
Ladera inclinada	
Talud de corte	
Coluvión	
Cuenca denudada	
Ladera denudada	
Escarpe	3
Ladera erosiva	
Ladera escarpada	
Ladera muy abrupta	

A continuación, se presentan los mapas de reclasificación de las geoformas para los asentamientos

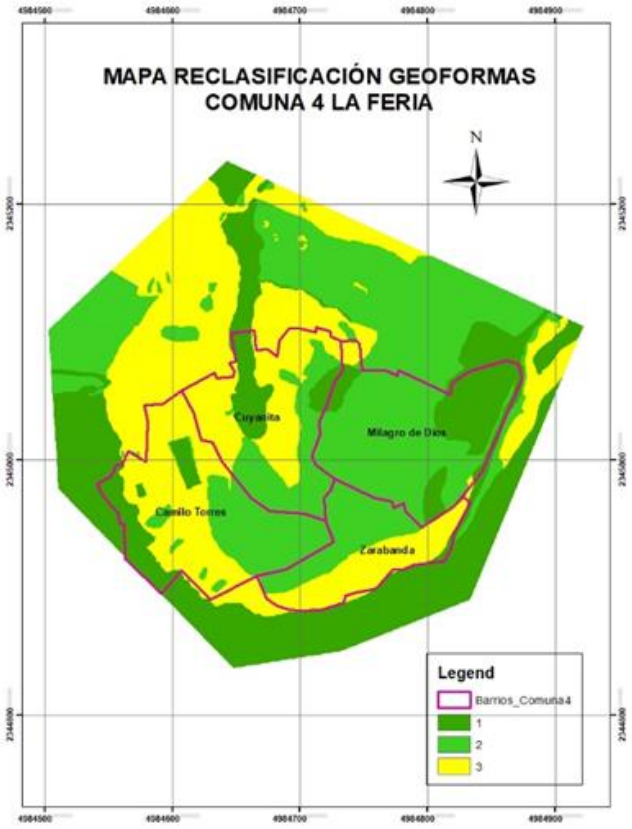


Figura 3.252 Reclasificación Geoforma La Feria, en sistema de coordenadas origen único nacional CTM12

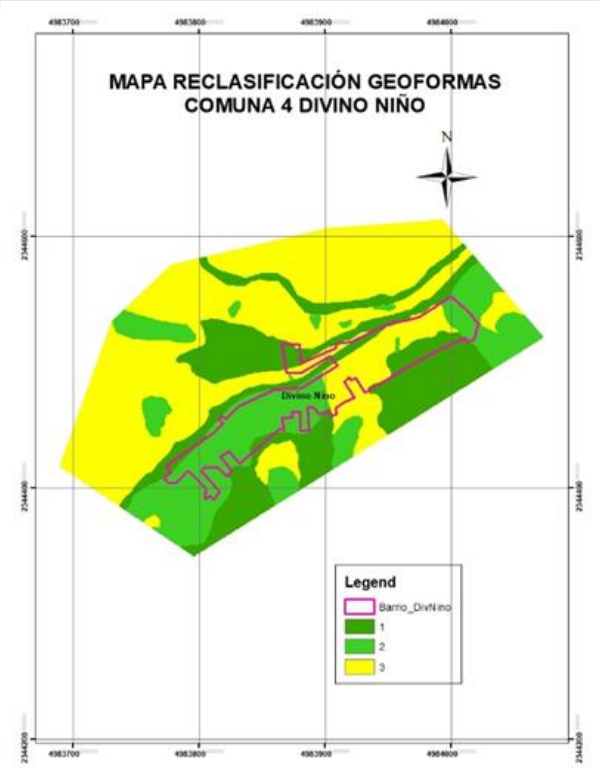


Figura 3.253 Reclasificación Geoforma Ciudad Perdida (Divino Niño), en sistema de coordenadas origen único nacional CTM12

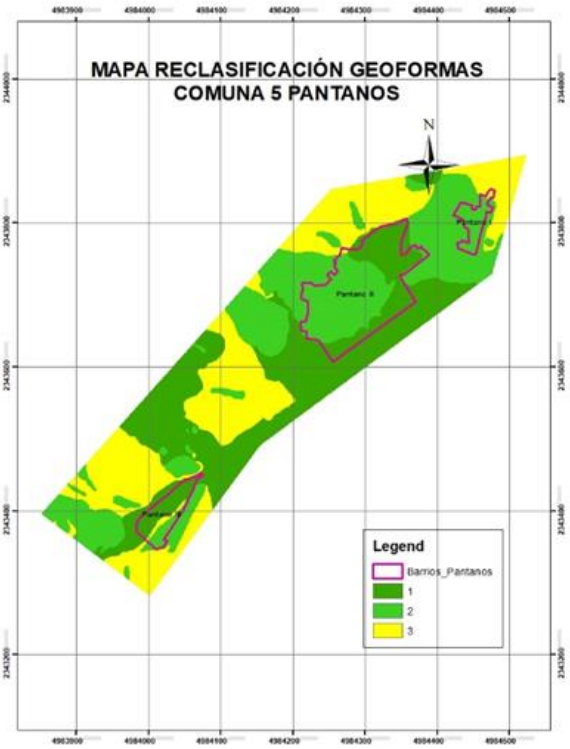


Figura 3.254 Reclasificación Geoforma Pantanos, en sistema de coordenadas origen único nacional CTM12

Zonificación de la Susceptibilidad Ante Eventos Torrenciales

Para establecer la zonificación de la susceptibilidad ante eventos torrenciales en el área de estudio se empleó la matriz de Saaty, la cual consiste en un método heurístico que agrupa varios insumos y le asigna un grado de importancia a cada uno para posteriormente unificarlos, este resultado para el caso de estudio correspondería a la susceptibilidad ante eventos torrenciales. La finalidad de obtener un nivel de susceptibilidad antes de llegar a la amenaza, radica en identificar las zonas más propensas a presentar este tipo de comportamientos y discretizar el modelamiento hidráulico.

La siguiente es el análisis de la participación de las temáticas según la evaluación multicriterio desarrollada por la consultoría.

Tabla 3.68 Pesos relativos evaluación multicriterio

CÓDIGO	COMPONENTE	PESO RELATIVO (%)
C1	Movimiento Masa	52.34
C2	Geoforma	17.30
C3	Pendiente	14.34
C4	Cobertura Natural	9.16
C5	Acumulación Flujo	6.86

La Razón de Consistencia para la distribución de pesos relativos es de 0.0369, menor a 0.1 lo que hace una matriz consistente sin sesgo

Se presenta tabla de calificación de los niveles de susceptibilidad para avenidas torrenciales

Tabla 3.69 Niveles de susceptibilidad para avenidas torrenciales

CALIFICACIÓN	NIVEL DE SUSCEPTIBILIDAD	DESCRIPCIÓN
1	BAJA	Se presenta áreas planas, con coberturas antropizadas, sin evidencia de movimientos en masa y no hay presencia de acumulación de flujos de agua
2	MEDIA BAJA	Se presenta en áreas con pendiente entre 8% y 16% con buena coberturas de arbustal denso, sin evidencia de movimientos en masa y sin presencia de acumulación de flujos de agua
3	MEDIA	Áreas con pendientes entre 16% y 24% con coberturas de herbazales densos, sin evidencia de procesos de deslizamientos y caídas de masas y presencia de acumulación de flujos de agua
4	MEDIA ALTA	Áreas con pendientes entre 24% y 45% con coberturas de tierras desnudas, con evidencia de procesos de deslizamientos y caídas de masas y presencia de acumulación de flujos de agua
5	ALTA	Áreas con pendientes mayores a 45% con coberturas de arbustales abiertos y tierras degradadas, con evidencia de deslizamientos y caídas de masas, presencia de acumulación de flujos de aguas sobre llanuras de inundación y terrazas aluviales bajas

A continuación, se presenta la evaluación de la susceptibilidad para avenidas torrenciales de los asentamientos.

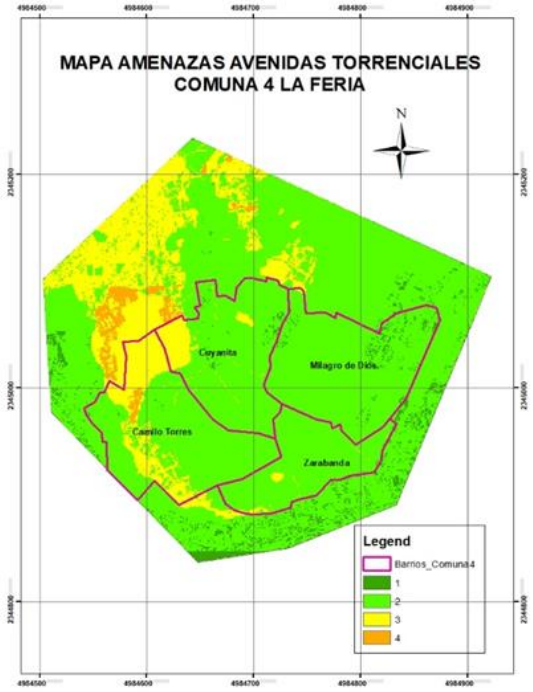


Figura 3.255 Susceptibilidad Avenidas Torrenciales La Feria, en sistema de coordenadas origen único nacional CTM12

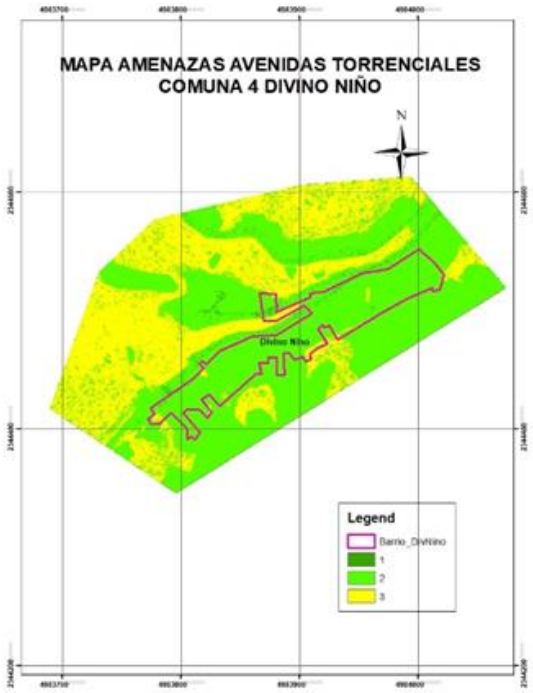


Figura 3.256 Susceptibilidad Avenidas Torrenciales Divino Niño, en sistema de coordenadas origen único nacional CTM12

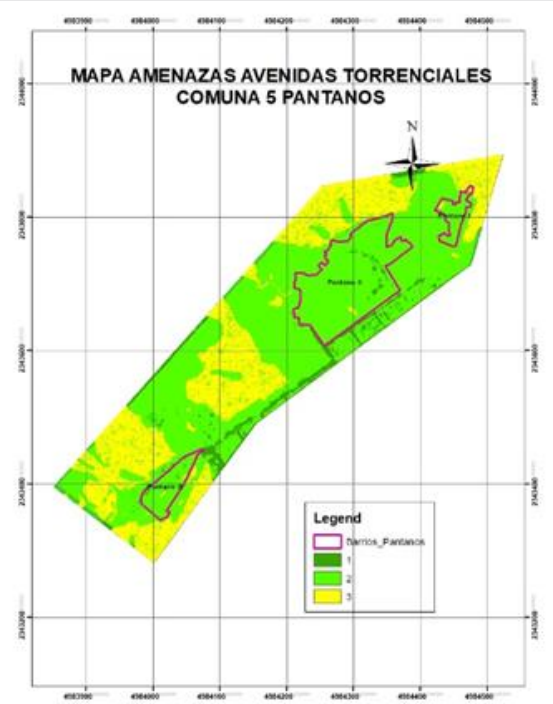


Figura 3.257 Susceptibilidad Avenidas Torrenciales Pantanos, en sistema de coordenadas origen único nacional CTM12

3.12 ETAPA 11: ANÁLISIS DE AMENAZA ORIGEN TECNOLÓGICO

3.12.1 Descripción del Estudio

Para este capítulo de amenaza, el método está desarrollado en la revisión de la documentación disponible por parte de las entidades que puedan solventar u ocasionar un daño de origen tecnológico (incendios por origen antrópico, explosiones y fugas de gas).

El riesgo tecnológico en Colombia se evidencia en las consideraciones de operación de instalaciones industriales o tecnologías de desarrollo implantadas, así como los aspectos referentes involucrados dentro de los equipamientos técnicos y obras civiles. Considerando entonces la Resolución 1770 de 2013 “Por la cual se crea y conforma la Comisión Técnica Asesora de Riesgos Tecnológicos CNARIT” en la cual se define las pérdidas o daños potenciales que se pueden ocasionar siendo originados por el acceso y uso a la tecnología, teniendo como origen intervenciones antrópicas, naturales, socio naturales o propios de cada operación siendo estas asociadas a todas las actividades ya sean domésticas o de tipo industrial, propias de almacenamiento, transporte, producción y/o transformación de sustancias y/o materiales químicos peligrosos, combustibles, electricidad; así como que requieran altas presiones, temperaturas con posibilidades de impacto mecánico (IDIGER, 2022).

El reconocimiento esta soportado en un método heurístico, inductivo y de razonamiento aproximado, soportado en el manejo de la evidencia. Tiene como pilares fundamentales el acopio y la revisión técnica de la documentación disponible de los entes de prevención de riesgos o causantes de ellos.

3.12.2 Susceptibilidad de Amenaza por Origen Tecnológico

Dentro del análisis de susceptibilidad propuesto por esta consultoría, se realiza la consideración de las variables que influyen en la generación de los eventos planteados para la estimación de la amenaza (incendios, explosiones y fugas). En ese sentido, se contemplan variables como el origen del suministro del servicio de gas natural (el cual ´puede ser en lo denominadas de forma coloquial como “pipetas de gas” o suministro de gas natural a través de las redes construidas por la empresa de servicios públicos), el uso de las viviendas o edificaciones, y el análisis de interacción de las redes eléctricas (aislamiento, material del poste y exposición respecto al tendido aéreo).

A continuación, se presenta el diagrama metodológico desarrollado por esta consultoría para el análisis de susceptibilidad:

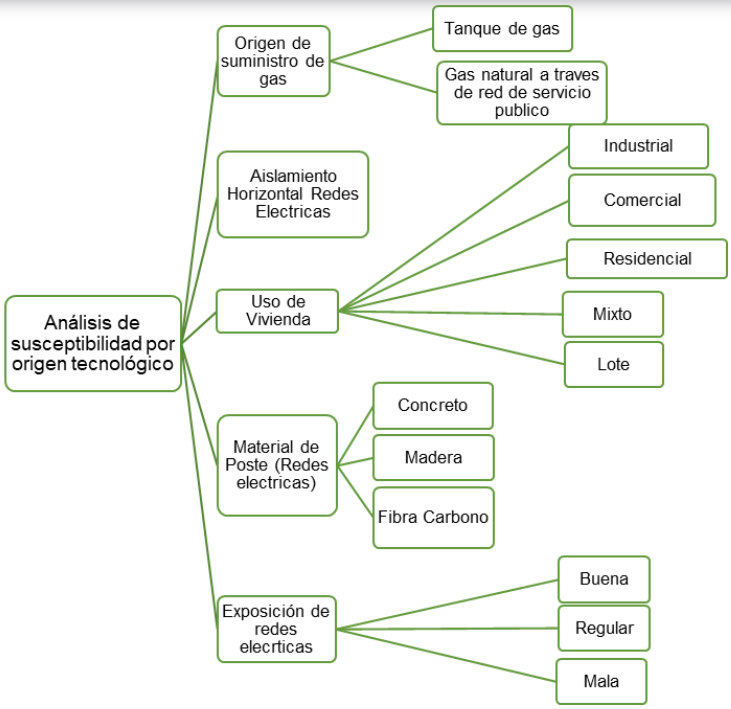


Figura 3.258 Diagrama Metodológico de Análisis de Susceptibilidad por Origen Tecnológico

Considerando las variables previamente mencionadas para cada uno de los parámetros involucrados en el análisis de amenaza por origen tecnológico, se realizó el análisis de la influencia de cada una de estas teniendo como base la definición de un análisis heurístico cuantitativo definido por la experticia y las consideraciones técnicas pertinentes al área de estudio. Todos los análisis de las diferenstes variables se presentan en el informe principal, motivo por el cual en este resumen ejecutivos nos limitamos a presentar el resultado final.

3.12.3 Zonificación de Amenaza por Origen Tecnológico

Una vez desarrollado el análisis de susceptibilidad y del ente de propagación, se procedió definiendo el álgebra de mapas, con el fin de consolidar la zonificación de la amenaza global por origen tecnológico, donde de acuerdo con el criterio del experto, se estableció la siguiente ecuación para el computo de las dos variables previamente mencionadas:

$$AOT = SOT * 0.8 + EP * 0.2$$

En donde:

AOT: Amenaza por Origen Tecnológico

SOT: Susceptibilidad de Origen Tecnológico

EP: Ente de propagación

Considerando el análisis presentado anteriormente, en la Tabla 3.70 se presenta la categorización de amenaza conforme a los resultados, la cual se obtuvo a través de la herramienta de cortes naturales (Jenks) en el software ARCGIS.

Tabla 3.70 Categorización de Amenaza por Origen Tecnológico

CATEGORIZACIÓN DE AMENAZA POR ORIGEN TECNOLÓGICO	VALOR
BAJA	0.00 -2.50
MEDIA	2.50 – 3.70
ALTA	3.70 – 5.00



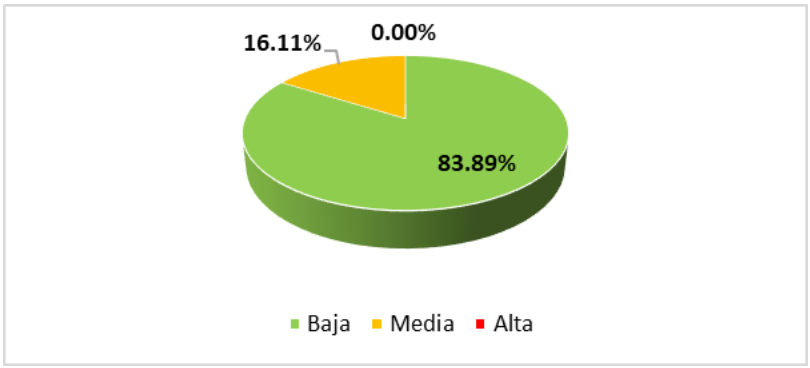


Figura 3.259 Plano de Zonificación de Amenaza por Origen Tecnológico – Sector Pantano I

Tabla 3.71 Categorización de Amenaza por Origen Tecnológico.

CATEGORIZACIÓN DE LA AMENAZA	AREA (HA)	AREA (%)
Baja	0.149	83.89
Media	0.029	16.10
Alta	0.00	0.00

De acuerdo con lo anterior, se evidenció una predominancia de áreas con amenaza **baja (83.89% respectivamente)** respecto a eventos de origen tecnológico. En menor proporción, se identifican zonas con categoría **media (16.10%)** teniendo en cuenta la poca influencia de las variables estudiadas en esas áreas. Por último, no se identifican zonas con amenaza **alta** por origen tecnológico en el sector de Pantanos I.

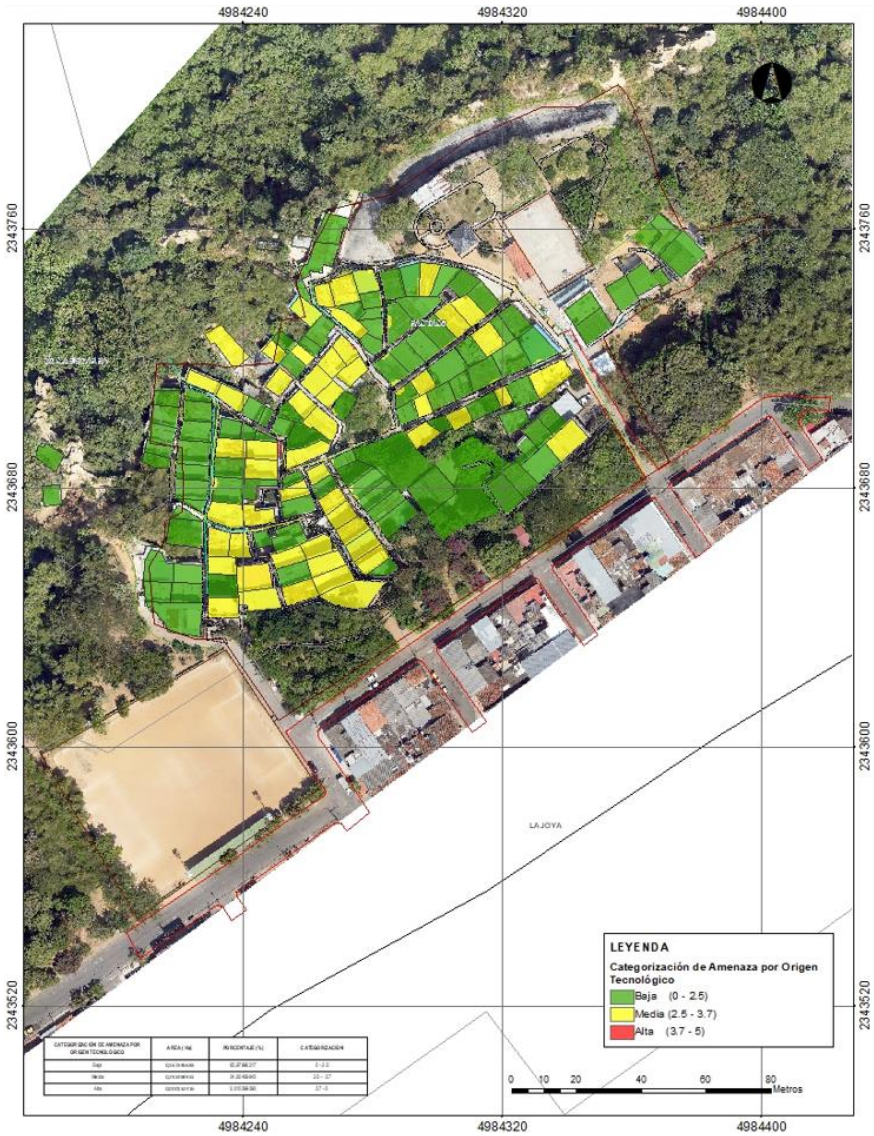


Figura 3.260 Plano de Zonificación de Amenaza por Origen Tecnológico – Sector Pantano II

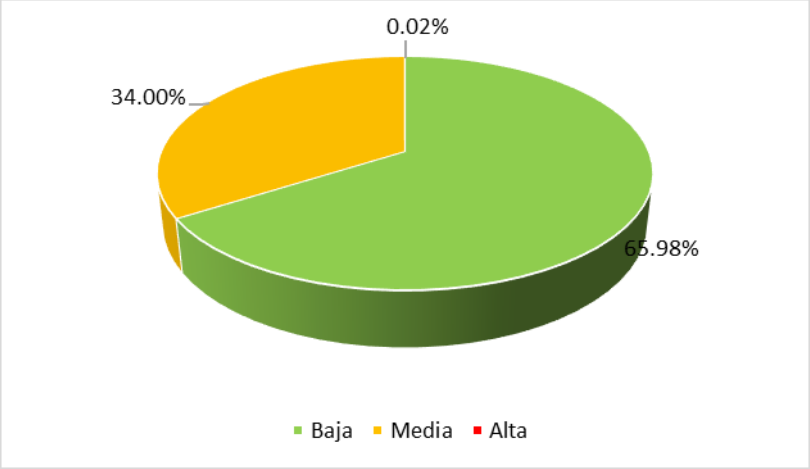


Figura 3.261 Análisis de Zonificación de Amenaza por Origen Tecnológico – Sector Pantano II

Tabla 3.72 Categorización de Amenaza por Origen Tecnológico. Pantano II

CATEGORIZACIÓN DE LA AMENAZA	ÁREA (HA)	ÁREA (%)
Baja	0.5673	65.98
Media	0.2924	34.00
Alta	0.00013	1.54

De acuerdo con lo anterior, se evidenció una predominancia de áreas con amenaza **baja (65.98% respectivamente)** respecto a eventos de origen tecnológico. En menor proporción, se identifican zonas con categoría **media (34.00%)** teniendo en cuenta la poca influencia de las variables estudiadas en esas áreas. Por último, se identifican zonas con amenaza **alta** por origen tecnológico en el sector de Pantanos II **(1.54%)**.

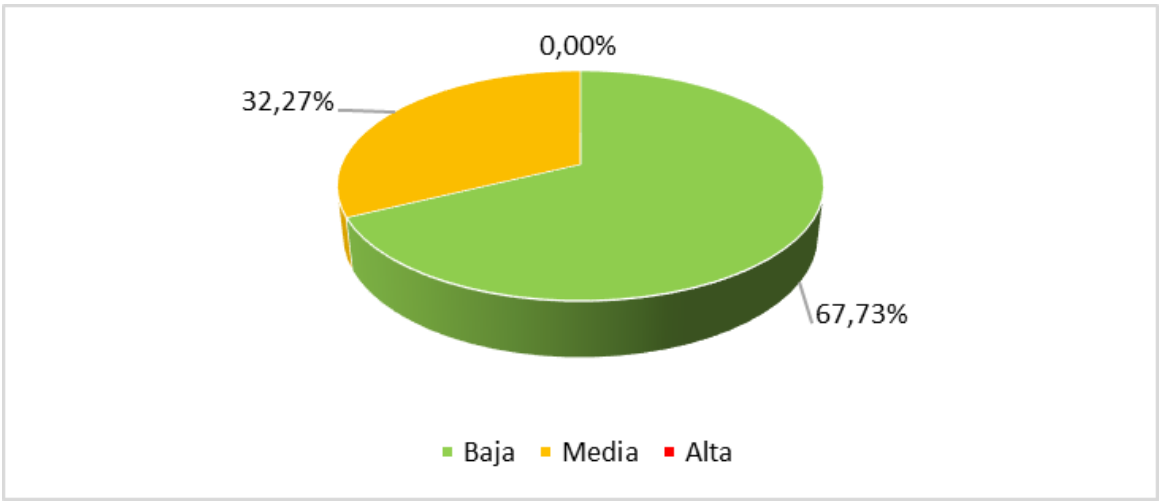


Figura 3.262 Plano de Zonificación de Amenaza por Origen Tecnológico – Sector Pantano III



Figura 3.263 Plano de Zonificación de Amenaza por Origen Tecnológico – Sector Pantano III (Continuación)

Tabla 3.73 Categorización de Amenaza por Origen Tecnológico. Pantano III

CATEGORIZACIÓN DE LA AMENAZA	AREA (HA)	AREA (%)
Baja	0.171	63.73
Media	0.081	32.27
Alta	0.000	0.000

De acuerdo con lo anterior, se evidenció una predominancia de áreas con amenaza **baja (63.73% respectivamente)** respecto a eventos de origen tecnológico. En menor proporción, se identifican zonas con categoría **media (32.27%)** teniendo en cuenta la poca influencia de las variables estudiadas en esas áreas. Por último, no se identifican zonas con amenaza **alta** por origen tecnológico en el sector de Pantanos III**.**

Teniendo entonces para la zona de Pantanos una zonificación general de la zonificación de amenaza por origen tecnológico relacionada en la Figura 3.264.

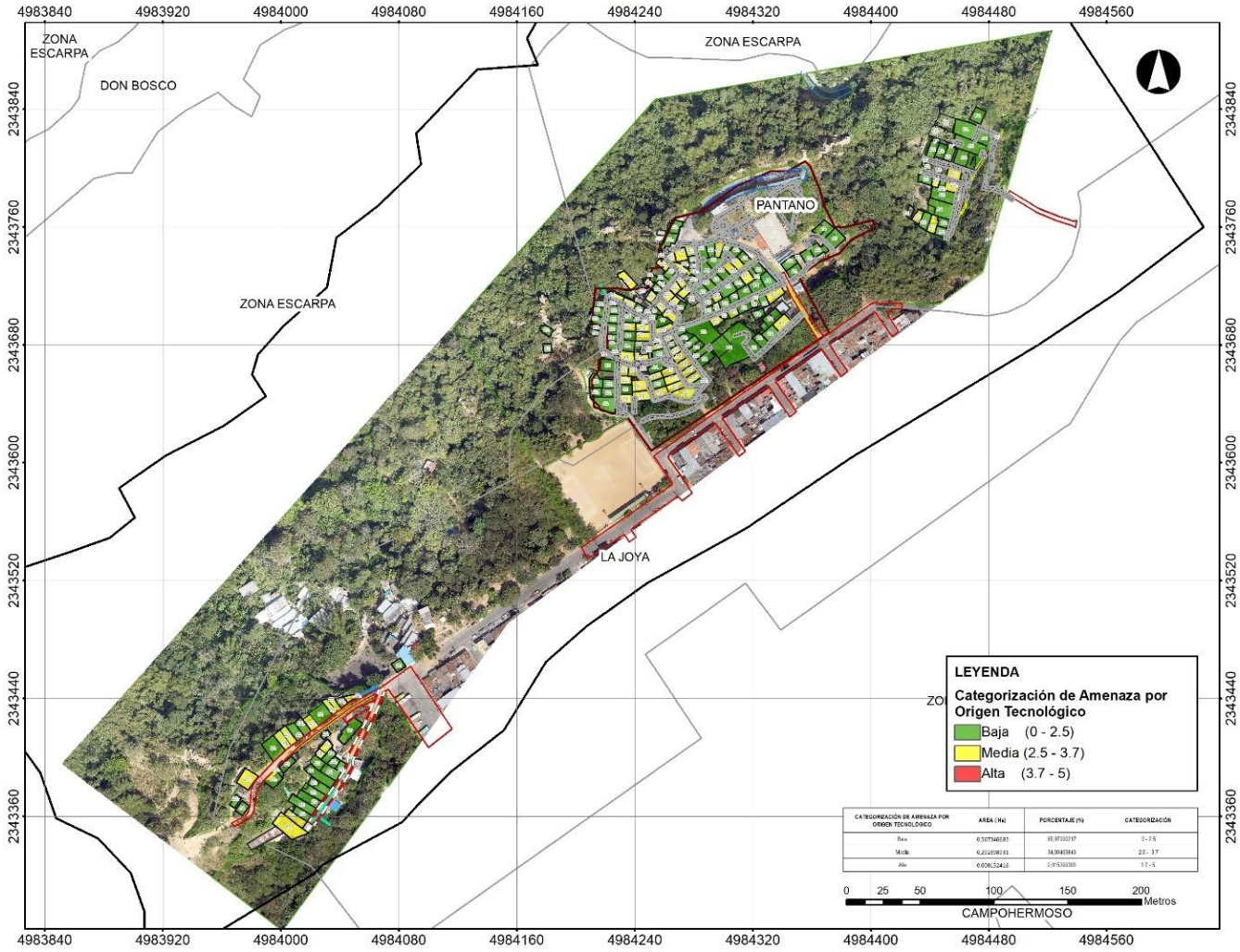
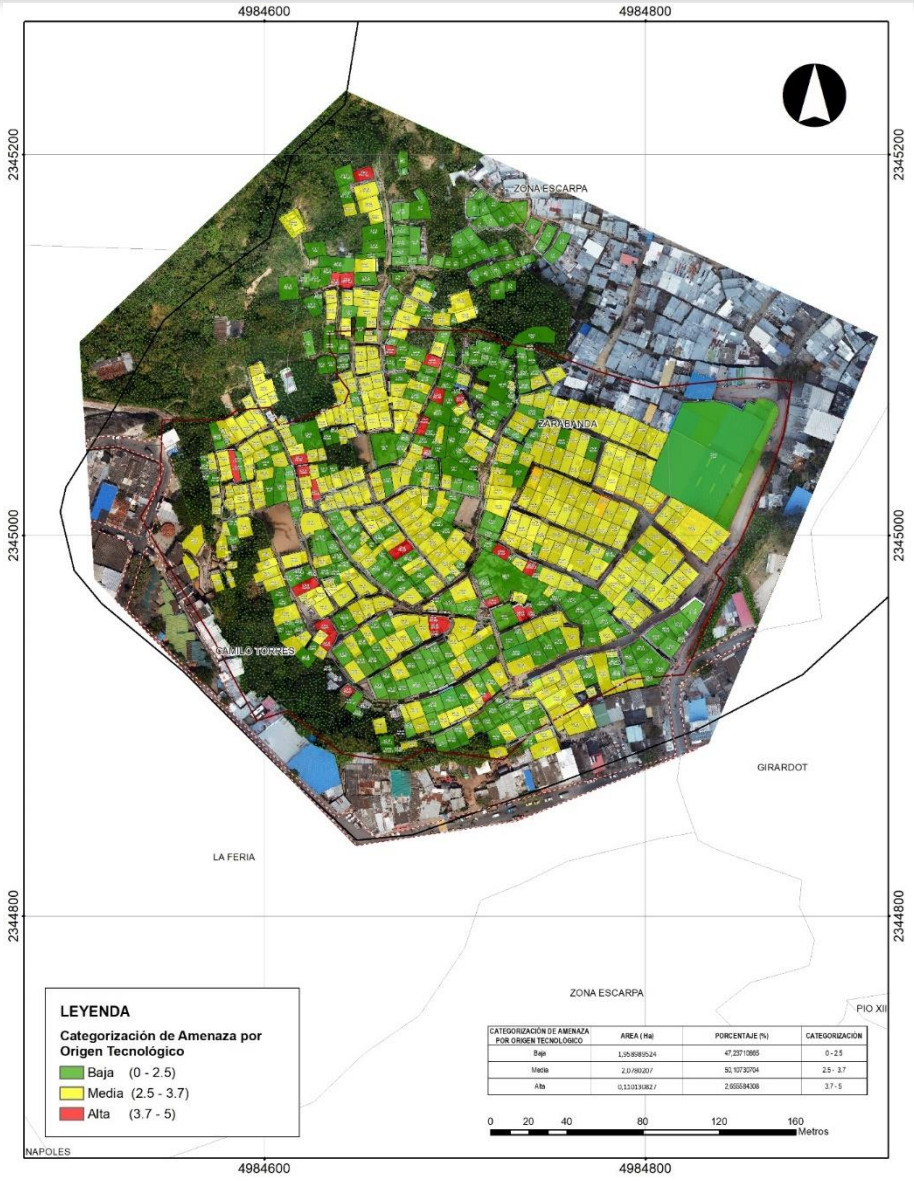


Figura 3.264 Categorización de Amenaza por Origen Tecnológico


4984600
4984800
2345200
2345000
2344800
ZONA ESCARPA
ZARABANDA
CAMILO TORRES
GIRARDOT
LA FERIA
ZONA ESCARPA
PIO XII
NAPOLES
LEYENDA
Categorización de Amenaza por Origen Tecnológico
Baja (0 - 2.5)
Media (2.5 - 3.7)
Alta (3.7 - 5)
CATEGORIZACIÓN DE AMENAZA POR ORIGEN TECNOLÓGICO | AREA (Ha) | PORCENTAJE (%) | CATEGORIZACIÓN
Baja | 1,95 8585524 | 47,23710865 | 0 - 2.5
Media | 2,07 883207 | 50,10730704 | 2.5 - 3.7
Alta | 0,11013082 7 | 2,65559430 6 | 3.7 - 5
0 20 40 80 120 160
Metros

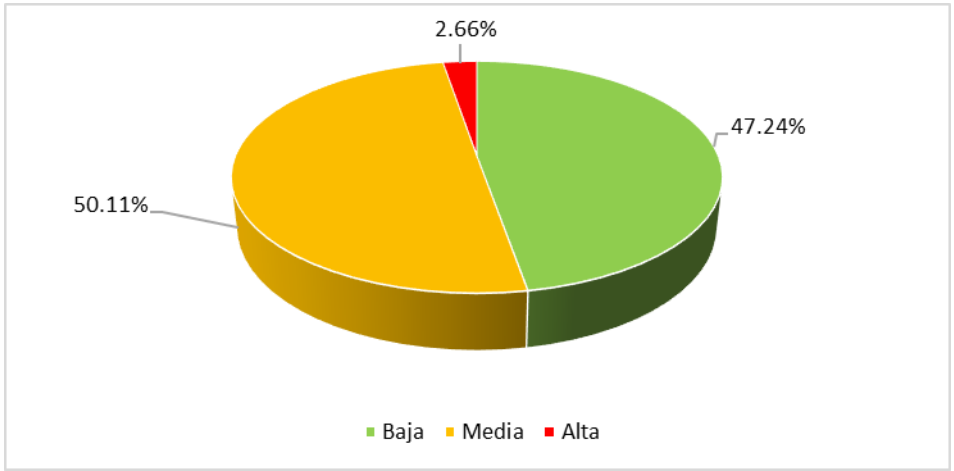

2.66%
47.24%
50.11%
Baja
Media
Alta

Figura 3.265 Plano de Zonificación de Amenaza por Origen Tecnológico – Sector Camilo Torres y Zarabanda

Tabla 3.74 Categorización de Amenaza por Origen Tecnológico. Camilo Torres y Zarabanda

CATEGORIZACIÓN DE LA AMENAZA	ÁREA (HA)	ÁREA (%)
Baja	1.959	47.24
Media	2.078	50.11
Alta	0.110	2.66

De acuerdo con lo anterior, se evidenció una predominancia de áreas con amenaza **media (50.11% respectivamente)** respecto a eventos de origen tecnológico. En menor proporción, se identifican zonas con categoría **baja (47.24%)** teniendo en cuenta la poca influencia de las variables estudiadas en esas áreas. Por último, se identifican zonas con amenaza **alta** por origen tecnológico en el sector de Camilo Torres y Zarabanda **(2.65%).**



Figura 3.266 Plano de Zonificación de Amenaza por Origen Tecnológico – Sector Ciudad Perdida

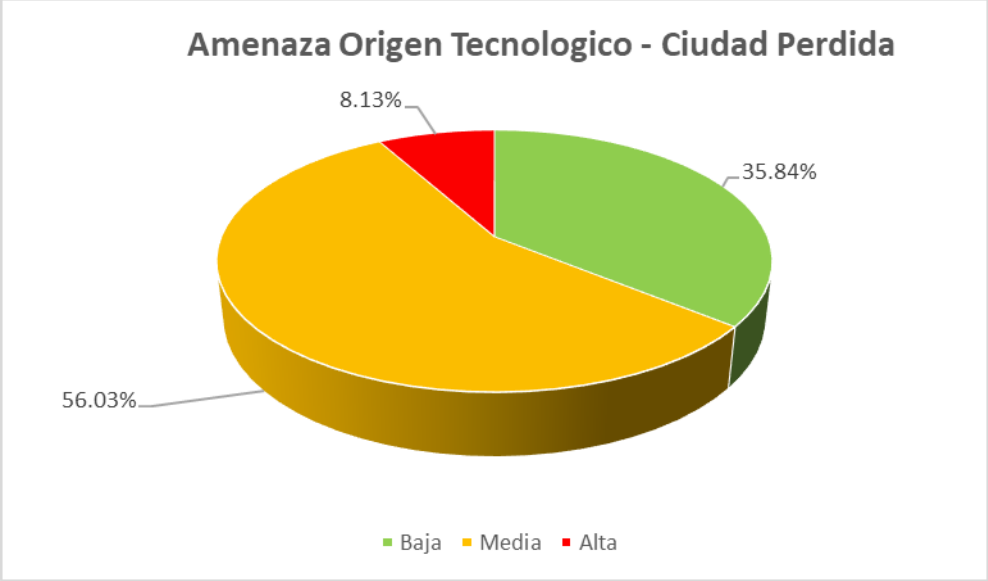


Figura 3.267 Categorización de la Amenaza por Origen Tecnológico

Tabla 3.75 Categorización de Amenaza por Origen Tecnológico. Ciudad Perdida

CATEGORIZACIÓN DE LA AMENAZA	ÁREA (HA)	ÁREA (%)
Baja	0.289	35.84
Media	0.452	56.03
Alta	0.066	8.13

De acuerdo con lo anterior, se evidenció una predominancia de áreas con amenaza **media (56.03% respectivamente)** respecto a eventos de origen tecnológico. En menor proporción, se identifican zonas con categoría **baja (35.84%)** teniendo en cuenta la poca influencia de las variables estudiadas en esas áreas. Por último, se identifican zonas con amenaza **alta** por origen tecnológico en el sector de Nápoles **(8.13%).**

3.13 ETAPA 12: EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD

3.13.1 Evaluación de Vulnerabilidad Física

De acuerdo a la guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa (SGC-UN, 2016) y a los estudios previos relacionados con la materia, se tiene el análisis realizado de cada uno de los resultados descritos en el informe de evaluación de Vulnerabilidad en los que se analizan los diferentes escenarios frente a los diversos tipos de movimientos en masa esperados en un área particular bajo la dinámica de la dualidad Amenaza – Vulnerabilidad como componente del cálculo y mitigación del Riesgo. Dicho lo anterior, se incluyen los elementos (bienes físicos y personas) para evaluar el grado de fragilidad y vulnerabilidad del evento amenazante.

3.13.1.1 Análisis de Resultados

A continuación, se presenta un análisis de los resultados obtenidos en la evaluación de vulnerabilidad para los ocho (8) barrios el Municipio de Bucaramanga – Santander, en los que se evalúa la vulnerabilidad física desde los bienes físicos comprendidos por las edificaciones, línea vitales y personas, teniendo en cuenta su localización ya que estos pueden ser afectados por la materialización de un evento amenazante.

La zona de estudio comprende los siguientes barrios:

- Camilo Torres (167 predios)
- Ciudad Perdida (133 predios)
- Cuyanita (169 predios)
- Milagro de Dios (116 predios)
- Pantano I (24 predios)
- Pantano II (144 predios)
- Pantano III (29 predios)
- Zarabanda (117 predios)

En los que se identifica una vulnerabilidad alta, lo anterior, debido a que la conformación de las viviendas es una conformación estructural pobre, de autoconstrucción y de uso residencial cuyo sistema estructural corresponde en su mayoría para los barrios de la comuna cuatro (4) (Camilo Torres, Milagro de Dios, Cuyanita y Zarabanda) a mampostería con confinamiento deficiente y construcciones improvisadas, es decir, edificaciones construidas generalmente con materiales precarios o de recuperación, también edificaciones en proceso constructivo, que se clasifican como “Construcciones simples (F)”, asimismo, para el barrio Ciudad Perdida se tiene que gran parte de las edificaciones poseen un sistema estructural de mampostería con confinamiento deficiente y construcciones improvisadas.

Finalmente, para la comuna cinco (5) que corresponde a los Pantanos (Pantano I, Pantano II y Pantano III), se divide en dos, en primer lugar, Pantano I, el cual su sistema estructural en su mayoría se clasifica en mampostería no reforzada y en segundo lugar Pantano II y Pantano III, que entre el 80% y 66% corresponde a edificaciones cuyo sistema estructural se clasifica en mampostería con confinamiento deficiente.

Al evaluar la fragilidad por el tipo de estructura, se tiene que para la comuna cuatro (4) presenta una fragilidad moderada que corresponde a edificaciones con confinamiento deficiente, para el barrio Ciudad Perdida una fragilidad moderada a muy alta para edificaciones que corresponden a estructuras con confinamiento deficiente y construcciones simples y para Pantanos, en mayor representación edificaciones cuyo sistema estructural y tipología son edificaciones con confinamiento deficiente “D”. En la Figura 3.268, Figura 3.269 y Figura 3.270, se muestra la fragilidad de edificaciones como fragilidad alta, esta fragilidad depende principalmente de evaluar el tipo de estructura.

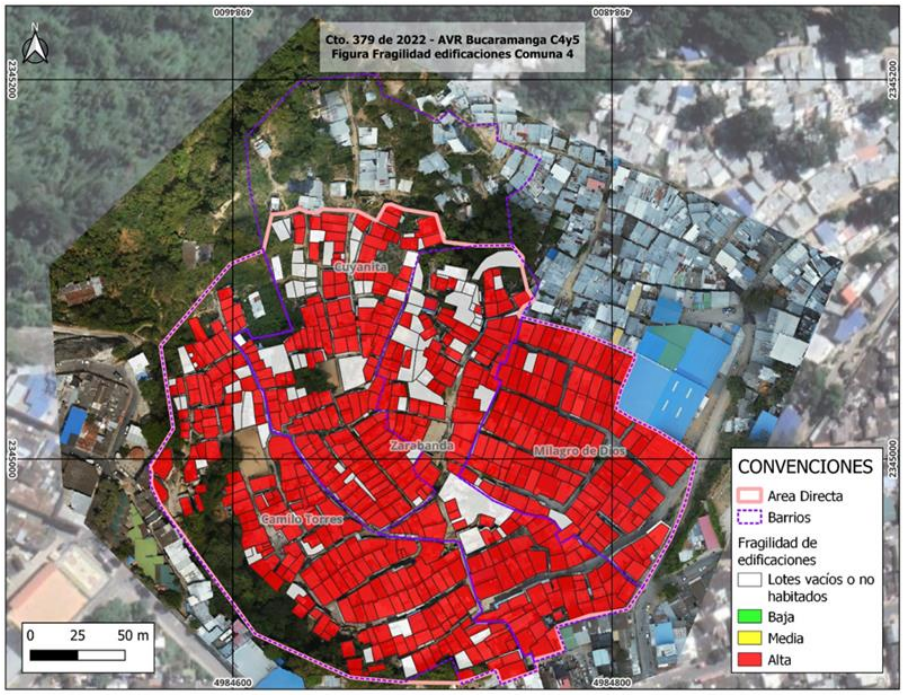


Figura 3.268 Zonificación de la fragilidad de edificaciones sector Comuna 4

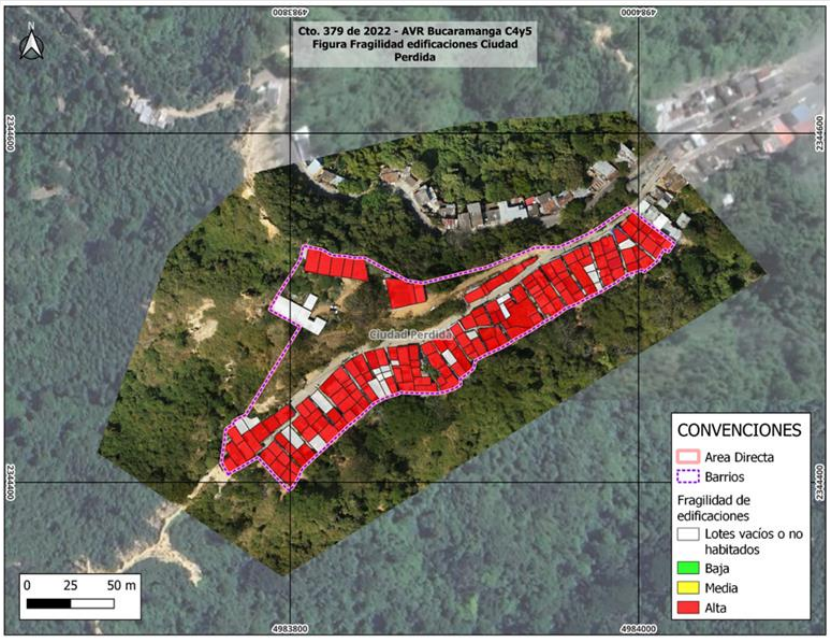


Figura 3.269 Zonificación de la fragilidad de edificaciones sector Ciudad Perdida

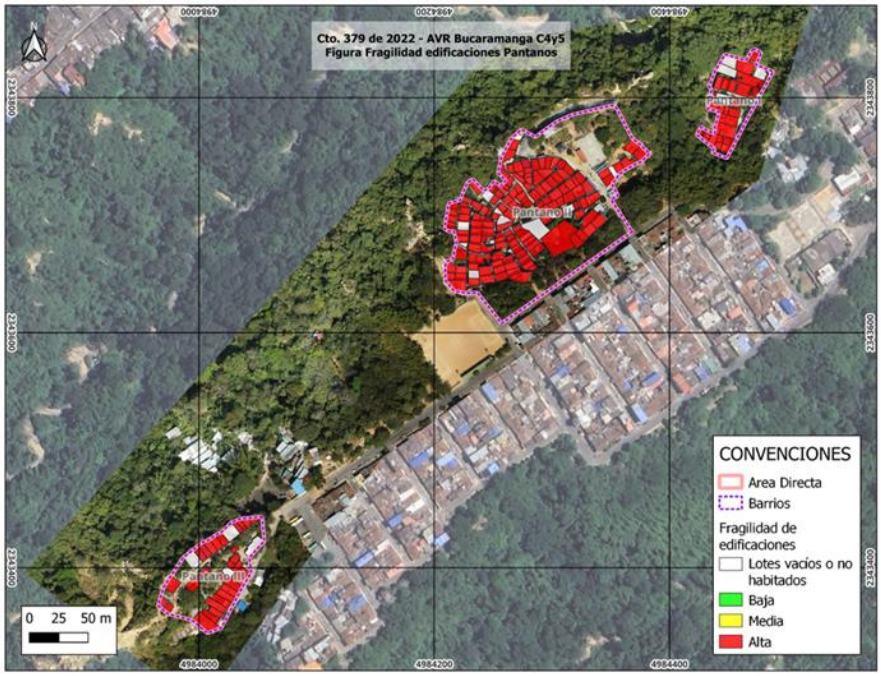


Figura 3.270 Zonificación de la fragilidad de edificaciones sector Pantanos

La fragilidad de las personas se evalúa en función de la fragilidad de las estructuras, para la comuna 4, se presenta una fragilidad media a alta, del mismo modo para el sector de Ciudad Perdida y finalmente para Pantanos en donde se presenta una fragilidad alta de personas y en menor proporción una fragilidad media.

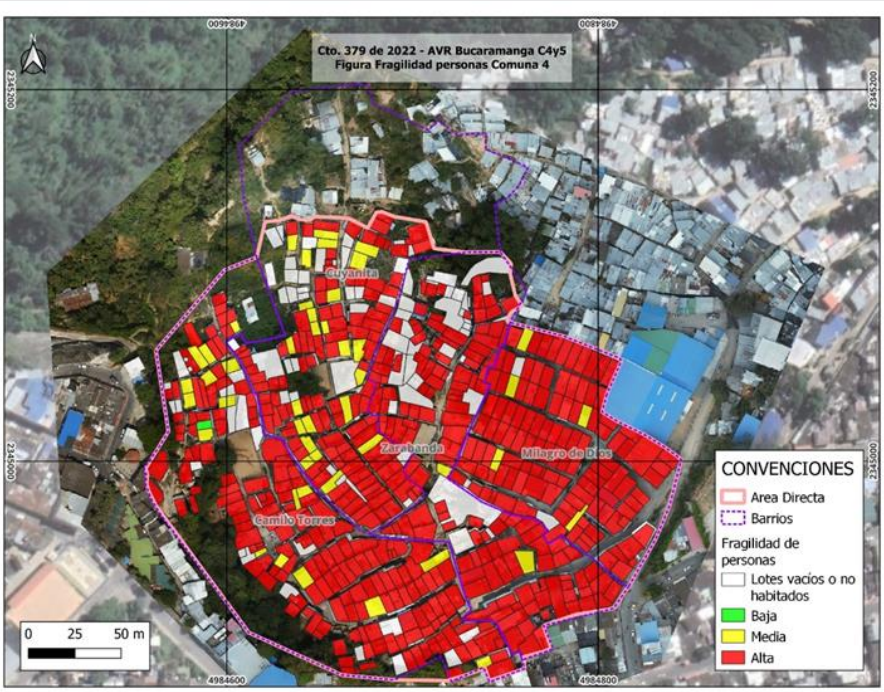


Figura 3.271 Zonificación de la fragilidad de personas sector Comuna 4

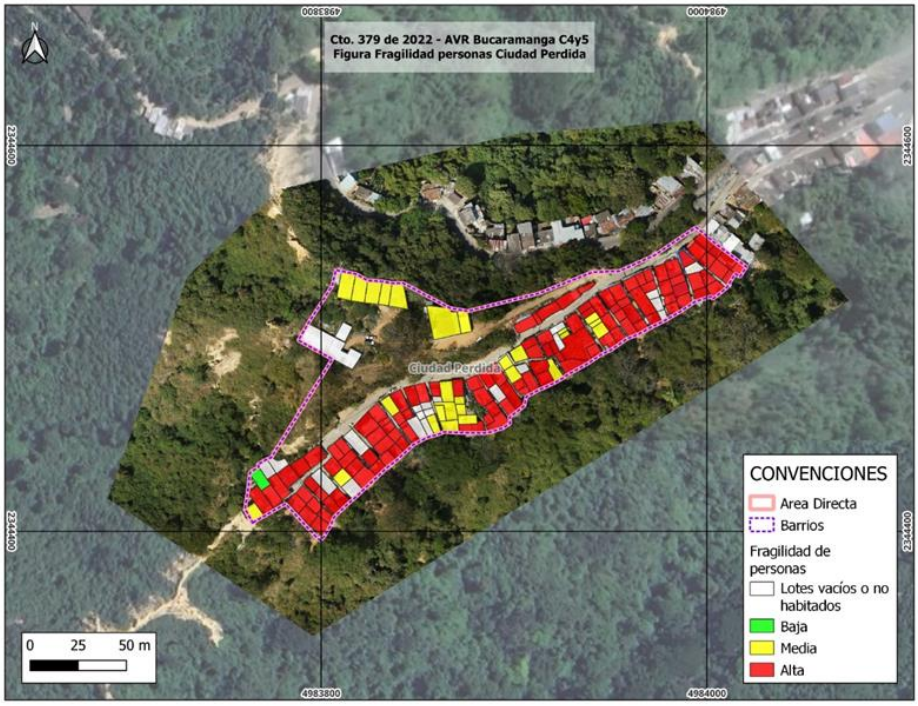


Figura 3.272 Zonificación de la fragilidad de personas sector Ciudad Perdida

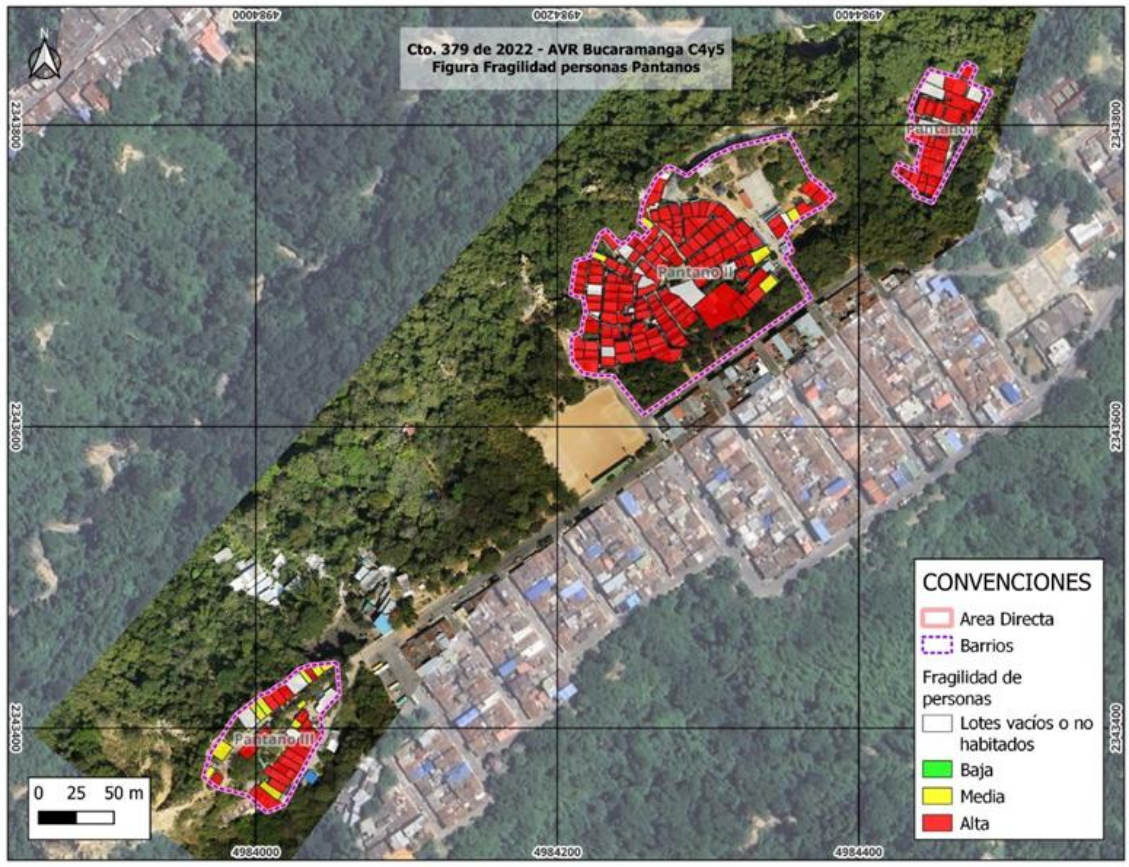


Figura 3.273 Zonificación de la fragilidad de personas sector Pantanos

Por otra parte, en la zona de estudio se identificaron líneas vitales tipo : Líneas de la red vial, acueducto (artesanal), alcantarillado (artesanal), redes eléctricas y redes de gas (plano suministrado por Vanti), en la comuna 4, se presenta una fragilidad alta en el costado occidental y oriental y una fragilidad media al costado norte y una pequeña parte del costado sur, para el sector de Ciudad Perdida se tiene una fragilidad alta y para el pantano I una fragilidad alta, Pantano II, fragilidad alta en mayor proporción y para el Pantano II una fragilidad media y alta.

Por último, se tiene la vulnerabilidad de los tres escenarios, en primer lugar, por movimientos en masa, luego inundaciones y finalmente avenidas torrenciales, en los que se identifica como vulnerabilidad alta para movimientos en masa para el sector de la Comuna 4, Ciudad Perdida y Pantanos como se muestra en la Figura 3.274, Figura 3.275, Figura 3.276.

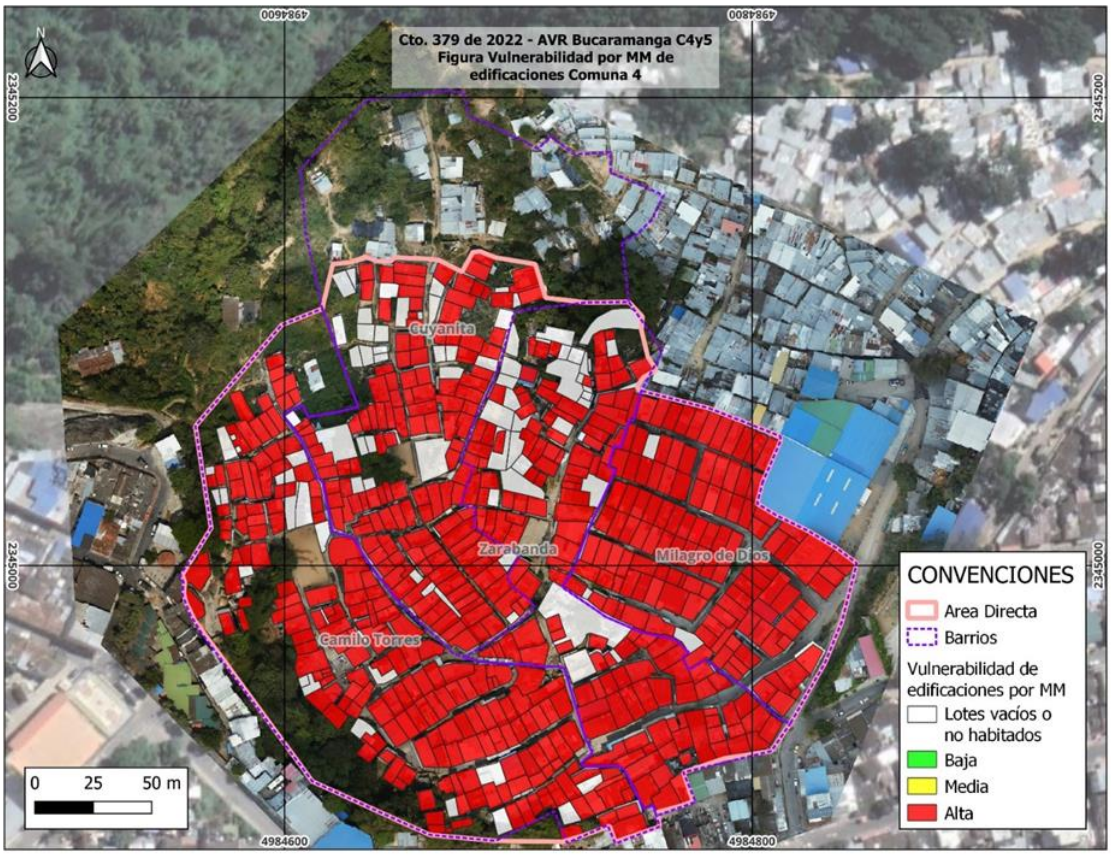


Figura 3.274 Zonificación de la Vulnerabilidad por MM de edificaciones sector Comuna 4

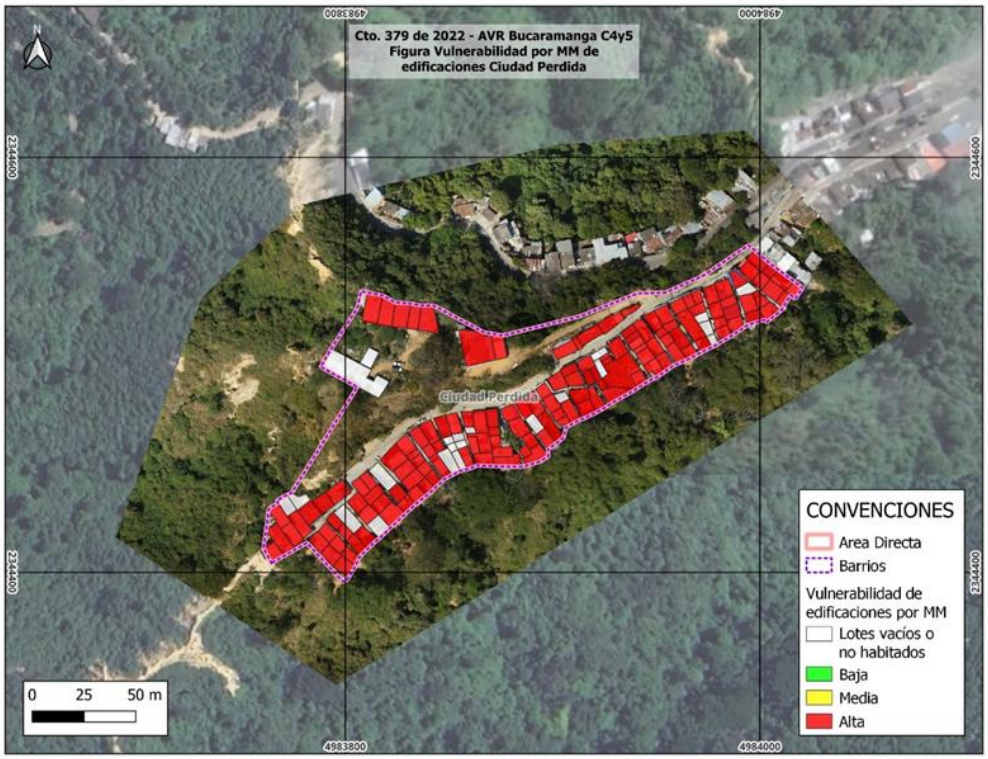


Figura 3.275 Zonificación de la Vulnerabilidad por MM de edificaciones sector Ciudad Perdida

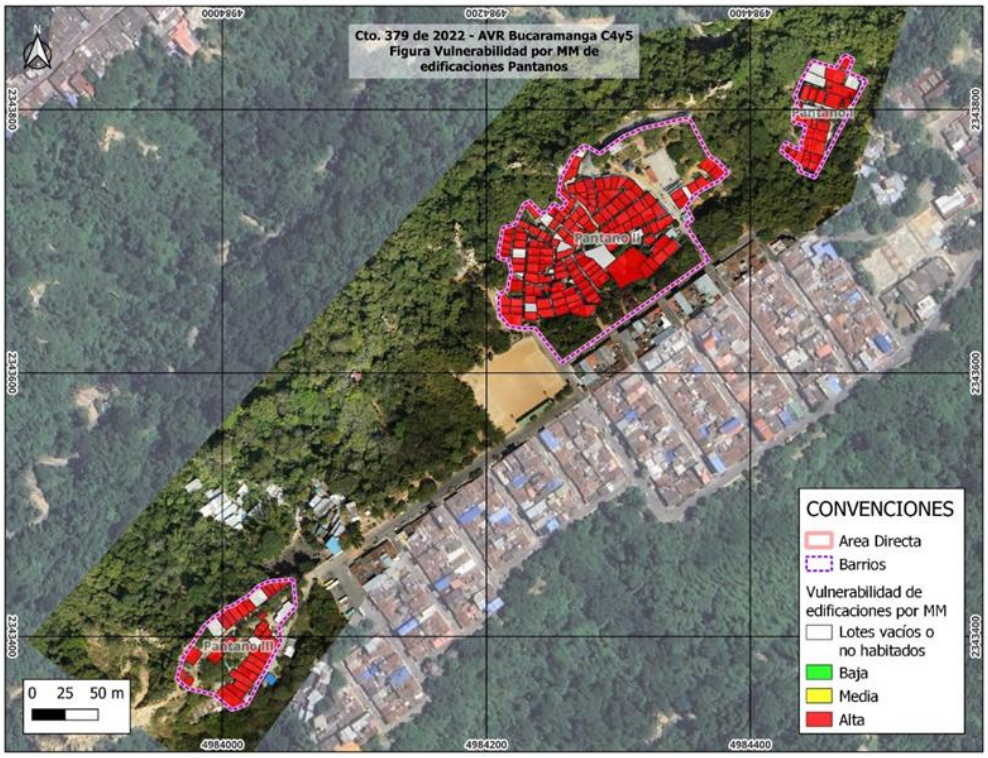


Figura 3.276 Zonificación de la Vulnerabilidad por MM de edificaciones sector Pantanos

La vulnerabilidad física de las personas está relacionada directamente con la vulnerabilidad de las edificaciones en las que se encuentran habitando, es por ellos que, se tiene una vulnerabilidad alta de personas.

Para la vulnerabilidad por Inundación y avenida torrencial, se define mediante la combinación de la fragilidad y la intensidad tanto por inundación como por avenidas torrenciales en edificaciones. En primera instancia, para la Comuna 4, el 38.8% presenta una vulnerabilidad alta por inundación y los daños esperados son colapso total de la estructura y un 52.4% de vulnerabilidad por inundación baja en la que se presentara grietas grandes y profundas, para avenida torrencial se tiene que el 86.5% presenta una vulnerabilidad baja y el 9.9% una vulnerabilidad alta, para la comuna 5 (Pantanos) se tiene que el 64.2% corresponde a una vulnerabilidad por inundación alta y el 32.4% una vulnerabilidad por inundación baja, para la vulnerabilidad por avenida torrencial el 98.3% presenta una vulnerabilidad baja y el 1.1% una vulnerabilidad alta y finalmente, para el sector de Ciudad Perdida en mayor proporción se tiene que el 63.2% presenta una vulnerabilidad por inundación baja y el 30.4% una vulnerabilidad por inundación alta y para vulnerabilidad por avenida torrencial se tiene un 95.2% vulnerabilidad baja y un 2.4% vulnerabilidad alta.

La vulnerabilidad de personas por inundación presenta en general una vulnerabilidad baja en mayor porcentaje, siendo así, para la comuna 4, un 68.6% y Ciudad Perdida, un 73.6%, exceptuando la comuna 5, que tiene en mayor porcentaje una vulnerabilidad alta por inundación del 48.6% y vulnerabilidad baja del 43%. Para la vulnerabilidad por avenida torrencial, la zona de estudio presenta una vulnerabilidad baja, entre el 91% y 98%.

3.13.2 Evaluación de Vulnerabilidad Social

Para las actividades del componente social se adelantó la recolección de información mediante visitas predio a predio, se visitó el 100 por ciento de las viviendas, para el caso de donde no se encontraban personas que brindaran información en la primera visita, se programaron nuevos recorridos, con la finalidad de recoger lo definido en el instrumento elaborado para el conocimiento de las condiciones de las familias, se utilizó la encuesta como instrumento de recopilación de información, con preguntas prediseñadas.

3.13.2.1 Caracterización de la Población

Unidad de Análisis

La unidad de análisis está definida como el hogar/ familia que reside en un predio- del cual se obtuvo información y que se presentan sus resultados de la sistematización de información del barrio Pantano III, para precisar la cantidad de familias identificadas que conforman el barrio, se identificaron con el componente estructural los predios definiendo las siguientes categorías:

- **Sin Habitar:** predio donde al momento de la visita no hay familia habitándolo
- **Lote:** predio sin ninguna construcción
- **En construcción:** lote en que hay un proceso de construcción pero que no está finalizado y por ende no es habitable
- **Encuestas:** es la información recogida a las familias personas que la brindaron

- **Sin Información:** son predios donde habita una o varias familias que no fue posible contactar o que no brindaron información.

A continuación, se realiza descripción de algunos de los resultados encontrados para cada una de las comunas, que permite saber la cantidad de encuestas levantadas, la población y algunas de sus características, en los informes por sector se encuentra la información detallada.

Tabla 3.76 Identificación de predios, familias y habitantes

COMUNA	SECTOR		PREDIOS	TOTAL PREDIOS	FAMILIAS	TOTAL FAMILIAS	HABITANTES	TOTAL HABITANTES
4	1	Camilo Torres	185	942	193	999	739	3618
4	2	Cuyanita	169		126		400	
4	3	Milagro de Dios	116		181		724	
4	4	Zarabanda	116		155		639	
4	5	Ciudad Perdida	133		125		399	
5	6	Pantano I	24		17		67	
5	7	Pantano II	144		152		473	
5	8	Pantano III	55		50		177	

Se identificaron 942 predios, de caracterizo a 999 familias y 3618 habitantes de los diferentes barrios, 2901 personas para la comuna 4 y 717 personas en la comuna 5.

Tabla 3.77 Habitantes según edad y sexo Comuna 4

CANTIDAD DE MENORES DE EDAD SEGÚN SEXO						CANTIDAD DE ADULTO SEGÚN SEXO				
SEXO	BARRIO CAMILO TORRES	BARRIO CUYANITA	BARRIO MILAGRO DE DIOS	BARRIO CIUDAD PERDIDA	BARRIO ZARABANDA	BARRIO CAMILO TORRES	BARRIO CUYANITA	BARRIO MILAGRO DE DIOS	BARRIO CIUDAD PERDIDA	BARRIO ZARABANDA
MUJER	145	62	108	59	112	252	135	255	147	210
INTER SEX	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
HOMBRE	127	70	114	60	120	215	134	247	133	196

TOTAL, GENERAL	**272**	**132**	**222**	**119**	**232**	**467**	**270**	**502**	**280**	**407**

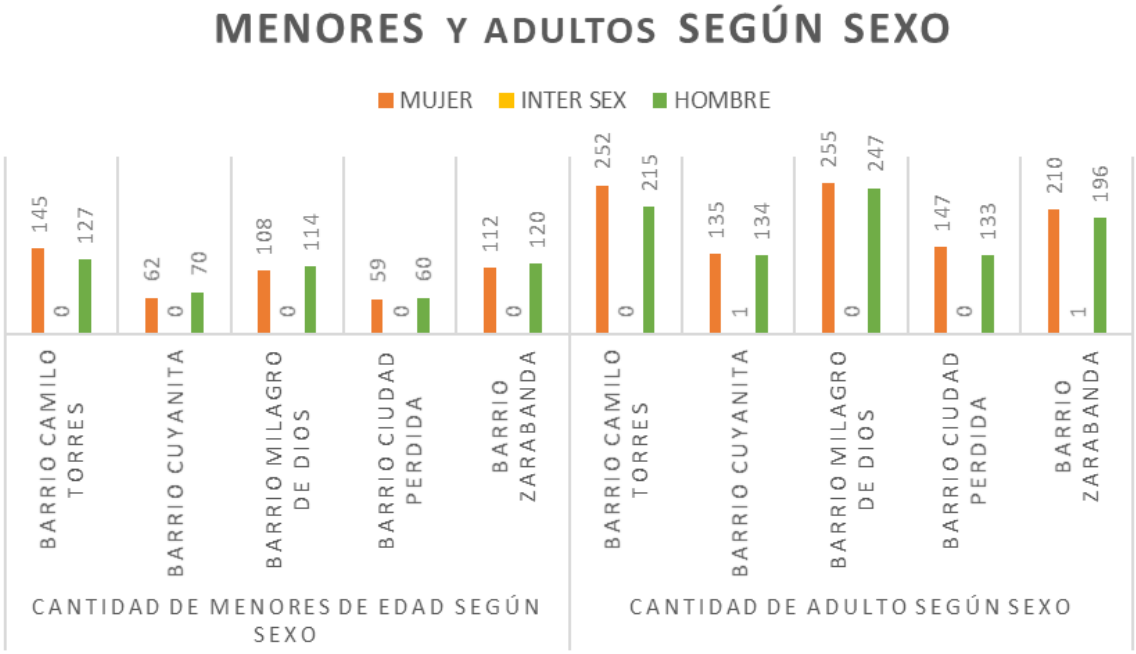


Figura 3.277 Información de menores y adultos según sexo comuna 4

Tabla 3.78 Habitantes según edad y sexo Comuna 5

CANTIDAD DE MENORES DE EDAD SEGÚN SEXO				**CANTIDAD DE ADULTOS SEGÚN SEXO**		
SEXO	**PANTANO I**	**PANTANO II**	**PANTANO III**	**PANTANO I**	**PANTANO II**	**PANTANO III**
MUJER	8	81	32	22	168	60
INTER SEX	0	0	0	0	5	0
HOMBRE	10	64	32	27	155	53
TOTAL, GENERAL	**18**	**145**	**64**	**49**	**328**	**113**

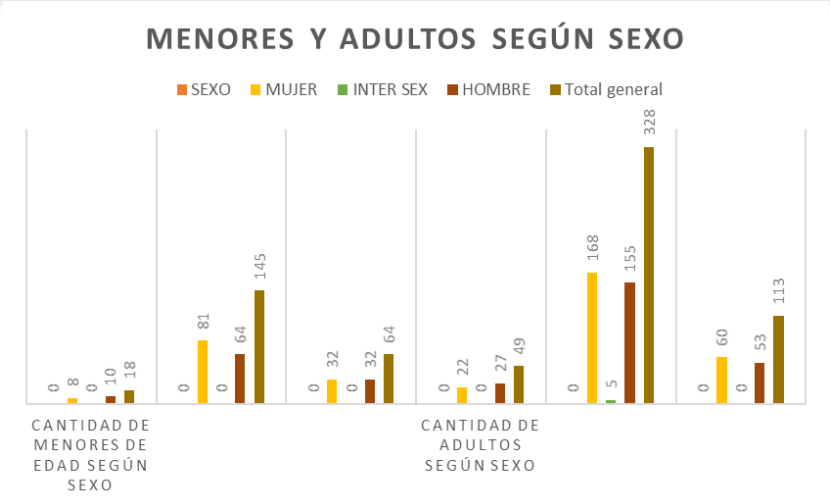


Figura 3.278 Información de menores y adultos según sexo comuna 5

Aspectos Sociodemográficos

Tabla 3.79 Caracterización del encuestado, relación con el predio comuna 4

Barrio Camilo Torres		Barrio Cuyanita	Barrio Milagro De Dios	Barrio Ciudad Perdida	Barrio Zarabanda
Propietario	80	77	64	68	46
Arrendatario	30	38	113	34	91
Cuidador	83	11	4	23	18
Total	193	126	181	125	155

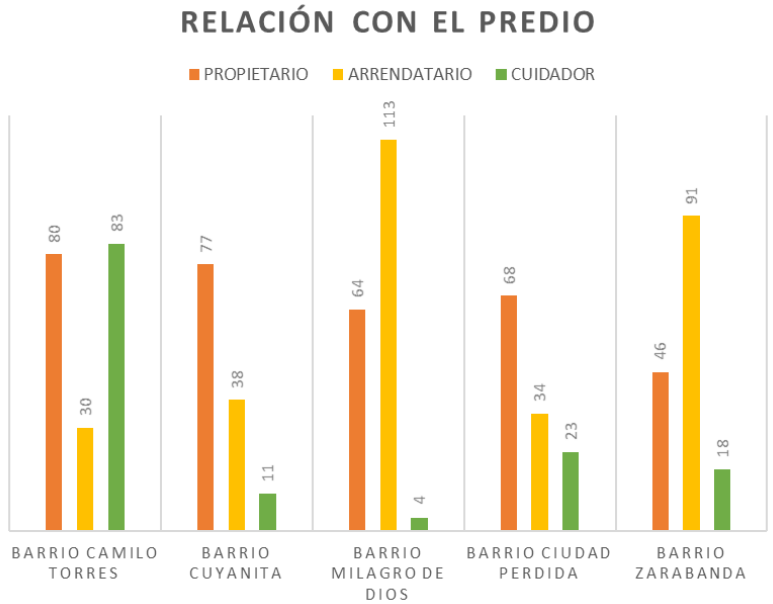


Figura 3.279 Información relación del encuestado con el predio comuna 4

La mayoría de los habitantes de la comuna 4 son propietarios con 335 personas, seguidas de los arrendatarios 306 y por último los cuidadores que suman 139 personas.

Tabla 3.80 Caracterización del encuestado, relación con el predio comuna 5

	Barrio Pantano I	Barrio Pantano II	Barrio Pantano III
Propietario	6	77	29
Arrendatario	6	50	15
Cuidador	5	25	6
Total	17	152	50

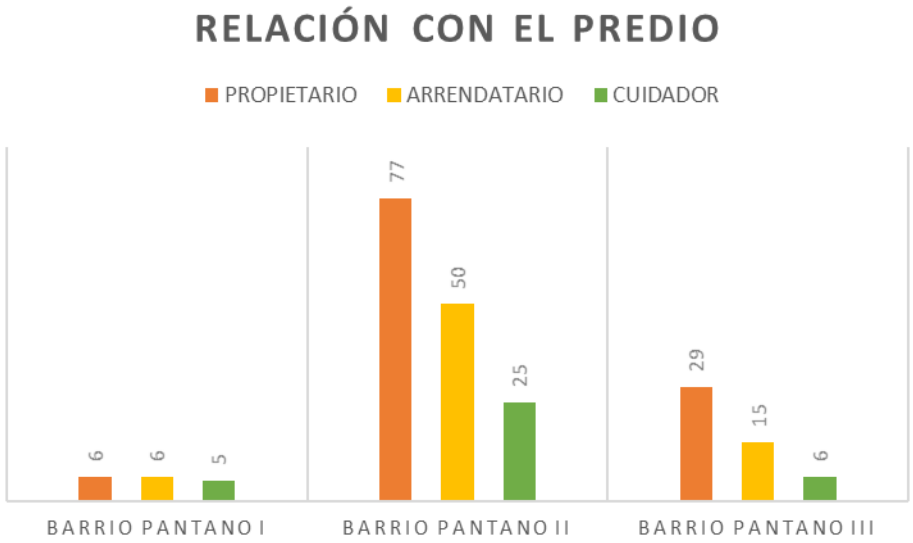


Figura 3.280 Información relación del encuestado con el predio comuna 5

En el mismo caso de la comuna 4, sucede para los habitantes de la comuna 5 la mayoría son propietarios con un total de 112 personas, seguido de los arrendatarios 71 y 36 son cuidadores.

Tabla 3.81 Años de permanencia en el sector comuna 4

Hace Cuanto Vive En El Sector Comuna 4					
Barrio Camilo Torres		Barrio Cuyanita	Barrio Milagro De Dios	Barrio Ciudad Perdida	Barrio Zarabanda
Rangos De Años	No. Jefes	No. Jefes	No. Jefes	No. Jefes	No. Jefes
MENOS DE 1 AÑO	8	9	8	9	0
ENTRE 1 Y 5	75	38	97	28	82
ENTRE 6 Y 10	34	26	31	25	22

ENTRE 11 Y 15	20	20	17	29	12
ENTRE 16 Y 20	14	10	24	14	13
ENTRE 21 Y 25	10	17	3	10	10
MAS DE 26	32	6	1	10	16
TOTAL	193	126	181	125	155

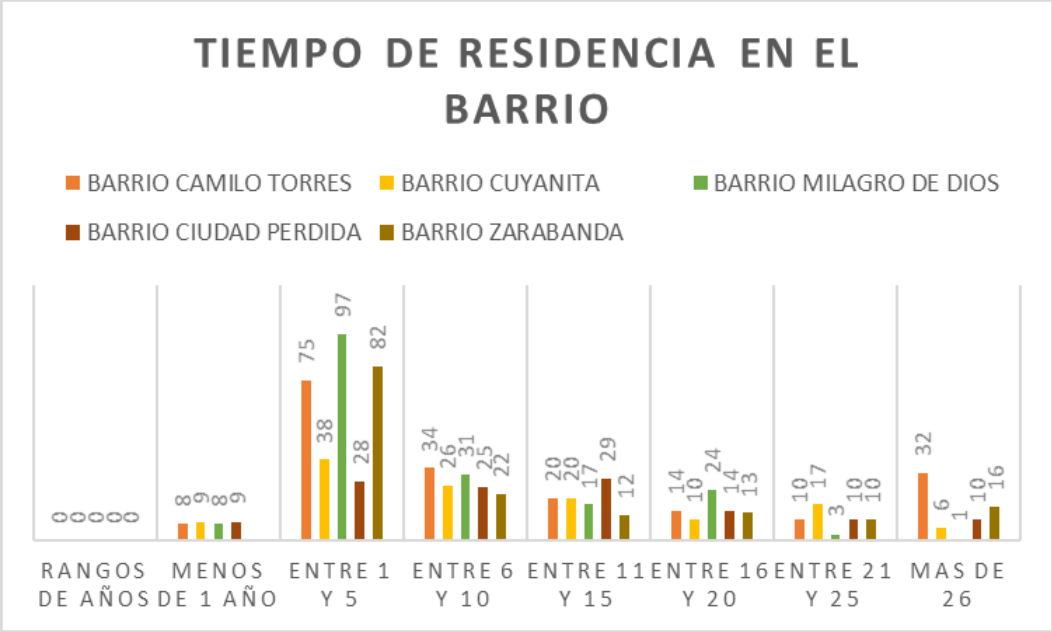


Figura 3.281 Tiempo de vivir en el barrio comuna 4

En cuanto a la cantidad de años de residencia se evidencia que la mayoría de la población vive hace más de 5 años lo que lleva a que tengan una vocación de permanencia que lleva a que estas personas tienen consigo la historia y la memoria de las diferentes actividades y sucesos que se han presentado, pero implican en proyección que acciones que se adelanten tendrán una permanencia en el tiempo.

Tabla 3.82 Años de permanencia en el sector comuna 5

HACE CUANTO QUE VIVE EN EL SECTOR COMUNA 5			
BARRIO PANTANO I		BARRIO PANTANO II	BARRIO PANTANO III
RANGOS DE AÑOS	NO. JEFES	NO. JEFES	NO. JEFES
MENOS DE 1 AÑO	1	17	2
ENTRE 1 Y 5	6	40	14
ENTRE 6 Y 10		20	7

ENTRE 11 Y 15	1	18	7
ENTRE 16 Y 20	2	16	4
ENTRE 21 Y 25		8	2
MAS DE 26	7	33	14
TOTAL	17	152	50

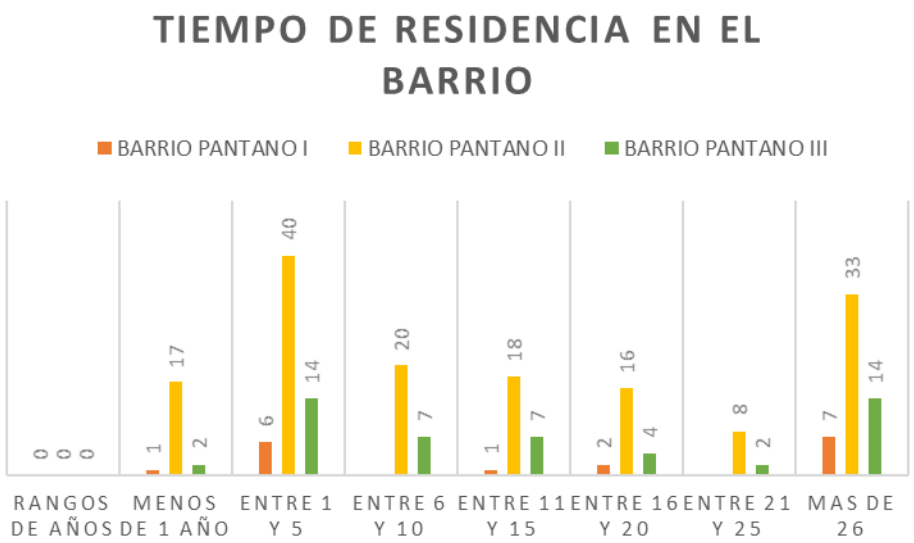


Figura 3.282 Tiempo de vivir en el barrio comuna 5

Los barrios que conforman la comuna 5 y que hacen parte del estudio de riesgo muestran un arraigo en el sector y en los diferentes barrios es decir es una comunidad que se ha venido consolidando y ha permanecido en el sector. Esta situación lleva a que tengan historia de los sucesos de cada sector y permiten en proyección desarrollar actividades que pueden permanecer en el tiempo.

Tabla 3.83 Rango de edad de los habitantes de la comuna 4

COMUNA 4 BUCARAMANGA CANTIDAD DE PERSONAS POR GRUPO ETAREO					
BARRIO CAMILO TORRES		BARRIO CUYANITA	MILAGRO DE DIOS	CIUDAD PERDIDA	ZARABANDA
GRUPO ETAREO	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL
PRIMERA INFANCIA 0 A 6 AÑOS	91	46	102	**38**	89
INFANCIA 7 Y LOS 13 AÑOS, 11 MESES Y 29 DÍA	122	57	88	46	94
JUVENTUD 14 A 28	209	114	209	122	179
ADULTEZ 29 A 59 Y 11 MESES 29 DÍAS	268	152	281	151	237

VEJEZ 60 AÑOS +	49	31	44	42	40
TOTAL	739	400	724	399	639

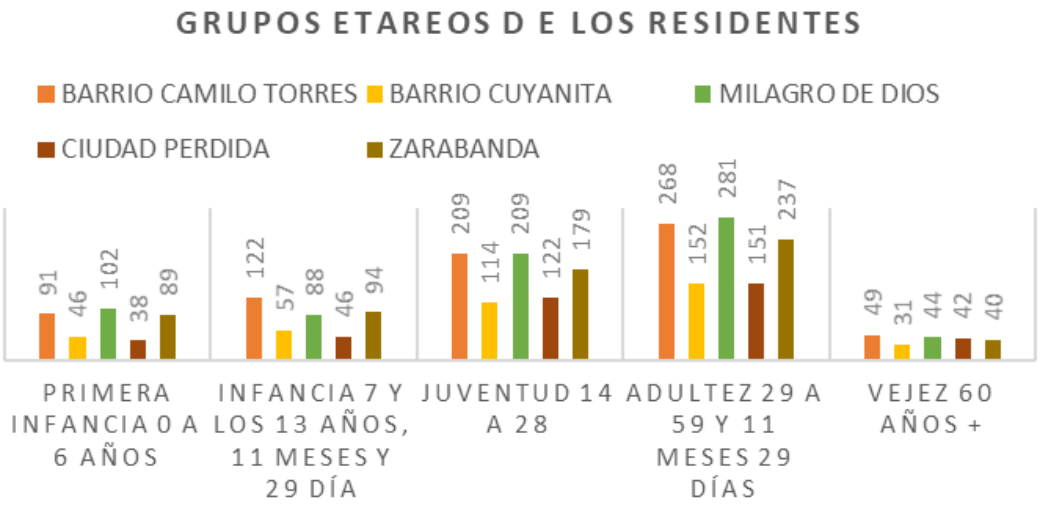


Figura 3.283 Grupo etareo de los residentes comuna 4

Del total de la población la mayor cantidad se ubica en la etapa de la adultez con un 38%, seguido de la juventud con un 29%, sin embargo, al sumar las personas menores de edad representan un 27% y por último están los adultos mayores 7%.

Tabla 3.84 Rango de edad de los habitantes de la comuna 5

COMUNA 5 BUCARAMANGA CANTIDAD DE PERSONAS POR GRUPO ETAREO			
PANTANO I		**PANTANO II**	**PANTANO III**
GRUPO ETAREO	**TOTAL**	**TOTAL**	**TOTAL**
PRIMERA INFANCIA 0 A 6 AÑOS	7	36	25
INFANCIA 6 Y LOS 13 AÑOS, 11 MESES Y 29 DÍA	6	67	25
JUVENTUD 14 A 28	24	131	41
ADULTEZ 29 A 59 Y 11 MESES 29 DÍAS	28	181	69
VEJEZ 60 AÑOS +	2	58	17
TOTAL	67	473	177

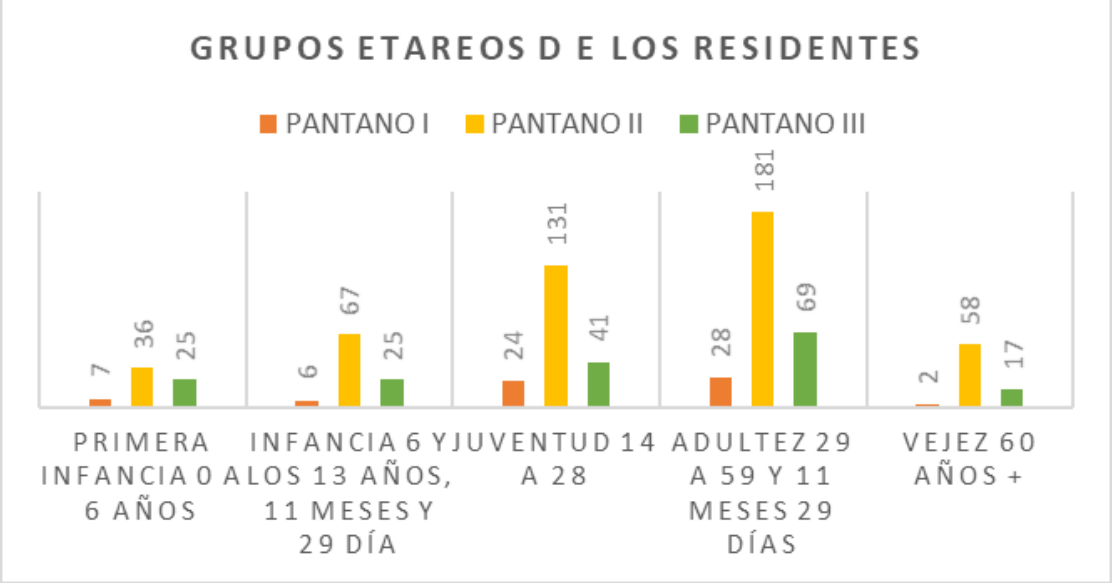


Figura 3.284 Grupo etareo de los residentes comuna 5

Para el caso de los barrios de la comuna 5, la etapa de la adultez es la que más personas agrupa representan el 39% del total de la población, seguido por los jóvenes que son el 27% y los menores de edad que son el 23%, por último, los adultos mayores el 11%.

Con respecto a la información recogida para los barrios de la comuna 4 y 5, se puede inferir que es una población adulta y joven la que conforma los barrios, por lo que se podría pensar que los apoyos puedan ir direccionados a contribuir con las economías de los hogares.

Acceso a Servicios Públicos

Tabla 3.85 Acceso a servicios públicos comuna 4

Barrio Camilo Torres		Barrio Cuyanita	Barrio Milagro De Dios	Barrio Ciudad Perdida	Barrio Zarabanda
Agua	**Total**	**Total**	**Total**	**Total**	**Total**
ACUEDUCTO	12	0	0	0	0
PILA COMUNITARIA	180	123	181	125	155
SIN INFORMACIÓN	1	3	0	0	0
Total	193	126	181	125	155
Alcantarillado	**Total**	**Total**	**Total**	**Total**	**Total**
ARTESANAL	180	10	181	125	155
FORMAL	13	0	0	0	0
NO TIENE	0	114	0	0	0
NO RESPONDE	0	2	0	0	0
Total	193	126	181	125	155

GAS	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL
NO	66	89	155	10	**65**
SI	127	35	26	115	90
NO RESPONDE	0	2	0	0	0
TOTAL	193	126	181	125	155
RECOLECCIÓN DE BASURAS	**TOTAL**	**TOTAL**	**TOTAL**	**TOTAL**	**TOTAL**
NO	72	123	3	52	0
SI	121	1	178	73	155
NO RESPONDE	0	2	0	0	0
TOTAL	193	126	181	125	155
LUZ	**TOTAL**	**TOTAL**	**TOTAL**	**TOTAL**	**TOTAL**
NO	15	46	0	30	1
SI	178	78	181	95	154
NO RESPONDE	0	2	0	0	0
TOTAL	193	126	181	125	155

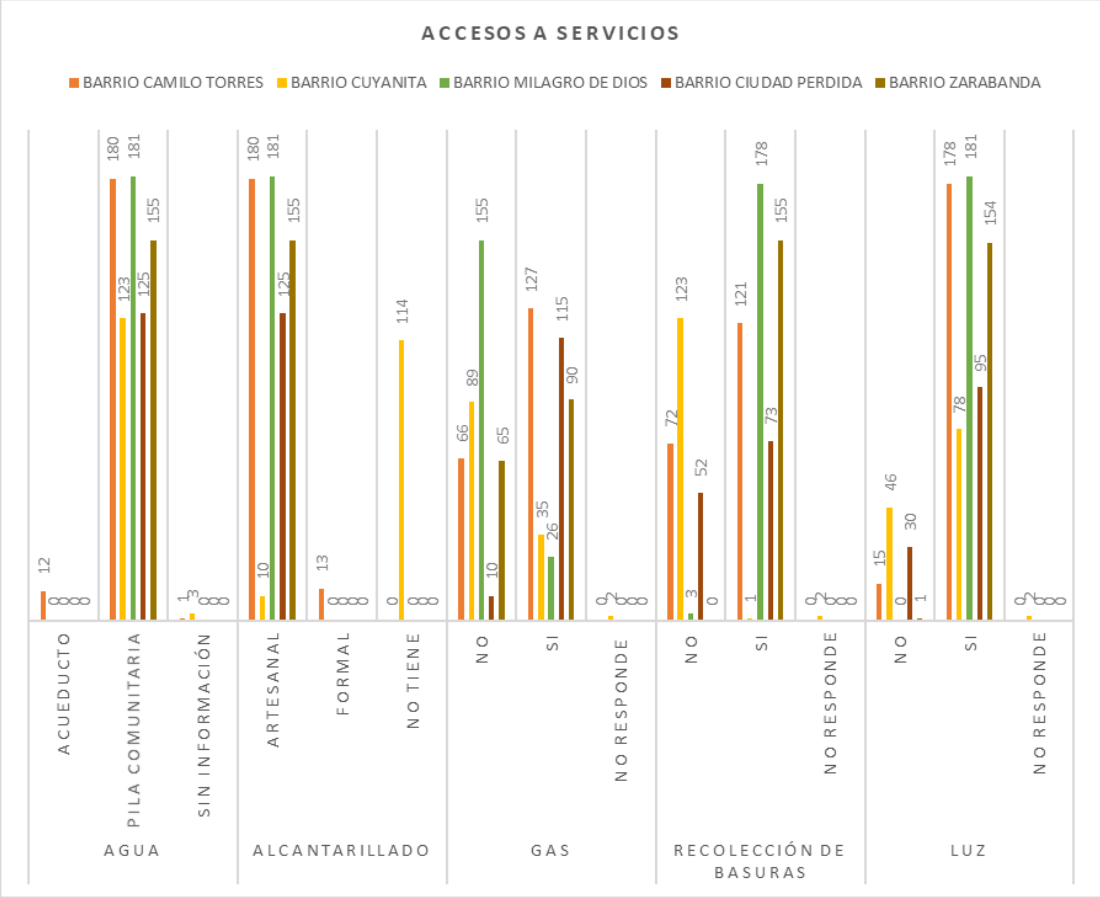


Figura 3.285 Acceso a servicios públicos comuna 4

Con respecto al acceso a servicios públicos la población de los diferentes barrios ha manifestado que los poseen. Pero hay que comentar que el acceder a servicios en algunos casos esta no se alcanza el 100% de cubrimiento como en el caso de Gas, recolección de basuras, luz y alcantarillado, para el agua se obtiene en su mayoría a través de pila comunitaria, en términos generales se accede a los diferentes servicios.

Tabla 3.86 Acceso a servicios públicos comuna 5

BARRIO PANTANO I		**BARRIO PANTANO II**	**BARRIO PANTANO III**
AGUA	**TOTAL**	**TOTAL**	**TOTAL**
ACUEDUCTO	17	0	50
PILA COMUNITARIA	0	150	0
NO RESPONDEN	0	2	0
Total	17	152	50
ALCANTARILLADO	**TOTAL**	**TOTAL**	**TOTAL**
FORMAL	17	0	50
ARTESANAL	0	112	0
NO TIENE	0	3	0
NO RESPONDE	0	37	0
TOTAL	17	152	50
GAS	**TOTAL**	**TOTAL**	**TOTAL**
NO	4	35	24
SI	13	117	26
TOTAL	17	152	50
RECOLECCIÓN DE BASURAS	**TOTAL**	**TOTAL**	**TOTAL**
NO	0	4	12
SI	17	148	38
TOTAL	17	152	50
LUZ	**TOTAL**	**TOTAL**	**TOTAL**

BARRIO PANTANO I		BARRIO PANTANO II	BARRIO PANTANO III
NO	0	4	7
SI	17	148	43
TOTAL	17	125	50

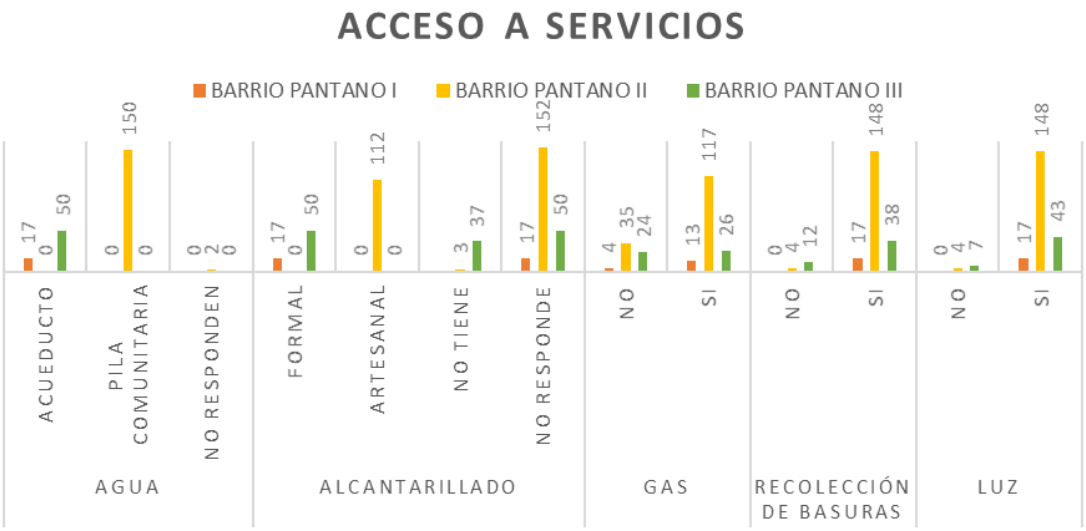


Figura 3.286 Acceso a servicios públicos comuna 5

Para los barrios en esta comuna es más evidente su proceso de consolidación lo que hace que la prestación de servicios sea de manera oficial, con pocos hogares que no cuentan con alguno de los servicios, esto precisa avanzar en el cubrimiento del 100% de acceso.

Situaciones Especiales de la Población

Tabla 3.87 Personas con discapacidad comuna 4

BARRIO CAMILO TORRES		BARRIO CUYANITA	BARRIO MILAGRO DE DIOS	BARRIO CIUDAD PERDIDA	BARRIO ZARABANDA
TIPO DE DISCAPACIDAD	**TOTAL**	**TOTAL**	**TOTAL**	**TOTAL**	**TOTAL**
ALTERACIÓN DEL DESARROLLO	7	6	2	3	7
AUDITIVA	2	0	1	2	6
FÍSICA	11	6	8	9	14
PSICOSOCIAL	2	0	7	4	6
TRASTORNO DEL ESPECTRO AUTISTA	1	1	0	1	4

SORDO- CEGUERA	0	0	1	0	0
VISUAL	5	2	3	4	3
INTELECTUAL	1	1	3		2
TOTAL	29	16	25	23	42

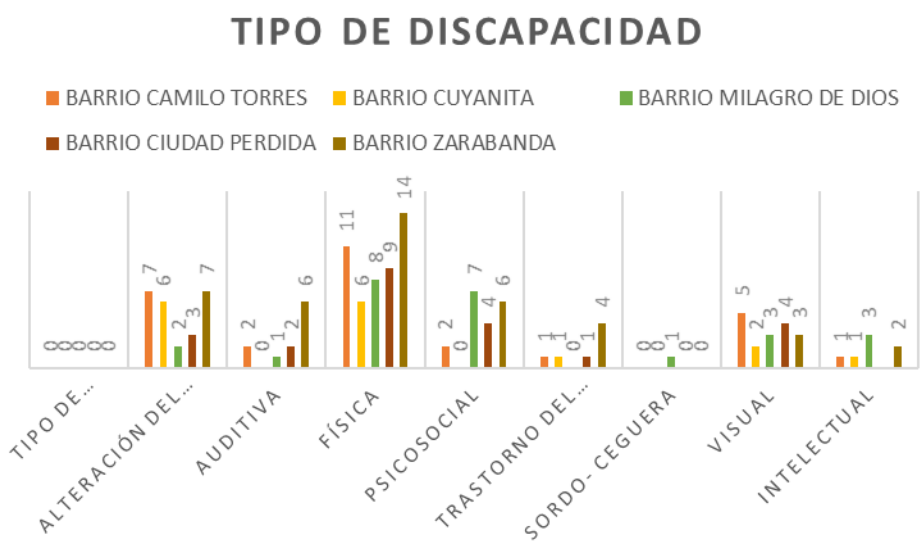


Figura 3.287 Discapacidad de personas comuna 4

En la anterior tabla se evidencia el tipo de discapacidad que presentan algunas de las personas habitantes, así como la cantidad de personas por cada barrio, la mayor cantidad de personas presentan discapacidad física con 36% este valor se toma del total de personas que refieren una discapacidad.

En el caso de la comuna 5 el total de personas es de 135 personas siendo el barrio Zarabanda el que más personas habitantes tienen algún tipo de discapacidad.

Tabla 3.88 Personas con discapacidad comuna 5

TIPO DE DISCAPACIDAD	BARRIO PANTANO I	BARRIO PANTANO II	BARRIO PANTANO III
	TOTAL	TOTAL	TOTAL
ALTERACIÓN DEL DESARROLLO	0	0	1
AUDITIVA	1	1	0
FÍSICA	3	10	0
PSICOSOCIAL	2	4	1
TRASTORNO DEL ESPECTRO AUTISTA	0	0	0
SORDO- CEGUERA	0	1	0
VISUAL	0	0	0
INTELECTUAL	0	0	2
TOTAL	6	16	4

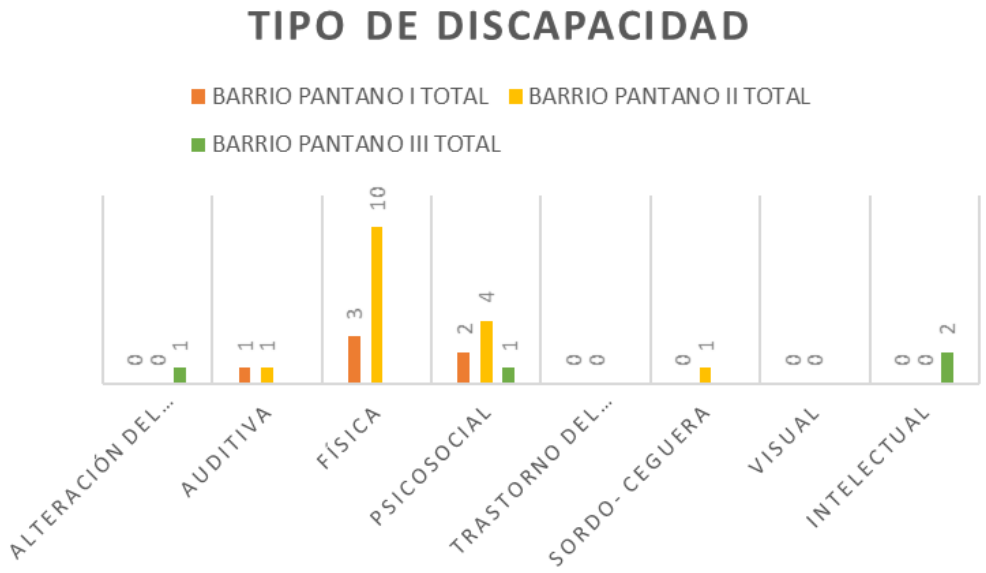


Figura 3.288 Discapacidad de personas comuna 5

Con respecto a la discapacidad es preciso tener presente que dichas personas requieren un apoyo constante si se llega a presentar una situación que el saque de las rutinas normales que desarrollan cada día, debido a que pueden no saber cómo actuar frente a una situación de emergencia o no se puedan movilizar

3.14 ETAPA 13: EVALUACIÓN DEL RIESGO

La evaluación del riesgo es el proceso por el cual se analiza la probabilidad de ocurrencia en un lugar específico o momento determinado de un fenómeno natural potencialmente peligroso para la comunidad y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, este riesgo puede ser clasificado en naturales, tales como, biológicos, químicos, geológicos, hidrológicos y riesgos tecnológicos o aquellos que son provocados por el hombre.

De acuerdo a la guía Metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa en la que el autor (Yamín, 2013) relaciona las causas, efectos y consecuencias negativos en el marco social, ambiental y material, en el que existe la necesidad implícita en la toma de decisiones de desarrollar un análisis que permita su estimación cuantitativa. Estos análisis pueden llevarse a cabo, por ejemplo, en forma determinística, de modo que la estimación del impacto probable se hace con base en un solo evento o escenario o aleatoriamente, integrando el análisis de escenarios múltiples, cada uno con una frecuencia de ocurrencia dada, para obtener así una estimación genérica del riesgo.

3.14.1 Análisis de Resultados

La evaluación del riesgo en edificaciones por movimientos en masa se calcula para dos periodos, 50 años y 10 años, en los que principalmente se considera algunos aspectos ligados a la problemática de vulnerabilidad social que se vive en diferentes predios de cada uno de los 8 barrios en estudio, así como la tipología de las viviendas que corresponde a edificaciones construidas sin ninguna asesoría técnica ni considerando los estándares mínimos requeridos en la norma constructiva.

Inicialmente se calcula para un periodo de 50 años, para el barrio Camilo Torres el riesgo de edificaciones corresponde a un 100% de riesgo alto y un riesgo de personas alto del 71%, medio del 27% y bajo del 2% y cuya perdida probable total se estima en $ 5.632.599.575, para el barrio Cuyanita presenta un riesgo de edificaciones alto del 63% y medio del 37% y un riesgo de personas alto del 40%, medio del 21% y bajo del 39% con una perdida probable total estimada en $1.834.452.451, para el barrio Milagro de Dios se tiene un riego de edificaciones alto del 80% y un riesgo medio del 20% y un riesgo de personas que habitan las edificaciones se tiene que un 17% corresponde a riesgo alto, un 42% a riesgo medio y un 41% a riesgo bajo y se estima una perdida probable total de $4.463.383.707, finalmente para el barrio Zarabanda se tiene un riesgo de edificaciones alto del 100% , para el riesgo de personas un 38% de riesgo alto y un 62% de riesgo medio, dado lo anterior, se tiene que para el barrio Zarabanda se estima una perdida probable total de $2.690.576.189; estos barrios corresponden a la comuna 4, como se evidencia en la Figura 3.289 y Figura 3.290.

Para el barrio Ciudad Perdida, se tiene un riesgo de edificaciones en su mayoría como riesgo alto, que corresponde a un 97% y solo un 3% riesgo bajo, lo que quiere decir es prácticamente inviable algún tipo de medida de intervención, asimismo, se presenta un riesgo alto de personas del 95%, medio del 2% y bajo del 3%. Figura 3.291 y Figura 3.292 y se estima una pérdida total probable en $5.289.025.197.

Por último, para el sector de Pantanos, este corresponde en primera instancia al Pantano I, que presenta un riesgo de edificaciones y personas alto del 100%, para el Pantano II, presenta un riego de edificaciones alto del 93%, medio del 2% y bajo del 5% y riesgo alto de personas del 97% y bajo del 7%,

para el Pantano III, este corresponde a un riesgo alto de edificaciones del 88%, medio del 12% y un riesgo de personas alto del 88% y bajo del 12% como se muestra en la Figura 3.293 y Figura 3.294, en el sector de Pantanos, que comprende tres (3) Pantanos se estima una perdida probable total en $12.865.940.079.

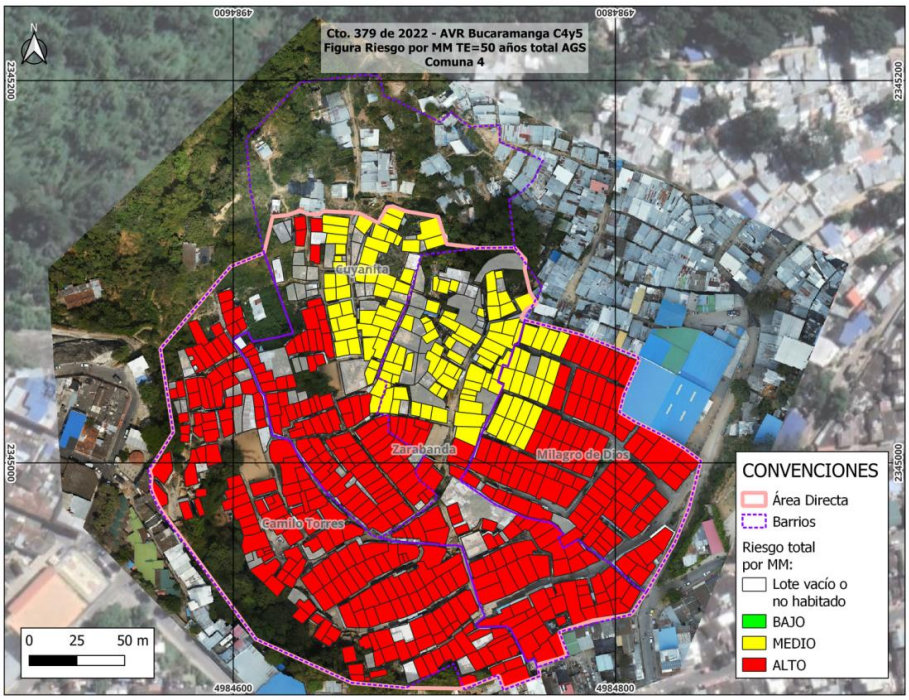


Figura 3.289 Zonificación del riesgo de edificaciones por MM TE=50 años - Comuna 4

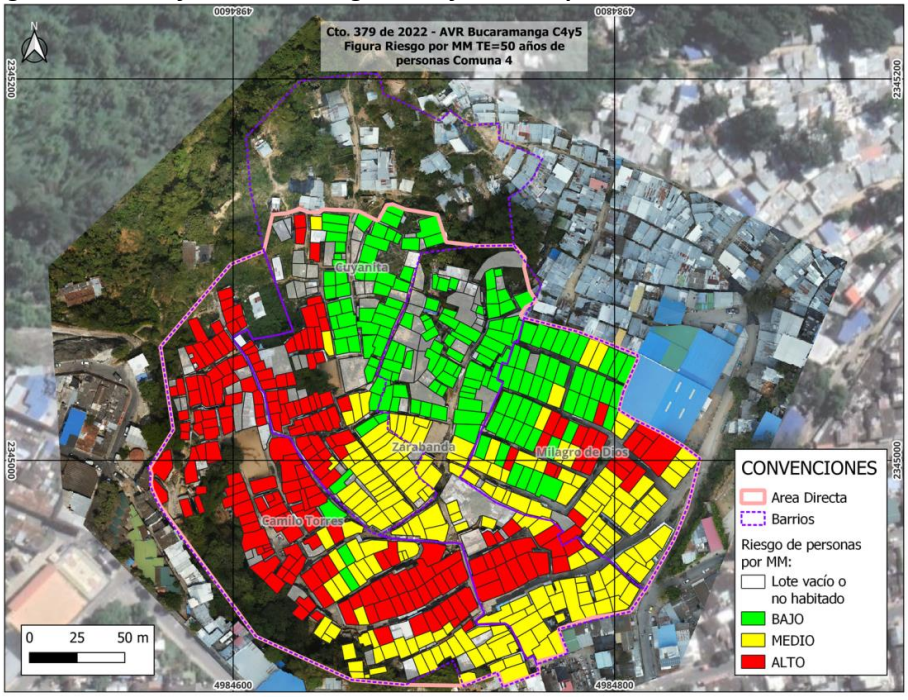


Figura 3.290 Zonificación del riesgo de personas por MM TE=50 años - Comuna 4

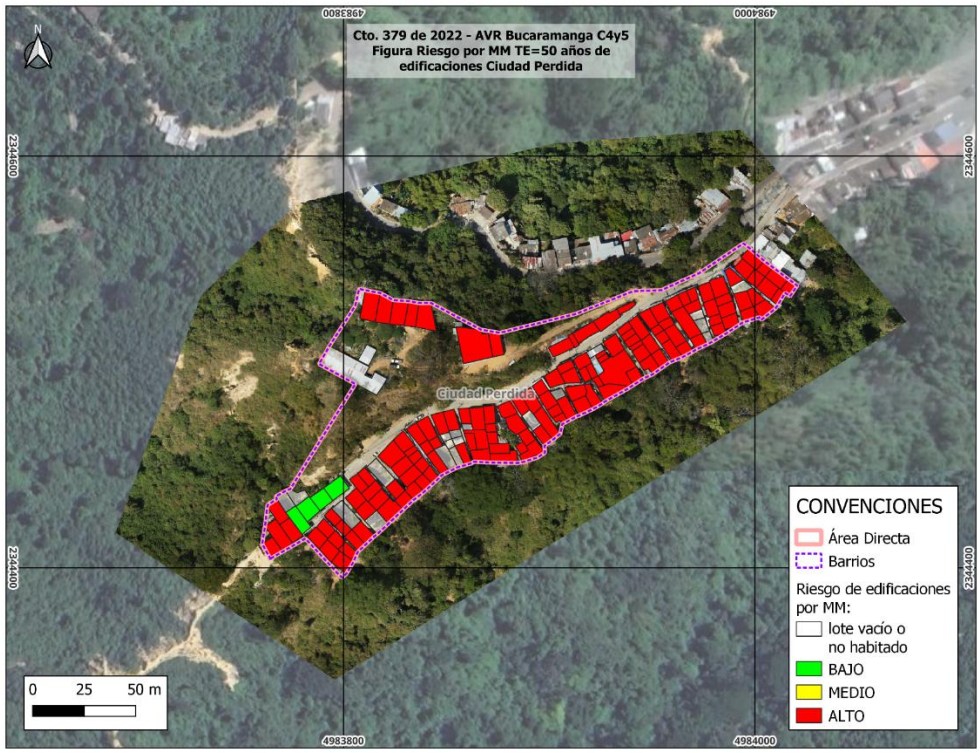


Figura 3.291 Zonificación del riesgo de edificaciones por MM TE=50 años - Ciudad Perdida

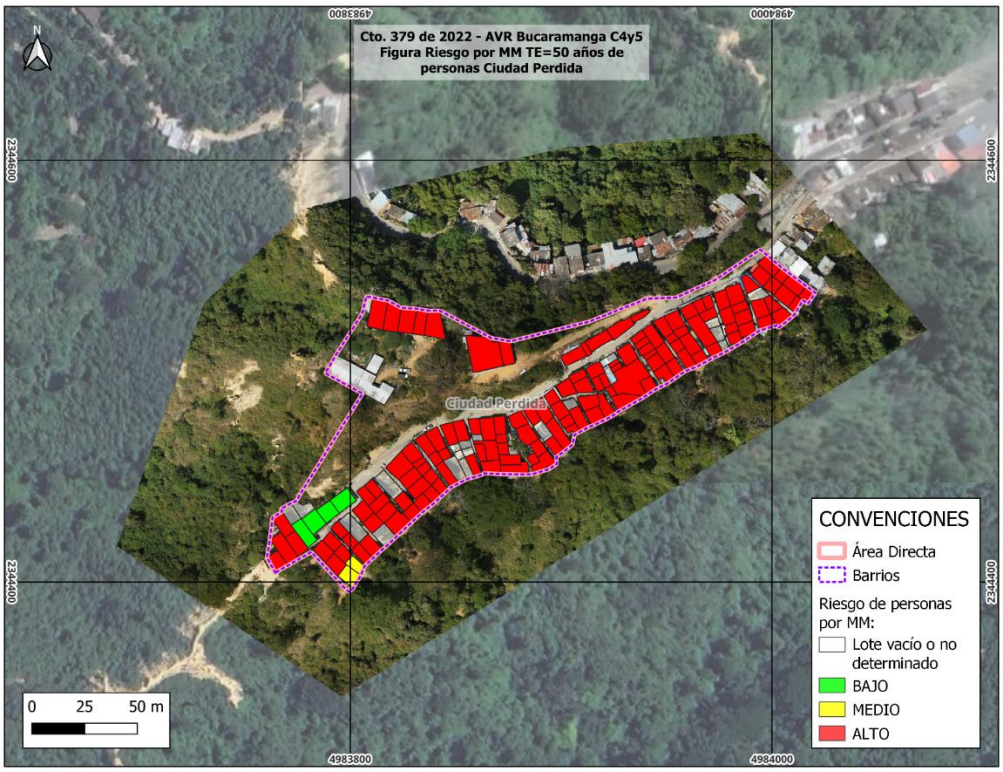


Figura 3.292 Zonificación del riesgo de personas por MM TE=50 años – Ciudad Perdida

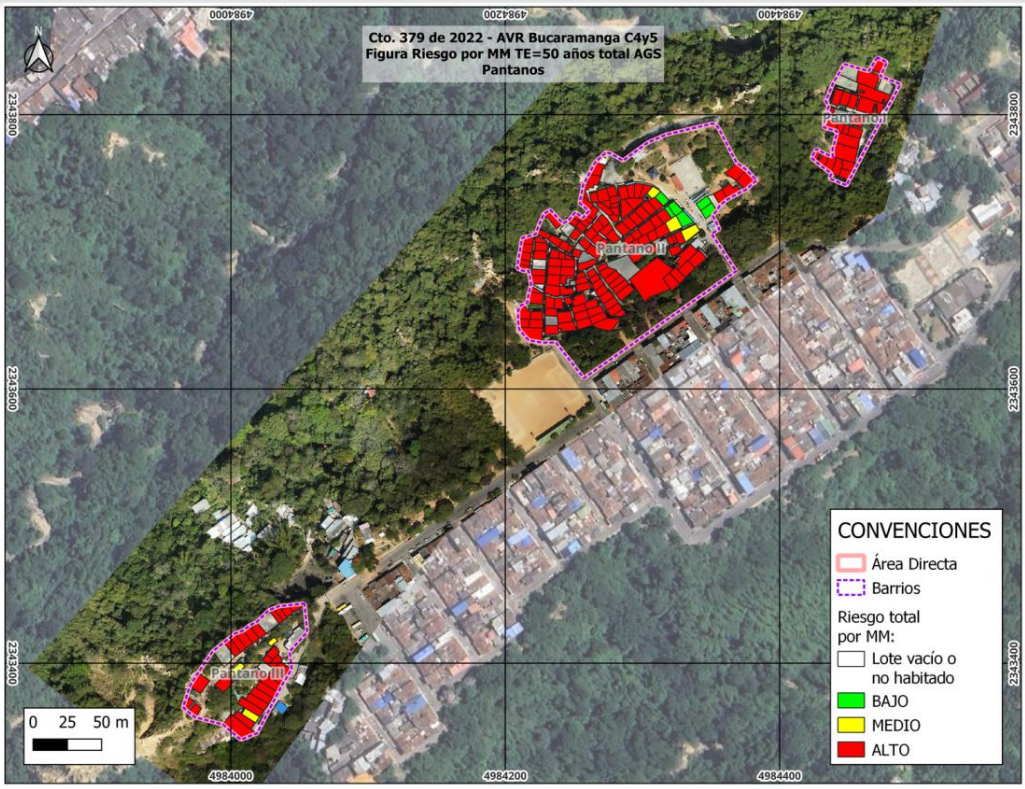


Figura 3.293 Zonificación del riesgo de edificaciones por MM TE=50 años Pantanos

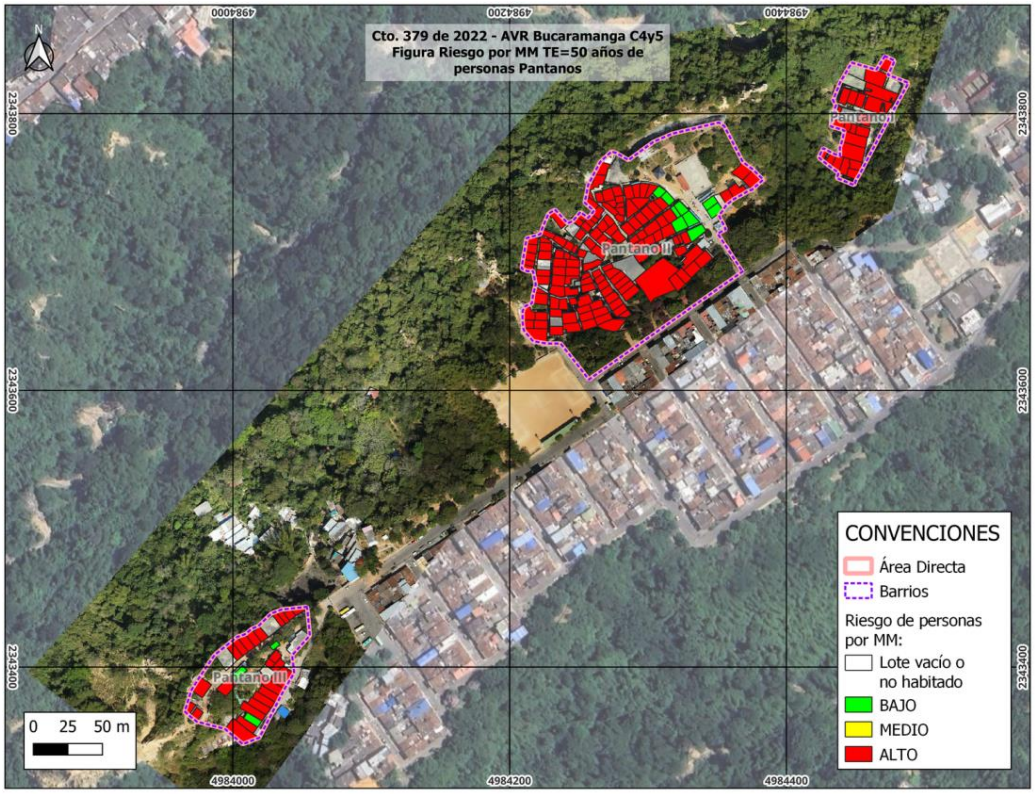


Figura 3.294 Zonificación del riesgo de personas por MM TE=50 años – Pantanos

En segundo lugar, se tiene un análisis para un periodo de 10 años, el cual presenta un riesgo de edificaciones y personas alto, medio y bajo para los cuatro (4) barrios de la siguiente manera, para el barrio Camilo Torres un riesgo alto de edificaciones del 73% y un riesgo medio del 27%, asimismo, se presenta un riesgo de personas del 59% medio y del 40% alto con una perdida probable de $2.088.016.998 , para el barrio Cuyanita un riesgo de edificaciones alto del 41%, medio del 22% y bajo del 37%, un riesgo de personas medio del 62%, bajo del 37% y con una perdida probable total en $428.665.782, para el barrio Milagro de Dios, se tiene que en menor porcentaje se presenta un riesgo de edificaciones alto correspondiente al 25%, seguido de un riesgo bajo del 20% y un riesgo medio del 55%, para el riesgo de personas se presenta un riesgo alto del 17%, bajo del 27% y medio del 56%, lo cual corresponde a una perdida probable total de $1.626.618.250, finalmente, para el barrio Zarabanda se contempla un riesgo de edificaciones y personas correspondiente a un 62% de riesgo medio y alto del 36%y se estima una perdida probable total en $882.534.733. Figura 3.295 y Figura 3.296.

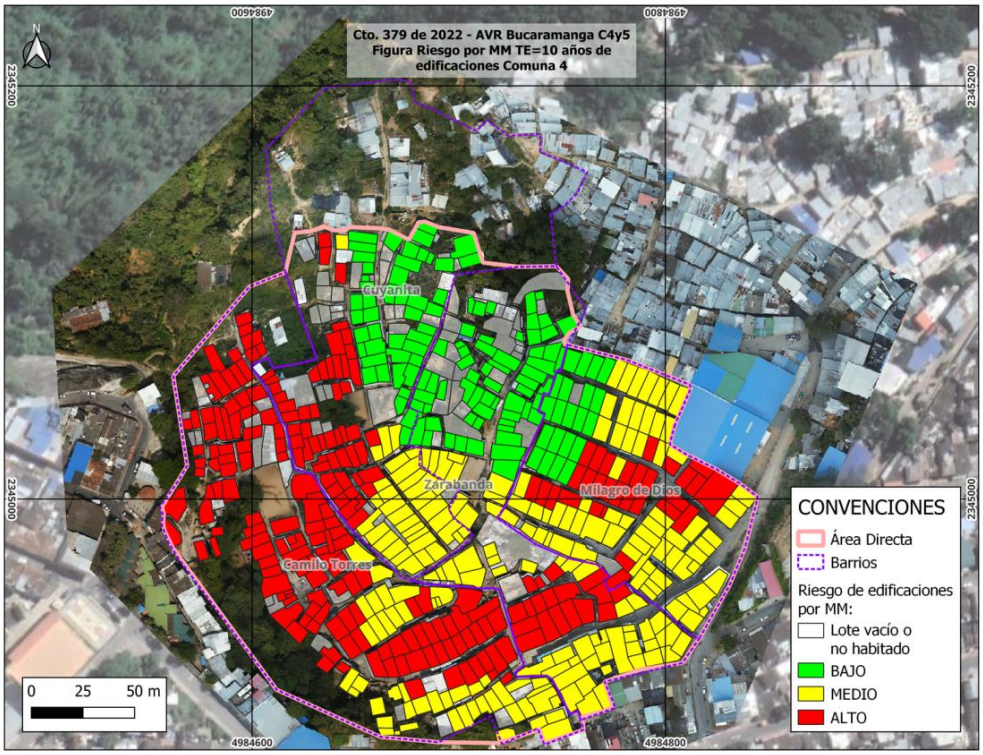


Figura 3.295 Zonificación del riesgo de edificaciones por MM TE=10 años – Comuna 4

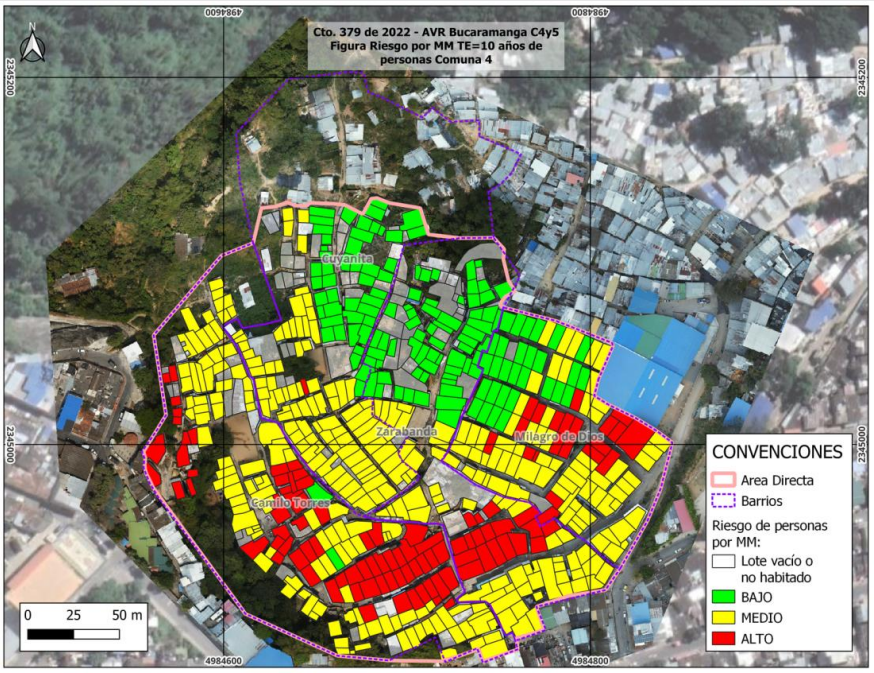


Figura 3.296 Zonificación del riesgo de personas por MM TE=10 años – Comuna 4

Para el barrio Ciudad Perdida en un periodo de 10 años, en mayor porcentaje se presenta un riesgo de edificaciones medio correspondiente al 80%, un riesgo alto del 17% y bajo del 3% y para las personas que habitan las edificaciones se tiene un riesgo medio del 86%, alto del 11% y bajo del 3%, para lo cual, se estima una perdida probable total en $1.428.919.732, lo anteriormente nombrado se ilustra en la Figura 3.297 y Figura 3.298.

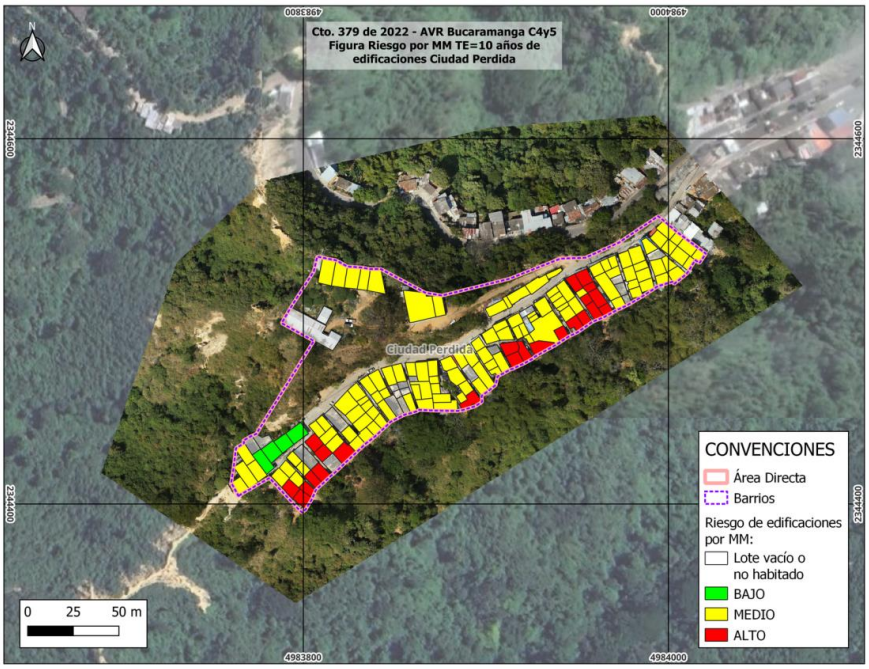


Figura 3.297 Zonificación del riesgo de edificaciones por MM TE=10 años – Ciudad Perdida

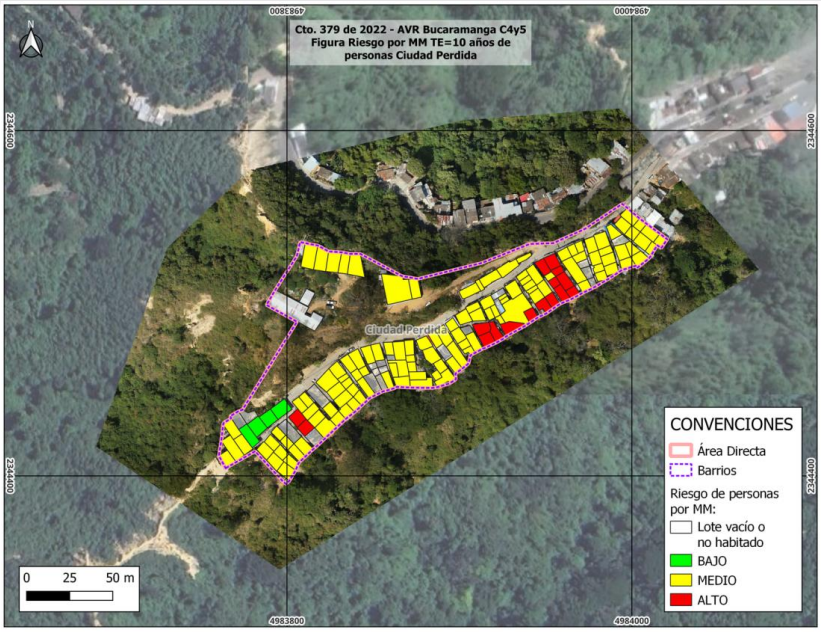


Figura 3.298 Zonificación del riesgo de personas por MM TE=10 años – Ciudad Perdida

Para el sector de Pantanos, en la Figura 3.299 y Figura 3.300, se tiene que para el Pantano I se presenta un riesgo de edificaciones alto del 93, bajo del 7% y un riesgo de personas alto correspondiente al 85%, medio del 8% y bajo del 7%, para el barrio Pantano II, se tiene un riesgo de edificaciones alto correspondiente al 93%, bajo 7% y un riesgo de personas alto con el 85%, medio 8% y bajo correspondiente al 7%, para el Pantano III, se presenta un riesgo de edificaciones y personas alto correspondiente al 88% y bajo del 12%. Se estima una perdida probable total de $5.043.665.534 para un periodo de 10 años.

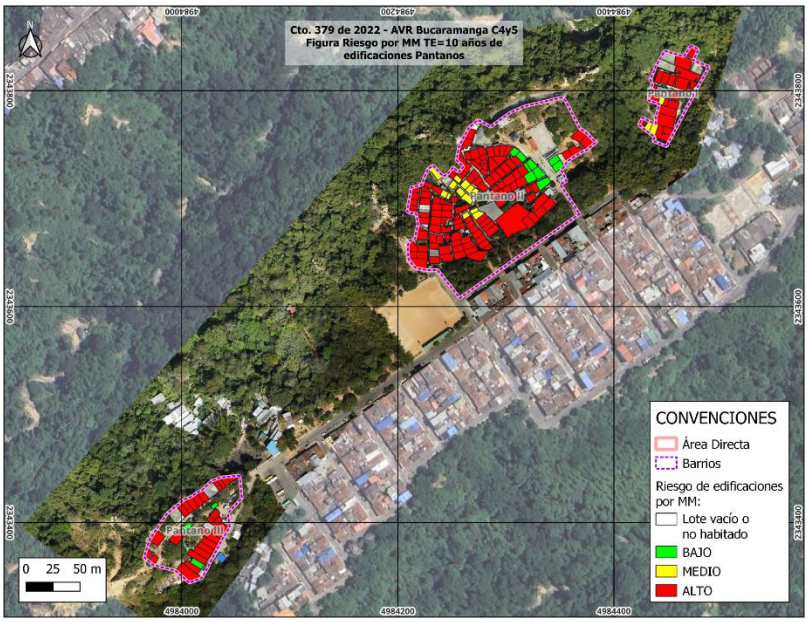


Figura 3.299 Zonificación del riesgo de edificaciones por MM TE=10 años – Pantanos

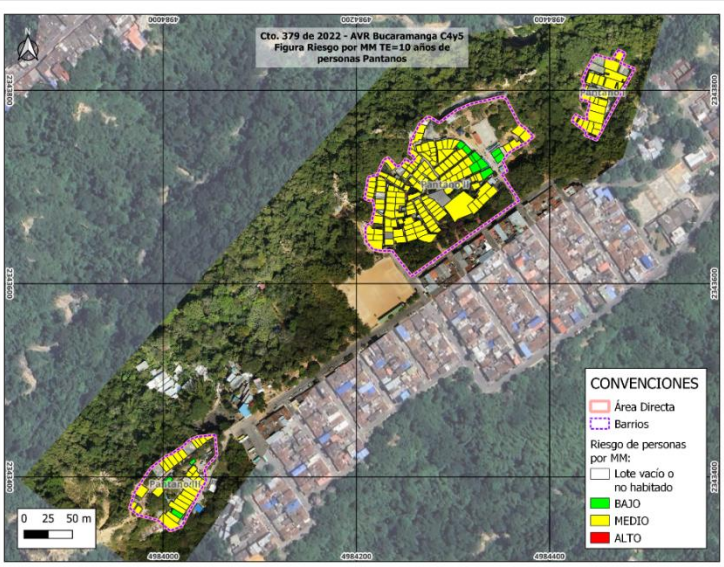


Figura 3.300 Zonificación del riesgo de personas por MM TE=10 años – Pantanos

Por otra parte, en la zona de estudio se identificaron líneas vitales tipo: Líneas de la red vial, acueducto (artesanal), alcantarillado (artesanal), redes eléctricas y redes de gas (plano suministrado por Vanti), en la comuna 4, se presenta un riesgo alto en el costado occidental y oriental y un riesgo bajo al costado norte y una pequeña parte del costado sur riesgo medio, para el sector de Ciudad Perdida se tiene un riesgo alto y para el sector de Pantanos un riesgo alto para un periodo de 10 años.

Para la evaluación de riesgo por inundación y avenidas torrenciales, tanto para edificaciones como para personas se evalúa en primer lugar, el sector de Ciudad Perdida, el cual corresponde a un riesgo total (edificaciones y personas) por inundaciones del 84% de riesgo bajo, un 9% riesgo alto y un 7% riesgo medio, y por avenidas torrenciales se tiene que el 100% corresponde a un riesgo bajo. La pérdida probable total por inundación se estima en $ 602,840,362.

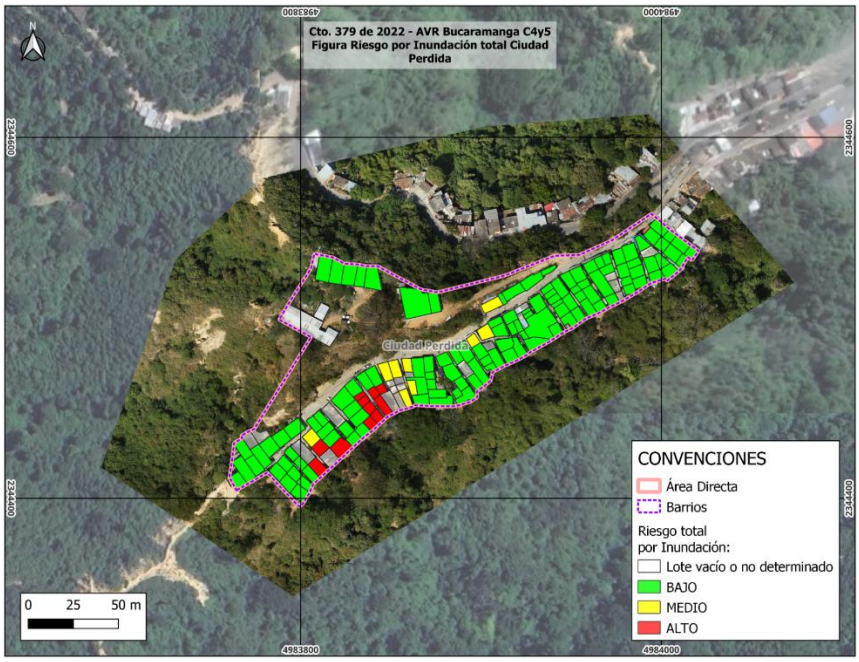


Figura 3.301 Zonificación del riesgo total por Inundaciones – Ciudad Perdida

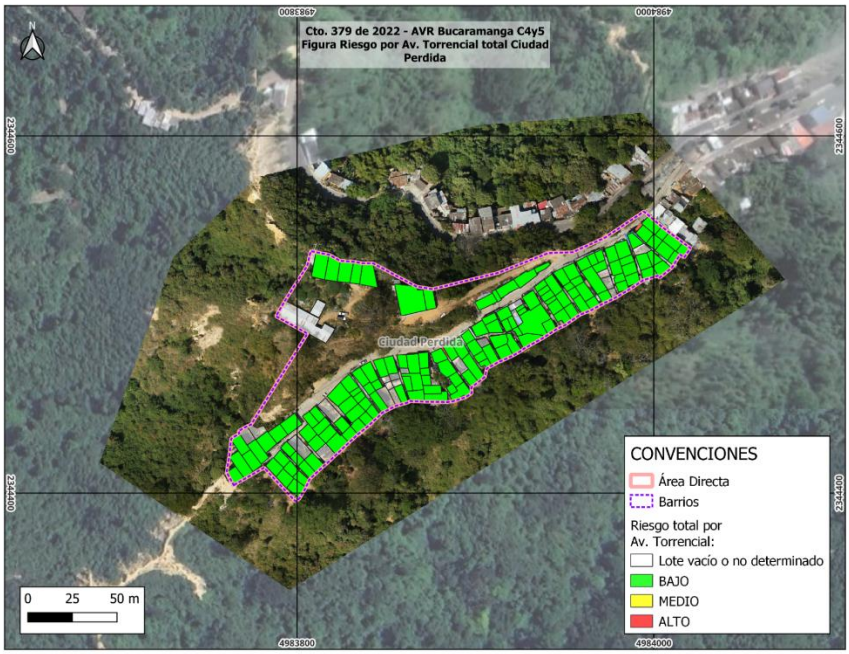


Figura 3.302 Zonificación del riesgo total por Avenida Torrencial – Ciudad Perdida

Para el sector de Comuna 4, se presenta un riesgo por inundaciones del 80% como riesgo bajo, un 14% riesgo alto y un 6% riesgo medio para el barrio Camilo torres, un riesgo bajo del 59%, alto del 39% y medio del 2% para el barrio Cuyanita, un riesgo bajo del 96% y 4% medio para el barrio Milagro de Dios y para el barrio Zarabanda se tiene un riesgo bajo del 74%, alto del 19% y medio del 7% y por avenidas torrenciales se tiene que el 98% corresponde a un riesgo bajo y solo el 2% corresponde a un riesgo

medio por avenida torrencial que corresponde a edificaciones del barrio Camilo Torres como se muestra en la Figura 3.304. La pérdida probable total por inundación se estima en $ 2.942.370.500.

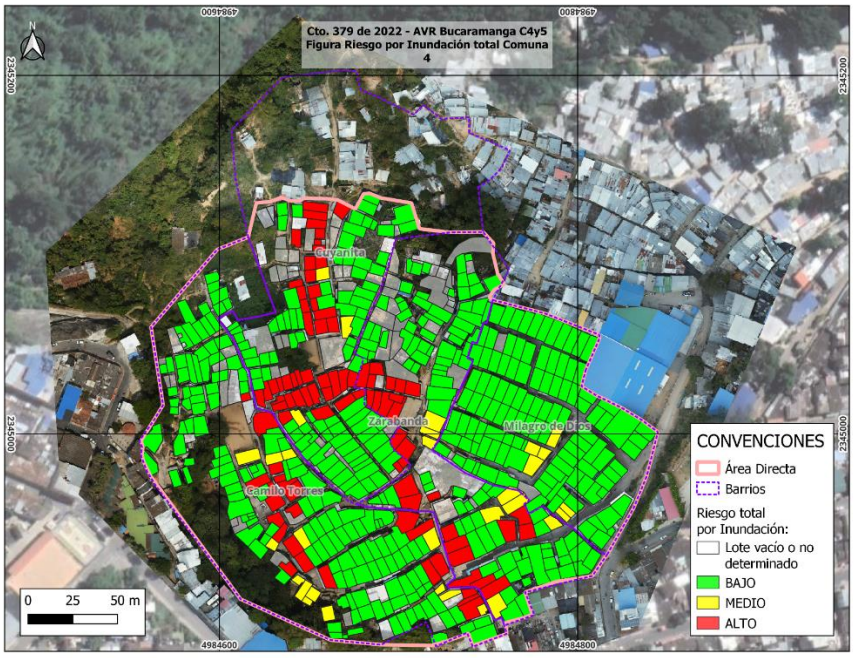


Figura 3.303 Zonificación del riesgo total por Inundación – Comuna 4

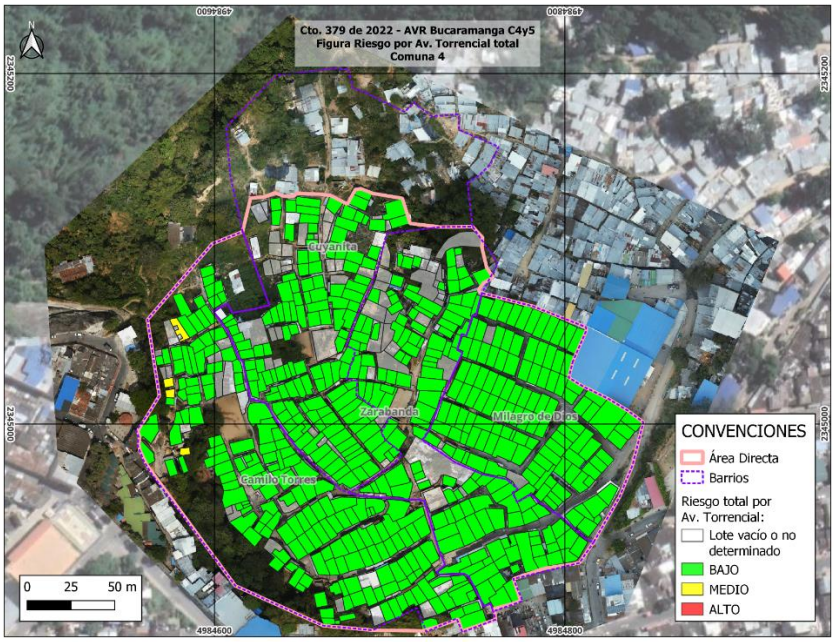


Figura 3.304 Zonificación del riesgo total por Avenida Torrencial – Comuna 4

Por último, para el sector de Pantanos, el riesgo total presentado por Inundación para Pantano I, presenta un 25% de riesgo total en rango alto para 5 viviendas y sus habitantes, un 5% de riesgo total

en rango medio para 1 vivienda y sus habitantes y un 70% de riesgo total en rango medio para 14 viviendas y sus habitantes. La pérdida probable total se estima en $ 304,685,253, para el barrio Pantano II, un 32% de riesgo total en rango alto para 44 viviendas y sus habitantes, un 29% de riesgo total en rango medio para 39 viviendas y sus habitantes y un 39% de riesgo total en rango bajo para 53 viviendas y sus habitantes. La pérdida probable total se estima en $ 3,298,249,137, para el barrio Pantano III, se presenta un 100% de riesgo total en rango bajo para 25 viviendas y sus habitantes. La pérdida probable total por inundación se estima en $ 0, el riesgo por avenida torrencial para el sector Pantanos corresponde al 100% de riesgo bajo, lo cual se estiman perdidas en $0 como se muestra en la Figura 3.306.

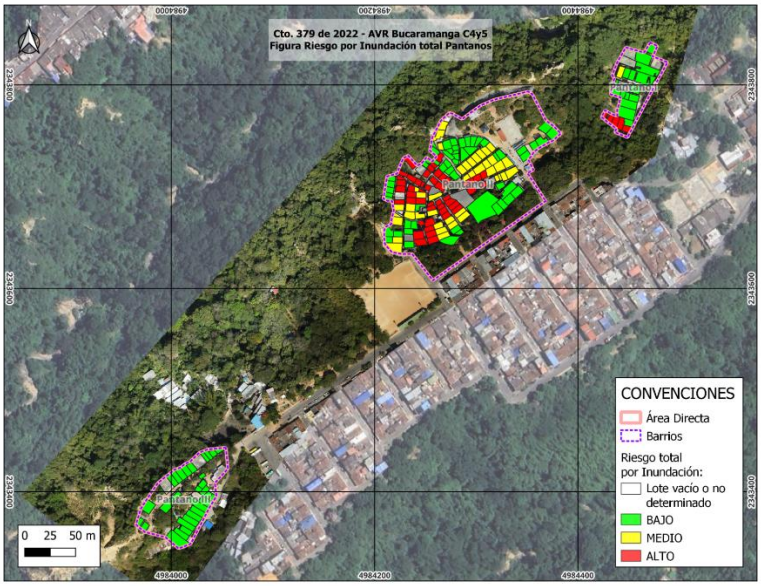


Figura 3.305 Zonificación del riesgo total por Inundación – Pantanos

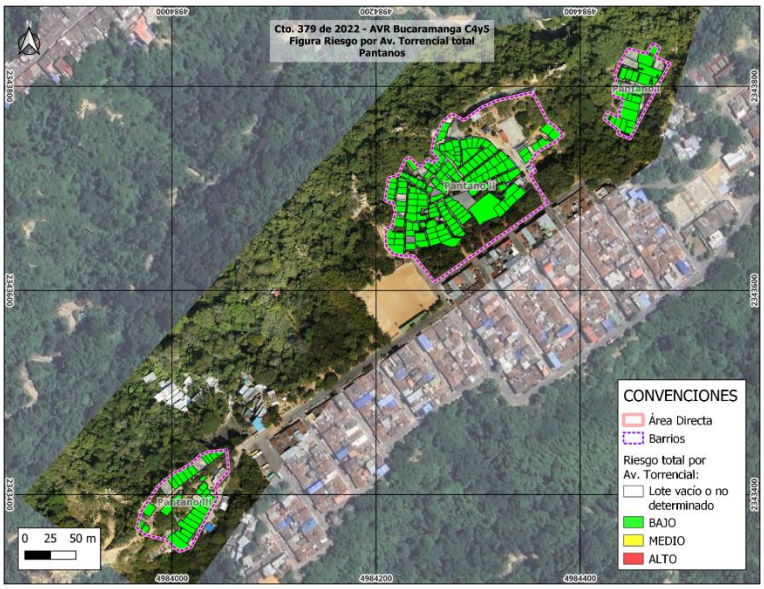


Figura 3.306 Zonificación del riesgo total por Avenida Torrencial – Pantanos

3.14.2 Viabilidad de las Obras de Mitigación

Para la selección de alternativa más adecuada se utilizó una matriz de evaluación heurística basada en análisis multicriterio, tomando como referencia los estudios adelantados previamente en la C1 y C2 (Construcción y Consultoría -2023). Las variables propuestas por los autores son las siguientes:

- Viabilidad técnica
- Viabilidad financiera
- Viabilidad urbanística
- Viabilidad socio cultural
- Viabilidad ambiental

Los autores de igual manera proponen la siguiente calificación para las diferentes variables:

- Viabilidad Técnica 20
- Viabilidad Financiera 20
- Viabilidad Urbanística 20
- Viabilidad Socio – Cultural 20
- Viabilidad Ambiental 20

Es importante destacar que, dentro de las tres alternativas propuestas, se incluye la reubicación de las viviendas en zonas de alto riesgo.

3.14.2.1 Medidas de Mitigación Comuna 4

Este capítulo tiene por objeto presentar las obras de mitigación de la comuna 4; como quiera que sea necesario definir al menos dos alternativas, hay una medida de mitigación en común para las dos alternativas, que corresponde al manejo del agua superficial. En este orden de ideas se presentan inicialmente las alternativas y al final el diseño del manejo del agua superficial, que cómo se mencionó con anterioridad es común a las dos alternativas. Con relación a la comuna 4, se destaca que el deslizamiento de La Feria, debido a su importancia y extensión se presenta en un volumen diferente.

Medidas de Mitigación Alternativa 1

La estabilización de los sectores identificados como de riesgo alto, contempla los siguientes elementos estabilizadores (Ver Figura 3.307):

- Micropilotes. Debido a las limitaciones de espacio y a la alta densificación del sector, se contempla el uso de micropilotes de 0,30 metros de diámetro, separados tres diámetros centro a centro, con una longitud de 25 metros.
- Manejo y control de aguas superficiales a través de cunetas flexibles en manto hormigón.

Un ejemplo del resultado del análisis de estabilidad para el perfil 2-2´, se ilustra en la Figura 3.308 y en la Figura 3.309, donde se observa que la implementación de micropilotes, son suficientes para cumplir los requerimientos mínimos de factor de seguridad, para la condición estática y la condición con sismo. Finalmente, en la Tabla 3.89, se presentan los resultados de los análisis de estabilidad para los

diferentes perfiles definidos en la comuna 4, donde se puede verificar que se cumple con los requerimientos de la NSR10.

Tabla 3.89 Resultados de los análisis de estabilidad para la condición estática y con sismo

Sector	Sección	Sin Sismo		Con Sismo	
		F.S.	P.F.	F.S.	P.F.
Comuna 4	LF_Sec2-2'	1.760	0.0	1.048	32.5
	LF_Sec3-3'	1.806	0.3	1.304	2.7
	LF_Sec4-4'	1.935	0.0	1.121	20.0
	LF_Sec5-5'	1.697	0.0	1.213	7.9

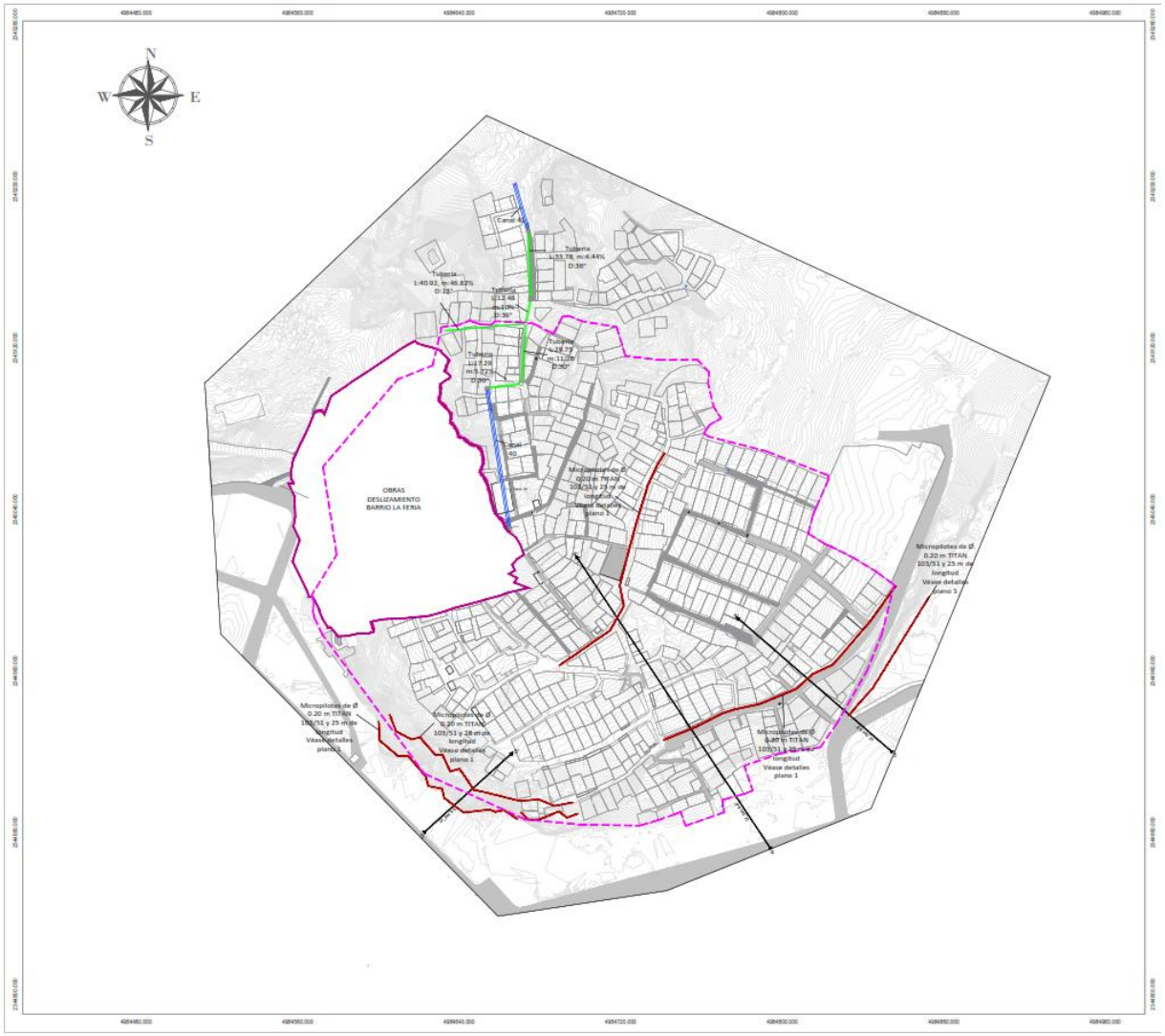
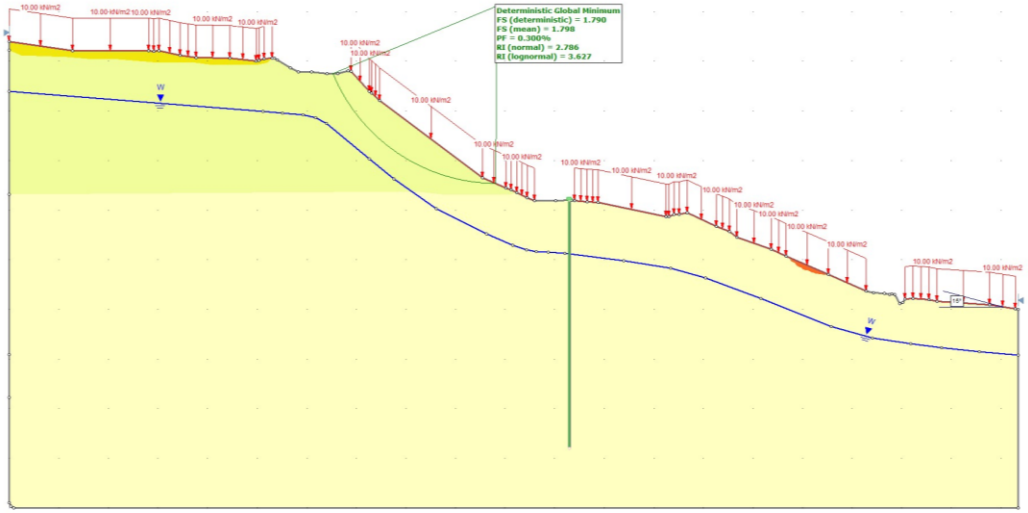


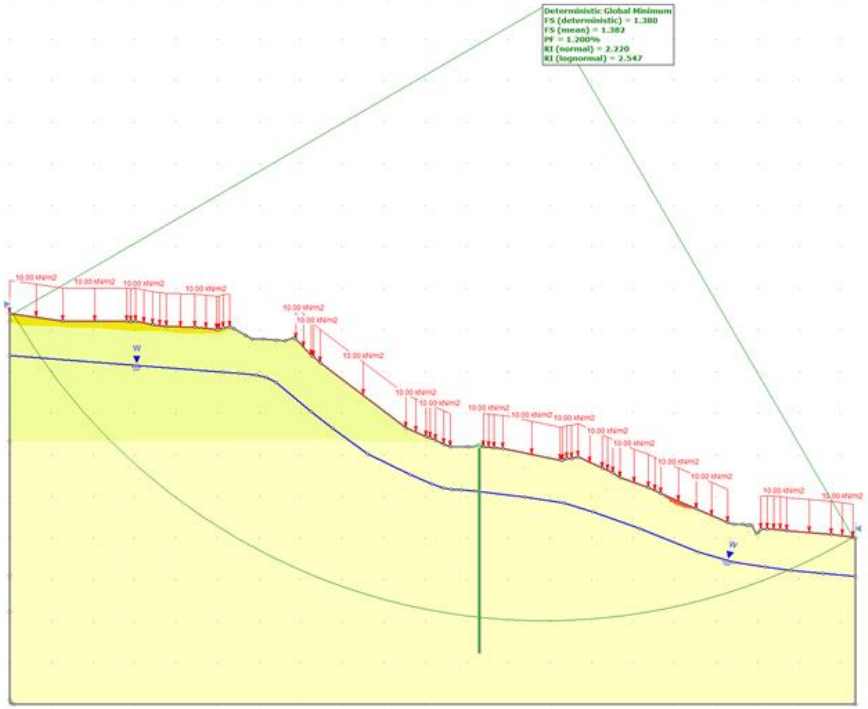
Figura 3.307 Diseño de medidas de mitigación. Alternativa 1



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (°)	Water Surface
Staob - Miembros Órganos		20.7	Mohr-Coulomb	35.5	26.8	Water Table
Stafb - Miembors Finos		19.3	Mohr-Coulomb	15.2	35.2	Water Table
Stagb - Miembro Gravoso		18.6	Mohr-Coulomb	11.5	32.1	Water Table
Sall		18.6	Mohr-Coulomb	0	29.01	Water Table

Support Name	Color	Type	Force Application	Out-Of-Plane Spacing (m)	Failure Mode	Pile Shear Strength (kN)	Force Orientation
TITAN 103/51		Pile/ Micro Pile	Active (Method A)	0.9	Shear	988	Perpendicular to pile

Figura 3.308 Análisis de estabilidad para condición estática. Sección 2-2´



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (°)	Water Surface
Staob - Miembros Órganos		20.7	Mohr-Coulomb	35.5	26.8	Water Table
Stafb - Miembors Finos		19.3	Mohr-Coulomb	15.2	35.2	Water Table
Stagb - Miembro Gravoso		18.6	Mohr-Coulomb	11.5	32.1	Water Table
Sall		18.6	Mohr-Coulomb	0	29.01	Water Table

Support Name	Color	Type	Force Application	Out-Of-Plane Spacing (m)	Failure Mode	Pile Shear Strength (kN)	Force Orientation
TITAN 103/51		Pile/ Micro Pile	Active (Method A)	0.9	Shear	988	Perpendicular to pile

Figura 3.309 Análisis de estabilidad para condición pseudo-estática. Sección 2-2´

Medidas de Mitigación Alternativa 2

Esta segunda alternativa implica la estabilización de los sectores identificados como de riesgo alto, mediante los siguientes elementos estabilizadores (Ver Figura 3.310):

- Pozos Drenantes. Debido a las limitaciones de espacio y a la alta densificación del sector, se contempla el uso de pozos drenantes de 3.5 metros de diámetro, y 9.0 metros de longitud, complementado con un abanico de drenes de penetración que permitan la recolección y abatimiento del agua subterránea. La longitud de los drenes de penetración es de 15 metros. Debido a las dificultades para la evacuación del agua de los pozos drenantes, se propone la instalación de bombas sumergibles encargadas de evacuar el agua almacenada en los pozos drenantes. Esta alternativa presenta el gran inconveniente, que estos elementos pueden ser sustraídos por persona inescrupulosas, motivo por el cual, su implementación es bastante difícil
- Manejo y control de aguas superficiales a través de cunetas flexibles en manto hormigón. Esta solución es básicamente la misma de la alternativa 1.



Figura 3.310 Diseño de medidas de mitigación. Alternativa 2

Medidas de Mitigación Alternativa 3

Las alternativas anteriores proponen acciones enfocadas a la reducción de la amenaza mediante la aplicación de obras geotécnicas cuyo fin es aumentar los valores de factor de seguridad y por ende reducir la probabilidad de falla asociada a estos sectores. Una forma de reducción implica la reducción de la vulnerabilidad, sin embargo, aunque la fragilidad es alta en la zona de estudio, la intensidad es en general de valores altos por lo que, aunque la fragilidad se reduzca existirán muchos casos en que no será suficiente para que la vulnerabilidad se reduzca.

Teniendo en cuenta lo anterior, la alternativa 3 se propone, no reduciendo la vulnerabilidad sino, extrayendo de la zona a los elementos expuestos por completo. En este sentido la alternativa 3 comprende el reasentamiento de los habitantes de las viviendas ubicadas en las zonas de amenaza alta del sector de la comuna 4.

Escogencia de la Alternativa

Definidas las tres alternativas, se procede a la calificación de las cinco variables definidas previamente. En este orden de ideas, la alternativa escogida, corresponderá a la que obtenga la mayor calificación. Los resultados de la calificación se ilustran la Tabla 3.90.

Tabla 3.90 Evaluación multicriterio para selección de alternativas en la Comuna 4

VIABILIDAD	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
Técnica	20	20	20
Financiera	18	15	2
Urbanística	12	10	5
Socio-Cultural	15	10	5
Ambiental	15	15	16
TOTAL	80	70	48

De lo anteriormente expuesto, se concluye que la alternativa más adecuada corresponde a la alternativa 1. Es importante destacar, sin embargo, de la necesidad revisar y mejorar todo el sistema de las tuberías de acueducto y alcantarillado de la zona. Tuberías rotas inyectan manera constante agua al talud, incrementando de manera paulatina su inestabilidad.

Delimitación de Zona de Riesgo Alto Mitigable Bajo la Alternativa Seleccionada

Una vez definidas las obras de mitigación, se obtiene la zonificación de riesgo donde se han diferenciado las zonas de riesgo alto mitigable y no mitigable. La delimitación del riesgo mitigable y no mitigable se enfoca en exclusivo a las zonas de Riesgo Alto, y a realizar la asignación basados en la comparación entre la alternativa seleccionada y la alternativa de reubicación de las viviendas en el área de influencia considerada.

Teniendo en cuenta lo anterior se consideraron proyectos habitacionales VIS actualmente ofrecidos en Bucaramanga, con el fin de establecer un valor estimado de vivienda de reubicación para las edificaciones evaluadas como de riesgo alto. Los valores encontrados se reportan en la Tabla 3.91.

Tabla 3.91 Estudio de mercado para estimación del costo promedio de unidad VIS en Bucaramanga. Elaboración propia.

PROYECTO	COSTO ($)	ÁREA (M^2)	$/$M^2$
Ciudad Tierrabuena Terracota - Marval	$189,660,000	63.48	$2,987,712.67
Ciudadela Verde – Zabdi	$195,000,000	52.51	$3,713,578.37
Bel Tramonto - Inacar	$186,000,000	52.8	$3,522,727.27
Nueva Foresta - Inacar	$155,000,000	53	$2,924,528.30
Terraza de Miraflores - Marval	$184,300,000	60.18	$3,062,479.23
PROMEDIO	**$181,992,000.00**		**$3,242,205.17**

En este sentido para la zona de Comuna 4, siendo que se identificaron un total de 290 predios en amenaza alta dentro del área directa, se estima un total de $ 52,777,680,000.00 por valor de reasentamiento considerando los montos promedio de costo de vivienda. En este sentido se puede establecer que el riesgo es mitigable, pues las alternativas con obras fueron de menor costo al reasentamiento de las viviendas. Las 111 viviendas en la zona del movimiento de la Feria directamente designadas como de riesgo no mitigable.

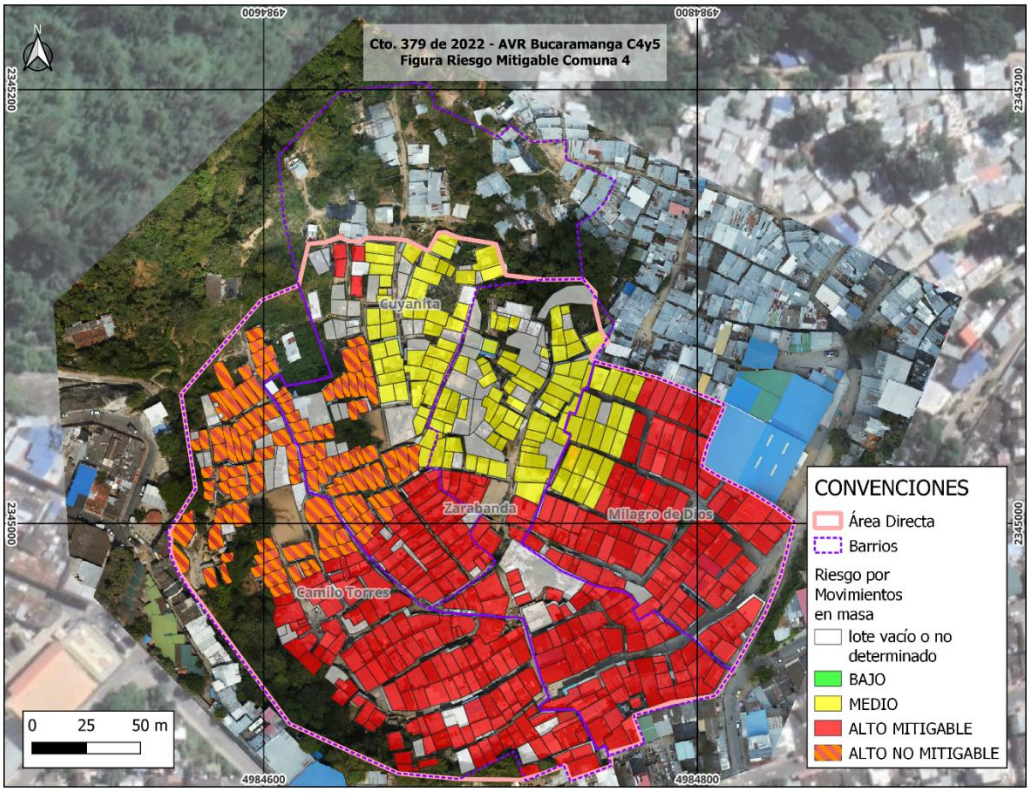


Figura 3.311 Delimitación del riesgo mitigable y no mitigable para la comuna 4.

3.14.2.2 Medidas de Mitigación Ciudad Perdida

Este capítulo tiene por objeto presentar las obras de mitigación de la comuna 4, específicamente del asentamiento denominado Ciudad Perdida. Como quiera que sea necesario definir al menos dos alternativas, hay una medida de mitigación en común para las dos alternativas, que corresponde al manejo del agua superficial. En este orden de ideas, se presentan inicialmente las alternativas y al final el diseño del manejo del agua superficial que, como se mencionó con anterioridad, es común a las dos alternativas.

Medidas de Mitigación Alternativa 1

La estabilización de los sectores identificados como de riesgo alto, contempla los elementos estabilizadores distribuidos de la siguiente manera (Ver Figura 3.312):

- CP_Sec1-1' Dos pantallas de micropilotes de 0.30 m de diámetro, separados 0.90 m. Una de 25 m de longitud, en la parte baja de la ladera; otra de 38 m, compuesta por dos hileras en arreglo tresbolillo, a media ladera. Malla tipo Tecco G65/3 con anclajes de 25 t, en la parte alta del talud. Subdrenes de penetración horizontales de 25 m de longitud y 2" de diámetro, distribuidos en el talud, arriba de la primera pantalla de micropilotes.
- CP_Sec2-2' Una pantalla de micropilotes de 15 m de longitud, de 0.30 m de diámetro, y separación de 0.90 m.
- CP_Sec3-3' Dos pantallas de micropilotes en tresbolillo, de 25 m de longitud, una en la parte inferior de la ladera, y otra sobre el borde noroccidental de la vía. Subdrenes horizontales de 25 m de longitud, diseminados sobre el talud inferior.
- CP_Sec6-6' Subdrenes de 2" de diámetro y 15 m de longitud, dispuestos en el talud occidental del área.
- CP_Sec7-7' Una pantalla de micropilotes de 0.30 m de diámetro y 15 m de longitud. El área superior protegida superficialmente con malla tipo Tecco G65/3, y anclajes de 25 t y 18 m de longitud.
- Manejo y control de aguas superficiales a través de cunetas flexibles en manto hormigón.

Las obras propuestas cumplen con la condición de estabilidad de las laderas con la participación de las medidas de mitigación satisface los requerimientos de la NSR10.

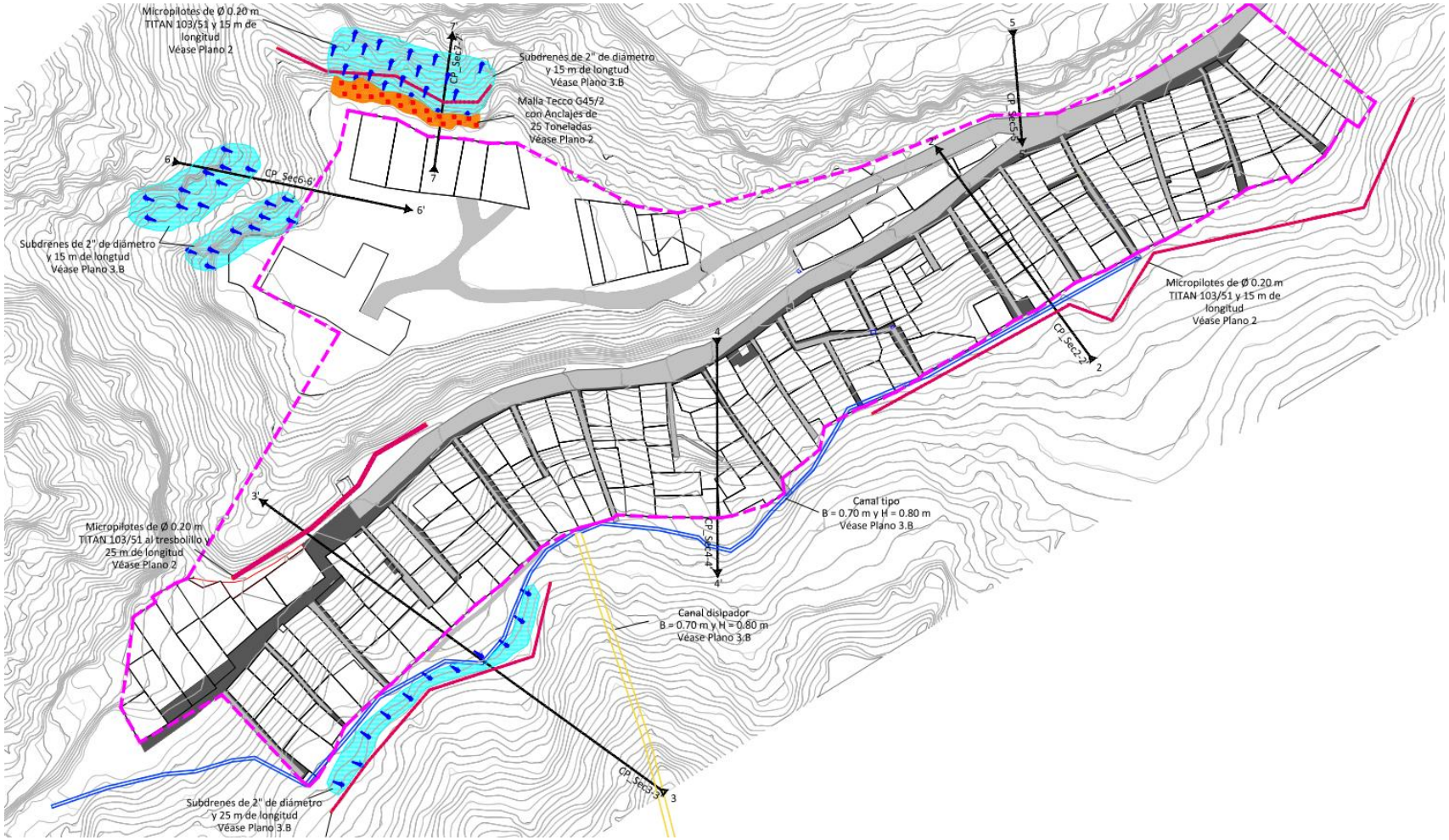


Figura 3.312 Ubicación de las medidas de estabilización, Ciudad Perdida

Medidas de Mitigación Alternativa 2

La segunda alternativa de estabilización para los sectores identificados como de riesgo alto en Ciudad Perdida, tiene como premisas el drenaje y el subdrenaje, y la contención en algunos de los espacios, como se ilustra en la Figura 3.310, y tal como se describe:

Pozos Drenantes. En caso de pretender la mitigación del riesgo en el sector, con la menor participación posible de obras de contención, y evitando la extracción de las viviendas emplazadas en el área (por la vulnerabilidad social que esto representa, entre otras), se contempla el uso de pozos drenantes de 3.5 metros de diámetro, y 9.0 metros de profundidad, complementado con abanicos de drenes de penetración que permitan la recolección y el abatimiento del agua subterránea. La longitud de los drenes de penetración es de 15 metros. Debido a las necesidades de evacuación del agua de los pozos drenantes, se propone la instalación de bombas sumergibles. Esta alternativa presenta el gran inconveniente, que estos elementos pueden ser sustraídos por persona inescrupulosas, motivo por el cual, su implementación es bastante difícil.

- Manejo y control de aguas superficiales a través de cunetas flexibles en manto hormigón. Esta solución es básicamente la misma de la alternativa 1.
- Pantallas de Micropilotes. Comprobada la inviabilidad de disponer únicamente las obras de drenaje y subdrenaje para obtener los niveles de seguridad que impone la normatividad vigente (NSR-10), se establece la necesidad de incorporar a esta alternativa algunas obras de contención como las pantallas de micropilotes en tresbolillo a media ladera en el área aferente a la sección CP_Sec1-1', y en la base del talud en lo que concierne a la CP_Sec3-3'.
- Malla Tecco y Anclajes de 25 t. En la parte alta del talud oriental (sección CP_Sec1-1'), y cerca de la corona del talud noroccidental (CP_Sec3-3').



Figura 3.313 Planteamiento de las Medidas de Mitigación del Riesgo en Ciudad Perdida - Alternativa 2

Medidas de Mitigación Alternativa 3

Las alternativas anteriores proponen acciones enfocadas a la reducción de la amenaza mediante la aplicación de obras geotécnicas cuyo fin es aumentar los valores de factor de seguridad y por ende reducir la probabilidad de falla asociada a estos sectores. Otra forma de reducción implica la reducción de la vulnerabilidad, sin embargo, aunque la fragilidad es alta en la zona de estudio, la intensidad es en general de valores altos por lo que, aunque la fragilidad se reduzca existirán muchos casos en que no será suficiente para que la vulnerabilidad se reduzca.

Teniendo en cuenta lo anterior, la alternativa 3 se propone, no reduciendo la vulnerabilidad sino, extrayendo de la zona a los elementos expuestos por completo. En este sentido la alternativa 3 comprende el reasentamiento de los habitantes de las viviendas ubicadas en las zonas de amenaza alta del sector de la Ciudad Perdida.

Escogencia de la Alternativa

Definidas las dos alternativas, se procede a la calificación de las cinco variables definidas previamente. En este orden de ideas, la alternativa escogida, corresponderá a la que obtenga la mayor calificación. Los resultados de la calificación se ilustran la Tabla 3.92.

Tabla 3.92 Evaluación multicriterio para selección de alternativas Ciudad Perdida

VIABILIDAD	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
Técnica	20	20	20
Financiera	18	15	20
Urbanística	12	10	5
Socio-Cultural	15	10	5
Ambiental	15	15	16
TOTAL	80	70	66

De lo anteriormente expuesto, se concluye que la alternativa más adecuada corresponde a la alternativa 1. Es importante destacar, sin embargo, de la necesidad revisar y mejorar todo el sistema de las tuberías de acueducto y alcantarillado de la zona. Tuberías rotas inyectan manera constante agua al talud, incrementando de manera paulatina su inestabilidad.

3.14.2.3 Medidas de Mitigación Comuna 5 - Pantanos

Las medidas de mitigación propuestas están orientadas a disminuir los niveles de riesgo en los asentamientos Pantanos I, Pantanos II y Pantanos III. A continuación, se describen los análisis obtenidos de las dos alternativas. Tal como se identificó para la comuna 4, hay muchas limitaciones de espacio y adicionalmente, las viviendas están construidas sobre laderas de fuerte pendiente que, según los mapas de amenazas, son susceptibles de sufrir deslizamientos en el evento de lluvias fuertes o sismos. Al igual que en los casos anteriores, las limitaciones de espacio, y con el fin de evitar afectar las viviendas existentes, las obras propuestas corresponden a micropilotes, drenes de penetración y manejo de aguas superficiales.

Medidas de Mitigación Alternativa 1

La estabilización de los sectores identificados como de riesgo alto, en Pantanos I, Pantanos II y Pantanos III, contempla los siguientes elementos estabilizadores (Ver Figura 3.314):

- Micropilotes. Debido a las limitaciones de espacio y a la alta densificación del sector, se contempla el uso de micropilotes de 0,30 metros de diámetro, separados tres diámetros centro a centro, con una longitud de 30 metros.
- Drenes de penetración.
- Anclajes de capacidad que fluctúa entre 25 y 35 toneladas.

Manejo y control de aguas superficiales a través de cunetas flexibles en manto hormigón.

Finalmente, spresentan los resultados de los análisis de estabilidad para los diferentes perfiles definidos en la comuna 5, donde se puede verificar que se cumple con los requerimientos de la NSR10. Es importante destacar que al igual que en la comuna 4, es imprescindible una revisión del esto del sistema de acueducto y alcantarillado del sector, por parte de las entidades prestadoras de servicios público, ya que eventuales fugas de aguas servidas o de acueducto, acelerarán el proceso de inestabilidad del sector.

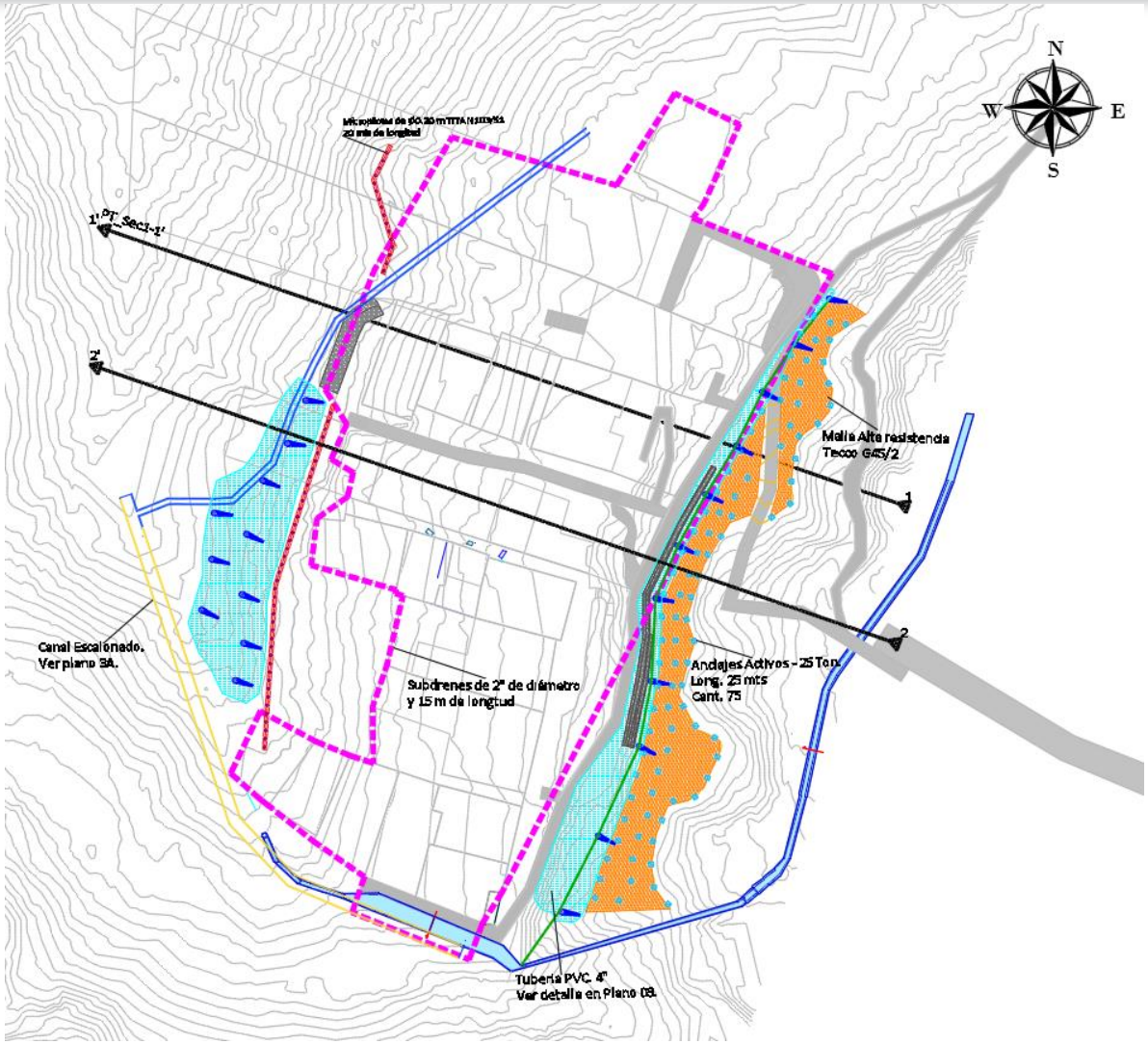


Figura 3.314 Ubicación de medidas de mitigación comuna 5. Alternativa 1

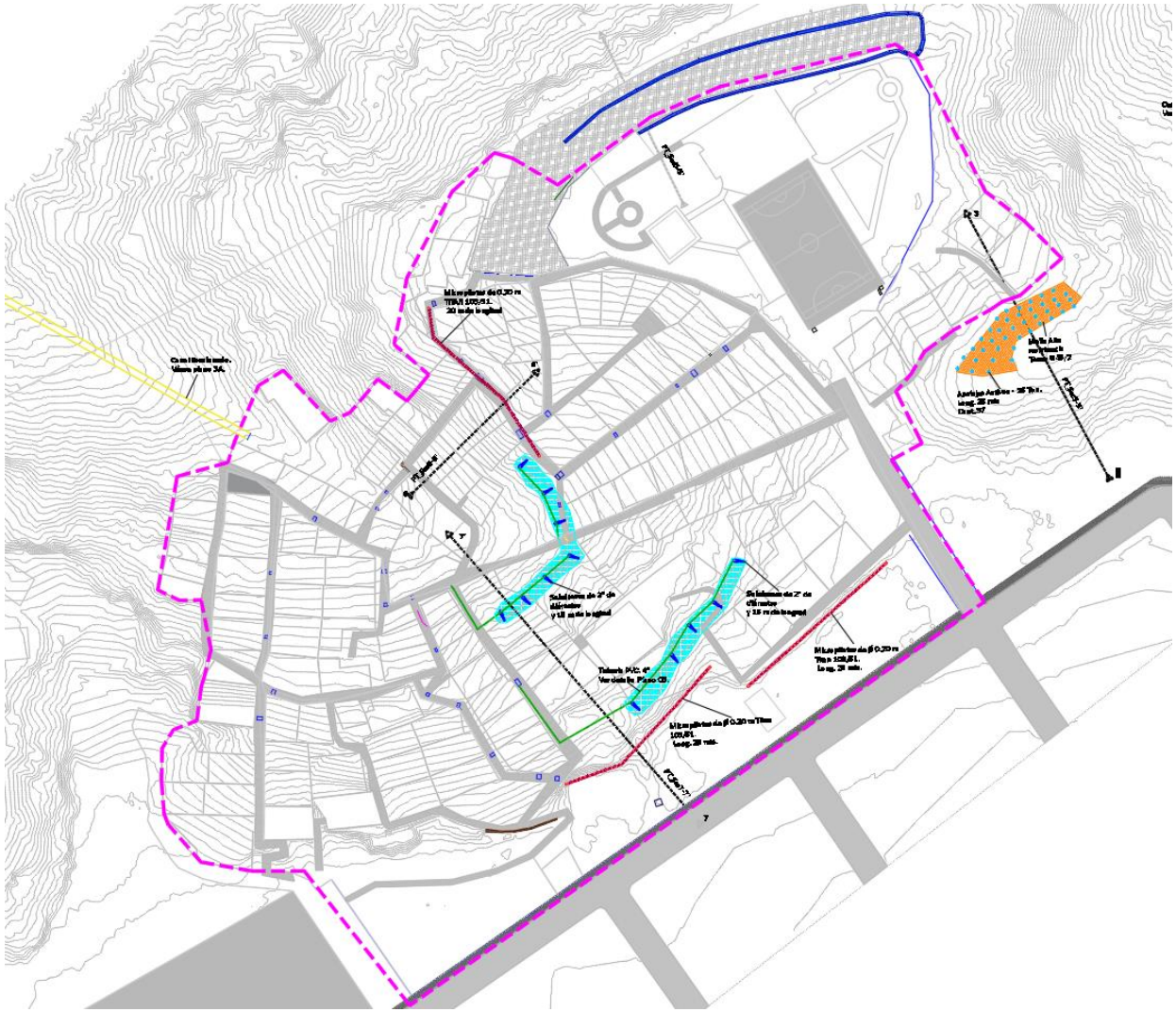


Figura 3.315 Ubicación de medidas de mitigación comuna 5 Pantano II. Alternativa 1

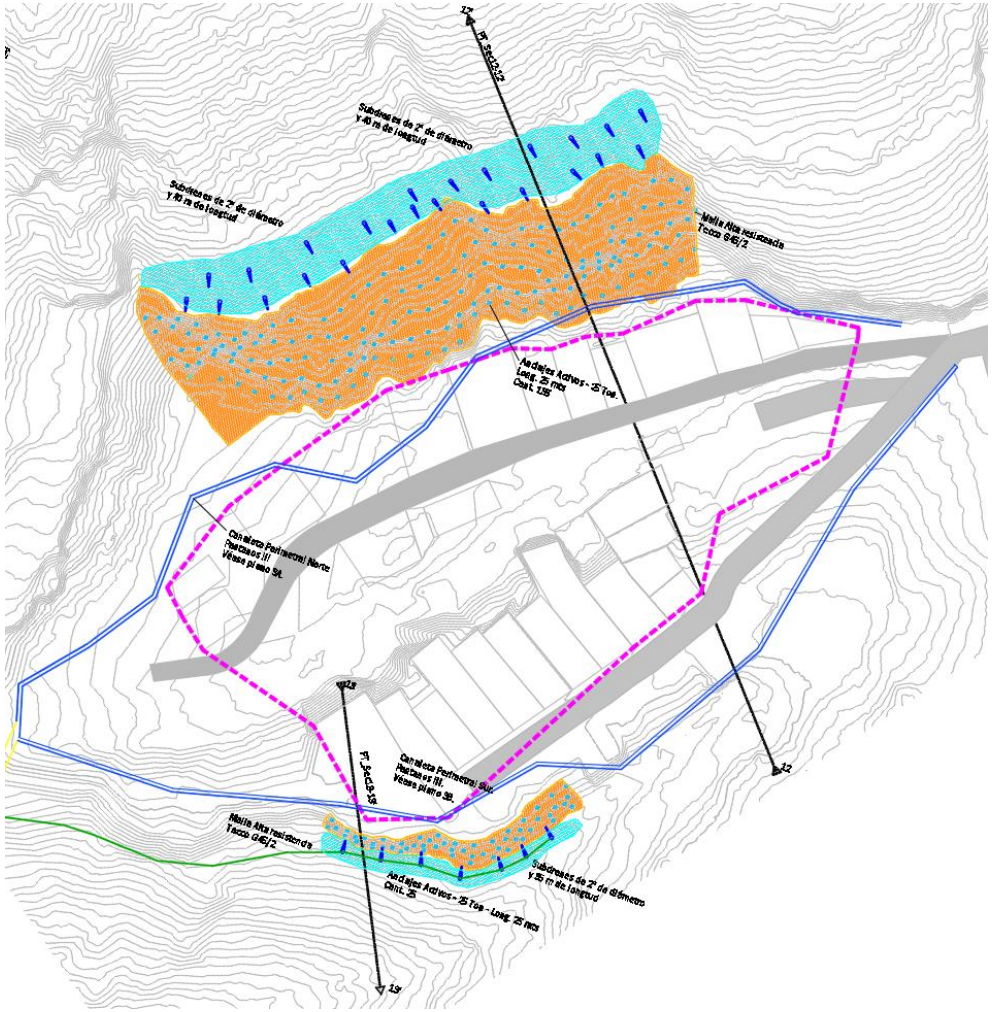


Figura 3.316 Ubicación de medidas de mitigación comuna 5 Pantano III. Alternativa 1

Medidas de Mitigación Alternativa 2

Esta alternativa corresponde a micropilotes, anclajes y drenes horizontales. Los resultados de los análisis de estabilidad s, destacándose que la esta alternativa también cumple los requerimientos mínimos de la NSR10. Finalmente, en la Tabla 3.93, se ilustran los resultados de la totalidad de secciones utilizadas donde se observa que las soluciones planteadas son factibles desde el punto de vista técnico.

Tabla 3.93 Resultados de los análisis de estabilidad para la condición con obras. Alternativa 2

Sector	Sección	Sin Sismo		Con Sismo	
		F.S.	P.F.	F.S.	P.F.
Pantanos	PT_Sec1-1'	1.534	0.000	1.078	26.600
	PT_Sec3-3'	1.509	0.000	1.145	14.300
	PT_Sec6-6'	1.540	0.000	1.262	9.400
	PT_Sec5-5'	1.690	0.000	1.463	0.500
	PT_Sec7-7'	1.504	0.000	1.068	27.900
	PT_Sec11-11'	1.441	0.200	1.050	33.700
	PT_Sec12-12'	1.689	0.000	1.301	1.300
	PT_Sec13-13'	1.286	6.500	1.074	33.700

Medidas de Mitigación Alternativa 3

Las alternativas anteriores proponen acciones enfocadas a la reducción de la amenaza mediante la aplicación de obras geotécnicas cuyo fin es aumentar los valores de factor de seguridad y por ende reducir la probabilidad de falla asociada a estos sectores. Otra forma de reducción implica la reducción de la vulnerabilidad, sin embargo, aunque la fragilidad es alta en la zona de estudio, la intensidad es en general de valores altos por lo que, aunque la fragilidad se reduzca existirán muchos casos en que no será suficiente para que la vulnerabilidad se reduzca.

Teniendo en cuenta lo anterior, la alternativa 3 se propone, no reduciendo la vulnerabilidad sino, extrayendo de la zona a los elementos expuestos por completo. En este sentido la alternativa 3 comprende el reasentamiento de los habitantes de las viviendas ubicadas en las zonas de amenaza alta del sector de la Ciudad Perdida.

Escogencia de la Alternativa

Definidas las dos alternativas, se procede a la calificación de las cinco variables definidas previamente. En este orden de ideas, la alternativa escogida, corresponderá a la que obtenga la mayor calificación. Los resultados de la calificación se ilustran la Tabla 3.94.

Tabla 3.94 Evaluación multicriterio para selección de alternativas Comuna 5

VIABILIDAD	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
Técnica	20	20	20
Financiera	20	17	13
Urbanística	12	10	5
Socio-Cultural	15	10	5
Ambiental	12	12	16
TOTAL	79	69	59

De lo anteriormente expuesto, se concluye que la alternativa más adecuada corresponde a la alternativa 1. Es importante destacar, sin embargo, de la necesidad

Delimitación de Zona de Riesgo Alto Mitigable Bajo la Alternativa Seleccionada

Una vez implementada las obras de mitigación, se obtiene el mapa de riesgo donde se han definido las zonas de riesgo alto mitigable y no mitigable. La delimitación del riesgo mitigable y no mitigable se enfoca en exclusivo a las zonas de Riesgo Alto, y a realizar la asignación basados en la comparación entre la alternativa seleccionada y la alternativa de reubicación de las viviendas en el área de influencia considerada.

Teniendo en cuenta lo anterior se consideraron proyectos habitacionales VIS actualmente ofrecidos en Bucaramanga, con el fin de establecer un valor estimado de vivienda de reubicación para las edificaciones evaluadas como de riesgo alto (ver Tabla 3.91).

En este sentido para la zona de Pantanos, siendo que se identificaron un total de 167 predios en amenaza alta dentro del área directa, se estima un total de $ 30,392,664,000.00 por valor de reasentamiento considerando los montos promedio de costo de vivienda. En este sentido se puede establecer que el riesgo es mitigable, pues las alternativas con obras fueron de menor costo al reasentamiento de las viviendas.

La delimitación del riesgo mitigable se presenta en la Figura 3.317:

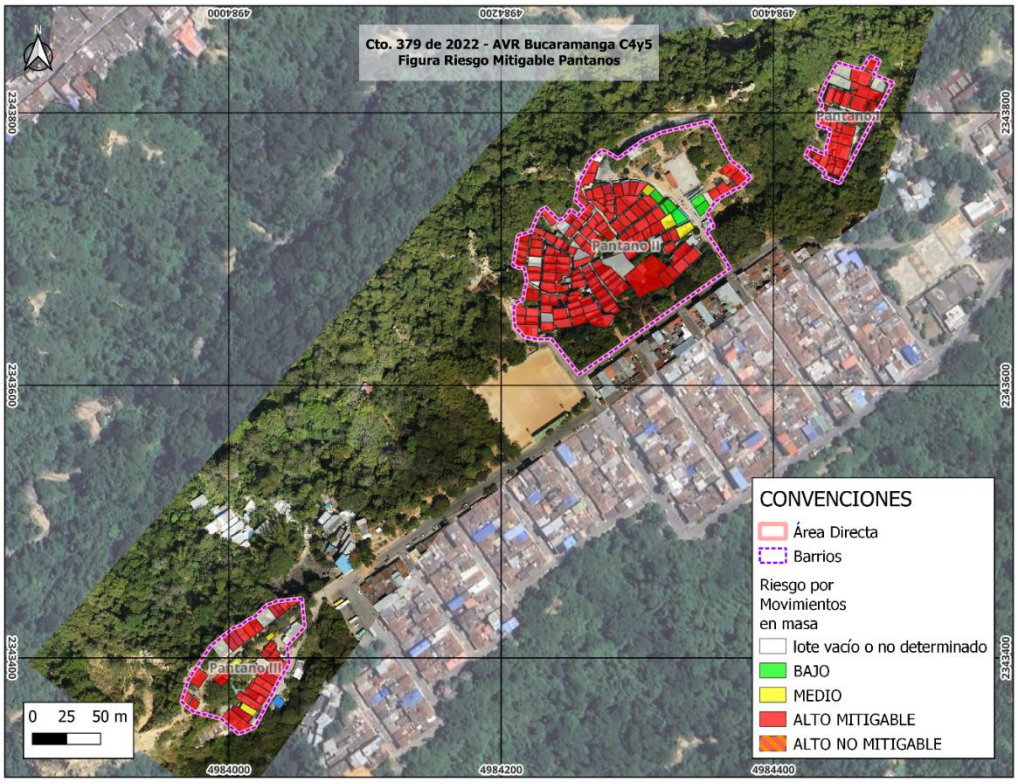


Figura 3.317 Delimitación del riesgo mitigable y no mitigable para la comuna 5.

3.14.2.4 Evaluación del Riesgo con Obras de Mitigación

Riesgo con Obras de edificaciones

A continuación, se presenta la zonificación del riesgo para edificaciones por movimiento en masa de la Figura 3.318 a la Figura 3.323:

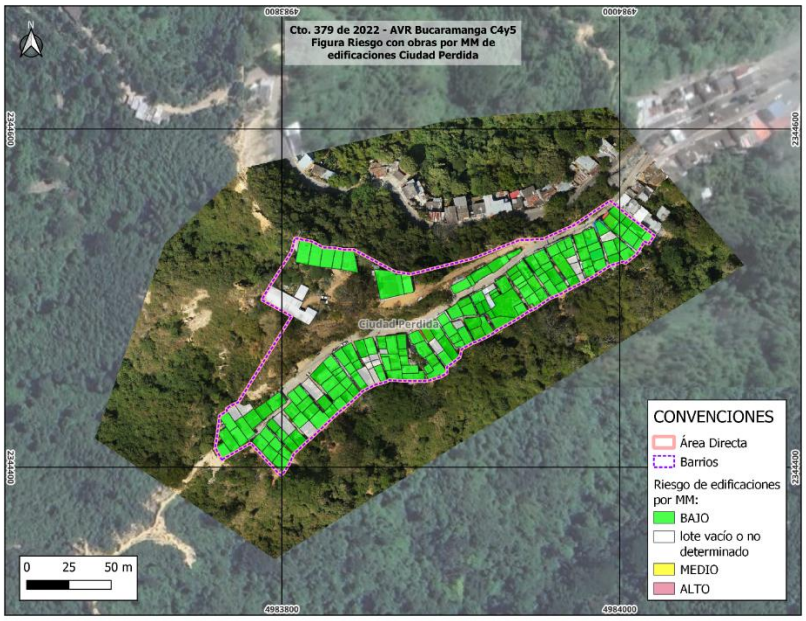


Figura 3.318 Riesgo con obras por movimientos en masa TE=10 años de edificaciones para el sector de Ciudad Perdida.

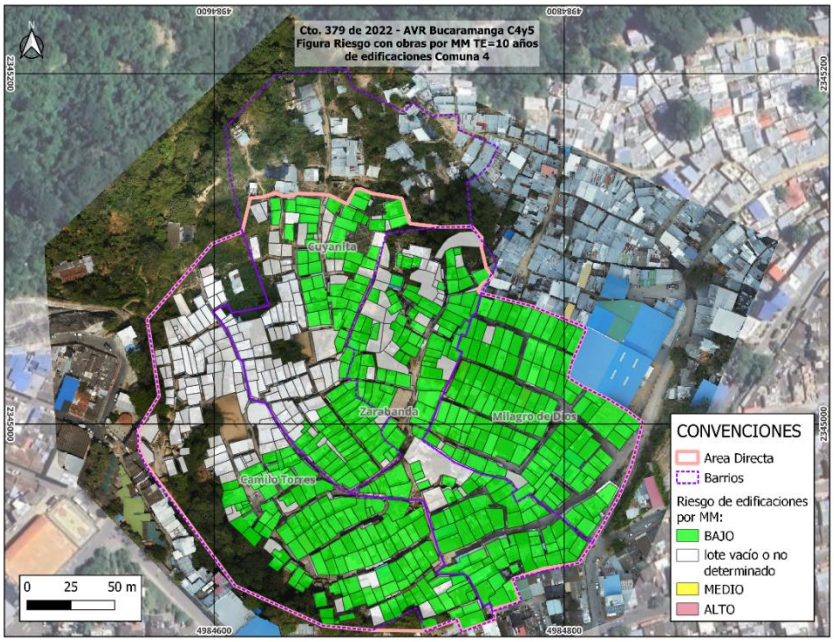


Figura 3.319 Riesgo con obras por movimientos en masa TE=10 años de edificaciones para el sector Comuna 4.

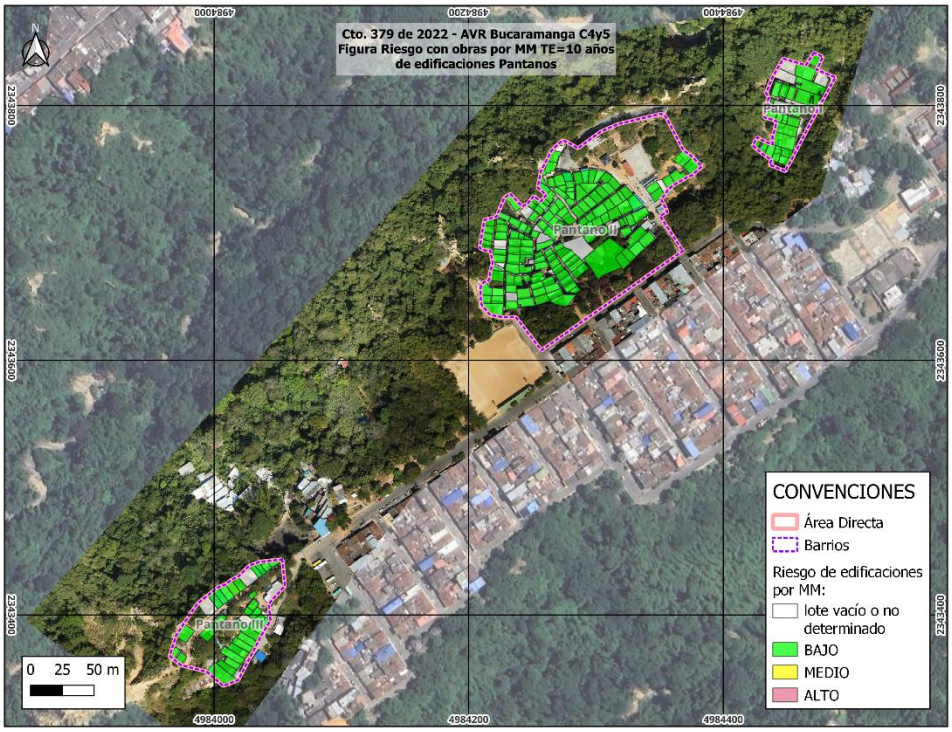


Figura 3.320 Riesgo con obras por movimientos en masa TE=10 años de edificaciones para el sector Comuna 5.

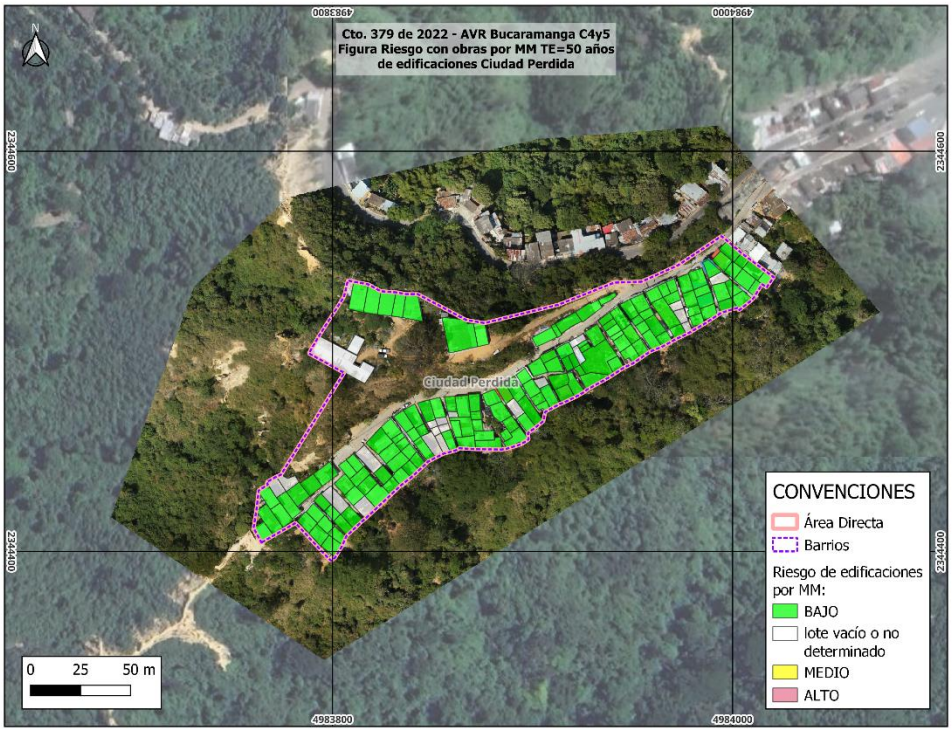


Figura 3.321 Riesgo con obras por movimientos en masa TE=50 años de edificaciones para el sector Ciudad Perdida.

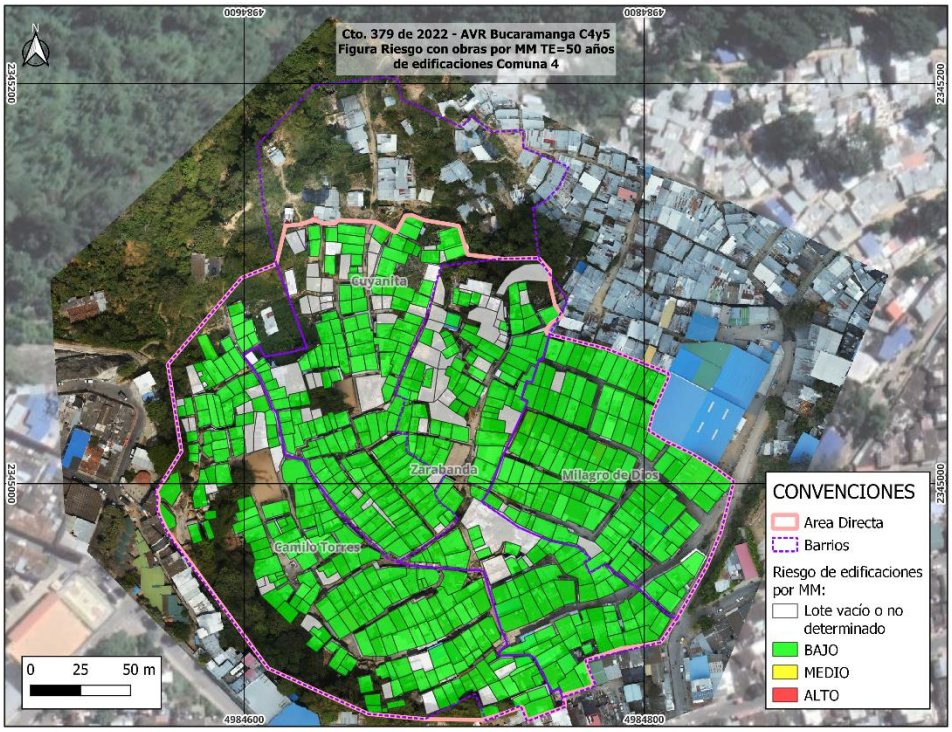


Figura 3.322 Riesgo con obras por movimientos en masa TE=50 años de edificaciones para el sector Comuna 4.

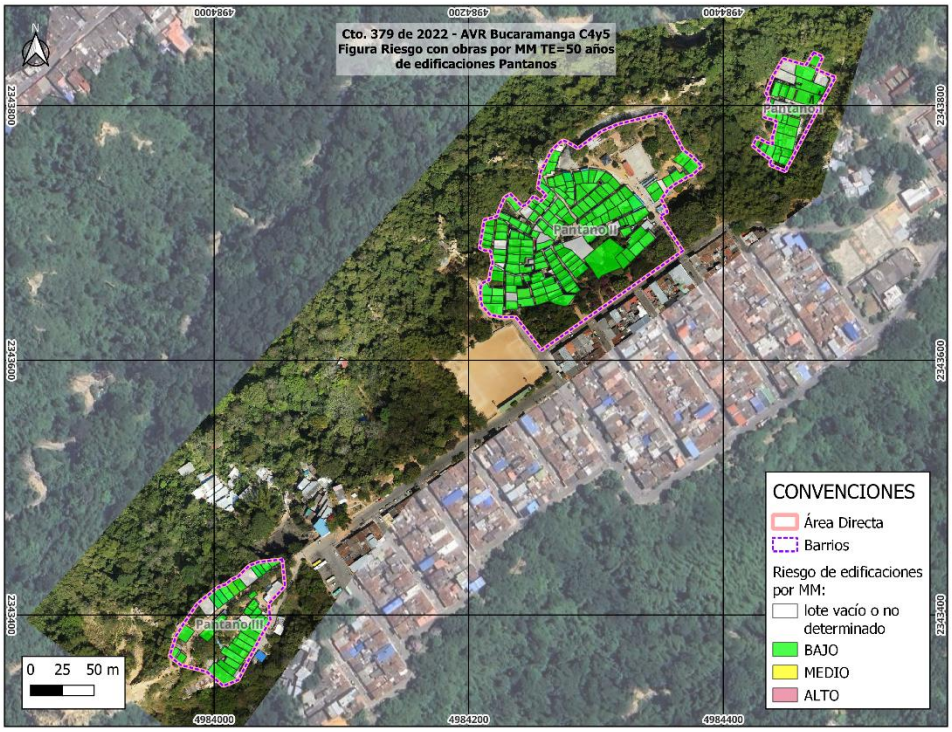


Figura 3.323 Riesgo con obras por movimientos en masa TE=50 años de edificaciones para el sector Comuna 5.

Evaluación del Riesgo con Obras de Personas

De manera análoga se estimó el riesgo para personas, también encontrándose que este era bajo para todos los sectores, considerando la implementación de las obras. La zonificación se presenta de la Figura 3.324 a la Figura 3.329:

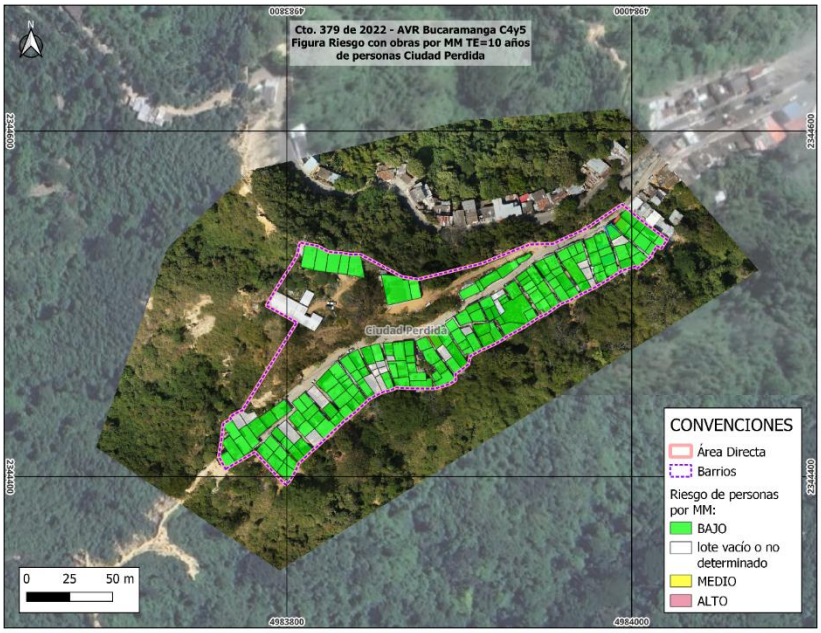


Figura 3.324 Riesgo con obras por movimientos en masa TE=10 años de personas para el sector de Ciudad Perdida.

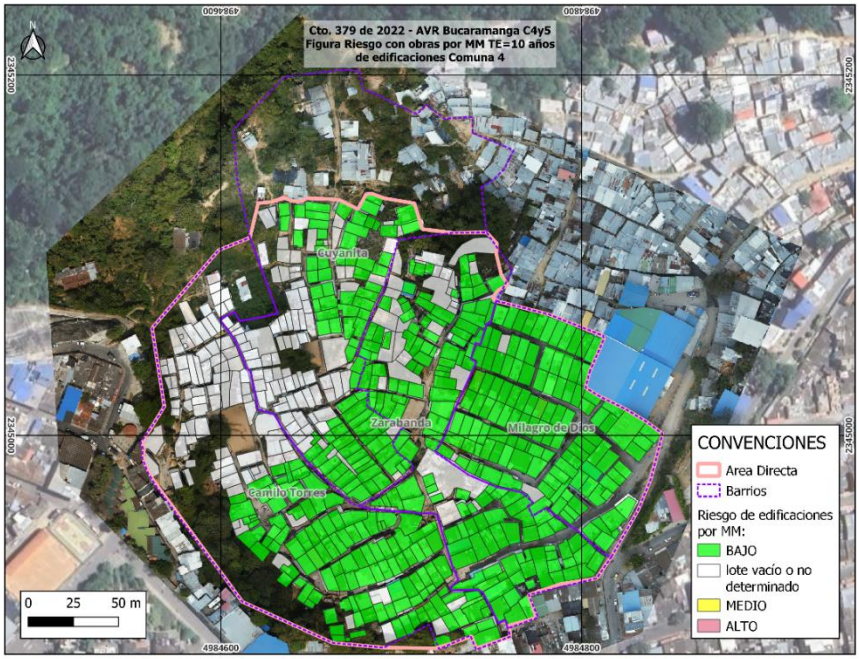


Figura 3.325 Riesgo con obras por movimientos en masa TE=10 años de personas para el sector de Comuna 4.

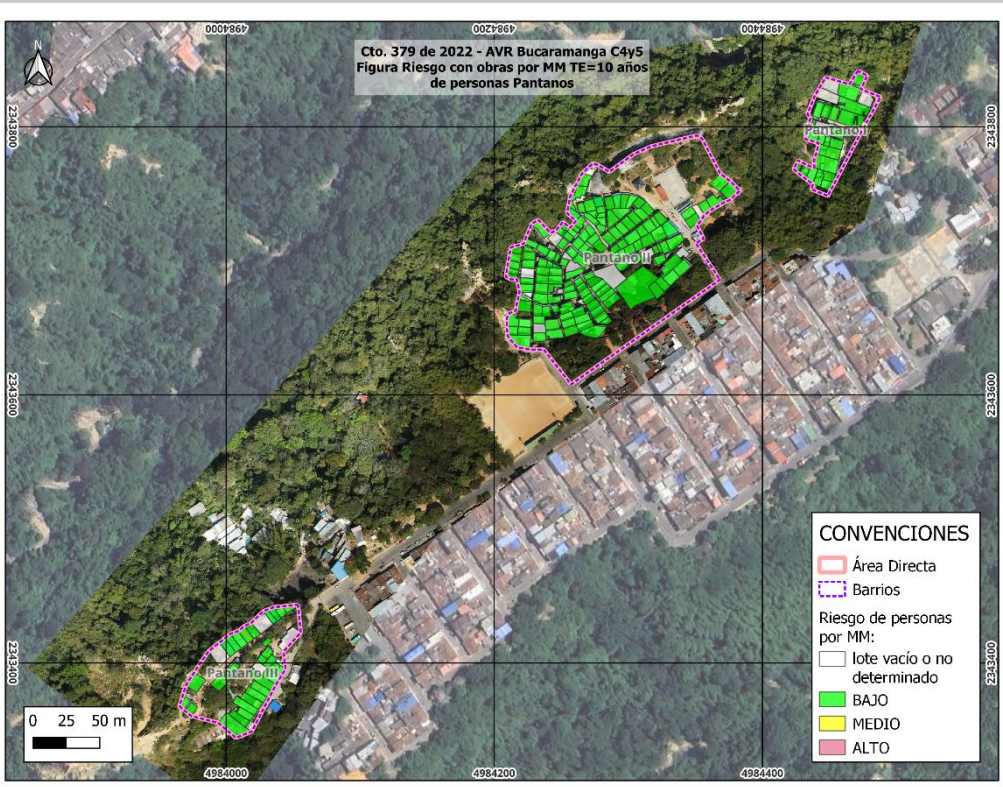


Figura 3.326 Riesgo con obras por movimientos en masa TE=10 años de personas para el sector de Comuna 5.

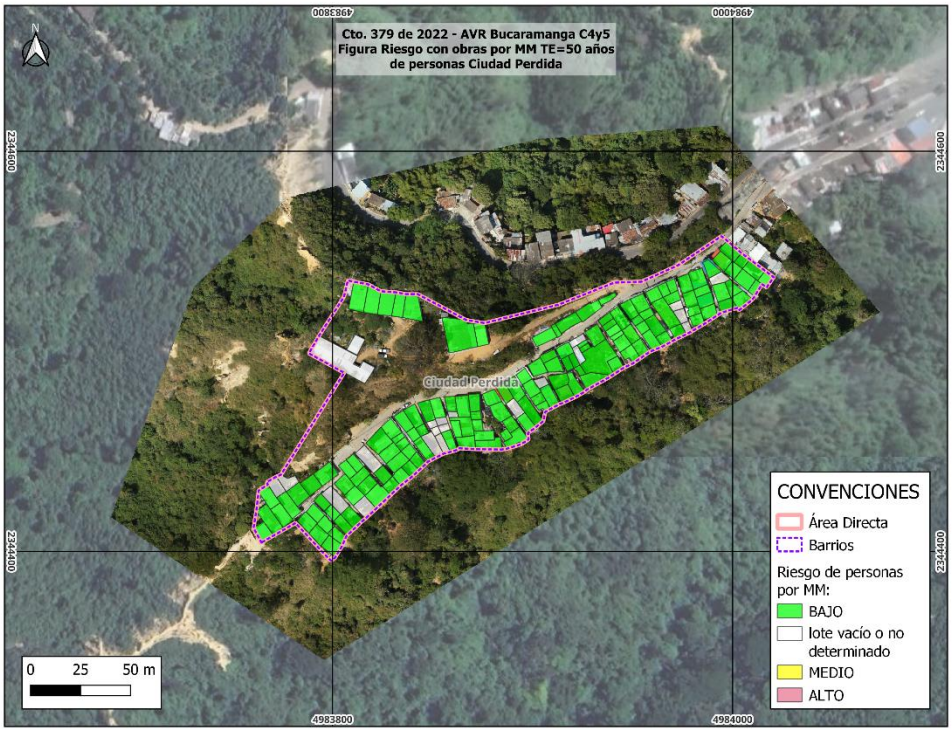


Figura 3.327 Riesgo con obras por movimientos en masa TE=50 años de personas para el sector de Ciudad Perdida.

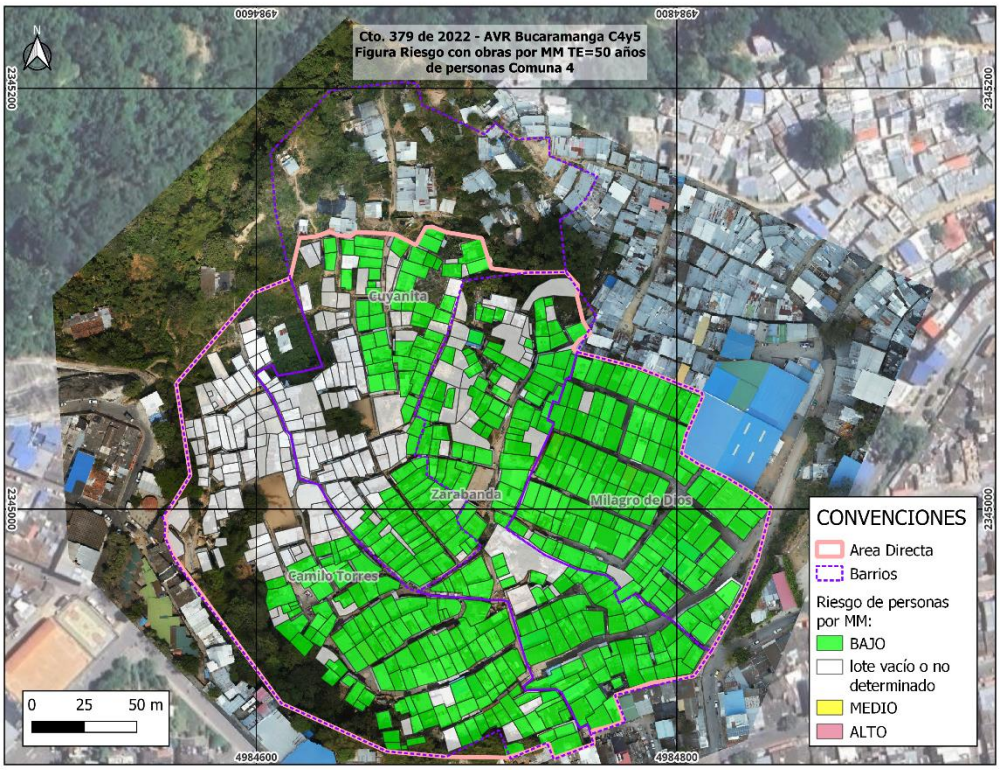


Figura 3.328 Riesgo con obras por movimientos en masa TE=50 años de personas para el sector de Comuna 4.

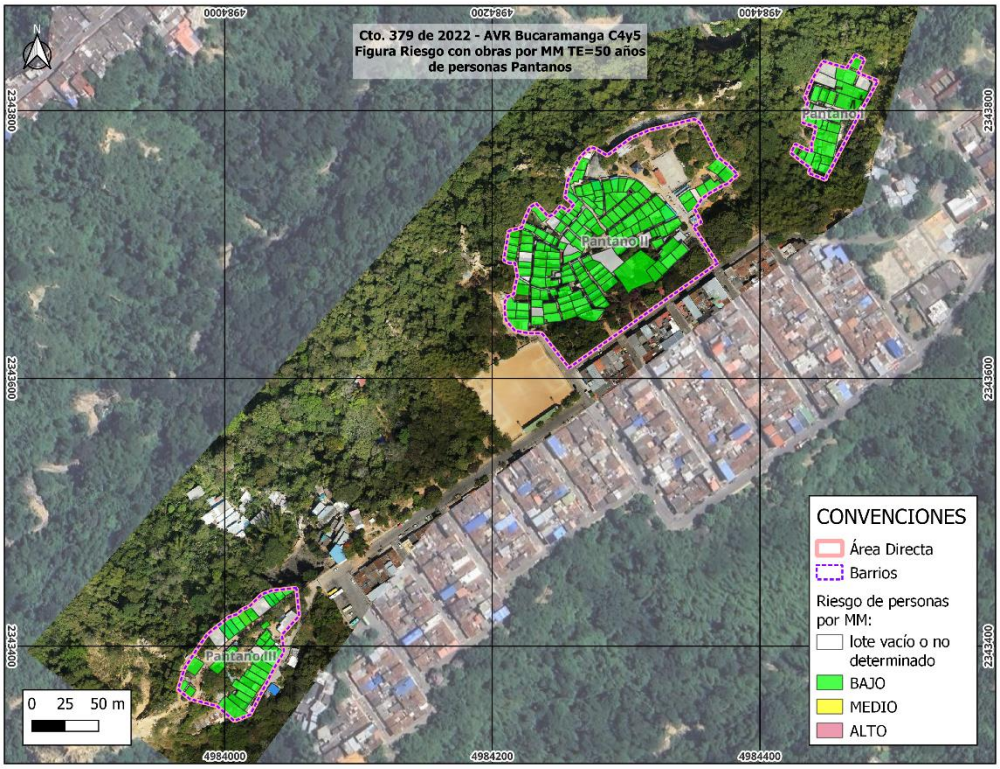


Figura 3.329 Riesgo con obras por movimientos en masa TE=50 años de personas para el sector de Comuna 5.

Evaluación del Riesgo Total

A su vez y siguiendo lo establecido en la Guía del SGC, se define el riesgo total y se zonifica el riesgo para los sectores de estudio, encontrando un riesgo bajo en general.

La pérdida estimada para un tiempo de exposición de 10 años fue:

- Para el barrio Camilo Torres se estimó una pérdida probable total de $ 40,059,094 y 6 vidas humanas en peligro.
- Para el barrio Ciudad Perdida se estimó una pérdida probable total de $ 71,815,700 y 8 vidas humanas en peligro.
- Para el barrio Cuyanita se estimó una pérdida probable total de $ 22,228,024 y 3 vidas humanas en peligro.
- Para el barrio Milagro de Dios se estimó una pérdida probable total de $ 54,725,553 y 6 vidas humanas en peligro.
- Para el barrio Pantano I se estimó una pérdida probable total de $ 15,469,658 y 2 vidas humanas en peligro.
- Para el barrio Pantano II se estimó una pérdida probable total de $ 126,490,030 y 9 vidas humanas en peligro.
- Para el barrio Pantano III se estimó una pérdida probable total de $ 38,207,156 y 2 vidas humanas en peligro.
- Para el barrio Zarabanda se estimó una pérdida probable total de $ 43,665,351 y 6 vidas humanas en peligro.

La pérdida estimada para un tiempo de exposición de 50 años fue:

- Para el barrio Camilo Torres se estimó una pérdida probable total de $ 297,559,730 y 43 vidas humanas en peligro.
- Para el barrio Ciudad Perdida se estimó una pérdida probable total de $ 399,977,336 y 42 vidas humanas en peligro.
- Para el barrio Cuyanita se estimó una pérdida probable total de $ 169,330,345 y 20 vidas humanas en peligro.
- Para el barrio Milagro de Dios se estimó una pérdida probable total de $ 403,843,648 y 44 vidas humanas en peligro.
- Para el barrio Pantano I se estimó una pérdida probable total de $ 95,249,997 y 10 vidas humanas en peligro.
- Para el barrio Pantano II se estimó una pérdida probable total de $ 752,786,334 y 54 vidas humanas en peligro.
- Para el barrio Pantano III se estimó una pérdida probable total de $ 223,225,794 y 14 vidas humanas en peligro.
- Para el barrio Zarabanda se estimó una pérdida probable total de $ 324,647,042 y 41 vidas humanas en peligro.

3.15 ETAPA 14: DISEÑO DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN

Una vez realizados los análisis de estabilidad, en la que se comprueba la estabilidad global de la medida propuesta, se procede al análisis detallado de los diseños, garantizando en todo momento la estabilidad global. A continuación, presentaremos un resumen ejecutivo de los diseños detallados de las alternativas escogidas para la Comuna 4 y Comuna 5.

3.15.1 Diseños Detallados Comuna 4

Una vez realizados los análisis de estabilidad, en la que se comprueba la estabilidad global de la medida propuesta, se procede al análisis detallado de los diseños, garantizando en todo momento la estabilidad global. Dentro del plan de medidas de mitigación propuestos se tienen los siguientes:

- Micropilotes de 0,30 metros de diámetro y longitud variable de 25,0 a 35,0 metros de longitud, amarados con viga cabezal. En algunos sectores por limitaciones de espacio fue necesario disminuir el tamaño del micropilote a 0.20 metros de diámetro.
- Cunetas flexibles para el manejo del agua superficial (Ver capítulo de Diseños Hidráulicos).
- Cunetas disipadoras en concreto reforzado (Ver capítulo de Diseños Hidráulicos).

A continuación, se presenta un ejemplo del detalle de las obras escogidas para esta alternativa

3.15.1.1 Diseño de Pantalla de Micropilotes de 25/28 Metros Longitud

A continuación, se presentan el diseño de una pantalla de micropilotes de 25/28 metros de profundidad y 30 centímetros de diámetro. Estos micropilotes se encuentran entrelazados por viga cabezal de 60x50cm.

Análisis Estructural

- *Cargas y Coeficientes de Balasto Suministrados*

Las cargas laterales de empuje sobre los pilotes fueron suministradas por el grupo de geotecnia. A continuación, se presentan los resultados más importantes del cálculo estructural.

Datos de Entrada Modelo Numérico

El análisis estructural se realizó en SAP2000, el diseño fue realizado con el mismo software y con hojas de cálculo. En el modelo numérico se tuvo en cuenta las propiedades de los materiales, cargas de peso y cargas de empuje del suelo, las cuales fueron proporcionadas por la empresa encargada del análisis geotécnico, y la geometría de la estructura, a continuación, se presentan imágenes del modelo realizado.

La distribución de los pilotes lineal espaciados 0.90 metros en el sentido transversal. Se modela un módulo de acuerdo con las especificaciones de las juntas constructivas que se presentan en planos constructivos.

Tabla 3.95 Combinaciones de carga

NORMA COLOMBIANA DE DISEÑO DE PUENTES CCP 14							
SEGÚN TABLA 3.4.1-1 COMBINACIONES Y FACTORES DE CARGA							
	DC	**DW**	**EH**	**EV**	**ES**	**WA**	**LL**
RESISTENCIA 1		1.50	1.35	1.30	1.50	1.00	2.01
RESISTENCIA 2		1.50	1.35	1.30	1.50	1.00	1.55
RESISTENCIA 3		1.50	1.35	1.30	1.50	1.00	-
RESISTENCIA 4		1.50	1.35	1.30	1.50	1.00	-
RESISTENCIA 5	1.5	1.50	1.35	1.30	1.50	1.00	1.55
SERVICIO 1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.15
SERVICIO 2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.50
SERVICIO 3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.92
SERVICIO 4	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-
DC	PESO PROPIO DE LOS COMPONENTES ESTRUCTURALES Y DE LOS ACCESORIOS NO ESTRUCTURALES						
DW	SUPERFICIE DE RODADURA						
EH	PRESIÓN HORIZONTAL DE SUELO / ANCLAJES						
EV	PRESIÓN VERTICAL DE SUELO						
ES	SOBRECARGA SUELO						
WA	CARGA DE AGUA						
LL	VIVA VEHICULAR						
LLDF	FACTOR DE DISTRIBUCIÓN DE CARGA VIVA						
1.15							

- <u>*Datos de Salida*</u>
  - ✓ *Resultantes micropilotes- modelo de geotecnia – se comprueba con máximo valor suministrado para cada una de las pantallas de micropilotes.*

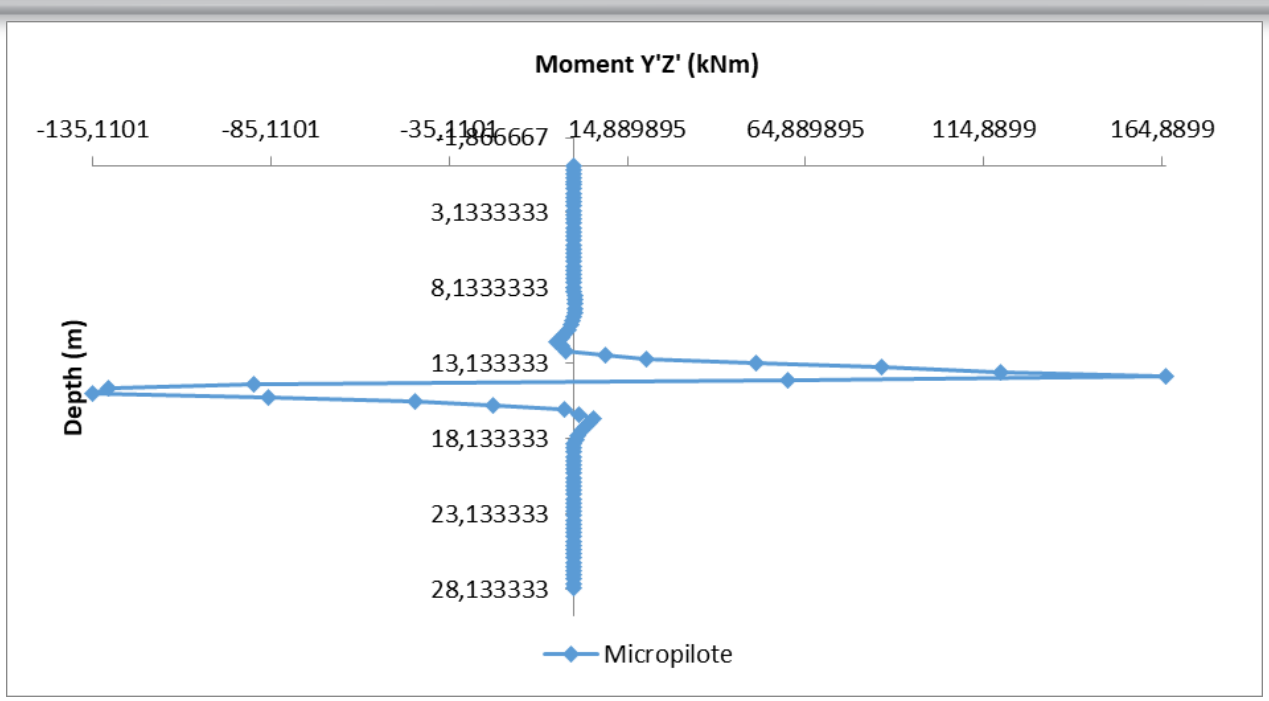


Figura 3.330 Momento KN-m

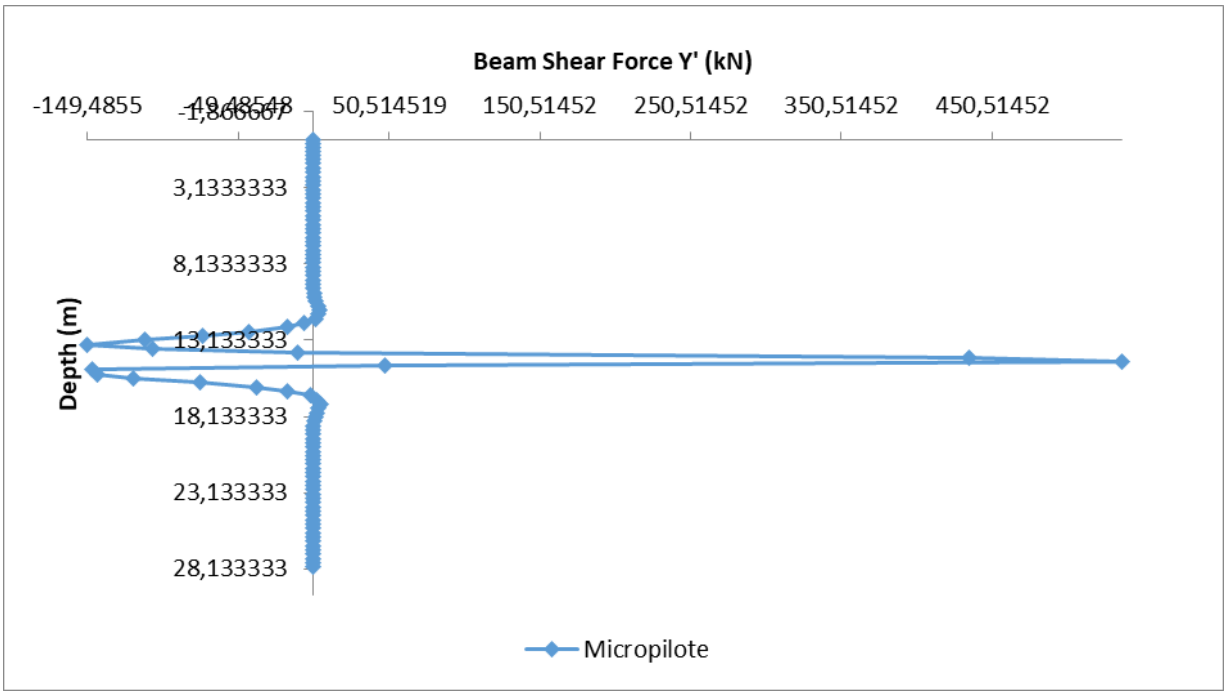


Figura 3.331 Cortante KN

Diseño Estructural

- *Diseño de Micropilote*

Se revisa la resistencia máxima del pilote que debe ser mayor a 764KN:

Tabla 3.96 Revisión de resistencia máxima del pilote

RESISTENCIA MICROPILOTE

RESISTENCIA TUBULAR SCH40

ϕ=	1	Coeficiente de reducción de resistencia por cortante
Vn=	0.5 Fcr Ag	Resistencia nominal al cortante
Fcr=		Resistencia al pandeo por cortante (N/mm2) es el mayor entre:

$$F_{cr1} = \frac{1.60E}{\sqrt{\frac{Lv}{D}}(\frac{D}{t})^{5/4}} \leq 0.58F_y \quad \text{Y} \quad F_{cr1} = \frac{0.78E}{(\frac{D}{t})^{3/2}} \leq 0.58F_y$$

Donde:

Ag=	10157.79	Área bruta seccion tranversaldel tubo, en mm2
D=	323.85	Diámetro externo tubo, en mm
Lv=	28000	Distancia entre cortante maximo y cortante cero, en mm
Fy=	240	Punto fluencia del acero A53 grado B
to=	10.3124	Espesor de pared de diseño, en mm
t=	9.59	Menor valor entre t1 y t2, en mm
E=	200000	Modulo elasticidad acero, en Mpa
t1=	9.59	0.93 veces el espesor nominal de pared para tubulares fabricados por soldadura de resistencia electrica o el espesor nominal en otros procesos, en mm
t2=	9.7124	Espesor nominal del acero menos el espesor de corrosión esperado en el periodo de diseño de acuerdo a Tabla 19, en mm
Fcr1=	422.78 Mpa	Fcr1= 795.01 Mpa
0.58 Fy=	139.20 Mpa	
Fcr=	139.20 Mpa	Mayor valor calculado para Fcr1, sin exceder nunca 0.58 Fy
Vn=	0.5 Fcr Ag = 706.98 KN	
ϕVn=	706.98 KN	

RESISTENCIA CONCRETO

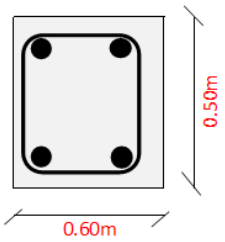
f'c=	28.00 Mpa	Resistencia a compresión del concreto, en Mpa
ϕ=	0.85	Coeficiente de reducción de resistencia por cortante
A conc=	0.077 m2	Área sección de concreto, en m2
Vc=	886.86 KN/m2	
Vc=	68.47 KN	
ϕVc=	58.20 KN	

➢ *Diseño de Viga*

Tabla 3.97 Diseño de viga

VIGA 60x50

ϕ=	0.9
(+)ϕMn=	108.73kNm
(-)ϕMn=	-57.00kNm
f'c=	28.10MPa
fy=	420.00MPa
Recubr=	0.04m
b=	0.60m
d=	0.46m



diseño a flexión

Cuantía menor que la mínima ***Momento POSITIVO***

Cuantía menor que la mínima ***Momento NEGATIVO***

Momento POSITIVO	
ρ=	0.002313
ρbal=	0.028434524
ρmáx=	0.021325893
ρmín=	0.003333333
As=	920mm

Momento NEGATIVO	
ρ=	-0.001176
ρbal=	0.028434524
ρmáx=	0.021325893
ρmín=	0.003333333
As=	920mm

Refuerzo superior

Primera fila

5	#5	+	0	#4	A=	990mm

Segunda fila

0	#6	+	0	#5	A=	0mm

Atotal= 990mm OK!

Refuerzo inferior

Primera fila

5	#5	+	0	#4	A=	990mm

Segunda fila

0	#5	+	0	#5	A=	0mm

Atotal= 990mm OK!

diseño a cortante

ϕ=	0.75
Vu=	141.00kN
vu=	510.87kN
ϕvc=	662.62kN
vu<ϕvc:	NO necesita refuerzo a cortante, estrib
ϕVs=	vu-ϕvc
ϕVs=	-151.75kN/m2
varilla	#3
Ramas	2
sep.	-0.493m

3.15.2 Diseños Detallados Ciudad Perdida

3.15.2.1 Diseño de Pantalla de Micropilotes de 15/25/38 Metros Longitud

Se realizan análisis similares a los de la comuna 4, cuyo detalle se presenta en el informe final.

Datos de Salida

- *Resultantes micropilotes- modelo de geotecnia – se comprueba con máximo valor suministrado para cada una de las pantallas de micropilotes.*

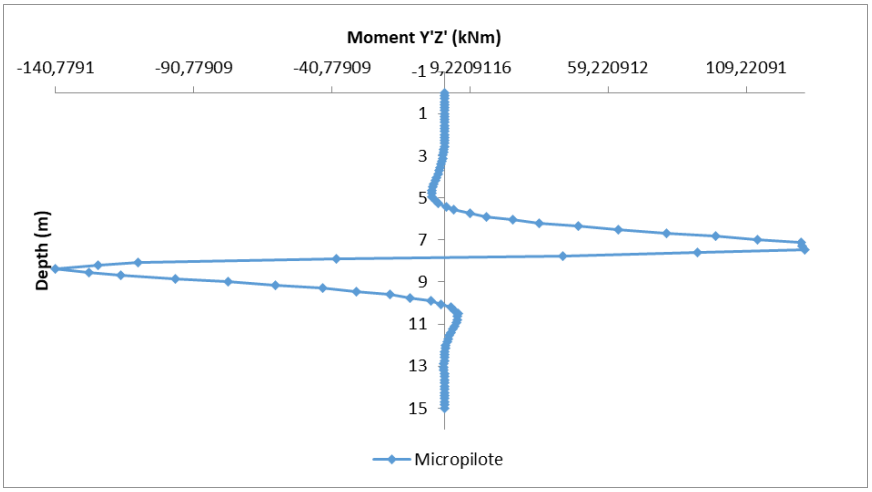


Figura 3.332 Momento máximo de micropilotes ciudad perdida KN-m

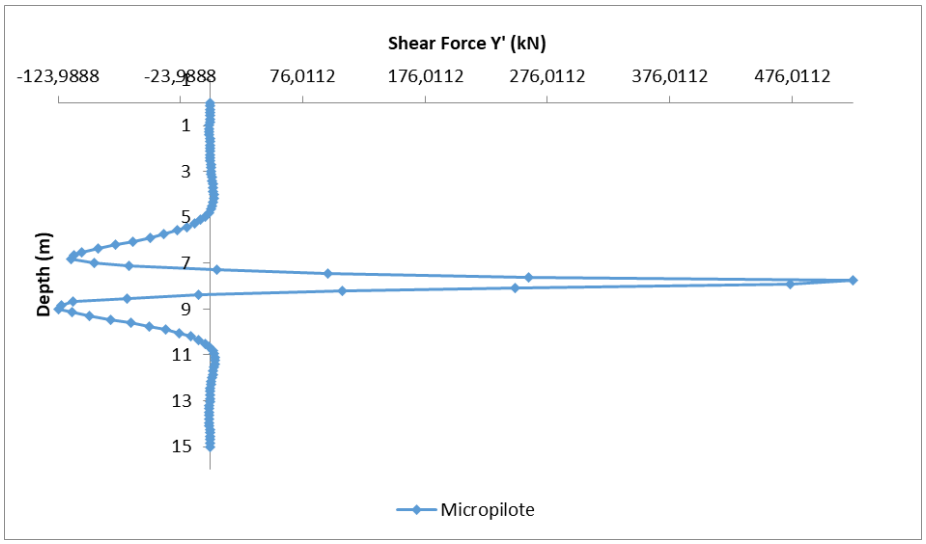


Figura 3.333 Cortante máximo micropilotes ciudad perdida (KN)

3.15.2.2 Diseño Estructural

Diseño de Micropilote

Se revisa la resistencia máxima del pilote que debe ser mayor a 764KN:

Tabla 3.98 Diseño de Micropilote

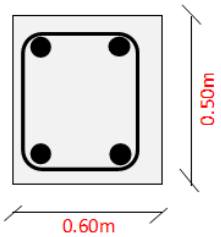
RESISTENCIA MICROPILOTE		
RESISTENCIA TUBULAR SCH40		
ϕ= 1		Coeficiente de reducción de resistencia por cortante
Vn= 0.5 Fcr Ag		Resistencia nominal al cortante
Fcr=		Resistencia al pandeo por cortante (N/mm2) es el mayor entre:
$F_{cr1} = \frac{1.60E}{\sqrt{\frac{Lv}{D}(\frac{D}{t})^{5/4}}} \leq 0.58F_y$	Y	$F_{cr1} = \frac{0.78E}{(\frac{D}{t})^{3/2}} \leq 0.58F_y$
Donde:		
Ag= 10157.79		Área bruta seccion tranversaldel tubo, en mm2
D= 323.85		Diámetro externo tubo, en mm
Lv= 28000		Distancia entre cortante maximo y cortante cero, en mm
Fy= 240		Punto fluencia del acero A53 grado B
to= 10.3124		Espesor de pared de diseño, en mm
t= 9.59		Menor valor entre t1 y t2, en mm
E= 200000		Modulo elasticidad acero, en Mpa
t1= 9.59		0.93 veces el espesor nominal de pared para tubulares fabricados por soldadura de resistencia electrica o el espesor nominal en otros procesos, en mm
t2= 9.7124		Espesor nominal del acero menos el espesor de corrosión esperado en el periodo de diseño de acuerdo a Tabla 19, en mm
Fcr1= 422.78 Mpa		Fcr1= 795.01 Mpa
	0.58 Fy= 139.20 Mpa	
Fcr= 139.20 Mpa		Mayor valor calculado para Fcr1, sin exceder nunca 0.58 Fy
Vn= 0.5 Fcr Ag =	706.98 KN	
ϕVn= 706.98 KN		
RESISTENCIA CONCRETO		
f'c= 28.00 Mpa		Resistencia a compresión del concreto, en Mpa
ϕ= 0.85		Coeficiente de reducción de resistencia por cortante
A conc= 0.077 m2		Área sección de concreto, en m2
Vc= 886.86 KN/m2		
Vc= 68.47 KN		
ϕVc= 58.20 KN		

Diseño de Viga

Tabla 3.99 Diseño de viga 60x50

VIGA 60x50

ϕ=	0.9
(+)ϕMn=	108.73kNm
(-)ϕMn=	-57.00kNm
f'c=	28.10MPa
fy=	420.00MPa
Recubr=	0.04m
b=	0.60m
d=	0.46m



diseño a flexión

Cuantía menor que la mínima ***Momento POSITIVO***

Cuantía menor que la mínima ***Momento NEGATIVO***

Momento POSITIVO	
ρ=	0.002313
ρbal=	0.028434524
ρmáx=	0.021325893
ρmín=	0.003333333
As=	920mm

Momento NEGATIVO	
ρ=	-0.001176
ρbal=	0.028434524
ρmáx=	0.021325893
ρmín=	0.003333333
As=	920mm

Refuerzo superior

Primera fila						
5	#5	+	0	#4	A=	990mm
Segunda fila						
0	#6	+	0	#5	A=	0mm

Atotal= 990mm OK!

Refuerzo inferior

Primera fila						
5	#5	+	0	#4	A=	990mm
Segunda fila						
0	#5	+	0	#5	A=	0mm

Atotal= 990mm OK!

diseño a cortante

ϕ=	0.75
Vu=	141.00kN
vu=	510.87kN
ϕvc=	662.62kN
vu<ϕvc:	NO necesita refuerzo a cortante, estrib
ϕVs=	vu-ϕvc
ϕVs=	-151.75kN/m2
varilla	#3
Ramas	2
sep.	-0.493m

3.15.3 Diseños Detallados Comuna 5

Una vez realizados los análisis de estabilidad, en la que se comprueba la estabilidad global de la medida propuesta, se procede al análisis detallado de los diseños, garantizando en todo momento la estabilidad local. Dentro del plan de medidas de mitigación propuestos se tienen los siguientes (ver Tabla 3.100):

- Anclajes activos.
- Micropilotes de 0,30 metros de diámetro y longitud variable de 25,0 a 35,0 metros de longitud, amarados con viga cabezal.
- Drenes horizontales.
- Cunetas flexibles para el manejo del agua superficial (Ver capítulo de Diseños Hidráulicos).

Tabla 3.100 Detalles de las obras de mitigación propuestas.

Sector	Sección	OBRAS DE MITIGACIÓN		
		Subdrenes Horizontales	Anclajes Activos	Pantalla Micropilotes
Pantanos	PT-I_Sec1-1'	L = 15 m		L_1 = 25m ; L_2= 20m
	PT-I_Sec3-3'			L = 10 m
	PT-II_Sec6-6'			L = 20 m
	PT-II_Sec5-5'	Solución Actual		
	PT-II_Sec7-7'	L = 15 m		L = 28 m
	PT-III_Sec11-11'	L = 15 m		L = 30 m
	PT-III_Sec12-12'	L = 35 m	L = 30 m	L = 25 m
	PT-III_Sec13-13'	L = 35 m	L = 20 m	

A continuación, se presentan los detalles de las alternativas propuestas

3.15.3.1 Malla con Anclajes Activos

Dentro de la comuna 5, se identificaron sectores donde se comprobó que la solución más adecuada, debido a las limitaciones de espacio y pendiente del terreno corresponde a una malla tipo Tecco G65/4 y con manto permanente tipo Terratrac TRM, y se refuerza con anclajes activos de 30 m de longitud, cargados a 25 Ton, a 30 Ton anclajes activos.

Teniendo en cuenta lo anterior y con el fin de cumplir con todos los requerimientos se propone el uso del sistema TECCO®, cuyo objetivo es retener el material degradado o meteorizado impidiendo su deslizamiento y contener los bloques o rocas susceptibles a desprendimiento.

El sistema está elaborado en acero de alta resistencia (1770 N/mm²), lo que permite aplicar una fuerza de pretensión parcial externa que inmoviliza la resistencia a cortante del suelo y permite la estabilización efectiva del talud.

Para lograr adosar la malla al talud es necesario la instalación de accesorios como cable perimetral, clips de unión, placas de fijación entre otros, que garantiza su desempeño global.

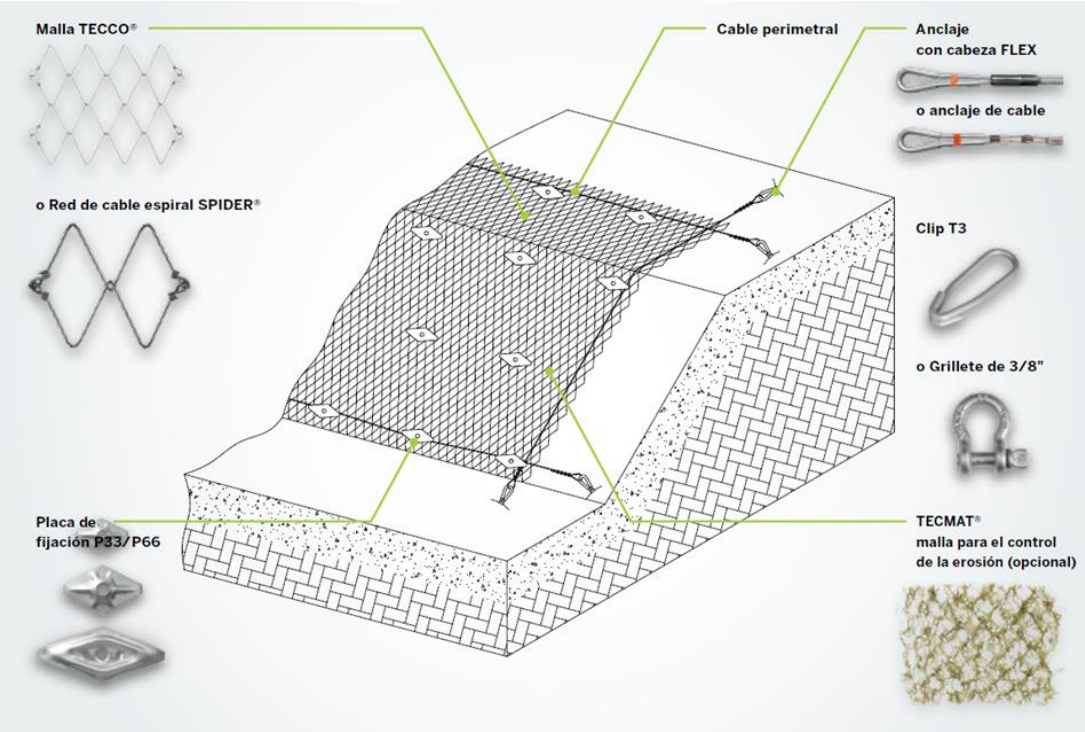


Figura 3.334 Componentes del sistema para estabilización de taludes

Las características de los anclajes propuestos se resumen en lo que sigue:

- Longitud del bulbo: 12 metros.
- Diámetro de la perforación: 0,10 metros (4 pulgadas).
- Diámetro del cable: 5/8”
- Número de cables: 2 para las hileras
- Tensión: 25 Ton.
- Resistencia mínima a la rotura del cable: 267,57 kN.

A manera de ejemplo, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se presenta la comprobación para la sección 12 de la comuna 5, encontrándose que se cumplen la totalidad de los requerimientos. Para estos dados, se determinaron los esfuerzos de contacto. El módulo de elasticidad se obtuvo de las pruebas de refracción sísmica realizada en la Comuna 5, encontrándose un módulo de elasticidad de 24200 ton/m^2, y una relación de poisson de 0,42.
Los resultados del análisis se ilustran en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, destacándose que, para este nivel de esfuerzo de contacto, se presentarán asentamientos inferiores a 1.0 cm, lo que significa que se cumplen los estados límite de falla y servicio.

3.15.3.2 Drenes Horizontales

Una de las actividades que se propone es la de abatir los diferentes niveles freáticos, detectados en la zona de estudio, los cuales es necesario abatir mediante la implementación de drenes horizontales.

Para tal fin se propone que los drenes de penetración tengan una longitud que fluctúa entre 15 y 35 metros, con una inclinación de 5º ascendente con la horizontal. En la Figura 3.335, se ilustra un esquema típico del dren horizontal planteado en el presente proyecto.

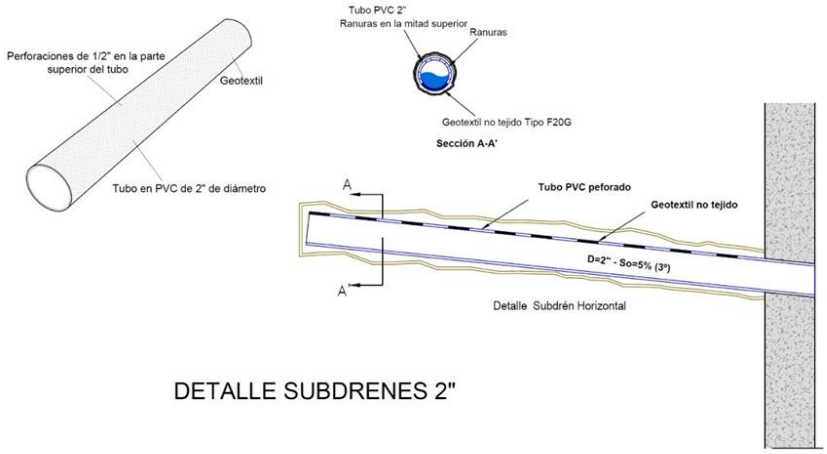


Figura 3.335 Detalle de dren horizontal

Con el fin de analizar la distribución de los drenes horizontales sobre el talud se realizaron una serie de modelaciones para el caso estacionario. Teniendo en cuenta que el parámetro de entrada es la permeabilidad, fue necesaria la ejecución de ensayos de permeabilidad en cámara triaxial. Un resumen de los parámetros asignados a las diferentes unidades se presenta en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

Partiendo de la anterior información se procedió a modelar el flujo del agua subterránea para el caso estacionario, con el módulo steady state groundwater flow, del programa SLIDE2, de Rocscience. Para tal fin se definen las condiciones de contorno y se procede a generar la malla de elementos finitos, en la que se incluyen las hileras de drenes horizontales de la longitud definida en el análisis de estabilidad. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presentan los resultados para la condición inicial, es decir, el caso estacionario, destacándose los siguientes aspectos:

- El análisis asume, que el comportamiento del material es isotrópico. En la realidad, y dada la configuración de las capas la permeabilidad horizontal puede ser mayor. Para tener en cuenta este efecto y estar del lado de la seguridad, se proponen seis líneas de drenes horizontales, cuyo objetivo es básicamente alejar la línea piezométrica de la superficie de falla crítica.

3.15.3.3 Pantalla de Micropilotes de 10, 20, 25, 28 y 30 Metros de Longitud

A continuación, se presentan el diseño de una pantalla de micropilotes de 10,20, 25, 28 Y 30 metros de profundidad y 30 centímetros de diámetro.

Se presentan pantallas de disposición lineal separados cada 90 centímetros entrelazados por viga cabezal de 60x50cm y unas pantallas en disposición de tresbolillo separados cada 90 centímetros en el sentido longitudinal y 60 centímetros en el sentido transversal entrelazados por viga cabezal de 120x50cm.

Para este caso el diseño corresponde a los definidos en la comuna 4, la diferencia corresponde a básicamente un incremento en la longitud.

Análisis Estructural

- *Datos de Salida*
  - ✓ *Resultantes micropilotes- modelo de geotecnia – se comprueba con máximo valor suministrado para cada una de las pantallas de micropilotes*

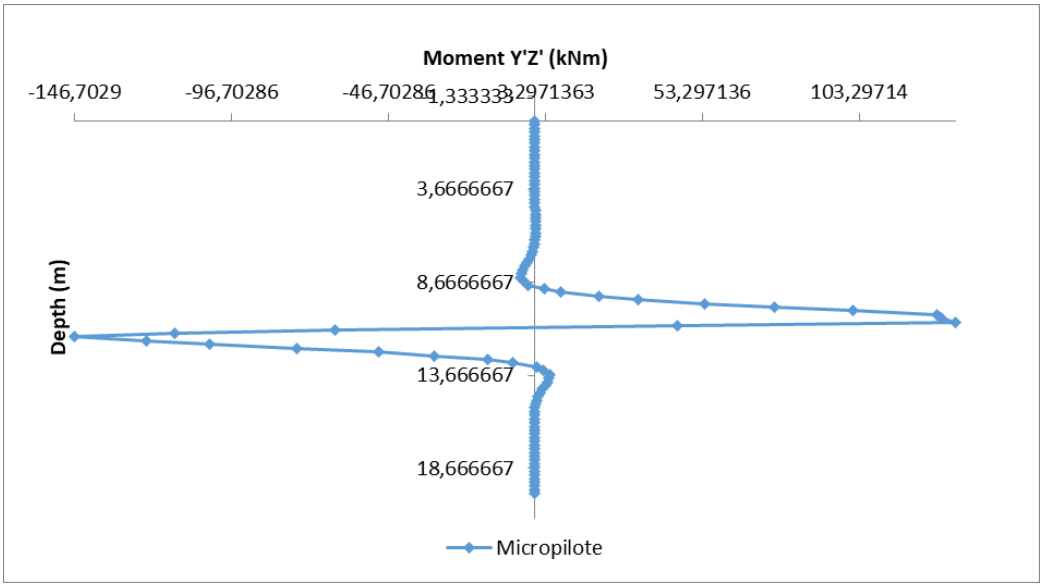


Figura 3.336 Momento máximo de micropilotes Ciudad Perdida (KN-m)
Fuente: Autoría Propia

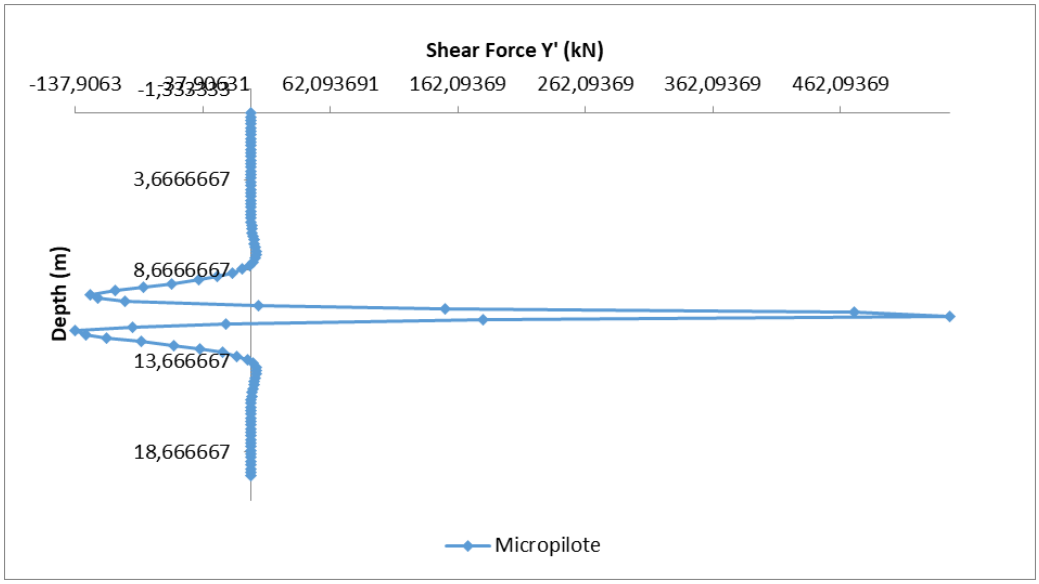


Figura 3.337 Cortante máximo micropilotes Ciudad Perdida (KN)
Fuente: Autoría Propia

Diseño Estructural

- *Diseño de Micropilote*

Se revisa la resistencia máxima del pilote que debe ser mayor a 764KN:

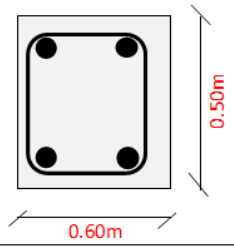
RESISTENCIA MICROPILOTE		
RESISTENCIA TUBULAR SCH40		
ϕ= 1		Coeficiente de reducción de resistencia por cortante
Vn= 0.5 Fcr Ag		Resistencia nominal al cortante
Fcr=		Resistencia al pandeo por cortante (N/mm2) es el mayor entre:
$F_{cr1} = \frac{1.60E}{\sqrt{\frac{Lv}{D}(\frac{D}{t})^{5/4}}} \leq 0.58F_y$	Y	$F_{cr1} = \frac{0.78E}{(\frac{D}{t})^{3/2}} \leq 0.58F_y$
Donde:		
Ag= 10157.79		Área bruta seccion tranversaldel tubo, en mm2
D= 323.85		Diámetro externo tubo, en mm
Lv= 28000		Distancia entre cortante maximo y cortante cero, en mm
Fy= 240		Punto fluencia del acero A53 grado B
to= 10.3124		Espesor de pared de diseño, en mm
t= 9.59		Menor valor entre t1 y t2, en mm
E= 200000		Modulo elasticidad acero, en Mpa
t1= 9.59		0.93 veces el espesor nominal de pared para tubulares fabricados por soldadura de resistencia electrica o el espesor nominal en otros procesos, en mm
t2= 9.7124		Espesor nominal del acero menos el espesor de corrosión esperado en el periodo de diseño de acuerdo a Tabla 19, en mm
Fcr1= 422.78 Mpa		Fcr1= 795.01 Mpa
	0.58 Fy= 139.20 Mpa	
Fcr= 139.20 Mpa		Mayor valor calculado para Fcr1, sin exceder nunca 0.58 Fy
Vn= 0.5 Fcr Ag =	706.98 KN	
ϕVn= 706.98 KN		
RESISTENCIA CONCRETO		
f'c= 28.00 Mpa		Resistencia a compresión del concreto, en Mpa
ϕ= 0.85		Coeficiente de reducción de resistencia por cortante
A conc= 0.077 m2		Área sección de concreto, en m2
Vc= 886.86 KN/m2		
Vc= 68.47 KN		
ϕVc= 58.20 KN		

➢ *Diseño de Viga*

Tabla 3.101 Diseño de viga 60x50

VIGA 60x50

ϕ=	0.9
(+)ϕMn=	108.73kNm
(-)ϕMn=	-57.00kNm
f'c=	28.10MPa
fy=	420.00MPa
Recubr=	0.04m
b=	0.60m
d=	0.46m



diseño a flexión

Cuantía menor que la mínima ***Momento POSITIVO***

Cuantía menor que la mínima ***Momento NEGATIVO***

Momento POSITIVO	
ρ=	0.002313
ρbal=	0.028434524
ρmáx=	0.021325893
ρmín=	0.003333333
As=	920mm

Momento NEGATIVO	
ρ=	-0.001176
ρbal=	0.028434524
ρmáx=	0.021325893
ρmín=	0.003333333
As=	920mm

Refuerzo superior

Primera fila						
5	#5	+	0	#4	A=	990mm
Segunda fila						
0	#6	+	0	#5	A=	0mm

Atotal= 990mm OK!

Refuerzo inferior

Primera fila						
5	#5	+	0	#4	A=	990mm
Segunda fila						
0	#5	+	0	#5	A=	0mm

Atotal= 990mm OK!

diseño a cortante

ϕ=	0.75
Vu=	141.00kN
vu=	510.87kN
ϕvc=	662.62kN
vu<ϕvc:	NO necesita refuerzo a cortante, estrib
ϕVs=	vu-ϕvc
ϕVs=	-151.75kN/m2
varilla	#3
Ramas	2
sep.	-0.493m

3.15.4 Diseños Hidráulicos

3.15.4.1 Comuna 4

Teniendo en cuenta que dentro de la solución de estabilidad propuesta en el sector deberá darse manejo a la escorrentía producida, es de anotar que el coeficiente de escorrentía en zonas urbanas es tendiente a uno en la medida en que el urbanismo se consolida. En este sector en particular se mantienen aún características del terreno natural sobre toda la zona límite del drenaje principal que rodea todo el sector de estudio

Ubicación General de las Canaletas

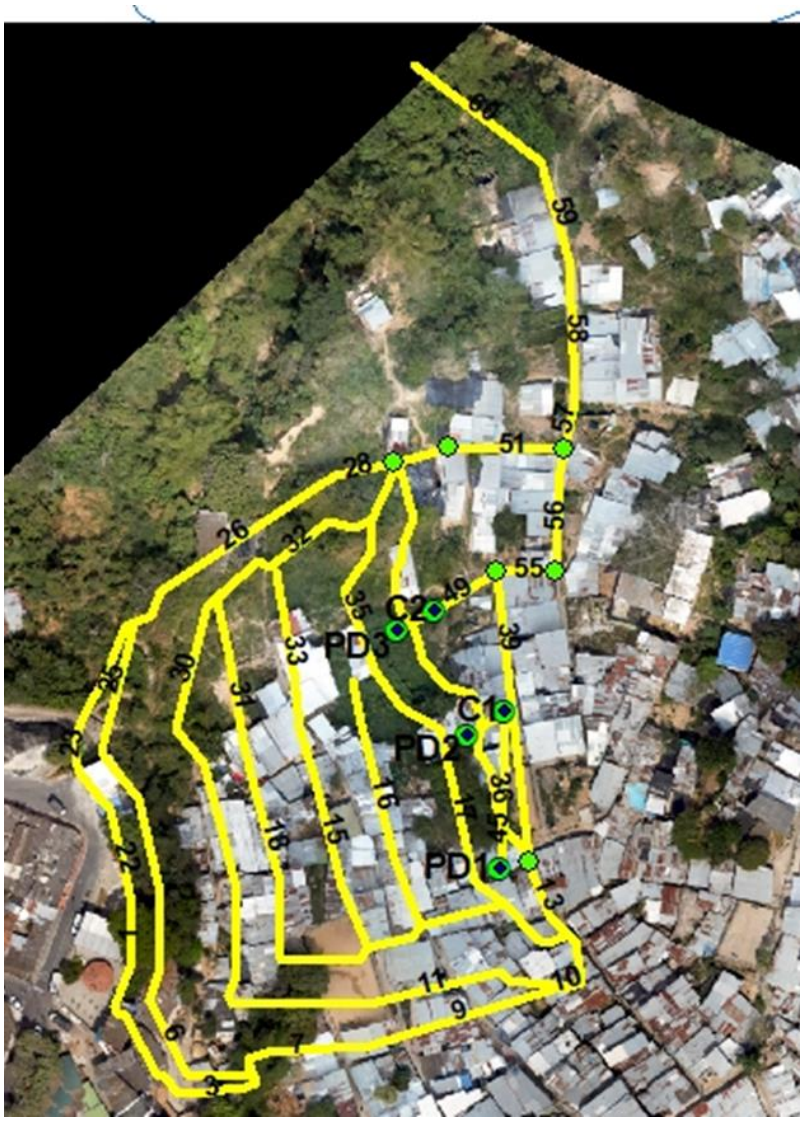


Figura 3.338 Ubicación general del Sistema de canaletas y alcantarillado

Área Aferente a Canaleta

Se presenta las áreas aferentes a cada canaleta y al sistema de alcantarillado pluvial.



Figura 3.339 Áreas de drenaje a canaletas

Diseño de Canaletas

Para el cálculo de las canaletas perimetrales se utilizó la ecuación de Manning para canales y el cálculo del caudal se realizó por medio del método racional.

Periodo de Retorno

Teniendo en cuenta el RAS-2000 en el capítulo D. numeral 4.3.4., en la Tabla D.4.2. se consigna el periodo de retorno o grado de protección, por lo que se definió para la zona de estudio un periodo de retorno de 50 años.

Duración de la Lluvia de Diseño

Teniendo en cuenta el RAS-2000 en el capítulo D se establece como tiempo de duración de lluvia de 10 min, ya que son canaletas de tramos iniciales del sistema de aguas lluvias.

Curvas IDF

Del componente hidrológico del estudio "CONSULTORIA PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN, Y AVENIDAS TORRENCIALES EN SECTORES PRIORIZADOS EN LAS COMUNAS CUATRO (CAMILO TORRES, CUYANITA, MILAGRO DE DIOS, ZARABANDA, Y CIUDAD PERDIDA) Y CINCO (PANTANO I, PANTANO II, Y

PANTANO III) DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA", se tomaron la tabla de intensidad – Tiempo de duración – Periodo de retorno y la gráfica de las Curvas IDF que se presentan a continuación

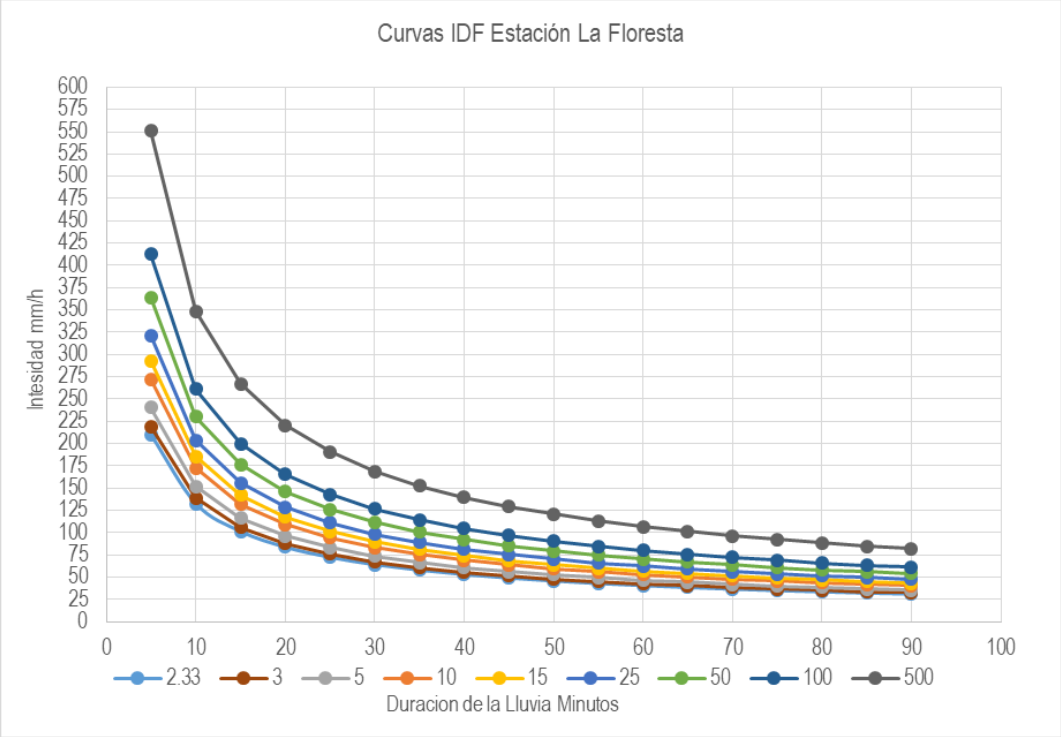


Figura 3.340 Curvas IDF para la estación La Floresta

<u>Cálculo de Caudales</u>

Para estimar los caudales de escorrentía a manejar en las obras, se emplea dentro del análisis hidrológico el Método Racional dado que se aplica en cuencas homogéneas pequeñas, naturales o urbanas, y preferiblemente en extensiones menores a las 10 hectáreas como en este caso.

$$Q = (C * I * A) / 360$$

Q: Caudal máximo (m^3/s)

C: Coeficiente de escorrentía: Las zonas aledañas a las canaletas de corona, aportante de caudal, tienen pendiente plana (0- 2%) que corresponden a áreas verdes con cobertura de pastos mayor del 50% del área. Según la literatura especializada, para un periodo de retorno de 50 años, el C = 0,44. Para pendientes mayor al 7% C=0.52. Para las áreas desarrolladas el valor de C=0.90

I: Intensidad de la Lluvia de Diseño, con duración igual al tiempo de concentración de la cuenca y con frecuencia igual al período de retorno seleccionado para el diseño (Curvas de I-D-F) [mm/h] = 230.369 mm/h

A: Área de la zona de aporte (Ha)

En la Tabla 3.102 se presenta un ejemplo del tipo de resultado obtenido en el análisis.

Tabla 3.102 Cálculo de Caudales

CALCULO DE CAUDALES										
INTENSIDAD DE LLUVIA I= 230.369 (MM/H)										
CANALETA	AREAS	A (M^2)	A (HAS)	C	Q (M^3/S)	Q (LIT/S)	TIPO ESTRUCTURA	LONGITUD (M)	ANCHO (M)	ALTURA(M)
			10000			1000			B	H
22	1	1721.85	0.17219	0.90	0.09917	99.1652	CANALETA	35.75	0.30	0.70
23	2	1199.91	0.11999	0.52	0.13909	139.0928	RAPIDA 5	34.10	0.40	0.70
					0.13909	139.0928	CANALETA	3.00		
24					0.13909	139.0928	CANALETA	1.50	0.40	0.70
					0.13909	139.0928	CANALETA	0.25	0.4-0.5	0.70
					0.17421	174.2083	CANALETA	0.75	0.50	0.70
25	5	605.30	0.06053	0.90	0.03512	35.1155	CANALETA	60.77	0.50	0.80
26	16 ext	3527.06	0.35271	0.52	0.17421	174.2083	RAPIDA 6	52.13	0.50	0.70
27					0.17421	174.2083	CANALETA	6.60	0.50	0.70
28					0.17421	174.2083	RAPIDA 7	20.54	0.50	0.70
29					0.17421	174.2083	CANALETA	3.00	0.50	0.70
30	7	825.24	0.08252	0.90	0.04828	48.2824	CANALETA	63.04	0.60	0.90
31	9	434.39	0.04344	0.90	0.02502	25.0175	CANALETA	46.84	0.30	0.60
33	11	701.70	0.07017	0.90	0.04041	40.4125	CANALETA	49.82	0.30	0.60
35	14	848.12	0.08481	0.90	0.04885	48.8451	CANALETA	28.76	0.30	0.60
32	16	629.87	0.06299	0.90	0.20638	206.3832	CANALETA	50.46	0.80	1.00
37					0.20638	206.3832	RAPIDA 8	11.38	1.00	0.70
38					0.20638	206.3832	CANALETA	4.50	1.00	0.70
1	3	2095.46	0.20955	0.90	0.12068	120.6823	CANALETA	39.80	0.40	0.60
2					0.12068	120.6823	CANALETA	2.75	0.50	0.60
					0.12068	120.6823	CANALETA	0.25	0.4-05	
					0.12068	120.6823	CANALETA	3.00	0.50	
3	18	2676.46	0.26765	0.90	0.27483	274.8256	RAPIDA 1	26.58	0.50	0.60
4					0.27483	274.8256	CANALETA	5.20	0.50	0.70
5					0.27483	274.8256	CANALETA	0.85	0.50	0.70

CALCULO DE CAUDALES										
INTENSIDAD DE LLUVIA I= 230.369 (MM/H)										
CANALETA	AREAS	A (M^2)	A (HAS)	C	Q (M^3/S)	Q (LIT/S)	TIPO ESTRUCTURA	LONGITUD (M)	ANCHO (M)	ALTURA(M)
					0.27483	274.8256	CANALETA	0.45	0.5-0.7	
					0.32016	320.1561	CANALETA	0.85	0.70	
6	6	783.30	0.07833	0.90	0.04533	45.3305	CANALETA	74.83	0.50	0.70
7	Rapida2				0.32016	320.1561	RAPIDA 2	11.35	0.70	0.70
8					0.32016	320.1561	CANALETA	3.20	0.70	0.70
					0.32016	320.1561	CANALETA	0.70	0.7-1.0	
					0.32016	320.1561	CANALETA	2.25	1.00	
9	4	12989.98	1.29900	0.90	0.74812	748.1222	CANALETA			
9	Rapida 3				1.06828	1068.2783	RAPIDA 3	58.30	1.00	0.70
10					1.15762	1157.6164	CANALETA	13.40	1.00	1.00
12					1.15762	1157.6164	CANALETA	2.00	1.00	1.10
11	8	1538.48	0.15385	0.90	0.08934	89.3381	CANALETA	127.47	0.60	0.90
15	12	712.71	0.07127	0.90	0.04105	41.0466	CANALETA	44.58	0.30	0.60
16	13	933.87	0.09339	0.90	0.05378	53.7837	CANALETA	59.65	0.30	0.70
17	15	764.30	0.07643	0.90	0.04402	44.0178	CANALETA	47.63	0.30	0.60
18	10	1488.54	0.14885	0.90	0.22458	224.5764	CANALETA	122.33	0.50	0.80
36	17	1046.92	0.10469	0.44	0.02948	29.4773	CANALETA	96.18	0.30	0.70
13	19	204.12	0.02041	0.90	1.39395	1393.9485	RAPIDA 4	21.14	1.50	1.10
14						1393.9485	CANALETA	7.00	1.50	1.10
39	Rapida 9				2.21161	2211.6063	RAPIDA 9	68.10	1.50	1.60
40					2.21161	2211.6063	CANALETA	2.00	1.50	1.60
41					3.69575	3695.7450	RAPIDA 10	23.05	1.50	1.60
42					3.69575	3695.7450	CANALETA	1.50	1.50	1.60
AREAS ALEDAÑAS	20	9317.75	0.93178	0.90	0.53663	536.6302	AREAS ALEDAÑAS			
	22	564.74	0.05647	0.90	0.03252	32.5246				
	21	11075.45	1.10755	0.90	0.63786	637.8601				
	23	1120.02	0.11200	0.90	0.06450	64.5045				

CALCULO DE CAUDALES										
INTENSIDAD DE LLUVIA I= 230.369 (MM/H)										
CANALETA	AREAS	A (M^2)	A (HAS)	C	Q (M^3/S)	Q (LIT/S)	TIPO ESTRUCTURA	LONGITUD (M)	ANCHO (M)	ALTURA(M)
	24	4085.51	0.40855	0.90	0.23529	235.2937	AREAS ALEDAÑAS			
	25	202.48	0.02025	0.90	0.01166	11.6613				
	26	6040.98	0.60410	0.90	0.34791	347.9136				
	27	3133.47	0.31335	0.90	0.18046	180.4636				

Dimensionamiento de Canaleta

Para el dimensionamiento de las canaletas se empleará la ecuación de Manning

$$Q = A * R^{2/3} * S^{1/2} / n$$

Q: Caudal (m^3/s)

A: Área de la sección (m^2)

R: Radio hidráulico (m)

S: Pendiente de la línea de energía (m/m)

n: Coeficiente de rugosidad de Manning

Las canaletas serán construidas en concreto con terminación no pulida n= 0.014

La pendiente de las canaletas es variable

Las canaletas y las estructuras de disipación de energía son rectangulares de ancho y altura variable según el caudal y la pendiente

Para el dimensionamiento de las canaletas se siguió el Manual de drenajes para carreteras del Instituto Nacional de Vías – INVIAS. En las terrazas del proyecto se utilizará el software HCanales, versión 3.0 desarrollado en la Escuela de Ingeniería Agrícola del Instituto Tecnológico de Costa Rica para determinar el tirante y la velocidad del flujo.

A continuación, se presenta un ejemplo de canal

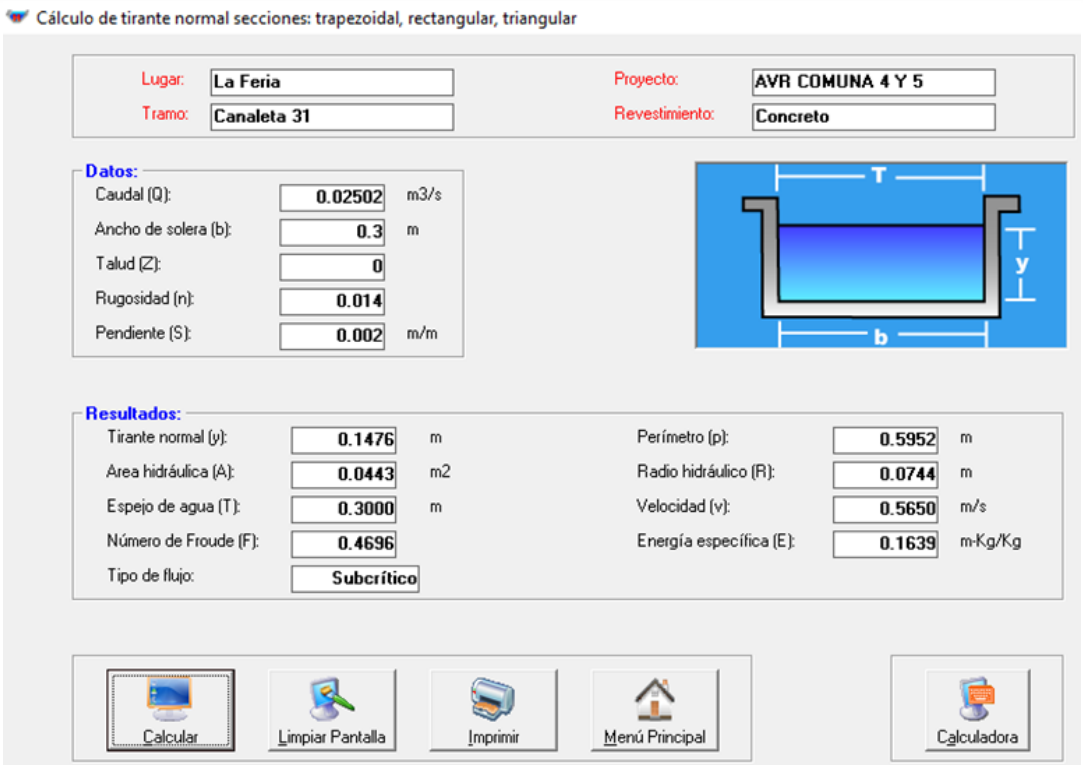


Figura 3.341 Dimensionamiento de Canaleta con el software HCanales

Tabla 3.103 Dimensionamiento de canaletas

CANALETA	PUNTOS	CAUDAL	ANCHO	ALTURA	PENDIENTE
		Q (M^3/S)	B (M)	H (M)	%
22	1-24	0.09917	0.30	0.70	3.08
24	25-26	0.17421	0.50	0.90	4.00
25	7-27	0.03512	0.50	0.80	0.66
27	28-29	0.17421	0.50	0.80	0.10
29	30-31	0.17421	0.50	0.80	0.10
30	12-32	0.04828	0.60	0.90	1.59
31	16-32	0.02502	0.30	0.60	0.20
33	17-33	0.04041	0.30	0.60	0.20
35	21-34	0.04885	0.30	0.60	1.65
32	32-34	0.20638	0.80	1.00	6.79
33	32-35	0.20638	0.80	1.10	10.78
38	35-31	0.20638	1.00	1.00	0.01
1	1-2	0.12068	0.40	0.70	4.37
2	2-3	0.12068	0.50	0.60	4.33
4	4-5	0.27843	0.50	0.80	2.50
5	5.6	0.32016	0.70	0.90	0.10

CANALETA	PUNTOS	CAUDAL	ANCHO	ALTURA	PENDIENTE
		Q (M³/S)	B (M)	H (M)	%
6	7-6	0.04533	0.70	0.70	0.53
8	8-9	0.32016	0.70	0.70	0.50
10	10-11	1.15762	1.00	1.30	0.70
12	11-13	1.15762	1.00	1.30	0.70
11	12-11	0.08934	0.60	0.90	0.84
15	17-18	0.04105	0.30	0.60	0.45
16	19-20	0.05378	0.30	0.70	0.34
17	21-22	0.04402	0.30	0.60	0.42
18	16-13	0.22458	0.50	0.80	1.84
36	36-31	0.02948	0.30	0.70	0.52
14	14-15	1.39395	1.50	1.30	0.70
40	39-40	2.21161	1.50	1.60	0.05
41	R10- Esc	3.69575	1.50	1.60	0.50

Estructura de Disipación

Teniendo en cuenta las condiciones del terreno se plantea para la conducción de las aguas en las zonas de proyecto la construcción de estructura de disipación escalonada, siguiendo la metodología que se plantea en el Manual de drenajes para carreteras del Instituto Nacional de Vías – INVIAS, numeral 4.6.2 **Diseño de estructuras de caída escalonadas, rápidas lisas y escalonadas combinadas**

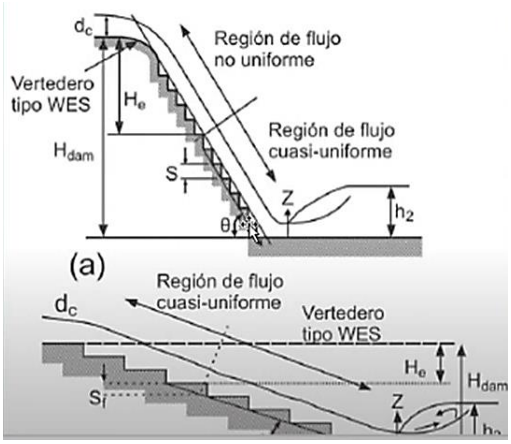


Figura 3.342 Esquema de estructura de disipación. Fuente Manual de drenajes para carreteras INVIAS

Cálculo de Alcantarillado Pluvial

Para el cálculo de la conducción de las aguas provenientes de las perforaciones horizontales, y que llegan a los pozos absorbentes se utiliza tubería de diámetro 4".

3.15.4.2 Ciudad Perdida

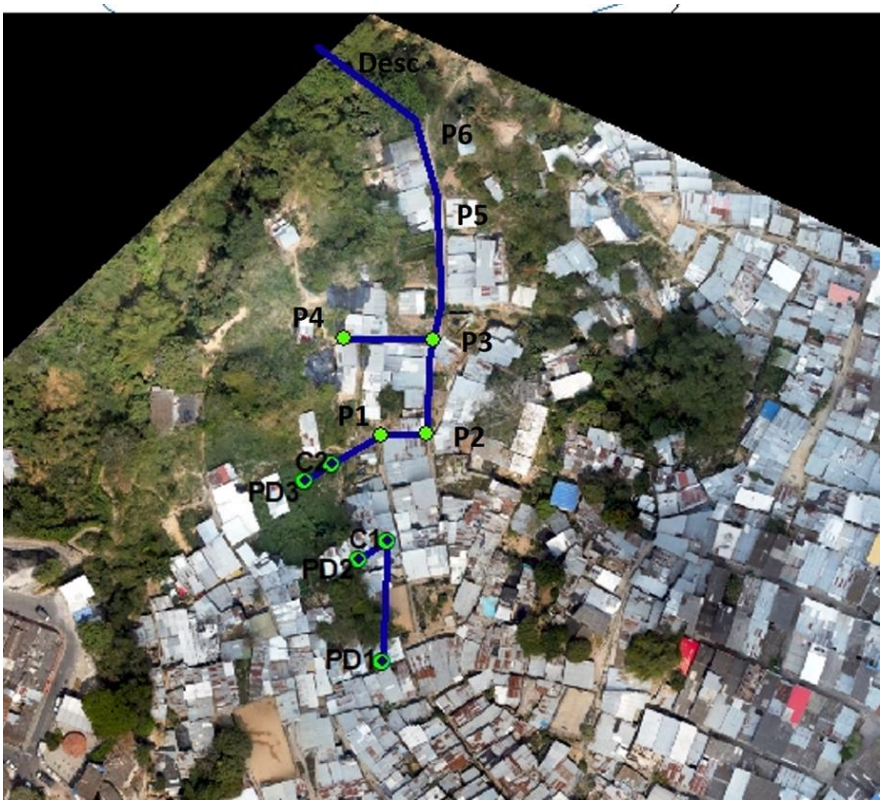


Figura 3.343 Esquema de Alcantarillado Pluvial Ciudad Perdida

En esta sección se describen los factores que influyen en la obtención de diseños adecuados que garanticen el buen funcionamiento del sistema de drenaje proyectado, acorde a las exigencias hidrológicas de la zona de estudio. En este se considerara como primer paso el área aferente como factor hidrológico, donde el caudal aportado estará en función a las condiciones climáticas, fisiográficas, topográficas, tipo de cobertura vegetal, tipo de manejo de suelo y capacidad de almacenamiento; estimando el caudal de diseño, se dimensiona la obra de arte competente, con base en las expresiones y criterios de diseño en el campo de la ingeniería hidráulica y se soporta mediante una modelación en un software adecuado para esta estructura.

Estimación de Caudales

Con base en los procedimientos hidrológicos anteriormente presentados, se estiman los caudales de las áreas aferentes para las obras de arte complementarias del proyecto.

Áreas Aferentes

El área aferente o acumulación del flujo, es de alta relevancia para la determinación del caudal del proyecto. Dicha área corresponde al drenaje total de los proyectos con necesidad de obras.



Figura 3.344 Área aferente sector Ciudad Perdida

Tabla 3.104 Áreas Aportantes

SECTOR	ÁREA (HAS)
Ciudad Perdida Norte	0.5229
Ciudad Perdida Sur	0.4201

Periodo de Retorno

Teniendo en cuenta el RAS-2000 en el capítulo D. numeral 4.3.2., en la Tabla D.4.1. se consigna el periodo de retorno o grado de protección, por lo que se definió para la zona de estudio un periodo de retorno de 10 años.

Duración de la Lluvia de Diseño

Teniendo en cuenta el RAS-2000 en el capítulo D numeral 4.4.3.4.3. se establece como tiempo de duración de lluvia de 10 min, ya que son canaletas de tramos iniciales del sistema de aguas lluvias.

Curvas IDF

Se toman las mismas del diseño anterior.

Cálculo de Caudales

Para estimar los caudales de escorrentía a manejar en las obras, se emplea dentro del análisis hidrológico el Método Racional dado que se aplica en cuencas homogéneas pequeñas, naturales o urbanas, y preferiblemente en extensiones menores a las 10 hectáreas como en este caso.

$$Q = (C * I * A) / 360$$

Q: Caudal máximo (m^3/s)

C: Coeficiente de escorrentía: Para las áreas desarrolladas el valor de C=0.90

I: Intensidad de la Lluvia de Diseño, con duración igual al tiempo de concentración de la cuenca y con frecuencia igual al período de retorno seleccionado para el diseño (Curvas de I-D-F) [mm/h]:

Para el sector de Ciudad Perdida se utilizarán los valores de IDF de la estación IDEAM= 169.190 mm/h.

A: Área de la zona de aporte (Ha)

Tabla 3.105 Cálculo de valores de caudales

SECTOR	ÁREA (HAS)	I (MM/HR)	C	Q (M^3/S)
Ciudad Perdida Norte	0.5229	169.19	0.9	0.22117
Ciudad Perdida Sur	0.4201	169.19	0.9	0.17769

Dimensionamiento de Canaletas

Para el dimensionamiento de las canaletas se empleará la ecuación de Manning y adicionalmente se siguió el Manual de drenajes para carreteras del Instituto Nacional de Vías – INVIAS. Se utilizará el software HCanales, versión 3.0 desarrollado en la Escuela de Ingeniería Agrícola del Instituto Tecnológico de Costa Rica para determinar el tirante y la velocidad del flujo.



Figura 3.345 Canales y estructuras de disipación Ciudad Perdida

A continuación, se presentan el diseño para las canaletas perimetrales

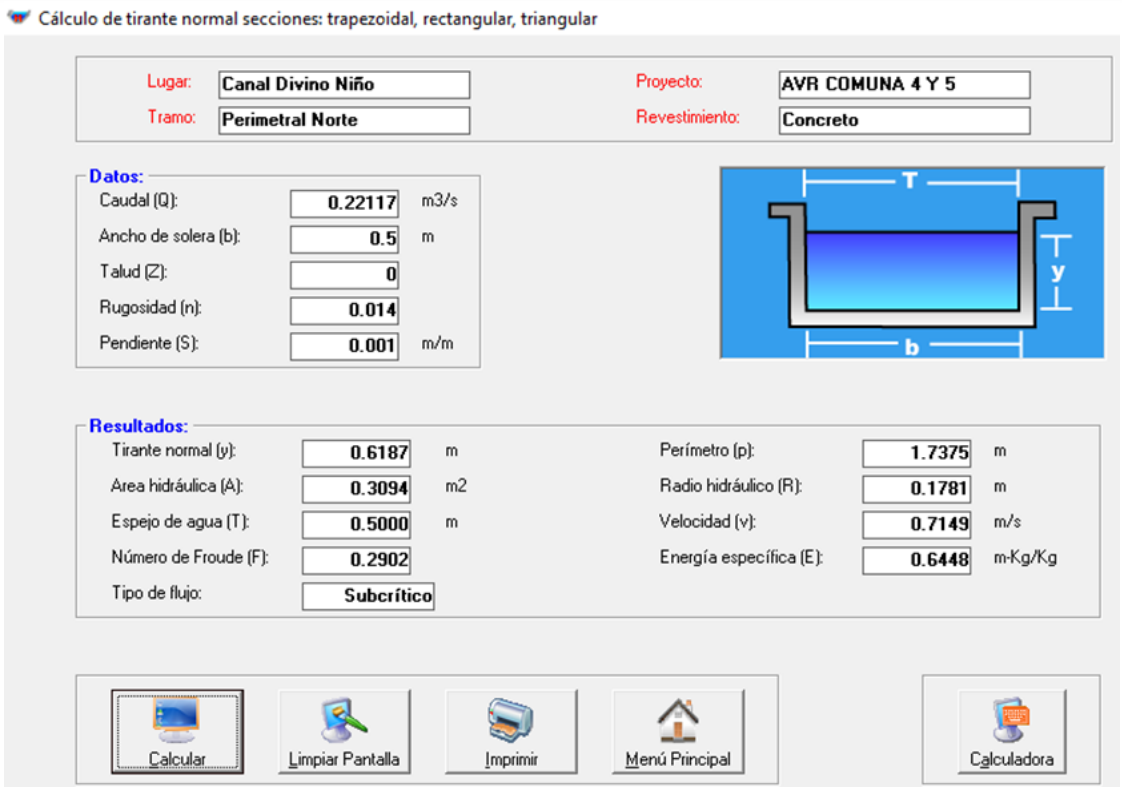


Figura 3.346 Cálculo de canal perimetral norte Ciudad Perdida

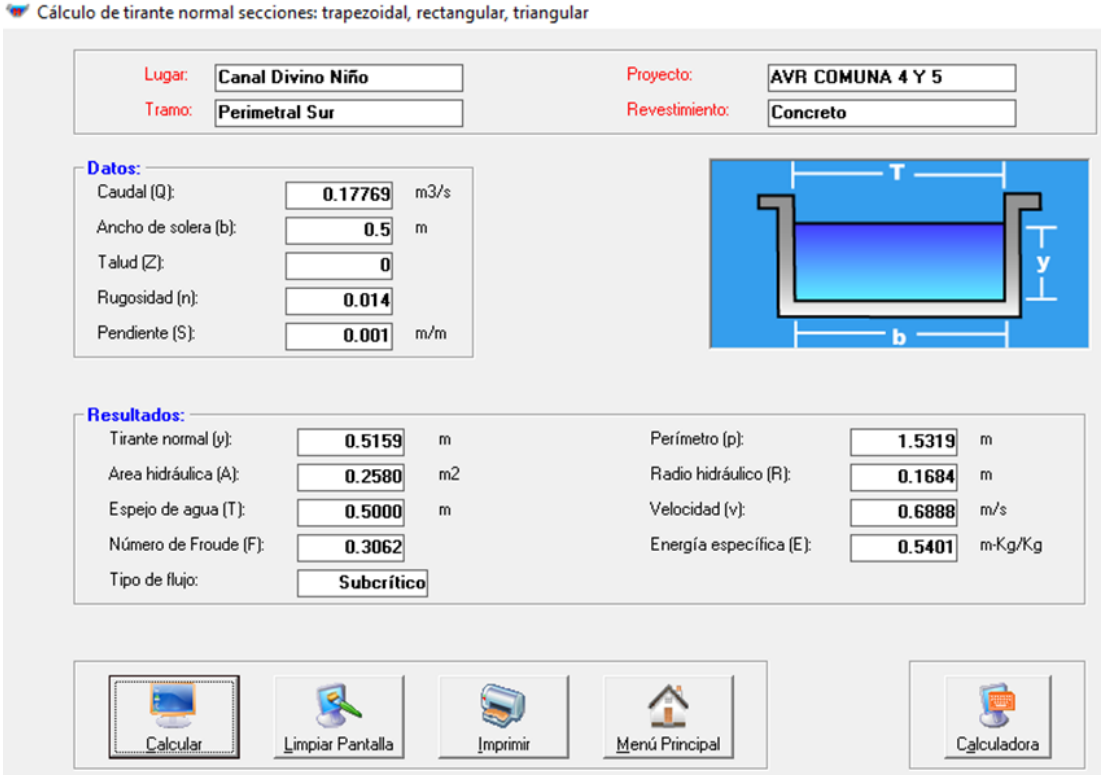


Figura 3.347 Cálculo de canal perimetral sur Ciudad Perdida

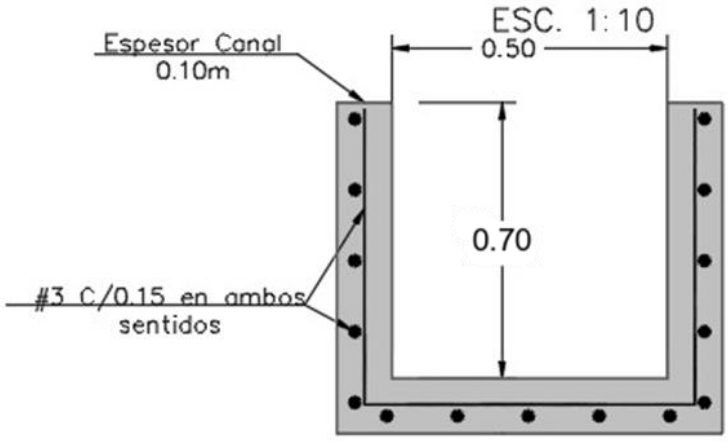


Figura 3.348 Esquema de canales

<u>Canales Escalonados</u>

El objetivo de las estructuras de disipación de energía, es reducir parte de la energía en un flujo, con el propósito de evitar el riesgo de socavación del canal o cauce receptor y la posible falla de la estructura misma.

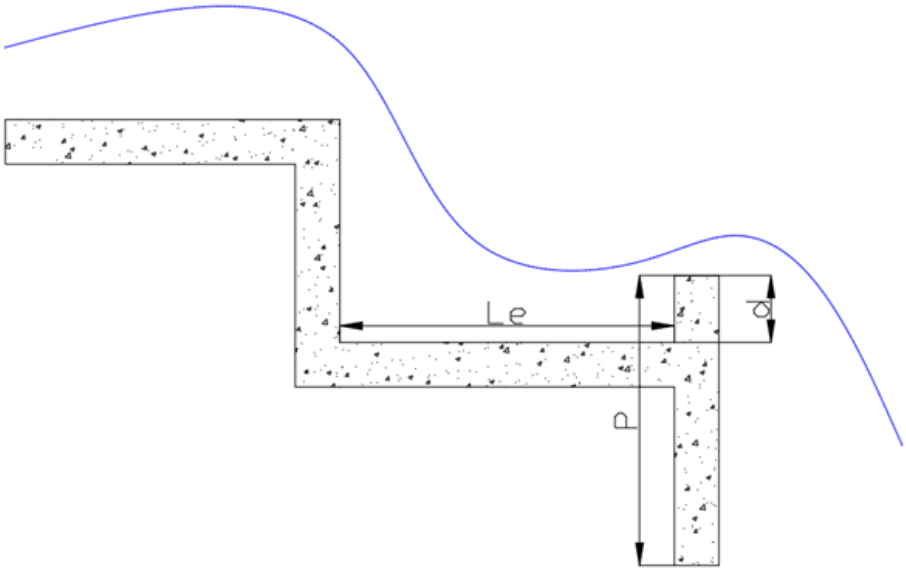


Figura 3.349 Esquema de sección típica de estructura escalonada

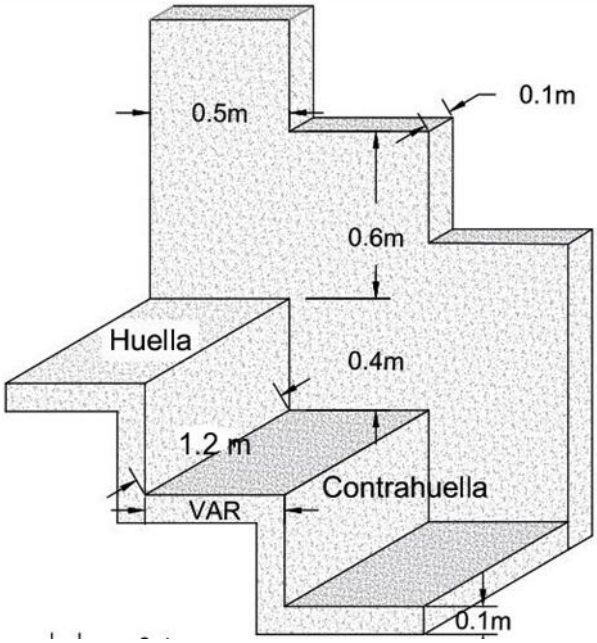


Figura 3.350 Esquema de sección tipo de estructura escalonada

<u>Estructura de Disipación Rápida Escalonada</u>

Teniendo en cuenta las condiciones del terreno se plantea para la conducción de las aguas en las zonas de proyecto la construcción de estructura de disipación escalonada, siguiendo la metodología que se plantea en el Manual de drenajes para carreteras del Instituto Nacional de Vías – INVIAS, numeral 4.6.2 **Diseño de estructuras de caída escalonadas, rápidas lisas y escalonadas combinadas**.

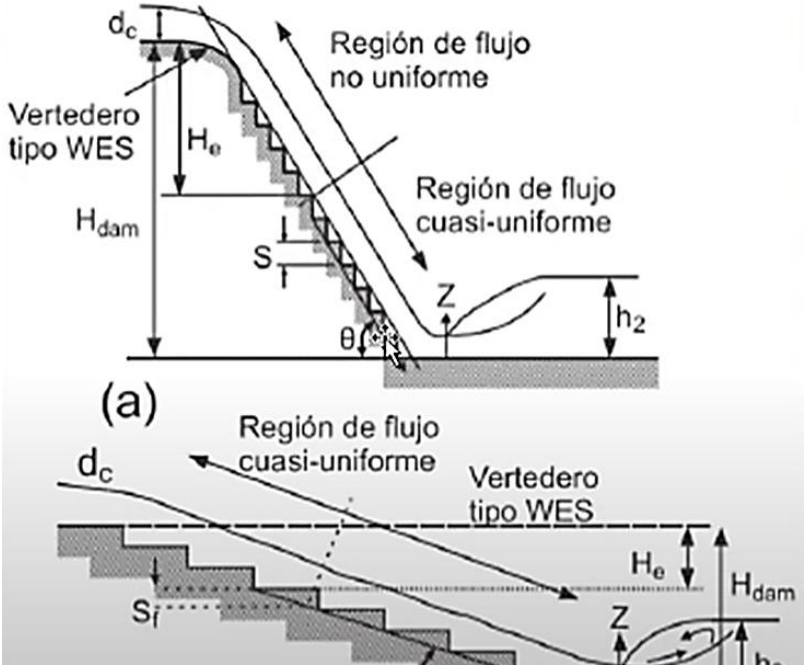


Figura 3.351 Esquema de estructura de disipación.

Fuente Manual de drenajes para carreteras. INVIAS.

3.15.4.3 Pantanos

En esta sección se describen los factores que influyen en la obtención de diseños adecuados que garanticen el buen funcionamiento del sistema de drenaje proyectado, acorde a las exigencias hidrológicas de la zona de estudio. En este se considerara como primer paso el área aferente como factor hidrológico, donde el caudal aportado estará en función a las condiciones climáticas, fisiográficas, topográficas, tipo de cobertura vegetal, tipo de manejo de suelo y capacidad de almacenamiento; estimando el caudal de diseño, se dimensiona la obra de arte competente, con base en las expresiones y criterios de diseño en el campo de la ingeniería hidráulica y se soporta mediante una modelación en un software adecuado para esta estructura.

Estimación de Caudales

Con base en los procedimientos hidrológicos anteriormente presentados, se estiman los caudales de las áreas aferentes para las obras de arte complementarias del proyecto.

Áreas Aferentes

El área aferente o acumulación del flujo, es de alta relevancia para la determinación del caudal del proyecto. Dicha área corresponde al drenaje total de los proyectos con necesidad de obras.



Figura 3.352 Área aferente sector Pantano I



Figura 3.353 Área aferente sector Pantano II



Figura 3.354 Área aferente sector Pantano III

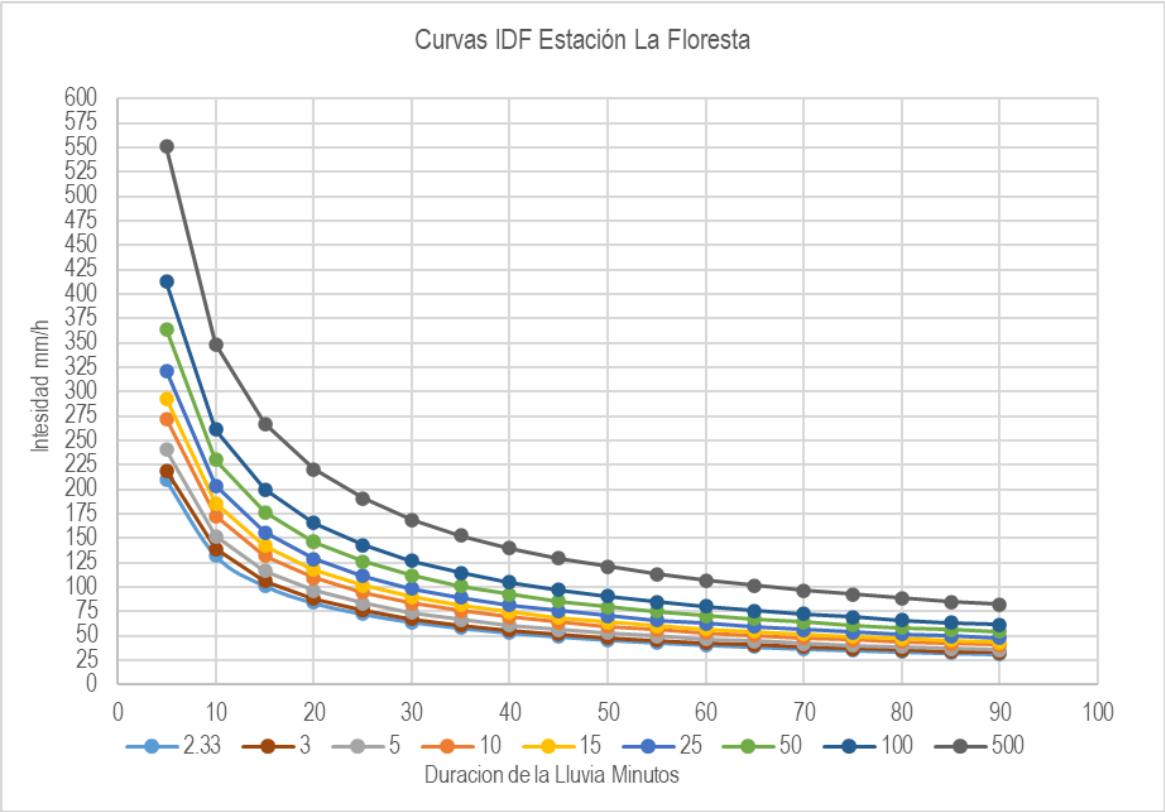


Figura 3.355 Curvas IDF para la estación La Floresta

Cálculo de Caudales

El cálculo de caudales se ilustra en la *Tabla 3.106*

Tabla 3.106 Cálculo de valores de caudales

SECTOR	ÁREA (HAS)	I (MM/HR)	C	Q (M^3/S)
Pantanos I	0.5983	172.429	0.9	0.25791
Pantanos I Norte	0.5870	172.429	0.9	0.25304
Pantanos II	1.9567	172.429	0.9	0.84348
Pantanos III Norte	0.3142	172.429	0.9	0.13544
Pantanos III Sur	0.3889	172.429	0.9	0.16764

Dimensionamiento de Canaletas

Para el dimensionamiento de las canaletas se utilizó la ecuación de Manning. Un ejemplo del cálculo se ilustra en la Figura 3.359



Figura 3.356 Canales y estructuras de disipación Pantano I



Figura 3.357 Canales y estructuras de disipación Pantano II



Figura 3.358 Canales y estructuras de disipación Pantano III

A continuación, se presentan el diseño para las canaletas perimetrales

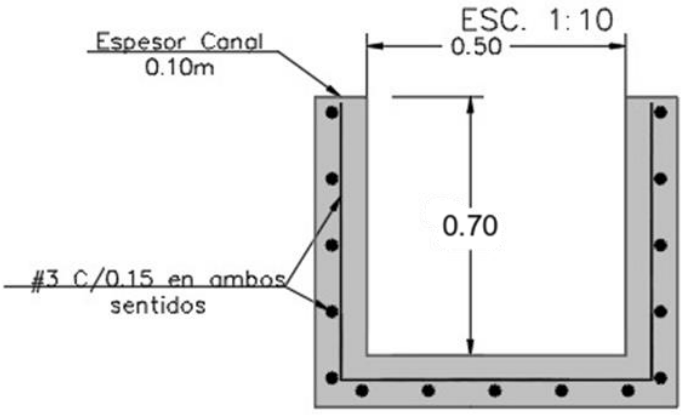


Figura 3.359 Esquema de canales

<u>Canales Escalonados</u>

El objetivo de las estructuras de disipación de energía, es reducir parte de la energía en un flujo, con el propósito de evitar el riesgo de socavación del canal o cauce receptor y la posible falla de la estructura misma.

Una estructura de disipación de tipo escalonada, permite el transporte del flujo de una cota superior a una inferior manteniendo la energía cinética en la estructura dentro de los límites adecuados para evitar los procesos erosivos.

El cálculo desarrollado para este tipo de estructuras se ve a detalle en la sección 8.2.8 del presente informe.

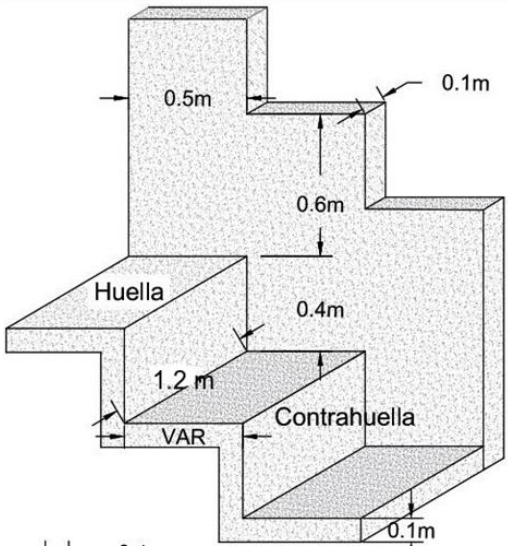
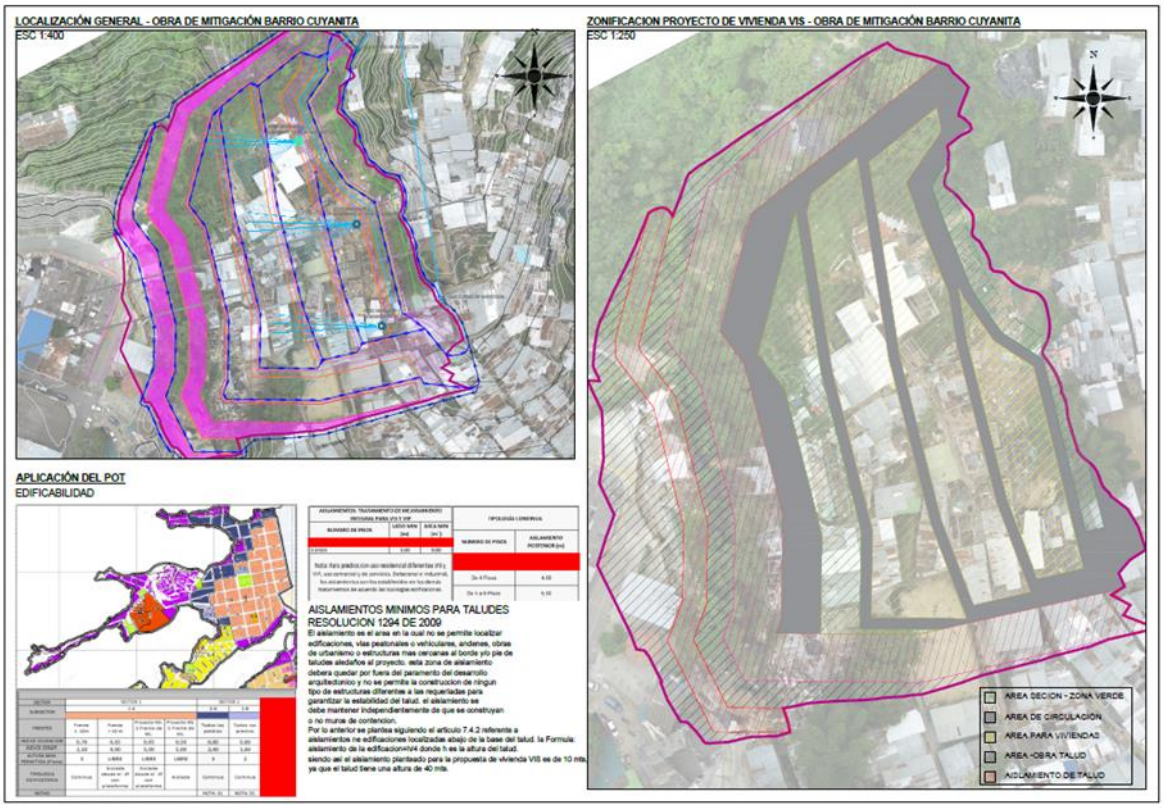


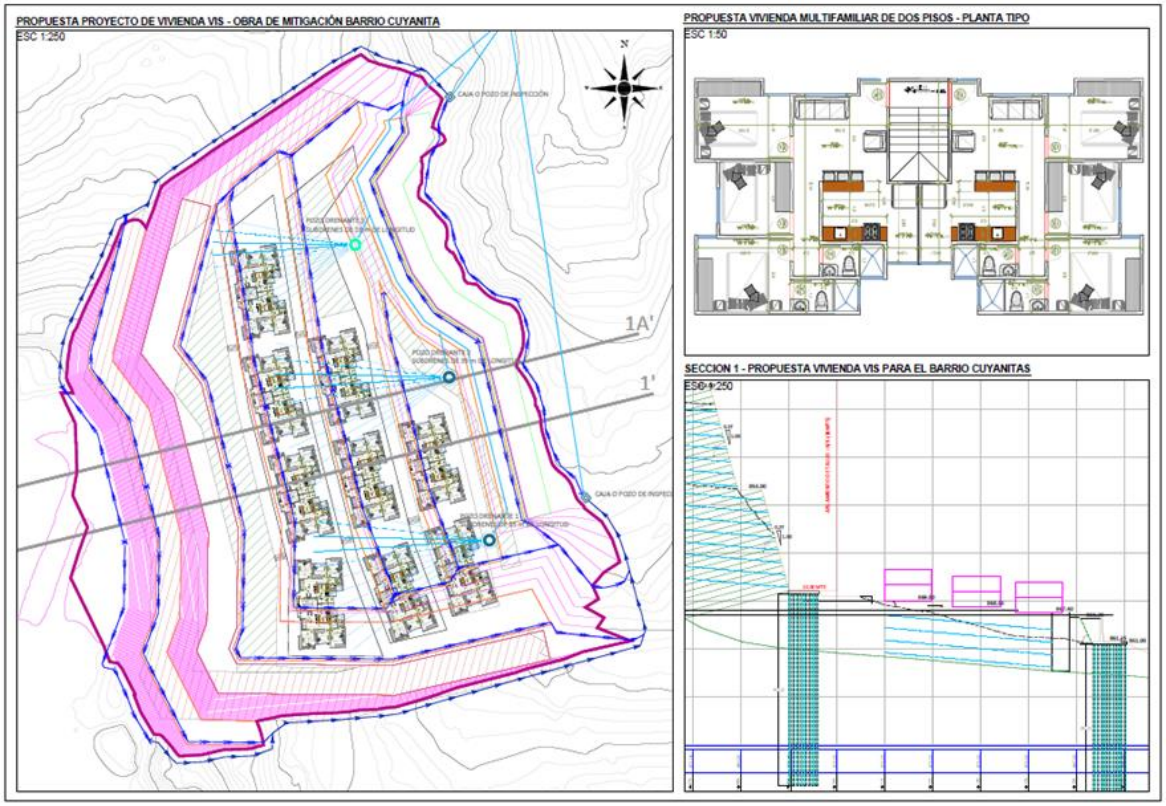
Figura 3.360 Esquema de sección tipo de estructura escalonada

3.15.5 Propuesta Arquitectónica

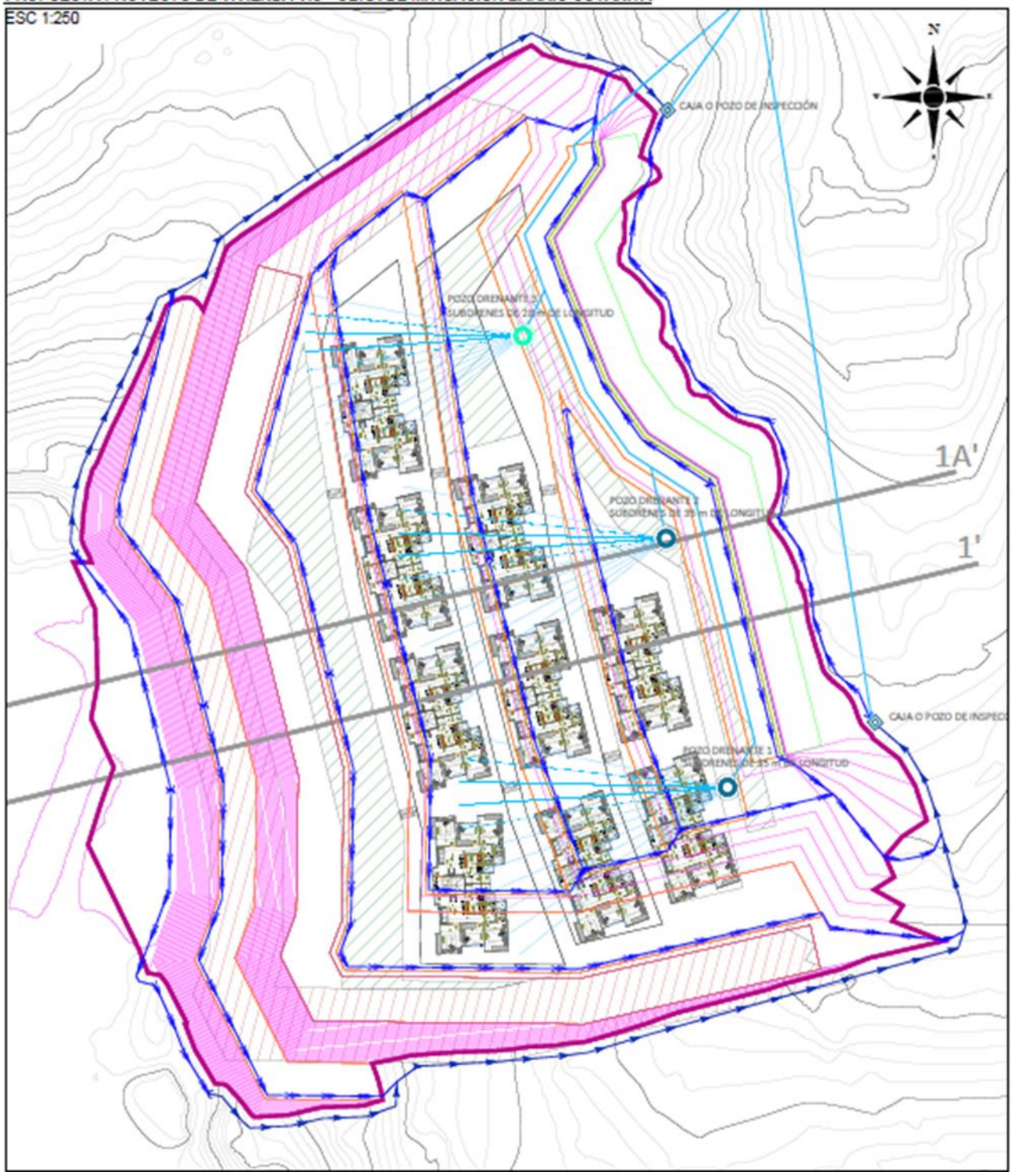
3.15.5.1 Propuesta Urbanística

La propuesta de diseño urbano consta de nueve (9) torres de vivienda multifamiliar de dos pisos siguiendo los lineamientos del POT de Bucaramanga para el sector a intervenir y la OUE Borde de Escarpe que permite una altura máxima de 2 pisos para proyectos de vivienda VIS. De igual manera se plantea un proyecto que ocupa un área no mayor al 80% del área neta después de descontar las zonas de taludes, obras de mitigación y aislamientos normativos para las bases de dichas obras. A su vez se plantean unas áreas verdes perimetrales a las edificaciones que articulan el espacio público como un eje estructurante de vida, estrategias encaminadas a enlazar, desarrollar, articular, y orientar el espacio público de la ciudad como un escenario lleno de experiencias que integren corredores de conectividad ambiental, social e intermodal que nos permita recorrer nuestra ciudad y mejorar la calidad de vida de los ciudadanos.


LOCALIZACIÓN GENERAL - OBRA DE MITIGACIÓN BARRIO CUYANITA
ESC 1:400
ZONIFICACION PROYECTO DE VIVIENDA VIS - OBRA DE MITIGACIÓN BARRIO CUYANITA
ESC 1:250
APLICACIÓN DEL POT
EDIFICABILIDAD
AISLAMIENTOS MINIMOS PARA TALUDES
RESOLUCION 1294 DE 2009
AREA SECION - ZONA VERDE
AREA DE CIRCULACION
AREA PARA VIVIENDAS
AREA -OBRA TALUD
AISLAMIENTO DE TALUD


PROPUESTA PROYECTO DE VIVIENDA VIS - OBRA DE MITIGACIÓN BARRIO CUYANITA
ESC 1:250
PROPUESTA VIVIENDA MULTIFAMILIAR DE DOS PISOS - PLANTA TIPO
ESC 1:50
SECCION 1 - PROPUESTA VIVIENDA VIS PARA EL BARRIO CUYANITAS
ESC 1:250

PROPUESTA PROYECTO DE VIVIENDA VIS - OBRA DE MITIGACIÓN BARRIO CUYANITA



Comuna 4

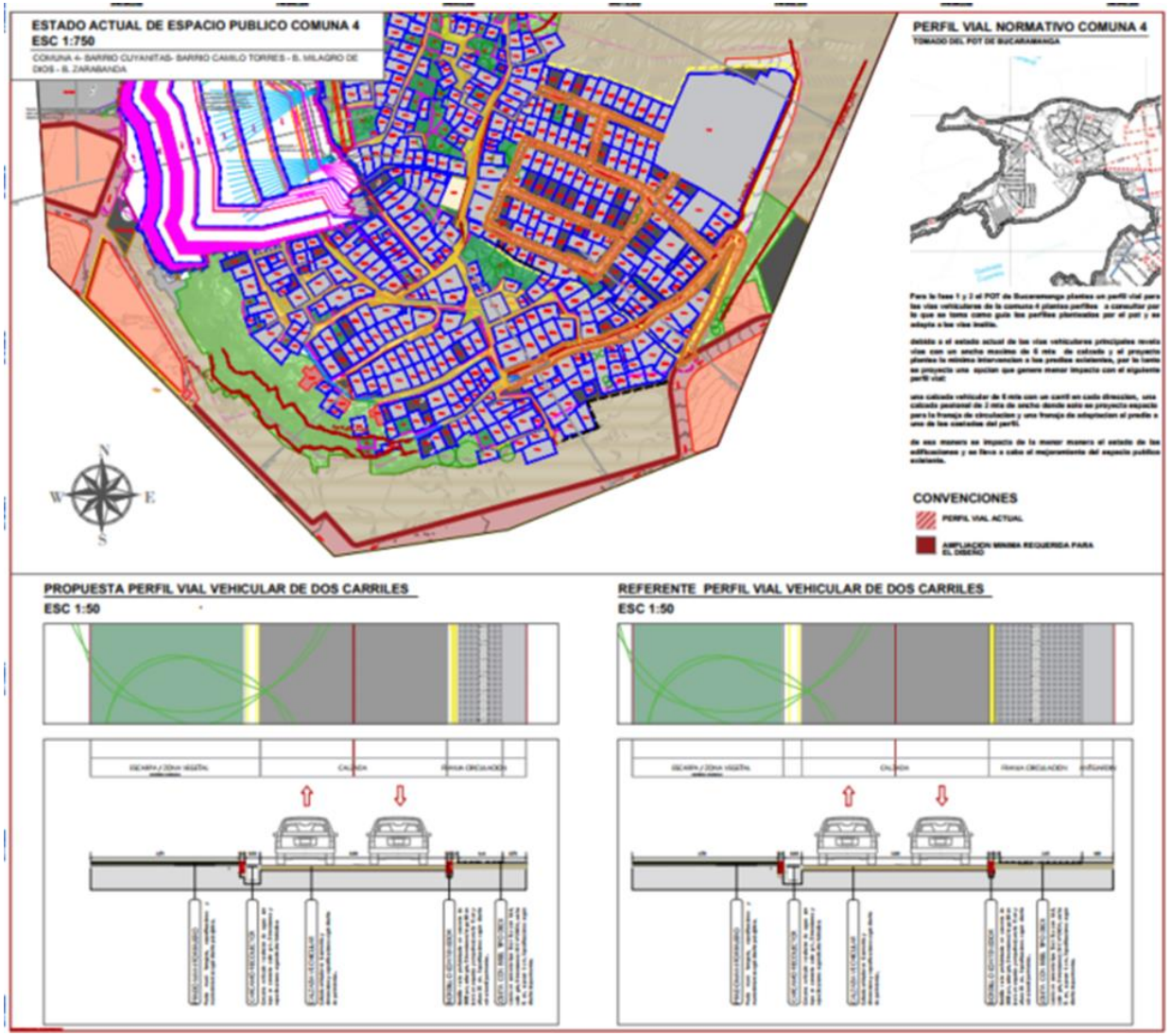


Figura 3.361 Estado actual de espacio público Comuna 4 – Propuesta perfil vial vehicular de dos carriles

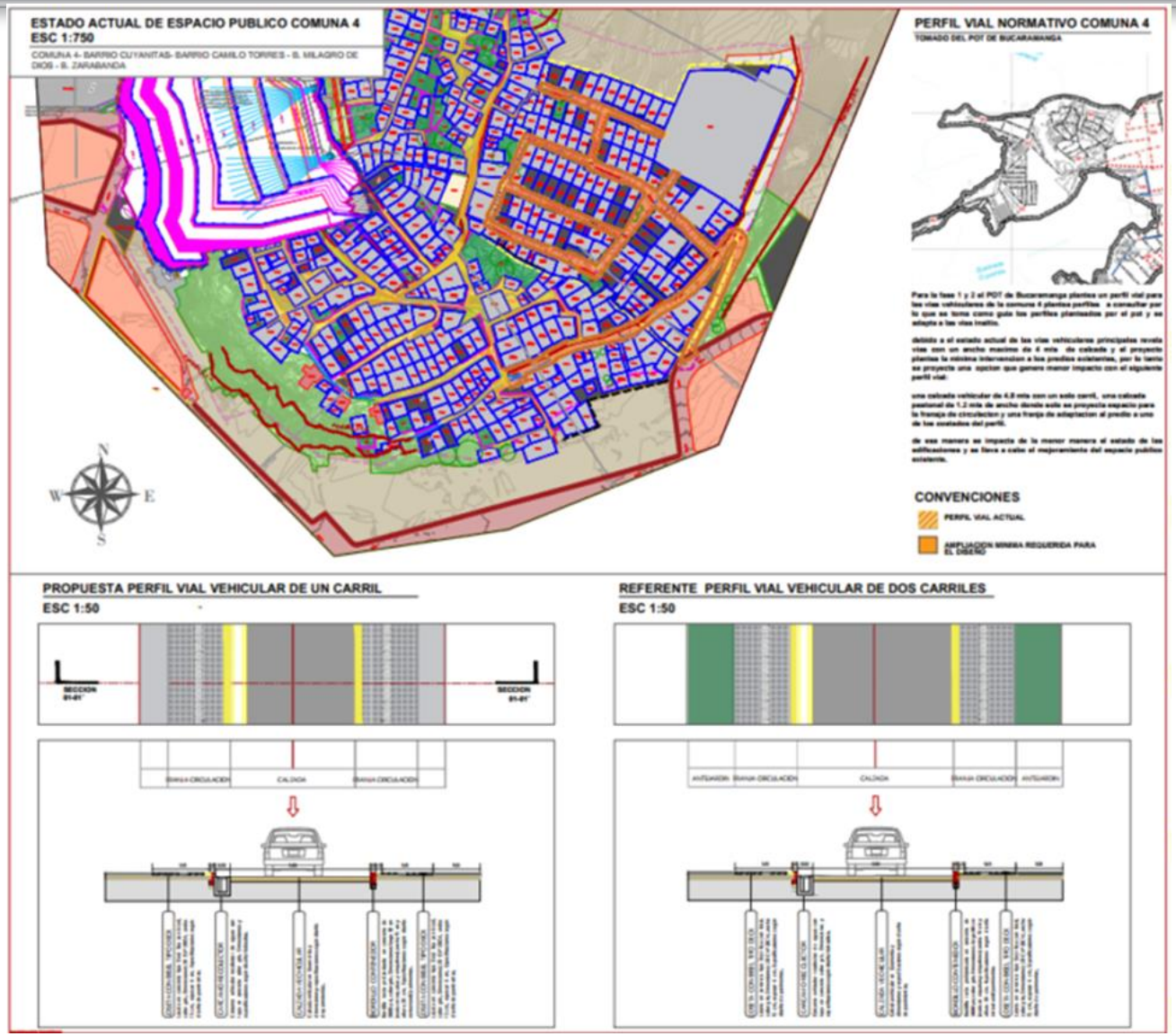


Figura 3.362 Propuesta perfil vial vehicular de dos carriles Comuna 4

PROPUESTA PERFIL VIAL VEHICULAR DE UN CARRIL

ESC 1:50

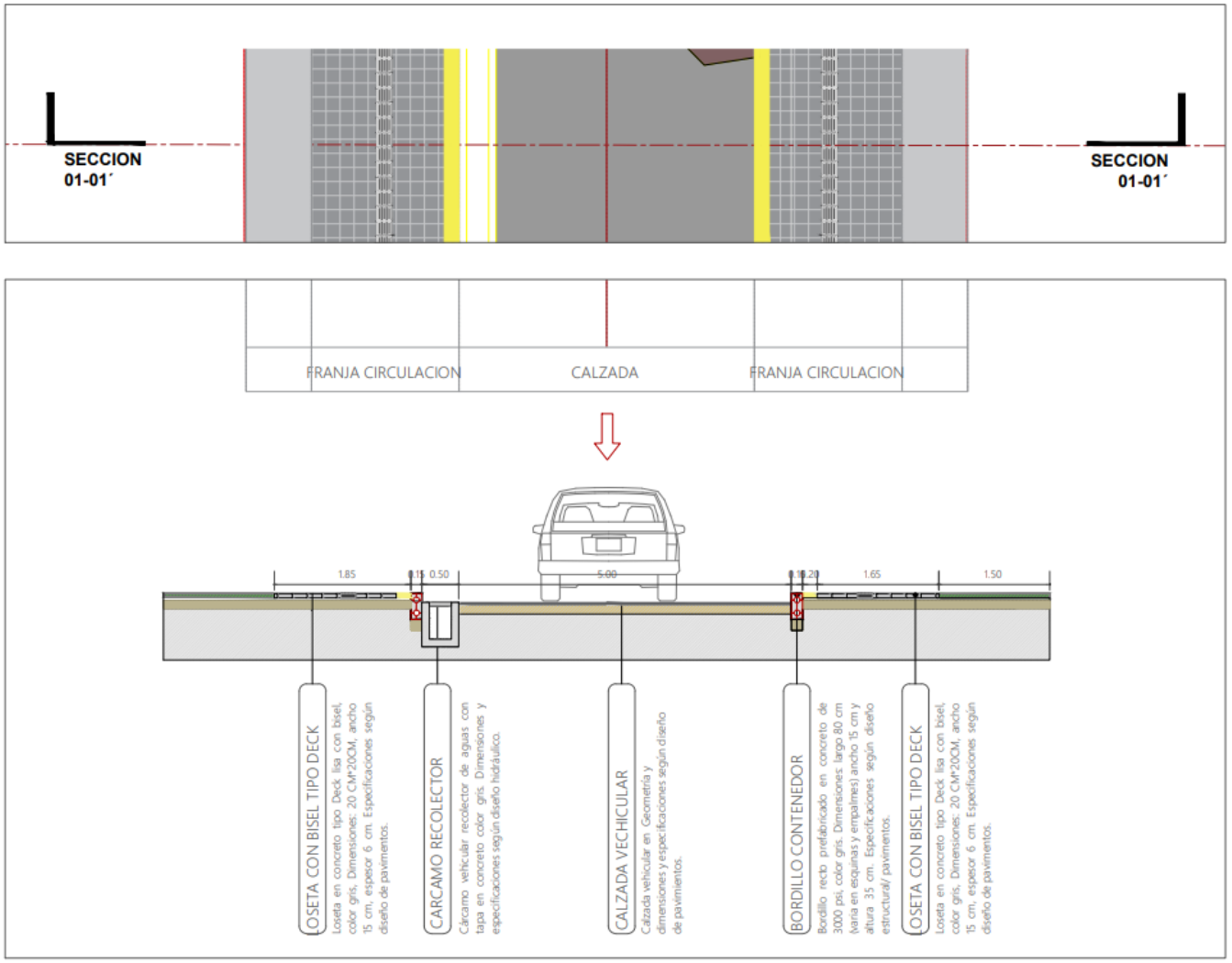


Figura 3.363 Propuesta perfil vial vehicular de un carril Comuna 4

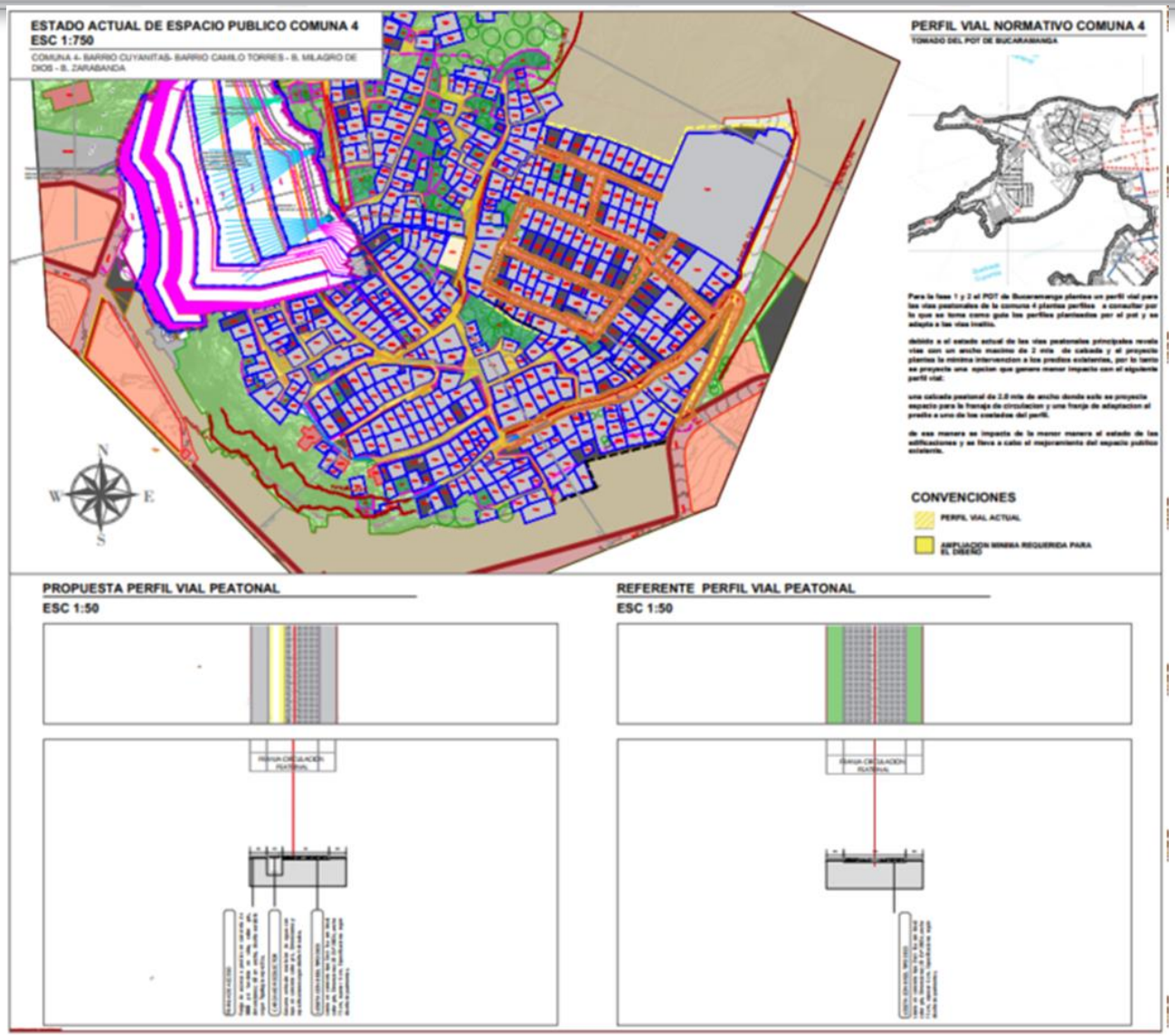


Figura 3.364 Estado actual de espacio público Comuna 4 – Propuesta perfil vial peatonal

PROPUESTA PERFIL VIAL PEATONAL

ESC 1:50

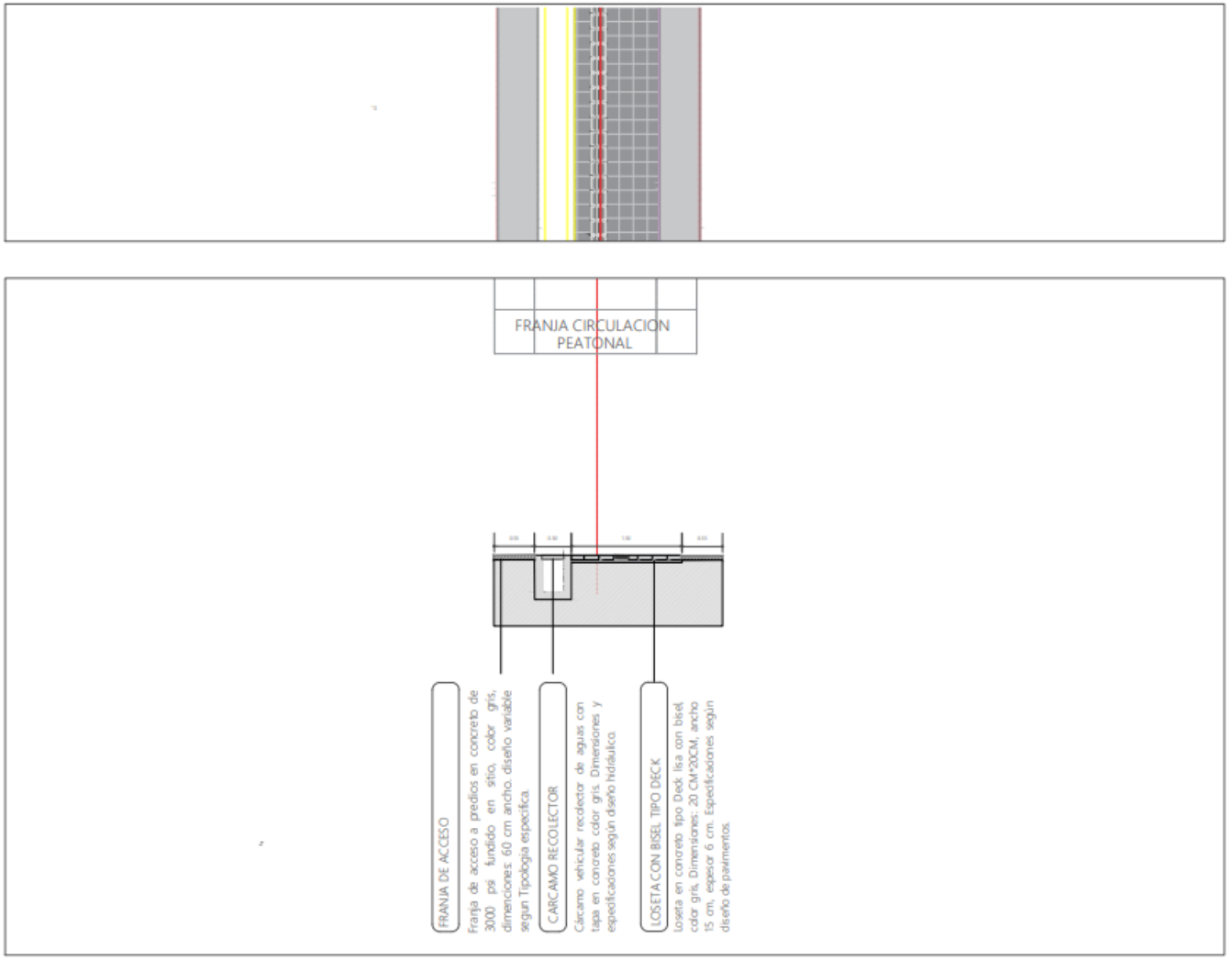


Figura 3.365 Propuesta perfil vial peatonal Comuna 4

Ciudad Perdida

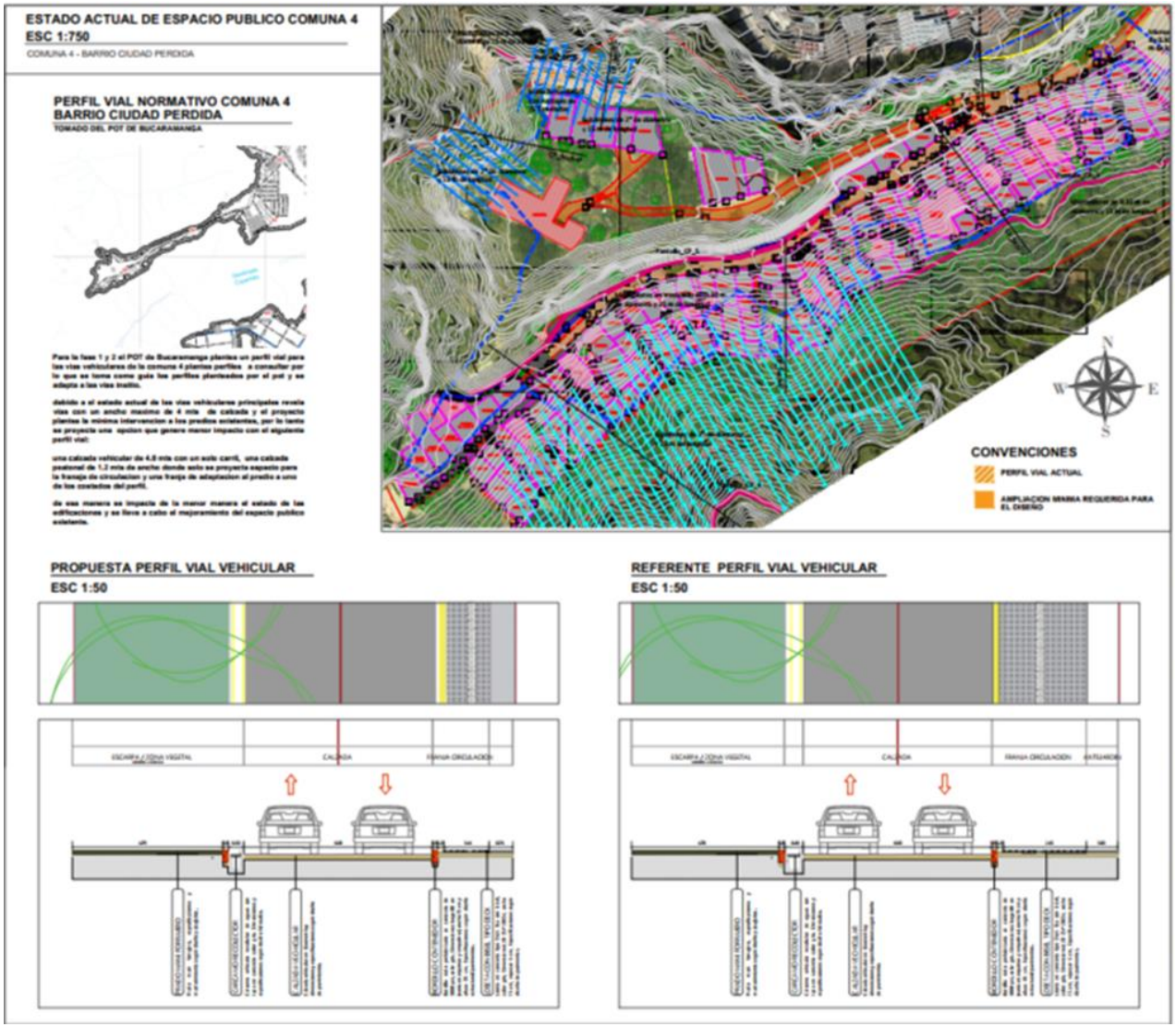


Figura 3.366 Estado actual de espacio público Ciudad Perdida – Propuesta perfil vial vehicular

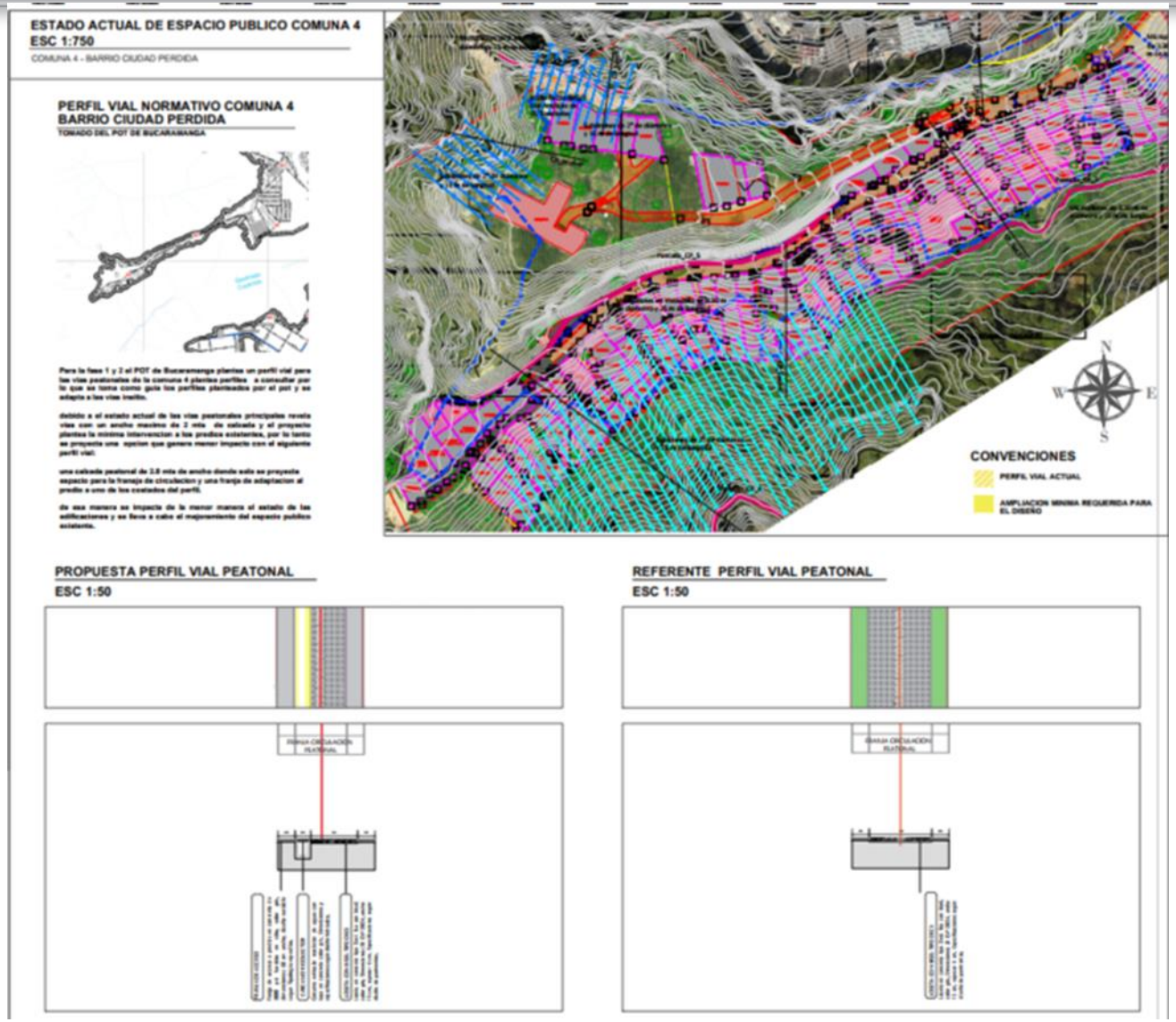


Figura 3.367 Estado actual de espacio público Ciudad Perdida – Propuesta perfil vial peatonal

Comuna 5 - Pantanos

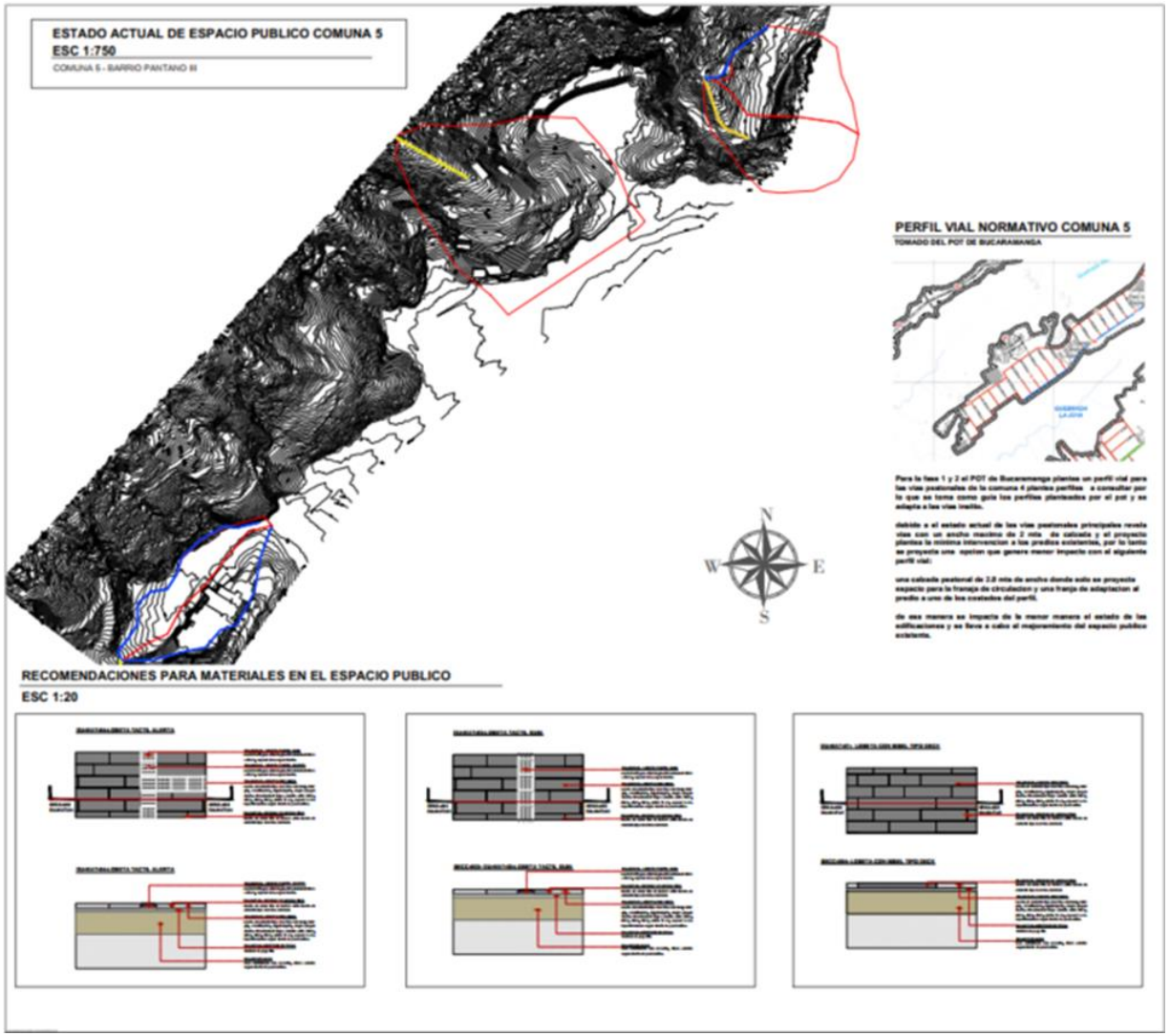


Figura 3.368 Estado actual de espacio público Pantanos – Recomendaciones para materiales en el espacio público

3.15.6 Medidas No Estructurales Correctivas (Aislamientos A Borde Y Corona De Talud)

Las medidas correctivas propuestas no implican movimientos del terreno, ni reubicación de viviendas, por lo que se considera que las medidas no estructurales no son necesarias.

3.15.7 Análisis de Predios y Áreas a Interventir

Para la implementación de las obras es necesario intervenir una serie de terrenos que en algunos casos incluyen la compra de predios.

3.15.8 Presupuesto

A continuación, se presentan los presupuestos detallados para las comunas 4 y 5. Es importante destacar que el deslizamiento de la Feria, por su magnitud e importancia, se presenta en un volumen aparte.

3.15.8.1 Presupuesto Comuna 4

El presupuesto de la alternativa escogida se ilustra en la Tabla 3.107.

Tabla 3.107 Presupuesto Comuna 4

"CONSULTORÍA PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN, Y AVENIDAS TORRENCIALES EN SECTORES PRIORIZADOS EN LAS COMUNAS CUATRO (CAMILO TORRES, CUYANITA, MILAGRO DE DIOS, 'ERDIDA) Y CINCO (PANTANO I, PANTANO II, Y PANTANO III) DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA"

CI AMBIENTAL Ingeniería Geotécnica y Ambiental

:EÑO DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN PARA LA COMUNA 4 EN BUCARAMANGA

PRESUPUESTO DE OBRA

ÍTEM	ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	V/UNITARIO	V/PARCIAL
1	**SECCION PRIMERA - PRELIMINARES**				**$ 144,845,112.63**
1.1	REPLANTEO, CONTROL Y MEDICIÓN DE LA OBRA	M2	3489.62	$ 3,973.00	$ 13,864,240.40
1.2	DESMONTE Y LIMPIEZA EN ZONAS NO BOSCOSAS	M2	1644.86	$ 6,959.00	$ 11,446,580.74
1.3	REMOCIÓN DE ESPECIES VEGETALES H-10M	UND	7.00	$ 344,457.00	$ 2,411,199.00
1.4	ENCERRAMIENTO EN LONA VERDE Y POSTE DE MADERA	ML	1664.00	$ 26,912.00	$ 44,781,568.00
1.5	CAMPAMENTO 75 M2	GLB	1.00	$ 10,525,066.00	$ 10,525,066.00
1.6	CORTE PARA PAVIMENTO FLEXIBLE (ROTURA DE PAVIMENTOS)	ML	767.77	$ 33,869.00	$ 26,003,602.13
1.8	DEMOLICIÓN DE PISOS, ANDENES DE CONCRETO Y CUNETAS	M3	42.94	$ 166,085.00	$ 7,131,822.77
1.9	VALLA TIPO 1A (5,00m X 2,80m)	UND	4.00	$ 2,369,356.00	$ 9,477,424.00
1.10	RETIRO DE BASURAS Y ESCOMBROS	M3	0.00	$ 31,791.00	$ -
1.11	DEMOLICIÓN DE PREDIOS	M3	793.80	$ 24,192.00	$ 19,203,609.60
3	**SECCION TERCERA - ESTRUCTURAS**				**$ 564,427,002.17**
3.1	**CONCRETOS**				**$ 179,752,962.12**
3.1.1	CONCRETO DE 3000 PSI	M3	0.00	$ 591,650.00	$ -
3.1.2	CONCRETO DE 4000 PSI PARA MUROS	M3	248.34	$ 723,818.00	$ 179,752,962.12
3.1.3	CONCRETO DE 4000 PSI PARA CUNETAS Y CANALES	M3	0.00	$ 675,541.00	$ -
3.2	**ACEROS**				**$ 384,674,040.05**
3.2.1	ACERO DE REFUERZO Fy 4200 MPa.	KG	38203.80	$ 10,069.00	$ 384,674,040.05
3.2.2	MALLA DE REFUERZO Fy 4200 MPa.	M2	0.00	$ 24,469.00	$ -
3.2.3	BARANDAS PERMANENTES	ML	0.00	$ 741,630.00	$ -
4	**SECCION CUARTA - VÍAS Y ANDENES**				**$ 54,829,718.72**
4.1	SUB-BASE GRANULAR CLASE C	M3	95.97	$ 188,171.00	$ 18,059,006.08
4.2	BASE GRANULAR CLASE C	M3	57.58	$ 193,925.00	$ 11,166,734.79
4.4	CONCRETO DE 3000 PSI PARA RECONSTRUCCION PEATONALES	M3	38.39	$ 666,970.00	$ 25,603,977.85
5	**SECCION QUINTA - ESTABILIZACIÓN DE TALUDES**				**$ 19,377,542,583.00**
5.21	MICROPILOTES DE 30 CM INCLUYE TUBERIA Y PERFORACION	ML	23289.00	$ 832,047.00	$ 19,377,542,583.00
6	**SECCION SEXTA - REDES DE ALCANTARILLADO**				**$ -**
TOTAL COSTO DIRECTO					**$ 20,141,644,416.52**
	ADMINISTRACION			15%	$ 3,021,246,662.48
	IMPREVISTOS			5%	$ 1,007,082,220.83
	UTILIDAD			5%	$ 1,007,082,220.83
				AIU	**$ 5,035,411,104.13**
	ACTUALIZACION Y/O AJUSTES A LOS DISEÑOS			0.1%	$ 20,141,644.42
	IVA/UTILIDAD			19%	$ 191,345,621.96
SUBTOTAL BASICO OBRAS (A)					**$ 25,197,197,165.07**
	PLAN DE MANEJO AMBIENTAL				$ 302,124,666
	PLAN DE MANEJO DE TRÁFICO				$ 241,699,733
VALOR TOTAL OBRAS					**$ 25,741,021,564.32**
	INTERVENTORÍA			10%	$ 2,014,164,441.65
	COMPRA DE PREDIOS (8 un)			$ 81,200,000.00	$ 649,600,000.00
TOTAL PROYECTO					**$ 28,596,131,627.93**

3.15.8.2 Presupuesto Ciudad Perdida

El presupuesto de la alternativa escogida se ilustra en la Tabla 3.108.

Tabla 3.108 Presupuesto Ciudad Perdida

"CONSULTORÍA PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN, Y AVENIDAS TORRENCIALES EN SECTORES PRIORIZADOS EN LAS COMUNAS CUATRO (CAMILO TORRES, CUYANITA, MILAGRO DE DIOS, ZARABANDA, Y CIUDAD PERDIDA) Y CINCO (PANTANO I, PANTANO II, Y PANTANO III) DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA"

DISEÑO DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN PARA COMUNA 4 CIUDAD PERDIDA

PRESUPUESTO DE OBRA

ÍTEM	ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	V/UNITARIO	V/PARCIAL
1	**SECCION PRIMERA - PRELIMINARES**				**$ 94.697.660,27**
1.1	REPLANTEO, CONTROL Y MEDICIÓN DE LA OBRA	M2	1164,05	$ 3.973,00	$ 4.624.780,19
1.2	DESMONTE Y LIMPIEZA EN ZONAS NO BOSCOSAS	M2	753,68	$ 6.959,00	$ 5.244.847,99
1.3	REMOCIÓN DE ESPECIES VEGETALES H-10M	UND	6,00	$ 344.457,00	$ 2.066.742,00
1.4	ENCERRAMIENTO EN LONA VERDE Y POSTE DE MADERA	ML	1778,35	$ 26.912,00	$ 47.859.062,85
1.5	CAMPAMENTO 75 M2	GLB	1,00	$ 10.525.066,00	$ 10.525.066,00
1.6	CORTE PARA PAVIMENTO FLEXIBLE (ROTURA DE PAVIMENTOS)	ML	277,84	$ 33.869,00	$ 9.410.162,96
1.8	DEMOLICIÓN DE PISOS, ANDENES DE CONCRETO Y CUNETAS	M3	33,05	$ 166.085,00	$ 5.489.574,29
1.9	VALLA TIPO 1A (5,00m X 2,80m)	UND	4,00	$ 2.369.356,00	$ 9.477.424,00
2	**SECCION SEGUNDA - MOVIMIENTOS DE TIERRA**				**$ 53.178.351,58**
2.3	EXCAVACIÓN MECÁNICA EN SUELO A CUALQUIER PROFUNDIDAD	M3	400,44	$ 49.019,00	$ 19.629.241,89
2.5	SUMINISTRO, CONFORMACIÓN Y COMPACTACIÓN DE RELLENOS SELECCIONADOS EN ZANJA	M3	44,68	$ 142.306,00	$ 6.358.004,39
2.7	TRANSPORTE DE MATERIALES PROVENIENTES DE LA EXCAVACIÓN DE LA EXPLANACIÓN, CANALES Y PRÉSTAMOS PARA DISTANCIAS MAYORES DE MIL METROS (1.000 M) MEDIDO A PARTIR DE CIEN METROS (100 M) (INCLUYE CONFORMACION DE BOTADERO)	M3-KM	15772,10	$ 1.724,00	$ 27.191.105,30
3	**SECCION TERCERA - ESTRUCTURAS**				**$ 439.320.949,58**
3.1	**CONCRETOS**				**$ 196.244.837,98**
3.1.1	CONCRETO DE 3000 PSI	M3	95,15	$ 591.650,00	$ 56.296.799,13
3.1.2	CONCRETO DE 4000 PSI PARA MUROS	M3	193,35	$ 723.818,00	$ 139.948.038,85
3.2	**ACEROS**				**$ 243.076.111,61**
3.2.1	ACERO DE REFUERZO Fy 4200 MPa.	KG	23317,29	$ 10.069,00	$ 234.781.786,16
3.2.2	MALLA DE REFUERZO Fy 4200 MPa.	M2	338,97	$ 24.469,00	$ 8.294.325,44
5	**SECCION QUINTA - ESTABILIZACIÓN DE TALUDES**				**$ 18.302.391.382,48**
5.1	PERFORACION PARA ANCLAJES EN TALUDES CON EQUIPO DESCOLGADO HASTA 15 METROS	ML	885,00	$ 351.791,00	$ 311.335.035,00
5.2	PERFORACION PARA ANCLAJES EN TALUDES CON EQUIPO DESCOLGADO MAYORES A 15 METROS	ML	366,00	$ 404.141,00	$ 147.915.606,00
5.3	ENCAMISADO DE ANCLAJES - DRENES	ML	6076,00	$ 179.278,00	$ 1.089.293.128,00
5.4	INYECCION LECHADA DE CEMENTO RESISTENCIA 4267 PSI	M3	9,83	$ 1.421.870,00	$ 13.970.343,42
5.5	PLATINA DE 0.5m X 0.5m	UND	59,00	$ 914.673,00	$ 53.965.707,00
5.6	TENSIONAMIENTO DE ANCLAJES	UND	59,00	$ 189.919,00	$ 11.205.221,00
5.7	PROTECTOR PUNTA ANCLAJE EN CONCRETO	UND	59,00	$ 22.421,00	$ 1.322.839,00
5.8	SUMINISTRO DE TUBERIA PARA DREN - LLORADERO DE 2" INCLUYE GEOTEXTIL	ML	4825,00	$ 26.343,00	$ 127.104.975,00
5.9	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CABEZA DE ANCLAJE (INCLUYE BUJE, CUÑAS, PROTECCIÓN Y TENSIONAMIENTO)	UND	59,00	$ 903.503,00	$ 53.306.677,00
5.10	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE ANCLAJES 2 TORONES 5/8" L=18m (INCLUYE TORÓN DE 5/8 CALIDAD 270K, TUBERÍA PVC 1", PROTECTOR EN POLIETILENO DE 1/2")	UND	59,00	$ 1.642.784,00	$ 96.924.256,00
5.13	PERFORACION PARA DRENES EN TALUDES CON EQUIPO DESCOLGADO, HASTA 15 METROS DE LONGITUD	ML	3165,00	$ 324.579,00	$ 1.027.292.535,00
5.14	PERFORACION PARA DRENES EN TALUDES CON EQUIPO DESCOLGADO, MAYORES A 15 METROS DE LONGITUD	ML	1660,00	$ 353.119,00	$ 586.177.540,00
5.15	Malla de alto limite elástico, resistencia mayor a 85 kN/m, se recomienda Malla TECCO G65/4	m2	569,58	$ 798.357,00	$ 454.728.180,06
5,21	MICROPILOTES DE 30 CM INCLUYE TUBERIA Y PERFORACION	ML	17220,00	$ 832.047,00	$ 14.327.849.340,00
TOTAL COSTO DIRECTO					**$ 18.889.588.343,91**
				ADMINISTRACION 15%	$ 2.833.438.251,59
				IMPREVISTOS 5%	$ 944.479.417,20
				UTILIDAD 5%	$ 944.479.417,20
				AIU	**$ 4.722.397.085,98**
				ACTUALIZACION Y/O AJUSTES A LOS DISEÑOS 0,1%	$ 18.889.588,34
				IVA/UTILIDAD 19%	$ 179.451.089,27
SUBTOTAL BASICO OBRAS (A)					**$ 23.630.875.018,23**
				PLAN DE MANEJO AMBIENTAL	$ 283.343.825
				PLAN DE MANEJO DE TRÁFICO	$ 226.675.060
VALOR TOTAL OBRAS					**$ 24.140.893.903,52**
				INTERVENTORÍA 10%	$ 1.888.958.834,39
				COMPRA DE PREDIOS $ 81.200.000,00	$ -
TOTAL PROYECTO					**$ 26.209.303.827,18**

3.15.8.3 Presupuesto Comuna 5

El presupuesto de la alternativa escogida se ilustra en la Tabla 3.109.

Tabla 3.109 Presupuesto Comuna 5

"CONSULTORÍA PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN, Y AVENIDAS TORRENCIALES EN SECTORES PRIORIZADOS EN LAS COMUNAS CUATRO (CAMILO TORRES, CUYANITA, MILAGRO DE DIOS, ZARABANDA, Y CIUDAD PERDIDA) Y CINCO (PANTANO I, PANTANO II, Y PANTANO III) DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA"

CI AMBIENTAL Ingeniería Geotécnica y Ambiental

DISEÑO DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN PARA COMUNA 5 PANTANO I, PANTANO II Y PANTANO III

PRESUPUESTO DE OBRA

ÍTEM	ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	V/UNITARIO	V/PARCIAL
1	**SECCION PRIMERA - PRELIMINARES**				**$ 137.979.133,75**
1.1	REPLANTEO, CONTROL Y MEDICIÓN DE LA OBRA	M2	3723,92	$ 3.973,00	$ 14.795.123,04
1.2	DESMONTE Y LIMPIEZA EN ZONAS NO BOSCOSAS	M2	3614,70	$ 6.959,00	$ 25.154.677,81
1.3	REMOCIÓN DE ESPECIES VEGETALES H-10M	UND	15,00	$ 344.457,00	$ 5.166.855,00
1.4	ENCERRAMIENTO EN LONA VERDE Y POSTE DE MADERA	ML	2707,34	$ 26.912,00	$ 72.859.987,90
1.5	CAMPAMENTO 75 M2	GLB	1,00	$ 10.525.066,00	$ 10.525.066,00
1.9	VALLA TIPO 1A (5,00m X 2,80m)	UND	4,00	$ 2.369.356,00	$ 9.477.424,00
2	**SECCION SEGUNDA - MOVIMIENTOS DE TIERRA**				**$ 87.848.128,33**
2.3	EXCAVACIÓN MECÁNICA EN SUELO A CUALQUIER PROFUNDIDAD	M3	861,83	$ 49.019,00	$ 42.246.088,89
2.4	RELLENOS PARA ESTRUCTURAS CON MATERIAL GRANULAR TIPO SBG (INCLUYE ACARREO)	M3	107,54	$ 157.255,00	$ 16.911.092,62
2.7	TRANSPORTE DE MATERIALES PROVENIENTES DE LA EXCAVACIÓN DE LA EXPLANACIÓN, CANALES Y PRÉSTAMOS PARA DISTANCIAS MAYORES DE MIL METROS (1.000 M) MEDIDO A PARTIR DE CIEN METROS (100 M) (INCLUYE CONFORMACION DE BOTADERO)	M3-KM	16642,08	$ 1.724,00	$ 28.690.946,83
3	**SECCION TERCERA - ESTRUCTURAS**				**$ 463.134.237,06**
3.1	**CONCRETOS**				**$ 191.360.214,93**
3.1.1	CONCRETO DE 3000 PSI	M3	157,30	$ 591.650,00	$ 93.065.006,71
3.1.2	CONCRETO DE 4000 PSI PARA MUROS	M3	135,80	$ 723.818,00	$ 98.295.208,22
3.2	**ACEROS**				**$ 271.774.022,13**
3.2.1	ACERO DE REFUERZO Fy 4200 MPa.	KG	25678,98	$ 10.069,00	$ 258.561.623,44
3.2.2	MALLA DE REFUERZO Fy 4200 MPa.	M2	539,96	$ 24.469,00	$ 13.212.398,69
5	**SECCION QUINTA - ESTABILIZACIÓN DE TALUDES**				**$ 16.073.739.857,54**
5.1	PERFORACION PARA ANCLAJES EN TALUDES CON EQUIPO DESCOLGADO HASTA 15 METROS	ML	2850,00	$ 351.791,00	$ 1.002.604.350,00
5.2	PERFORACION PARA ANCLAJES EN TALUDES CON EQUIPO DESCOLGADO MAYORES A 15 METROS	ML	570,00	$ 404.141,00	$ 230.360.370,00
5.3	ENCAMISADO DE ANCLAJES - DRENES	ML	5675,00	$ 179.278,00	$ 1.017.402.650,00
5.4	INYECCION LECHADA DE CEMENTO RESISTENCIA 4267 PSI	M3	85,50	$ 1.421.870,00	$ 121.569.885,00
5.6	TENSIONAMIENTO DE ANCLAJES	UND	190,00	$ 189.919,00	$ 36.084.610,00
5.8	SUMINISTRO DE TUBERIA PARA DREN - LLORADERO DE 2" INCLUYE GEOTEXTIL	ML	2255,00	$ 26.343,00	$ 59.403.465,00
5.9	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CABEZA DE ANCLAJE (INCLUYE BUJE, CUÑAS, PROTECCIÓN Y TENSIONAMIENTO)	UND	190,00	$ 903.503,00	$ 171.665.570,00
5.10	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE ANCLAJES 2 TORONES 5/8" L=40m (INCLUYE TORÓN DE 5/8 CALIDAD 270K, TUBERÍA PVC 1", PROTECTOR EN POLIETILENO DE 1/2")	UND	190,00	$ 3.141.211,00	$ 596.830.090,00
5.13	PERFORACION PARA DRENES EN TALUDES CON EQUIPO DESCOLGADO, HASTA 15 METROS DE LONGITUD	ML	1110,00	$ 324.579,00	$ 360.282.690,00
5.14	PERFORACION PARA DRENES EN TALUDES CON EQUIPO DESCOLGADO, MAYORES A 15 METROS DE LONGITUD	ML	740,00	$ 353.119,00	$ 261.308.060,00
5.15	Malla de alto limite elástico, resistencia mayor a 85 kN/m, se recomienda Malla TECCO G65/4	m2	2842,22	$ 798.357,00	$ 2.269.106.232,54
5.21	MICROPILOTES DE 30 CM INCLUYE TUBERIA Y PERFORACION	ML	11955,00	$ 832.047,00	$ 9.947.121.885,00
TOTAL COSTO DIRECTO					**$ 16.762.701.356,69**
				ADMINISTRACION 15%	$ 2.514.405.203,50
				IMPREVISTOS 5%	$ 838.135.067,83
				UTILIDAD 5%	$ 838.135.067,83
				AIU	**$ 4.190.675.339,17**
				ACTUALIZACION Y/O AJUSTES A LOS DISEÑOS 0,1%	$ 16.762.701,36
				IVA/UTILIDAD 19%	$ 159.245.662,89
SUBTOTAL BASICO OBRAS (A)					**$ 20.970.139.397,22**
				PLAN DE MANEJO AMBIENTAL	$ 251.440.520
				PLAN DE MANEJO DE TRÁFICO	$ 201.152.416
VALOR TOTAL OBRAS					**$ 21.422.732.333,85**
				INTERVENTORÍA 10%	$ 1.676.270.135,67
				COMPRA DE PREDIOS $ 81.200.000,00	$ -
TOTAL PROYECTO					**$ 23.258.248.132,41**

3.16 ETAPA 15: IDENTIFICACIÓN PREDIAL Y ACLARACIONES DE LA PROPIEDAD

3.16.1 Comuna 4

3.16.1.1 Asentamiento Humano Milagro de Dios

Identificación De Los Predios Asentamiento Humano Milagro De Dios

Cédula catastral y folios de matrícula que conforman los polígonos señalados como objeto de estudio técnico:

En el asentamiento Milagro de Dios se encuestaron 130 encuestas jurídicas que se describen seguidamente y que se dividen entre los predios con números de matrículas inmobiliarias y/o número predial y los predios que no cuentan con esta identificación.

Folio de Matrícula Matriz de Mayor Extensión

Se identifica como folio matriz de mayor extensión 300-15013 sin matriz aparente cuyos linderos se encuentran descritos en la Escritura pública 1013 del 1945-07-05 de la Notaría Primera de Bucaramanga con la siguiente cabida y lindero: lote de terreno que forman un solo globo, ubicado en el barrio de Girardot, en el sitio llamado “La Cuyamita” o “Rio de Oro” lotes que tienen una cabida aprox. De 8 hectáreas, alinderados en general así: desde el punto donde desemboca la quebrada llamada “la hoya” de propiedad de los sucesores de Antonio Castro W. se sube en línea recta hasta el norte, hasta encontrar el borde del llamo de propiedad de los herederos de Buenaventura Navas, linderado por todo el costado occidental, con terrenos de Arenas Mantilla & CIA. De aquí en dirección sureste por todo el borde alto del barranco colindando con herederos del mismo Buenaventura Navas, hasta el punto donde bajando rectamente el barranco, se encuentra una cerca que sigue en dirección sur, hasta un punto que forma un ángulo en la hoyada, siguiendo el lado sur a este ángulo la dirección occidental hasta el punto donde desemboca el camino para la aguada publica del barrio Girardot, que se halla comprendida dentro del ángulo descrito, de aquí se toma el barranco verticalmente al llegar al extremo occidental de la calle que da entrada a la aguada publica ya mencionada, de aquí a dar a la parte alta del barranco, lindando en esta parte con terrenos de propiedad de Pedro García y sigue por el borde alto del barranco, colindando con las propiedades de Pedro Romero, Carmen Figueroa, Balbina Hurtado, Ernesto N. María Hurtado, Enrique A. Rey, Florentino Suarez, Martiniano N, Juan Duarte, Sofia de Trujillo, Paulina Jerez, Fidel Hernández, Esther Rueda, Luciano Rojas y otros lotes que fueron de Antonio Castro W. y de Arenas & CIA, hasta llegar al principio de la carretera que da entrada a la propiedad extensa, de aquí en línea recta a formar un ángulo con línea vertical que descendiendo por el barranco baja a encontrar una cerca que sigue en dirección occidental, luego cruza en dirección norte y vuelve luego en dirección occidental hasta llegar a la desembocadura de la quebrada que baja de la propiedad de sucesores de Antonio Castro W. punto del primer lindero, colindando en todo lo largo de la citada cerca de la sucesión de Antonio Castro w.

3.16.1.2 Asentamiento Humano Zarabanda

Identificación De Los Predios Asentamiento Humano Zarabanda

Cédula catastral y folios de matrícula que conforman los polígonos señalados como objeto de estudio técnico:

Históricamente el municipio de Bucaramanga no cuenta con referencias de propiedad del sector de zarabanda, toda vez que no existe reporte traslaticio del dominio de propiedad o mejor aún, no reposa referencia de cédula catastral y folio de matrícula inmobiliaria que determine un lote de mayor extensión, en la actualidad, la comunidad asentada en el territorio han adelantado procesos de protocolización de mejoras construidas en suelo ajeno, cabe resaltar que dichas protocolizaciones corresponden al 50% de la totalidad de los predios construidos en el sector estudiado que le permite una identificación predial, aunque no se recolectaron el total de los documentos soportes del número predial .

Es así, que la información de posesión se basa en el levantamiento jurídico de las construcciones del sector, tomando encuestas con relación a la ocupación del inmueble construido y la recolección de documentos que acrediten el nexo de los habitantes con el territorio donde ejercen posesión.

Información Predial Asentamiento Humano Barrio Zarabanda

En el asentamiento zarabanda se encuestaron 116 encuestas jurídicas que se describen seguidamente y que se dividen entre los predios con números de matrículas inmobiliarias y/o número predial y los predios que no cuentan con esta identificación.

3.16.1.3 Asentamiento Humano Cuyanita

Identificación De Los Predios Asentamiento Humano Cuyanita

Cédula catastral y folios de matrícula que conforman los polígonos señalados como objeto de estudio técnico:

Históricamente el municipio de Bucaramanga no cuenta con referencias de propiedad del sector de La Cuyanita, toda vez que no existe reporte traslaticio del dominio de propiedad o mejor aún, no reposa referencia de cédula catastral y folio de matrícula inmobiliaria que determine un lote de mayor extensión, en la actualidad, la comunidad asentada en el territorio.

Información Predial Asentamiento Humano Barrio Cuyanita

En el asentamiento La Cuyanita se encuestaron 169 encuestas jurídicas que se describen seguidamente y que se dividen entre los predios con números de matrículas inmobiliarias y/o número predial y los predios que no cuentan con esta identificación.

3.16.2 Comuna Cinco

3.16.2.1 Asentamiento Humano Pantano I

Identificación De Los Predios Asentamiento Humano Pantano I

Cédula catastral y folios de matrícula que conforman los polígonos señalados como objeto de estudio técnico:

En el asentamiento Pantano I se encuestaron 24 predios jurídicamente que se describen seguidamente y que se dividen entre los predios con números de matrículas inmobiliarias y/o número predial y los predios que no cuentan con esta identificación.

Folio De Matrícula Matriz De Mayor Extensión

No se registra un folio de mayor extensión para todo el asentamiento, pero si se derivan predios de un mismo predio, es decir, en un mismo predio concurren varios lotes.

Identificación De Los Predios Que Hacen Parte Del Asentamiento Humano Pantano I

- *PREDIO QUE PERTENECEN A LA CORPORACIÓN DE DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA*
  - MATRICULA INMOBILIARIA 300-255791:
    Linderos contenidos en la Escritura 387 del 4 de febrero de 1998 de la Notaria Segunda de Bucaramanga, lote de terreno con un área de 109,20m2
- *PREDIOS QUE CONFORMAN EL ASENTAMIENTO HUMANO PANTANO I*
  - **MATRICULA INMOBILIARIA 300-278719:**
    Corresponde a los predios 1 y 2 de la manzana 16. Linderos descritos en la Escritura pública1354 del 13 de julio de 2001 de la Notaria Sexta de Bucaramanga.
  - **MATRICULA INMOBILIARIA 300-76406:**
    Corresponde al predio 7 de la manzana 16. Linderos descritos en la Escritura pública3708 del 31 de octubre de 1983 de la Notaria Segunda de Bucaramanga.
  - **MATRICULA INMOBILIARIA 300-95405:**
    Corresponde al predio 8 de la manzana 16. Linderos descritos en la Escritura pública4429 del 29 de diciembre de 1971 de la Notaria Tercera de Bucaramanga.
  - **MATRICULA INMOBILIARIA 300-16619:**
    Corresponde a los predios 9,10,11 de la manzana 16. Linderos descritos en la Escritura pública387 del 4 de febrero de 1998 de la Notaria Segunda de Bucaramanga.
  - **MATRICULA INMOBILIARIA 300-97014:**
    Corresponde al predio 12 de la manzana 16. Linderos descritos en la Escritura pública332 del 04 de febrero de 1972 de la Notaria Tercera de Bucaramanga.
  - **MATRICULA INMOBILIARIA 300-257800:**
    Corresponde al predio 15 de la manzana 16. Linderos descritos en la Escritura pública 2168 del 04 de mayo de 1998 de la Notaria Quinta de Bucaramanga.
  - **MATRICULA INMOBILIARIA 300-257802:**
    Corresponde al predio 16 de la manzana 16. Linderos descritos en la Escritura pública 2302 del 11 de mayo de 1998 de la Notaria Quinta de Bucaramanga.
  - **MATRICULA INMOBILIARIA 300-343285:**
    Corresponde al predio 17 de la manzana 16. Linderos descritos en la Escritura pública 372 del 12 de enero de 1999 de la Notaria Quinta de Bucaramanga.
  - **MATRICULA INMOBILIARIA 300-257803:**
    Corresponde al predio 18 de la manzana 16. Linderos descritos en la Escritura pública 2302 del 05 de noviembre de 1998 de la Notaria Quinta de Bucaramanga.
  - **MATRICULA INMOBILIARIA 300-96770:**
    Corresponde los predios 19 y 20 de la manzana 16. Linderos descritos en la Escritura pública 3611 del 19 de octubre de 1973 de la Notaria Tercera de Bucaramanga.
  - **MATRICULA INMOBILIARIA 300-97482:**

Corresponde a los predios 21, 22, 23 de la manzana 16. Linderos descritos en la Escritura pública 2434 del 31 de octubre de 1973 de la Notaria Primera de Bucaramanga.

3.16.2.2 ASENTAMIENTO HUMANO PANTANO II

Identificación De Los Predios Asentamiento Humano Pantano II

Cédula catastral y folios de matrícula que conforman los polígonos señalados como objeto de estudio técnico:

En el asentamiento Pantano II se encuestaron 153 predios jurídicamente que se describen seguidamente y que se dividen entre los predios con números de matrículas inmobiliarias y/o número predial y los predios que no cuentan con esta identificación.

Identificación De Los Predios Que Hacen Parte Del Asentamiento Humano Pantano II

- *Matricula Inmobiliaria De Mayor Extensión 300-255105*
  Rueda de Arévalo Rosalba, adquirió en mayor extensión compra a Cárdenas chaparro marina, según escritura 4363 del 21 de octubre de 1992 de la Notaría cuarta de b/manga, registrada el 28 de octubre de 1992.-mediante escritura 115 de 15-01-98 de la Notaría 5 de Bucaramanga, registrada el 19-01-98, rueda de Arévalo Rosalba efectuó identificación mediante escritura 4354 de 09-10- 97 de la Notaría 5 de b/manga, registrada el 10-10-97 rueda de Arévalo Rosalba efectuó identificación. Mediante escritura 4130 de 25-09-97, Notaría 5 de b/manga, registrada el 29-ibidem, rueda de Arévalo Rosalba, efectuó identificación. Mediante escritura 3498 de 14-08-97, Notaría 5 de b/manga, registrada el 02-09-97, rueda de Arévalo Rosalba, efectuó identificación. Mediante escritura 3236 de 29-07-97, Notaría 5 de b/manga, registrada el 30 ibidem, rueda de Arévalo Rosalba, efectuó identificación. Mediante escritura 2776 de 04-07-97, Notaría 2 de b/manga, registrada el 18 ibidem, rueda de Arévalo Rosalba, efectuó identificación. Mediante escritura 2230 de 03-06-97, Notaría 5 de b/manga, registrada el 10 ibidem, rueda de Arévalo Rosalba, efectuó identificación. Mediante escritura 1645 de 28-04-97, Notaría 5 de b/manga, registrada el 30-04-97, rueda de Arévalo Rosalba, efectuó identificación. Mediante escritura 3931 de 13-09-96, Notaría 5 de b/manga, registrada el 17 ibidem, rueda de Arévalo Rosalba, efectuó identificación. Mediante escritura 3111 de 26-07-96 Notaría 5 de Bucaramanga, registrada el 05-08-96 rueda de Arévalo Rosalba, efectuó identificación. Mediante escritura 1559 de 18-04-96 Notaría 5 de Bucaramanga, registrada el 22-04-96, rueda de Arévalo Rosalba, efectuó identificación. Mediante escritura 3360 de 12-08-96 Notaría 5 de Bucaramanga, registrada el 20-08-96. Rueda de Arévalo Rosalba efectuó identificación. Mediante escritura 3725 de 03-09-96 Notaría 5 de Bucaramanga, registrada el 04-09-96. Rueda de Arévalo Rosalba. Efectuó identificación. Cárdenas chaparro marina adquirió este predio por compra a moreno Galvis Daniel según la escritura 2181 del 17 de diciembre de 1976 de la Notaría cuarta de Bucaramanga. Registrada. El 11 de enero de 1977. Moreno Galvis Daniel adquirió este predio por compra a Ordoñez delgado Ramón nonato según escritura 2001 del 25 de noviembre de 1976 de la Notaría cuarta de Bucaramanga. Registrada. El 15 de diciembre de 1976. Ordoñez delgado Ramón nonato, adquirió en mayor extensión por adjudicación que se le hizo en la partición efectuada con Ordoñez d. Juana victoria, mediante

escritura 2257 del 29 de septiembre de 1949, de la Notaría 1. De Bucaramanga, registrada el 27 de octubre.

Con cabida y linderos Contenidos en ESCRITURA Nro 486 de fecha 02-02-98 en NOTARIA 5 de BUCARAMANGA. Lote de terreno con área de 18.867.23 MTS2.

En esta área se ubican los predios correspondientes a las manzanas 23, 24, 25, 26, 27.

- *Matricula Inmobiliaria Mayor Extensión 300-61559:*

Ordoñez delgado Ramón nonato, adquirió en mayor extensión por adjudicación que se le hizo en la partición material efectuada con Ordoñez d. De reyes Juana Victoria, mediante Escritura 2257 del 29 de septiembre de 1.949, de la Notaría Primera de Bucaramanga, registrada el 27 de octubre del mismo año.

Los linderos y cabida así: lote de terreno que tiene un área de mil seiscientos metros cuadrados (1.600 mtrs.2.), alinderado así: por el Occidente, partiendo desde el lavadero que queda en el Cañito y siguiendo por la mata de fique arriba en línea recta por una cerca de alambre con una extensión de cincuenta y seis metros (56.00 mtrs.) Hasta el borde del barranco lindando por esta parte con la Señora Rosa Rodríguez de Arévalo, siguiendo de este punto por el borde del barranco, lindando con la calle 36, o sea por el sur, en una extensión de cincuenta y seis metros (56.00 mts) y lindando por el barrio la joya, por el oriente, en diecisiete metros (17.00 mtrs.), y lindando con barrio la joya, por el norte y lindando con Daniel Orduz, Ricardo niño. Rodolfo Villabona y Carmen Chaparro de Cárdenas, en una extensión de sesenta y cuatro metros (64.00 mtrs.), hasta llegar de nuevo el lavadero punto inicial del alinderamiento.

De este predio de mayor extensión se derivaron las siguientes matriculas inmobiliarias

- 300-224125
- 300-232045
- 300-150359
- 300-152084
- 300-152085
- 300-182819
- 300-190431
- 300-205640
- 300-204854

- *Matricula Inmobiliaria Mayor Extensión 300-85994:*

Un lote de terreno alinderado así: por el oriente, en extensión de diez metros (10 mts.) Por el borde del barranco lindando en esta parte con el barrio la joya, por el norte, en extensión de cuarenta y nueve metros con ochenta centímetros (49.80 mts.) Lindando con terrenos que son o fueron de Ricardo Niño Rueda, por el sur, en extensión de cuarenta y siete metros (47mts.) Lindando en esta parte con terrenos de pedro Elías Bayona, y por el occidente., en extensión de cuatro metros (4.00 mts.)., lindando en esta parte con terrenos de pedro Elías bayona. Este lote es de forma irregular y mide trescientos cuarenta y tres metros (343.00 ms) aproximadamente. Dentro de este lote se encuentra construida una mediagua.

- *Matricula Inmobiliaria Mayor Extensión 300-20704:*

Lote de terreno junto con la casa en él construida, alinderado así: "por el oriente, en extensión de doce metros (12 mts), lindando con terrenos que son o fueron del Instituto de Crédito Territorial, por el occidente, en extensión de seis metros con sesenta centímetros (6.60mtrs)

con terrenos prometidos en venta a Pedro Bayona, por el norte, en cincuenta metros (50.40 mtrs) aproximadamente, lindando en esta parte con Rodolfo Villabona, y por el sur, en cuarenta metros con ochenta centímetros (40.80 mts), aproximadamente, con terrenos prometidos en venta a Daniel Orduz, y Pedro Bayona". Área: 352.92 m^2.

- *Matricula Inmobiliaria Mayor Extensión 300-61990:*

  Un lote de terreno que hace parte de otro de mayor extensión ubicado hacia el costado norte del barrio La Joya y a su vez hace parte de la hacienda El "Pantano". Linderos: sur: con propiedades de Rodolfo Villabona en una extension de 50 metros, costado sur: partiendo de un tubo de cemento, hacia abajo a encontrar un bambu. Occidente con propiedades de Marina Chaparro de Cardenas en extensión de 40 metros, norte: en 40 metros con Ismael Hurtado. Costado nor oriental: en 30 metros con el barrio La "Joya" hasta dar al sitio de partida donde hay un poste de concreto reforzado. Área: 1.578.06 metros cuadrados. Según testimonio de 26- 10-88 del juzgado 5. Civil municipal de Bucaramanga. Casa de habitación carrera 10 occidente # 35-41 Pantano II.

- *Matricula Inmobiliaria 300-97704*

  Un lote de terreno de forma irregular, que mide ciento noventa metros con cuarenta centímetros cuadrados (190.40 mts 2) aproximadamente, alinderado así: por el norte, en extensión de veintitrés metros (23,00 mts) con terrenos del vendedor y siguiendo el borde del barranco, por el sur, en extensión de diez y nueve metros con treinta centímetros (19.30 mts) lindando con terrenos prometidos en venta a Carmen de Cardenas y Pedro Bayona, por el oriente, en veinte metros (20 mts) lindando con terrenos que son o fueron del Instituto de Crédito Territorial, y por el occidente, en extensión de tres metros con setenta centímetros (3.70 mts) aproximadamente con terrenos del vendedor.- lote de terreno que se encuentra ubicado en el sitio denominado El Pantano.

  Esta matricula inmobiliaria corresponde al lote 1 de la manzana 4 del asentamiento humano El Pantano II.

- *Identificación De Los Predios Sin Matricula Inmobiliaria*

  Los siguientes predios no registran en la encuentra en campo ni en información catastral alguna información acerca del número de matrícula inmobiliaria, ni alguna asociación a predios de mayor extensión.

Tabla 3.110 Predios Sin Matrícula Inmobiliaria

No.	No. MANZANA	CASA	DOCUMENTO LEGAL	N. MATRICULA INMOBILIARIA	N. PREDIAL	PROPIETARIO	CEDULA	DIRECCION
1	4	2	NO PRESENTA INFORMACIÓN			EDWIN CAMACHO MEZA	13543818	CARRERA 10W # 35A-21
2	4	3	ESCRITURA			CESAR CAMACHO MEZA	91355984	CARRERA 10W # 35A - 29
3	4	4	NO PRESENTA INFORMACIÓN			ILCIA MARIA MEZA CAMARGO	63319036	LOTE
4	4	5	NO PRESENTA INFORMACIÓN			ILCIA MARIA MEZA CAMARGO	63319036	CARRERA 10W # 36A-13
5	4	6	NO PRESENTA INFORMACIÓN			ILCIA MARIA MEZA CAMARGO	63319036	CARRERA 10W # 36A-09

6	4	7	NO PRESENTA INFORMACIÓN			MARGARITA ORTEGA		CARRERA 10W # 35A-12
7	4	8	NO PRESENTA INFORMACIÓN		10900910028001	MARIA ELSA BARAJAS	63318960	CARRERA 10W # 35-25
8	16	1	NO PRESENTA INFORMACIÓN			BLANCA NIEVES VALENCIA	37545691	CRA 13W # 35-06
9	16	2	NO PRESENTA INFORMACIÓN			BLANCA NIEVES VALENCIA	37545691	CRA 13W # 35-06 INT 2

3.16.2.3 Asentamiento Humano Pantano III

Identificación De Los Predios Asentamiento Humano Pantano III

Cédula catastral y folios de matrícula que conforman los polígonos señalados como objeto de estudio técnico:

En el asentamiento Pantano III se encuestaron 55 predios jurídicamente que se describen seguidamente y que se dividen entre los predios con números de matrículas inmobiliarias y/o número predial y los predios que no cuentan con esta identificación.

Identificación De Los Predios Que Hacen Parte Del Asentamiento Humano Pantano III

- *MATRICULA INMOBILIARIA 300-4679*
  Lote de terreno junto con una casa caney y junto con los aparceros y la servidumbre que es un camino que llega a la casa partiendo del barrio La Joya que mide cuarenta y ocho hectáreas (48Hts) y nueve mil setenta metros cuadrados (9070m2), Alinderado así: POR EL ORIENTE: partiendo del Barranco del barrio "La Joya", que es donde empiezan los terrenos que fueron o son de Juan Sarmiento Pérez siguiendo por el filo abajo, hasta llegar a la quebrada seca, y de aquí a buscar una cerca de alambre, cerca arriba hasta llegar a un Guásimo, de este a encontrar un caracolí y de este por todo el filo arriba hasta llegar a la casa prometida en venta a Paulo Diaz en el barrio de San Bosco; POR EL NORTE: con terrenos de la señora Juana Victoria Ordoñez de Reyes, linderos reconocidos al medio; POR EL OCCIDENTE: con el municipio de Bucaramanga, terrenos estos que fueron de Don Apolinar Pineda; y POR EL SUR: con terrenos de los sucesores de Don Gustavo Ordoñez Cornejo y barrio "La Joya". Según escritura No 2745 del 15 de julio de 1986 de la Notaria 1 de Bucaramanga.

Predios De La Manzana 20 Sin Matricula Inmobiliaria Y/O Numero Predial

Los lotes de la manzana 20 del número 1 al 26 algunos cuentan con contratos de promesa de contrato de compraventa, pero no se identifica ciertamente el nexo de la titularidad de los predios, puesto que los herederos del titular del derecho de dominio indicaron en el momento de la encuesta que han sido invasores del predio de mayor extensión.

- *Matricula Inmobiliaria De Mayor Extensión 300-173296*
  Con base en la matrícula 300-173296 Corporación de Defensa de la Meseta de Bucaramanga adquirió en mayor extensión por compra a Ordoñez de Mestre ida maría, Ordoñez Pérez Luis Carlos, Ordoñez de Cadena maría Carmenza, Ordoñez Pérez Rafael Gustavo, Ordoñez de Ordoñez Esther, Ordoñez de Rincón María Consuelo, Ordoñez Pérez Álvaro, Ordoñez de Pardo María Isabel o Maritza, Ordoñez d'costa Gustavo, Ordoñez de Páez María Isabel, Ordoñez de Hederich Elisa, y Ordoñez Pérez Alberto mediante escritura n. 1719 de 28 de abril de 1988 de

la notaría 3. de Bucaramanga, registrada el 19 de mayo del mismo a\o. mediante escritura n. 1044 de 01 de junio de 1988 de la notaría 6. de Bucaramanga registrada el 27 de junio del mismo a\o. Pulgarín Luis Alberto vendió su mejora a: corporación de defensa de la meseta de Bucaramanga. Ordoñez Pérez Alberto, Ordoñez de hederich Elisa, Ordoñez de Páez María Isabel, Ordoñez d'costa gustavo, Ordoñez de pardo María Isabel o Maritza, Ordoñez Pérez Álvaro, Ordoñez de rincón María consuelo, Ordoñez de Ordoñez Esther, Ordoñez Pérez Rafael gustavo, Ordoñez de cadena María Carmenza, Ordoñez Pérez Luis Carlos y Ordoñez de Mestre ida María adquirieron en mayor extensión así: Ordoñez Pérez de cadena Carmenza, Ordoñez Pérez consuelo, Ordoñez Pérez Alberto, Ordoñez Pérez Álvaro, Ordoñez Pérez Luis Carlos, Ordoñez Pérez Rafael, Ordoñez de Mestre ida María y Ordoñez de Páez María Isabel adquirieron por adjudicación que se les hizo en el juicio de sucesión del 1/5 parte de Ordoñez d'costa Rafael mediante sentencia del 8 de octubre de 1982 del juzgado 5. civil del circuito. de Bucaramanga, registrado el 27 de diciembre de 1.982., y Ordoñez de Ordoñez Esther, Ordoñez d'costa gustavo, Ordoñez d'costa Rafael, Ordoñez de pardo Maritza y Ordoñez de hederich Elisa adquirieron la totalidad del inmueble por adjudicación liquidación de la comunidad efectuada con d'costa v. de Ordoñez Elisa mediante escritura n. 2154 del 29 de octubre de 1960 de la notaría 3. de Bucaramanga, registrada el 21 de noviembre de 1960. mediante escritura n. 1722 del 30 de mayo de 1968 de la notaría 2. de Bucaramanga, registrada el 7 de junio de 1968 Ordoñez d'costa gustavo, Ordoñez d'costa Rafael, Ordoñez de hederich Elisa, Ordoñez de pardo Maritza y Ordoñez de Ordoñez Esther constituyeron servidumbre pasiva de aguas negras a favor de amado José Guillermo, mediante testimonio de 23 de marzo de 1984 del juzgado 6. civil municipal de Bucaramanga, registrado el 29 ibidem, Mayorga pi;a Valerio efectuó declaración de construcción. mediante testimonio del 9 de marzo de 1984 del juzgado tercero civil municipal de Bucaramanga, registrado el 30 ibidem Mayorga Hernández Ana victoria efectuó declaración de construcción. mediante escritura n. 2084 del 6 de diciembre de 1984 de la notaría 6. de Bucaramanga, registrada el 18 ibidem, Mayorga Hernández Ana victoria vendió la construcción a Pulgarín cabrera Luis Alberto. mediante escritura n. 924 del 30 de mayo de 1985 de la notaría 6. de Bucaramanga, registrada el 3 de junio del mismo a\o. viviescas García Rogelio efectuó declaración de construcción.

Los linderos y cabida se encuentran consignados en la escritura n. 1568 de 15-05-90 notaria 7. de Bucaramanga.

De este predio de mayor extensión se derivaron las siguientes matriculas inmobiliarias

- 300-180355
- 300-180354
- 300-180353
- 300-180352
- 300-180351
- 300-180350
- 300-180349
- 300-180348
- 300-180347
- 300-180346

Cabe anotar que los folios de matrículas referencian que estos predios están ubicados en el barrio La Joya del municipio de Bucaramanga. Igualmente, la comunidad indica que hacen parte del barrio La Joya y no de Pantanos III.

Predios De La Manzana 21 Sin Matricula Inmobiliaria Y/O Numero Predial

Los siguientes predios no tienen relación catastral, predial o registral y hacen parte de la manzana 21 de estudio.

Tabla 3.111 Predios manzana 21 sin matrícula inmobiliaria y/o número predial

No	MANZANA	PREDIO	TITULAR
1	21	1	ANA MIRIAM ARENALES ROJAS
2	21	2	ANA MIRIAM ARENALES ROJAS
3	21	3	ANDRES MAYORGA HERNANDEZ
4	21	4	ANDRES MAYORGA HERNANDEZ
5	21	5	ANDRES MAYORGA HERNANDEZ
6	21	6	ESPERANZA MAYORGA
7	21	7	ANDRES MAYORGA HERNANDEZ / MIRIAM CASTRO DE ARDILA
8	21	9	NO APORTA INFORMACION
9	21	10	NO APORTA INFORMACION
10	21	11	JUAN ISIDORO CASTELLANO
11	21	12 PISO 2	ROSMIRA PALOMINO

3.17 ETAPA 16: CARTOGRAFÍA TEMÁTICA.

Se busca presentar los lineamientos alrededor de la cartografía base y temática de soporte al estudio de referencia.

3.17.1 Sistema de Referencia

El origen de proyección cartográfica Origen Nacional, surge con la expedición de la Resolución IGAC 471 de mayo 14 de 2020, que actualiza las especificaciones técnicas mínimas para la cartografía oficial. En esta norma en el artículo 4, literal i contempla el sistema de referencia y se señala los parámetros de la proyección y origen así (Tabla 3.112):

Tabla 3.112 Parámetros de la proyección cartográfica Origen Nacional.

Parámetro	Valor
Proyección	Transversa Mercator
Elipsoide	GRS80
Origen Latitud	4°N
Origen Longitud	73°W
Falso Este	5.000.000
Falso Norte	2.000.000
Unidades	Metros
Factor de escala	0.9992

Fuente: (Equipo Consultor, 2023)

El IGAC, como autoridad en la cartografía nacional, afirma que los planos resultantes de los estudios, al final se deben proyectar al sistema único de proyección. De igual forma la cartografía temática se seguirá produciendo con sus respectivos requerimientos, pero para efectos de integrar y compartir deberá ser proyectada al origen nacional.

El nuevo sistema debe ser adoptado para todas aquellas entidades que produzcan, usen o compartan información geográfica oficial y/o pretendan representar sus datos sobre cartografía IGAC.

3.17.1.1 Implementación en el Proyecto

En el desarrollo de la CONSULTORIA PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN, Y AVENIDAS TORRENCIALES EN SECTORES PRIORIZADOS EN LAS COMUNAS CUATRO (CAMILO TORRES, CUYANITA, MILAGRO DE DIOS, ZARABANDA, Y CIUDAD PERDIDA) Y CINCO (PANTANO I, PANTANO II, Y PANTANO III) DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA, se establece el sistema de referencia CTM12, para la generación y entrega de los productos cartográficos, y tal como lo afirma el IGAC, autoridad en la cartografía nacional, el origen único trae beneficios como la integración de una única base de datos en coordenadas planas para todo el país, simplificación en el manejo de esas coordenadas, la representación en muchas escalas con una sola proyección, facilidad para la interoperabilidad de los datos espaciales en Colombia.

3.17.2 Información Secundaria

La cartografía base y/o secundaria se convierte en el insumo indispensable para realizar cualquier proceso de planificación y/o análisis a nivel territorial. De igual manera, esta actividad permitió avanzar en el conocimiento del área de influencia y ver la forma en que se afecta, en el contexto del alcance de la consultoría. A partir de esto, se realizó un análisis sobre los contenidos disponibles en el área de influencia, estructurando nuevos, de manera ordenada en bases de datos geográficas.

De igual forma, hay que considerar dentro del ejercicio de CONSULTORIA PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN, Y AVENIDAS TORRENCIALES EN SECTORES PRIORIZADOS EN LAS COMUNAS CUATRO (CAMILO TORRES, CUYANITA, MILAGRO DE DIOS, ZARABANDA, Y CIUDAD PERDIDA) Y CINCO (PANTANO I, PANTANO II, Y PANTANO III) DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA, que la cartografía base y temática, insumo y producto del alcance, se condiciona por los lineamientos técnicos referenciados en el Contrato No. 379 suscrito entre el Municipio de Bucaramanga y CONSULTORES EN INGENIERÍA Y MEDIO AMBIENTE C I AMBIENTAL S.A.S.

3.17.2.1 Cartografía Base Urbana – Rural

Se cuenta con cartografía base estructurada a escala 1:25.000 y 1:100.000 en formato de “personal geodatabase”, producida del Instituto Geográfico Agustín Codazzi –IGAC, sumada a la información consolidada de datos institucionales y/o estudios realizados en el área de intervención.

En la plataforma “Colombia en Mapas”, se realizaron consultas espaciales para consolidar las planchas necesarias para tener información de referencia indicativa en el área de interés.

3.17.2.2 Cartografía Predial y Urbanística

El Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC, es la entidad encargada de producir el mapa oficial y la cartografía básica de Colombia, elaborar el catastro nacional de la propiedad inmueble; realizar el inventario de las características de los suelos; adelantar investigaciones geográficas como apoyo al desarrollo territorial; capacitar y formar profesionales en tecnologías de información geográfica (IGAC, Datos Abiertos IGAC, 2022).

Pone a disposición como dato abierto para todas las personas, organizaciones y entidades que la requieran, con el fin de generar, aportar y contribuir con la generación de nuevo conociendo y apoyar con la toma de decisiones del territorio colombiano conjuntos de datos como los siguientes: cartografía base a escala 1:500.000, 1:100.000 y 1:25.000 de todo el país, el conjunto de datos catastrales (IGAC, Datos Abiertos IGAC, 2022).

3.17.3 Modelo de Almacenamiento de la Cartografía Base y Estructura de Datos

El Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) expidió la Resolución 471 y 529 de 2020 a través de la cual se establecen las especificaciones técnicas de referencia que tienen que considerar los productos de la cartografía básica oficial de Colombia, es decir, ortoimágenes, modelos digitales de terreno y bases de datos cartográficas (IGAC I. G., 2020).

En la continuidad de la aplicación normativa al contexto técnico, se relacionan los documentos técnicos que apoyan la implementación de las especificaciones técnicas:

- Catálogo de objetos geográficos de la cartografía básica oficial.
- Esquema de la base de datos de la cartografía básica oficial.
- Esquema de la base de datos de la cartografía básica oficial con anotaciones.
- Reglas topológicas de la base de datos de la cartografía básica oficial.
- Catálogo de representación de la cartografía básica oficial.
- Librería de símbolos de la cartografía básica oficial.
- Esquema XML de la base de datos de la cartografía básica oficial

El Catálogo de Objetos Geográficos de la Cartografía Básica Oficial de la República de Colombia, define en su alcance la estructura de objetos geográficos vectoriales aplicables a la cartografía básica oficial de Colombia y constituye un marco de referencia y requisito para el proyecto.

Hay que tener claridad sobre la correspondencia de la cartografía básica, como aquella representación de los rasgos naturales y topográficos de la superficie terrestre, tales como: hidrografía, alturas y algunos elementos artificiales, humanos o culturales, por ejemplo: vías y construcciones, entre otros (IGAC, Catálogo de Objetos Geográficos Cartografía Básica de Colombia, 2021).

3.17.3.1 Estructura de Datos

De conformidad con el marco normativo a nivel cartográfico del presente alcance (ver numeral REFERENCIAS DOCUMENTALES) para la cartografía base (IGAC I. G., 2020), la información cartográfica se entrega en formato Geodatabase con extensión. gdb (File geodatabase) y se proyectara al sistema de referencia Magna Sirgas Origen Único (CTM12) (ver numeral 6).

La estructura de datos responde a un modelo de datos, el cual se encuentra definido bajo el esquema que se muestra en la Figura 3.369, y que contiene un total de nueve (9) temas y treinta y siete (37) objetos correspondientes a la abstracción de elementos geográficos para la representación de la cartografía básica en todas sus escalas (IGAC, Catálogo de Objetos Geográficos Cartografía Básica de Colombia, 2021).

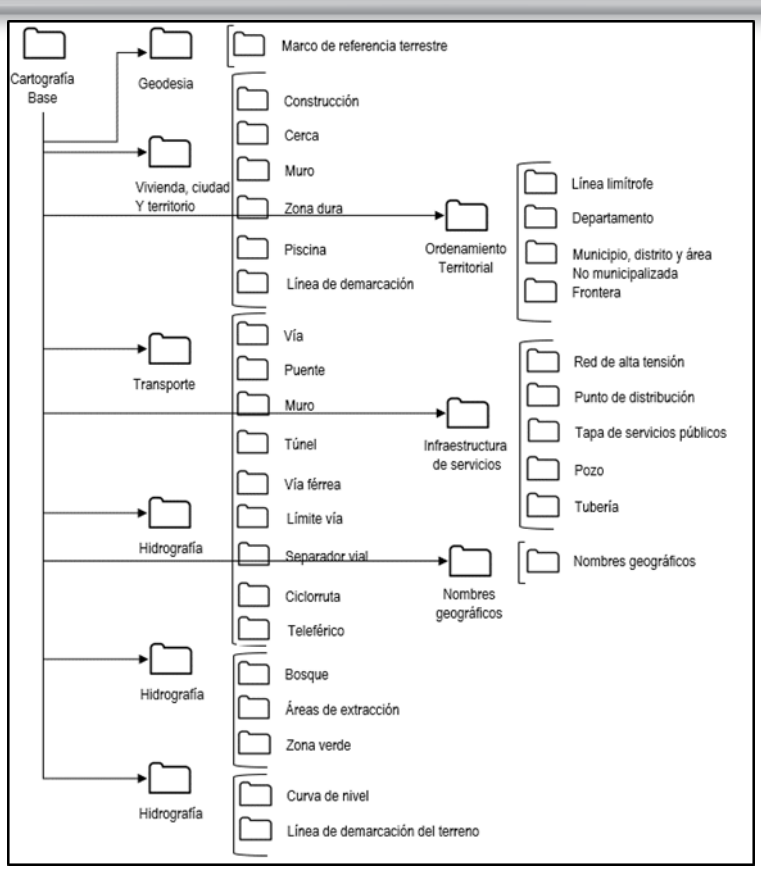


Figura 3.369 Objetos geográficos Cartografía Básica

Fuente: (Equipo Consultor, 2023) con información de (IGAC, Catálogo de Objetos Geográficos Cartografía Básica de Colombia, 2021)

Para un mejor entendimiento y contexto dentro de la interpretación a la estructura de datos, se definen los temas, de la siguiente manera (IGAC, Catálogo de Objetos Geográficos Cartografía Básica de Colombia, 2021):

- Geodesia: Conjunto de puntos localizados en la superficie terrestre que materializan un sistema de referencia convencional y cuentan con coordenadas conocidas (este, norte, altura) en este sistema de referencia.
- Vivienda, ciudad y territorio: Conjunto de objetos artificiales que evidencian las dinámicas territoriales existentes.
- Transporte: Conjunto de objetos físicos como obras civiles que integrados permiten el desplazamiento de personas y vehículos de modo terrestre.
- Hidrografía: Conjunto de objetos que representan los recursos hídricos presentes en el territorio.
- Cobertura de la tierra: Conjunto de objetos que representan la cobertura de la tierra.
- Elevación: Conjunto de datos que permiten el análisis y representación del comportamiento de la altura en el territorio.
- Ordenamiento territorial: Conjunto de objetos reales o imaginarios que separan dos espacios geográficos de acuerdo a una división político administrativa ya definida.

- Infraestructura de servicios: Conjunto de objetos que representan elementos de infraestructura propios de la prestación de servicios.
- Nombres geográficos: Conjunto de nombres propios asignados a las entidades geográficas determinados a través del tiempo derivados del arraigo cultural e histórico de los habitantes de una zona.

3.17.4 Definición del Modelo de Almacenamiento de la Cartografía Temática y Estructura de Datos

En el caso del componente CARTOGRAFÍA TEMÁTICA del modelo físico de almacenamiento de la información, se presentan de manera gráfica, los escenarios generados en los diferentes componentes para el desarrollo del proyecto, aplicando los mismos estándares de presentación y representación usados en el componente mapa base.

Mediante un modelo de datos, se define la semántica y estructura dispuesta para la información del estudio en referencia. De igual forma, hay que considerar, que este numeral expresará los contenidos de la cartografía temática, mediante el lenguaje unificado de modelado (UML), teniendo como base, la norma ISO 19152:2012, y como lineamiento técnico, el modelo de almacenamiento geográfico establecido en la Resolución 2182 de 2016 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible para la presentación de estudios ambientales con el fin de estandarizar la entrega de productos geográficos y cartográficos los cuales servirán como insumo para consolidar el Sistema de Información Ambiental de Colombia – SIAC.

3.17.4.1 Proceso Metodológico Implementado

A continuación, se define una metodología de trabajo alrededor del alcance esperado, que implica una serie de actividades que no son lineales, pero si son concurrentes independientes, lo que implica, que pueden realizarse en el mismo instante de tiempo, aunque esto no limite que su ejecución física sea simultánea.

- Aprestamiento de información por componentes temáticos: corresponde al proceso de recopilación de información cartográfica existente.
- Normalización y estructuración de contenidos: corresponde al primer análisis realizado, donde la información cartográfica fue segmentada por tipo de representación gráfica, idoneidad temática, sintaxis, etc.
- Reunión con actores misionales: espacios de trabajo colaborativo con el personal del equipo técnico de la interventoría y supervisión, en sus áreas misionales, para socializar el proceso metodológico a aplicar.
- Reunión con actores por componentes misionales: espacios con grupos focales orientados a los componentes del proyecto, desde su visión temática.
- Definición preliminar de agrupaciones temáticas desde la coordinación técnica del proyecto, donde se generaron agrupaciones temáticas para la información cartográfica, alrededor de los procesos funcionales de Evaluación de Vulnerabilidad e Identificación Predial.
- Talleres de trabajo colaborativo: espacios de trabajo colaborativo con el personal del equipo técnico de la interventoría y la supervisión en sus áreas misionales, para organizar objetos y características de definición.

- Definición de entidades, atributos, dominios y subtipos: corresponde a la organización de contenidos en clases del modelo UML.
- Modelación UML: expresar mediante el lenguaje unificado de modelado (UML), la estructura del modelo de datos, teniendo como base, la norma ISO 19152:2012.
- Generación del esquema de geodatabase: transformación de un modelado lógico a una implementación física en formato GDB (geodatabase).

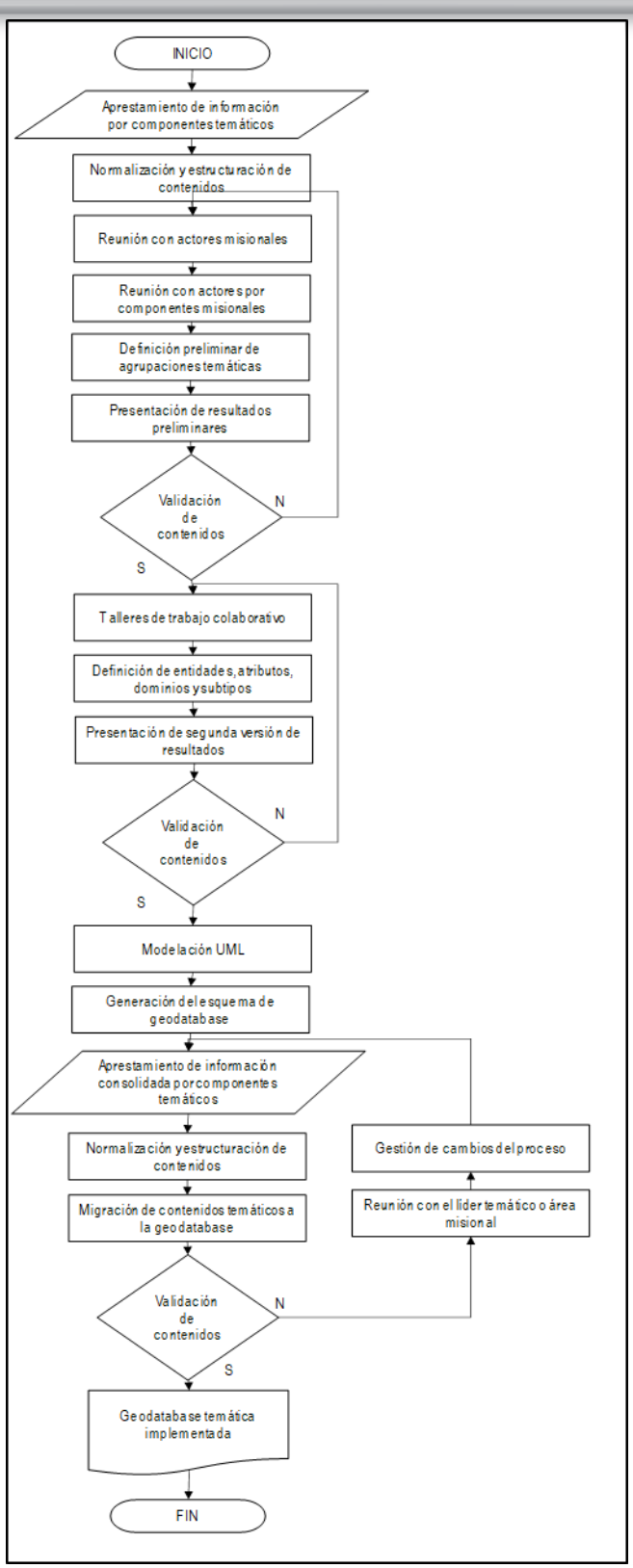


Figura 3.370 Metodología de modelado y estructuración de cartografía temática
Fuente: (Equipo Consultor, 2023)

3.17.4.2 Modelado UML

Al final del segundo taller de trabajo colaborativo, se dispondrá de una versión cruda del modelo. Esta versión cruda se seguirá refinando luego de las jornadas de trabajo interdisciplinar, obteniendo el modelo SIG_AVR_C4_C5_V1_ES, que sea validado sobre su correcta sintaxis. El presente numeral, mostrará la organización del modelo en iteraciones parciales y sus temáticos, sumado a una descripción preliminar de los tipos de datos utilizados, geometrías, dependencias funcionales y relaciones entre objetos.

3.17.4.3 Generación de la Geodatabase

De conformidad a las actividades de Evaluación de Vulnerabilidad e Identificación Predial correspondientes a la ejecución del Contrato No. 379 suscrito entre el Municipio de Bucaramanga y CONSULTORES EN INGENIERÍA Y MEDIO AMBIENTE C I AMBIENTAL S.A.S, se propone una primera aproximación al modelo de datos de las unidades temáticas particulares a este ejercicio.

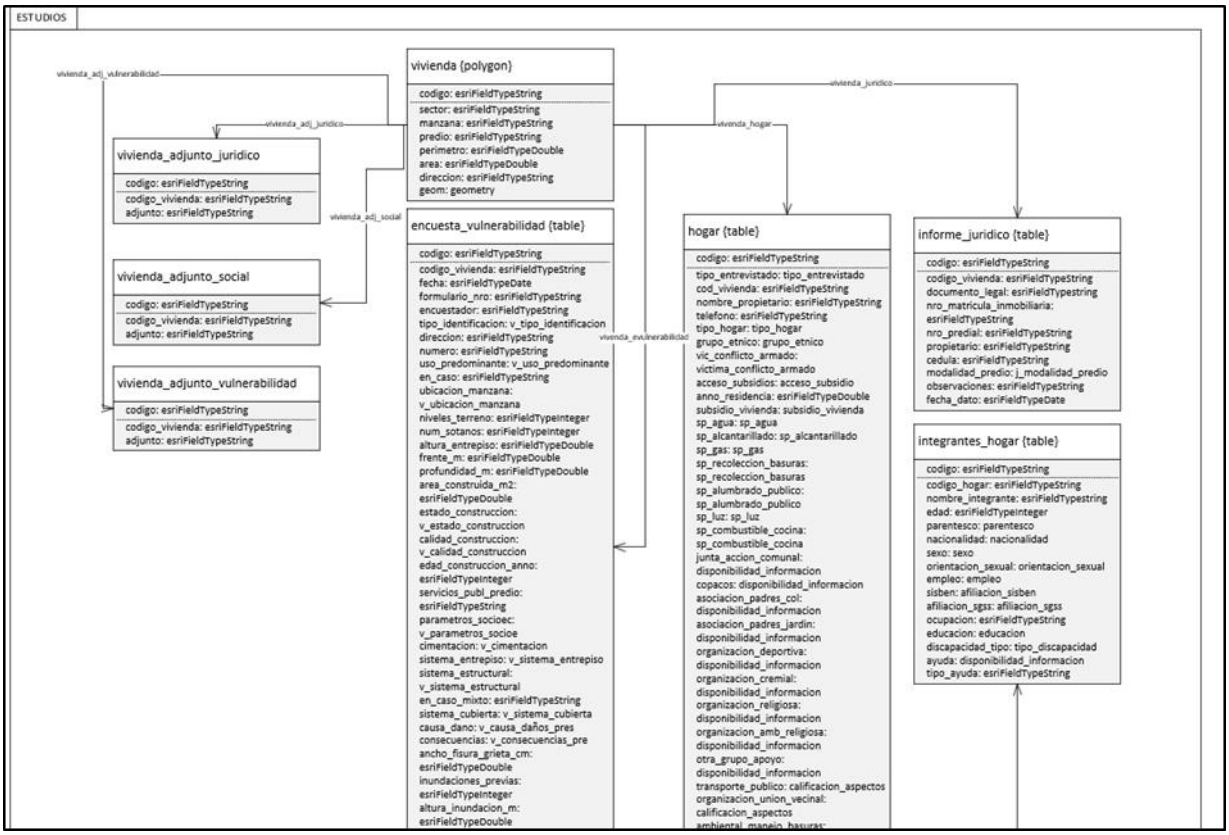


Figura 3.371 Representación UML del modelo asociado a las actividades de Evaluación de Vulnerabilidad e Identificación Predial – Feature Class

Fuente: (Equipo Consultor, 2023)

Tabla 3.113 Relación de entidades asociadas a las actividades de Evaluación de Vulnerabilidad e Identificación Predial

NO.	NOMBRE DE LA ENTIDAD O TABLA	ALCANCE
1	Vivienda (geometría de tipo polígono)	Corresponde a una cobertura geográfica que caracteriza cada una de las viviendas productos del ejercicio de evaluación de vulnerabilidad e identificación predial
2	Encuesta_vulnerabilidad (Tabla)	Tabla que almacena los datos referidos a las encuestas de evaluación de vulnerabilidad. Se relaciona con la entidad vivienda, mediante una cardinalidad 1:m.
3	Hogar (Tabla)	Tabla que almacena los datos referidos a las encuestas sociales por hogar. Se relaciona con la entidad vivienda, mediante una cardinalidad 1:m.
4	Infome_juridico (Tabla)	Tabla que almacena los datos referidos a los informes jurìdicos. Se relaciona con la entidad vivienda, mediante una cardinalidad 1:m.
5	Integrantes_hogar (Tabla)	Tabla que almacena los datos referidos a cada uno de los integrantes por hogar, conforme el proceso de caracterización social. Se relaciona con la tabla Hogar, mediante una cardinalidad 1:m.
6	Vivienda_adjunto_juridico (Tabla)	Tabla que almacena los datos referidos a los archivos adjuntos del ejercicio jurídico para cada vivienda objeto de estudio. Se relaciona con la entidad vivienda, mediante una cardinalidad 1:m.
7	Vivienda_adjunto_social (Tabla)	Tabla que almacena los datos referidos a los archivos adjuntos del ejercicio social para cada vivienda objeto de estudio. Se relaciona con la entidad vivienda, mediante una cardinalidad 1:m.
8	Vivienda_adjunto_vulnerabilidad (Tabla)	Tabla que almacena los datos referidos a los archivos adjuntos del ejercicio de análisis de vulnerabilidad para cada vivienda objeto de estudio. Se relaciona con la entidad vivienda, mediante una cardinalidad 1:m.

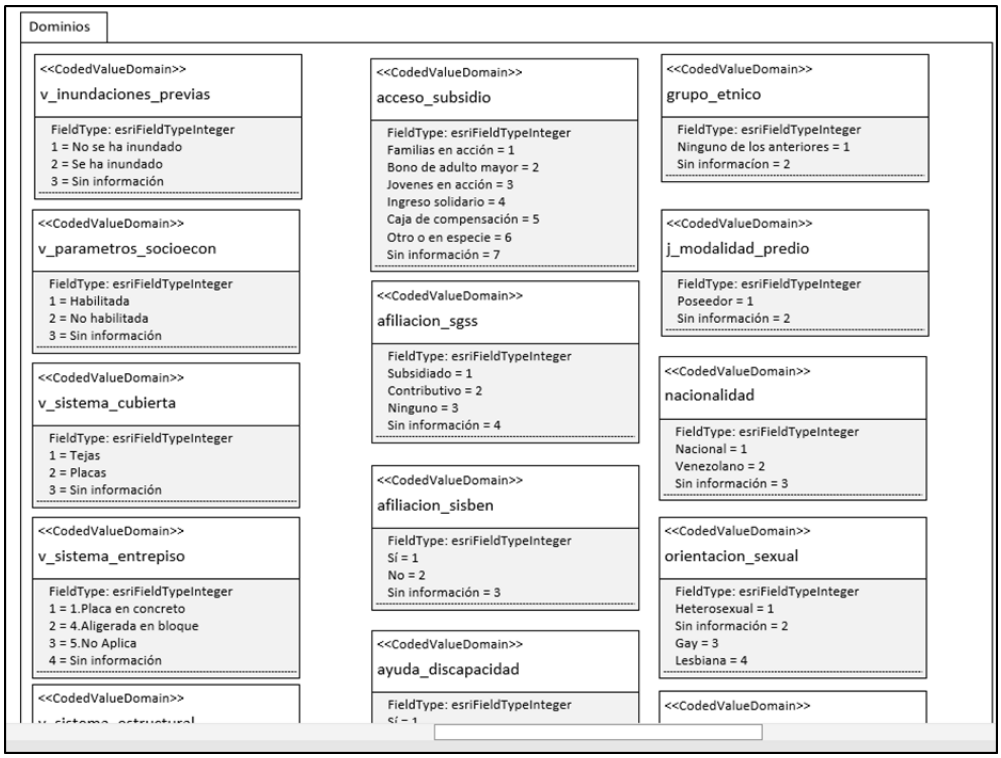


Figura 3.372 Representación UML del modelo asociado a las actividades de Evaluación de Vulnerabilidad e Identificación Predial – Dominios (I)

Fuente: (Equipo Consultor, 2023), con uso del software VISIO

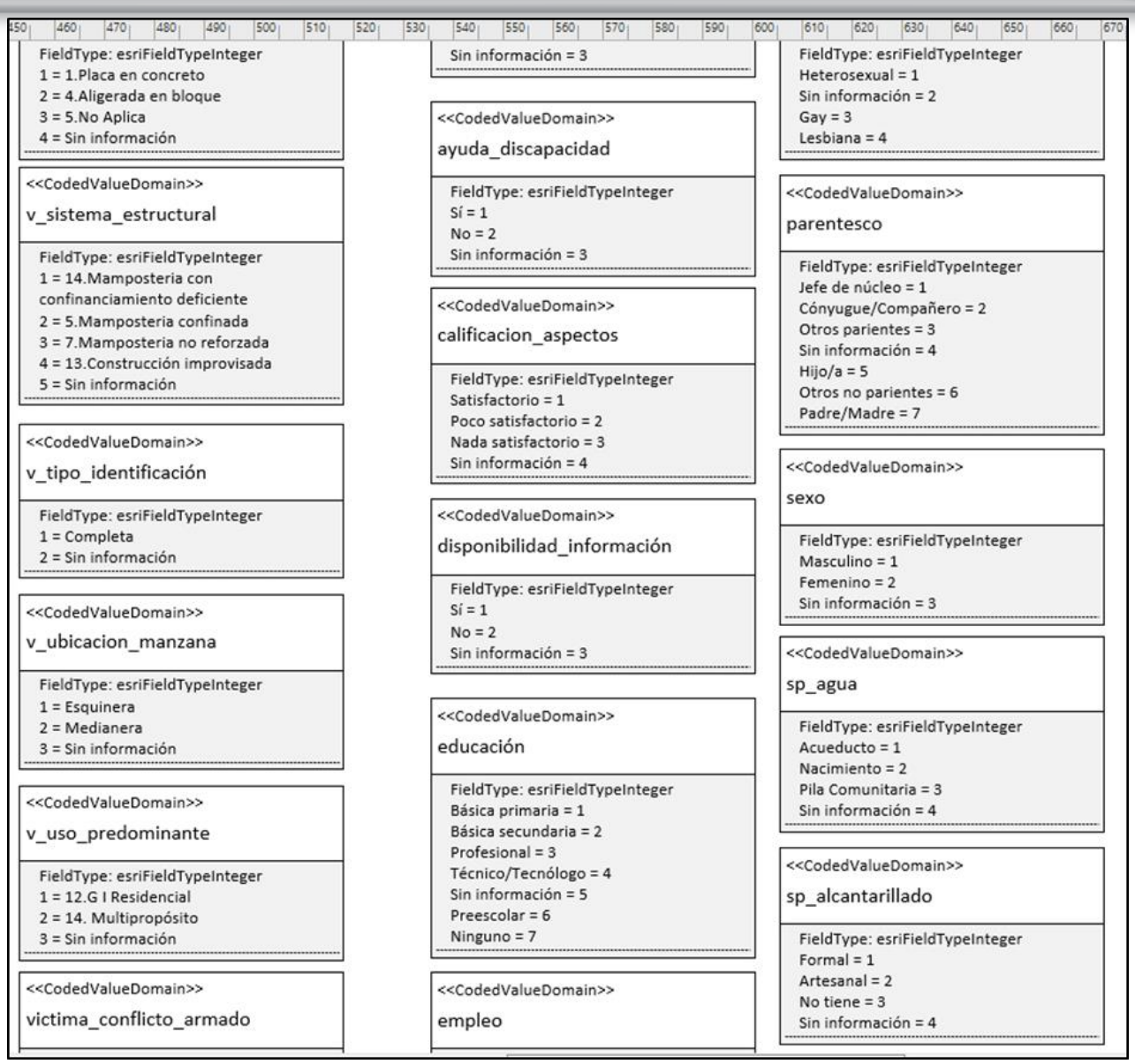


Figura 3.373 Representación UML del modelo asociado a las actividades de Evaluación de Vulnerabilidad e Identificación Predial – Dominios (II)

Fuente: (Equipo Consultor, 2023), con uso del software VISIO

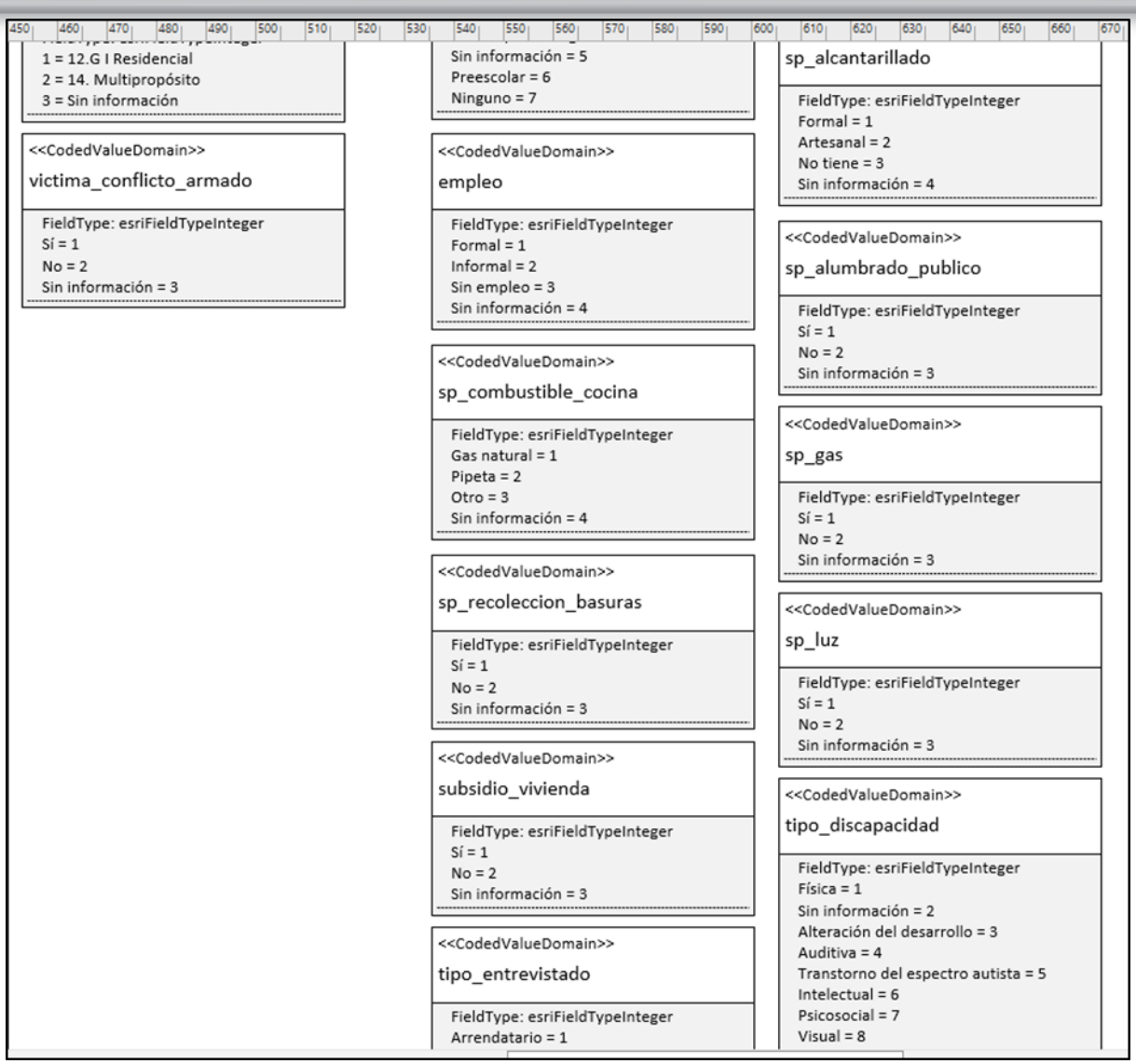


Figura 3.374 Representación UML del modelo asociado a las actividades de Evaluación de Vulnerabilidad e Identificación Predial – Dominios (III)

Fuente: (Equipo Consultor, 2023), con uso del software VISIO

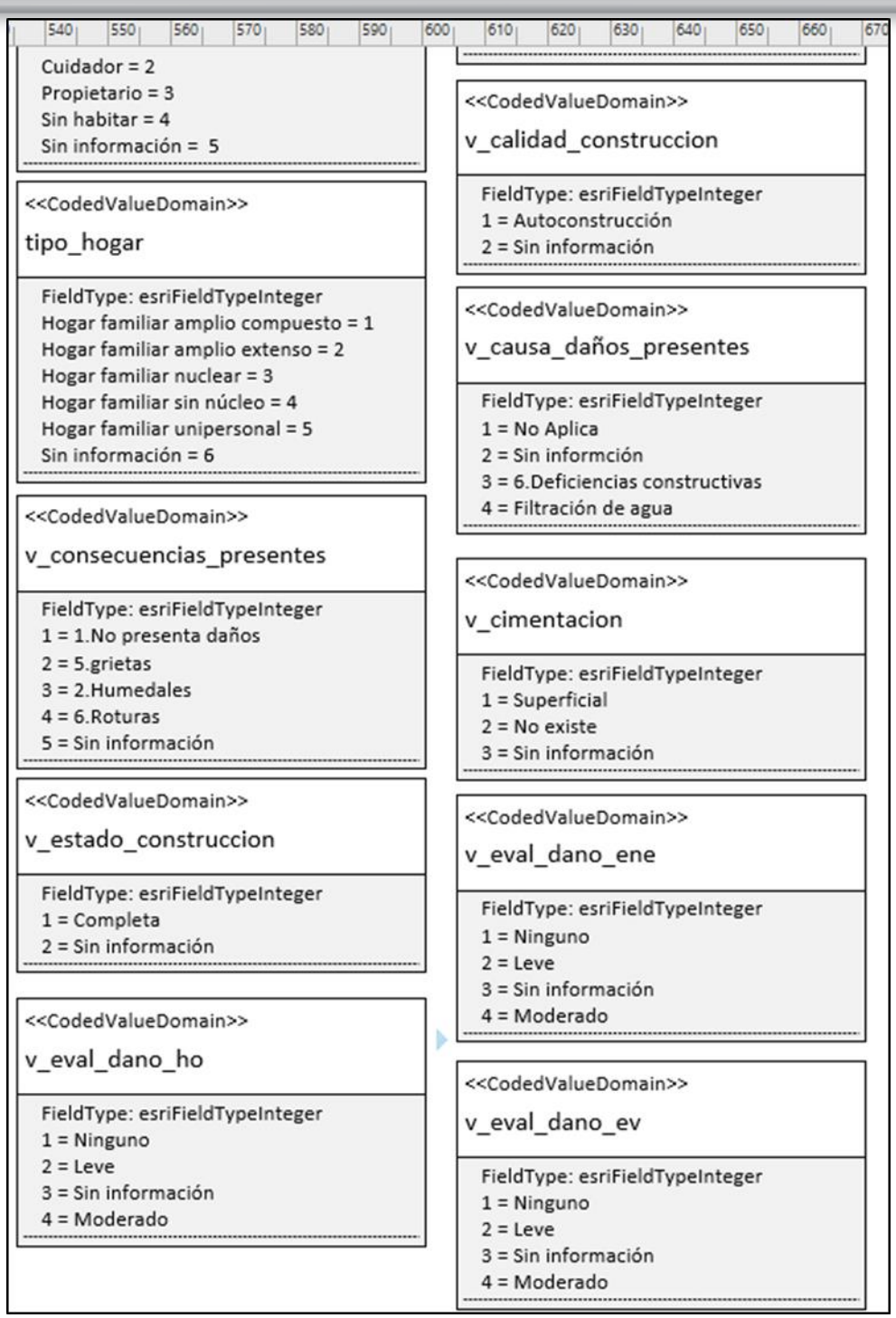


Figura 3.375 Representación UML del modelo asociado a las actividades de Evaluación de Vulnerabilidad e Identificación Predial – Dominios (IV)

Fuente: (Equipo Consultor, 2023), con uso del software VISIO

3.17.4.4 Generación de la Geodatabase

Posteriormente se transferirán las clases del modelo UML a cada uno de los "feature dataset" de la geodatabase. Todos los atributos, rangos de valores y enumeraciones (dominios) del modelo UML se

integrarán también (parcialmente con nuevas discusiones sobre los atributos, dominios y subtipos). Ocasionalmente se realizarán nuevos ajustes o compleciones del modelo UML (ver numeral 10.2 ORGANIZACIÓN DE CONTENIDOS).

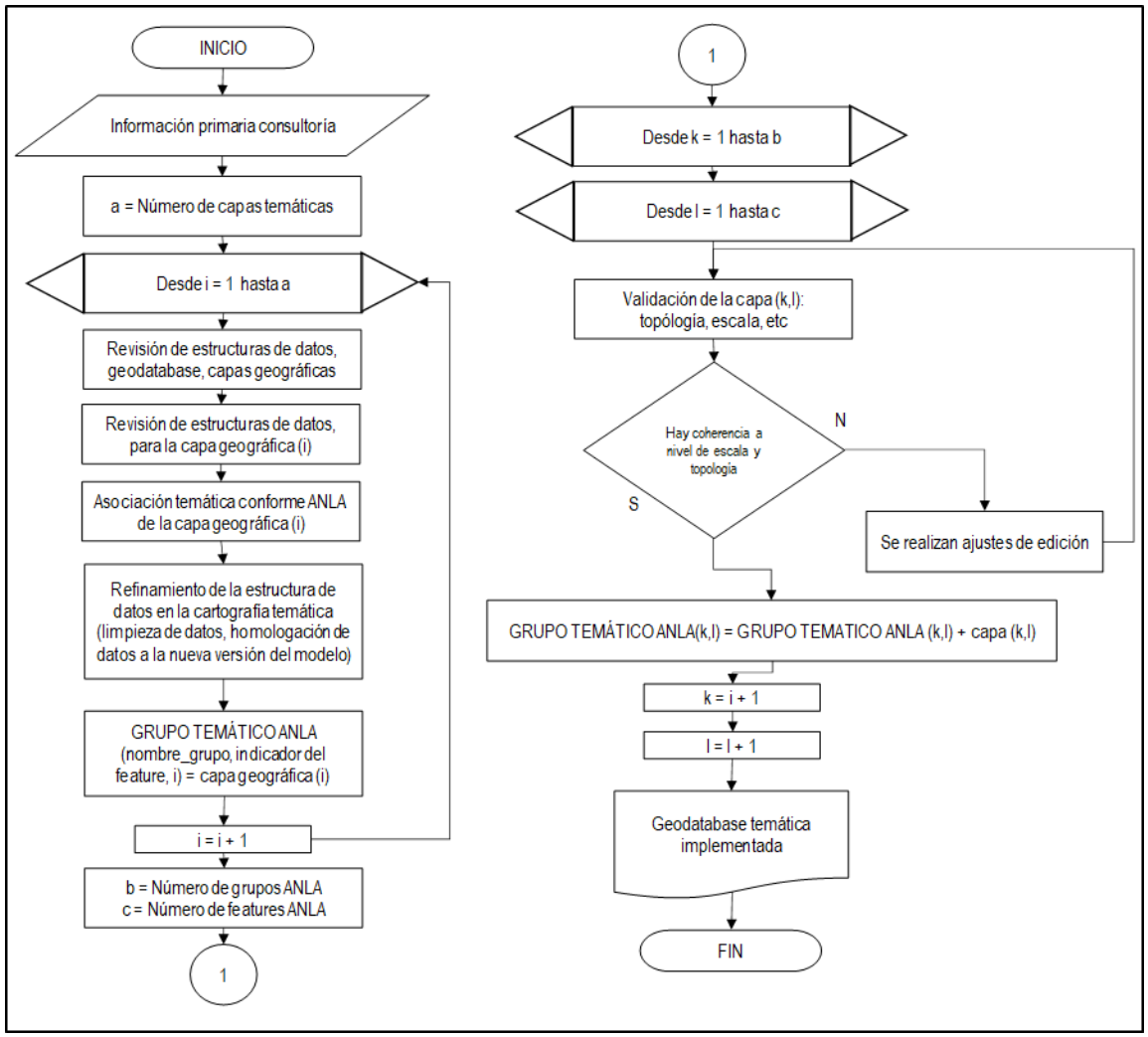


Figura 3.376 Metodología del proceso de análisis y consolidación de la cartografía temática
Fuente: (Equipo Consultor, 2023)

Para el caso específico de las actividades de Evaluación de Vulnerabilidad e Identificación Predial correspondientes a la ejecución del Contrato No. 379 suscrito entre el Municipio de Bucaramanga y CONSULTORES EN INGENIERÍA Y MEDIO AMBIENTE C I AMBIENTAL S.A.S, se realiza la implementación del modelo propuesto sobre software GIS, de un prototipado con la manzana 24, del barrio Camilo Torres de la ciudad de Bucaramanga.

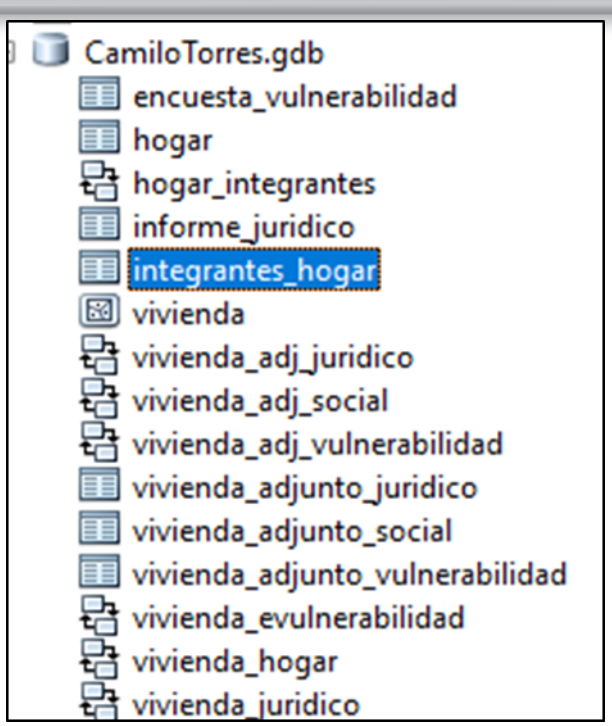


Figura 3.377 Estructura de almacenamiento de las actividades de Evaluación de Vulnerabilidad e Identificación Predial

Fuente: (Equipo Consultor, 2023)

3.17.5 Modelo de Presentación Cartográfica

3.17.5.1 Plantilla De Mapas

Por definición se tiene que la plantilla es el marco y/o producto en la cual se van a representar todos los mapas resultantes del contrato de CONSULTORIA PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN, Y AVENIDAS TORRENCIALES EN SECTORES PRIORIZADOS EN LAS COMUNAS CUATRO (CAMILO TORRES, CUYANITA, MILAGRO DE DIOS, ZARABANDA, Y CIUDAD PERDIDA) Y CINCO (PANTANO I, PANTANO II, Y PANTANO III) DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA, la cual permitirá establecer la presentación de la cartografía básica y temática que se genere en él, mediante la definición de la forma y distribución de los elementos constitutivos de cada mapa: información marginal, leyenda, simbología, convenciones, escala gráfica, escala numérica, norte y grilla, entre otros, y el área del mapa constituido por la información cartográfica general.

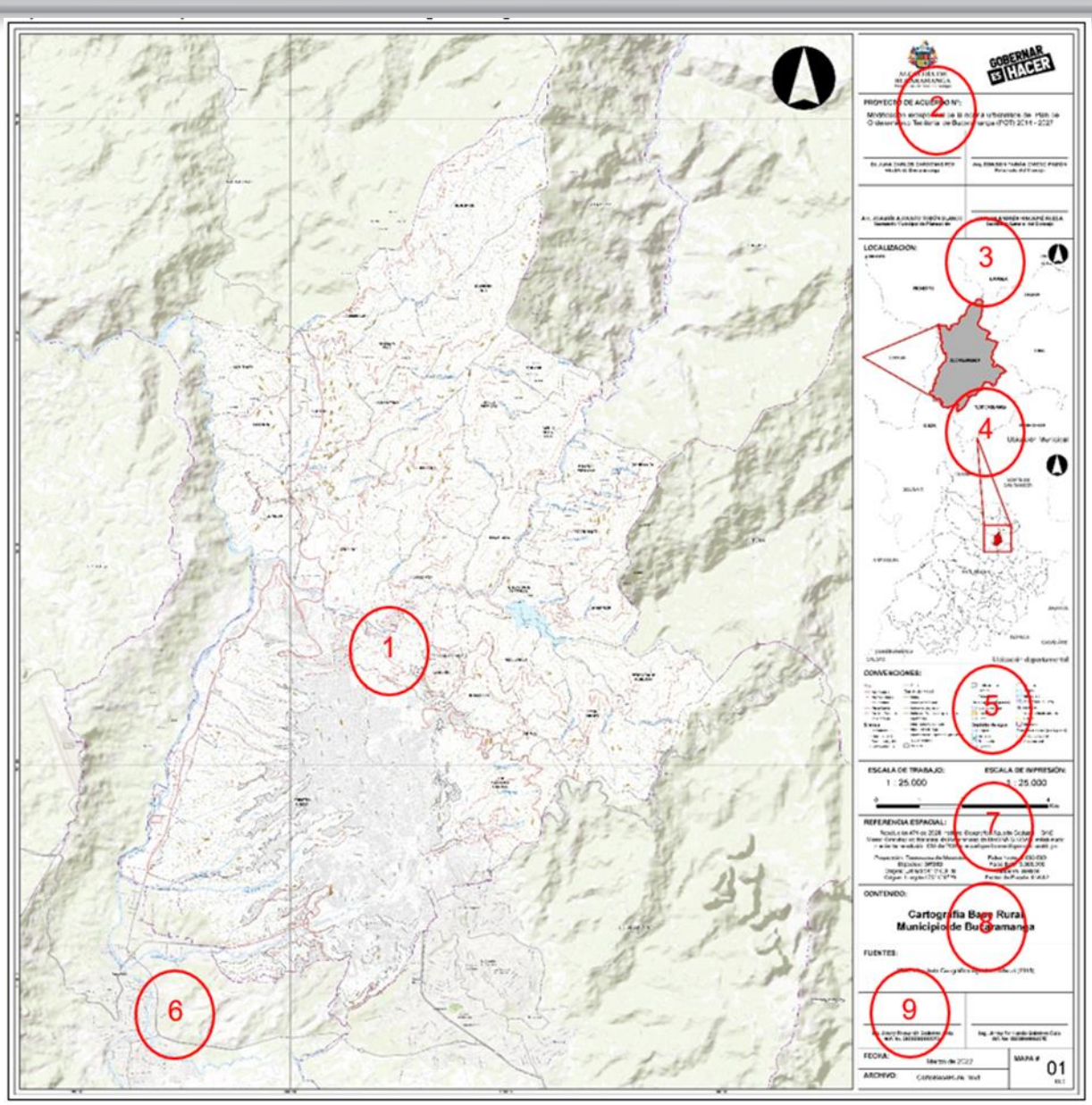


Figura 3.378 Plantilla de rotulado de salidas gráficas
Fuente: (Equipo Consultor, 2023)

(1) Área de despliegue de contenidos: corresponde al espacio de trabajo donde se muestra el desarrollo del mapa temático.

(2) Símbolos institucionales: corresponde a los logos de las entidades supervisoras del proyecto y a la identidad iconográfica del consultor.

(3) Identificación del alcance contractual: corresponde al detalle del objeto contractual.

(4) Mapas generales de localización: coberturas geográficas indicativas de la ubicación de la zona de estudio.

(5) Convenciones: catálogo de representación de la cartografía base, referida en la salida gráfica.

(6) Leyenda: catálogo de representación de la cartografía temática, referida en la salida gráfica.

(7) Escala y referencia espacial: corresponde a la definición de la escala de representación y a los parámetros considerados sobre el sistema de referencia aplicado.

(8) Contenido: definición a manera de título del alcance de la salida gráfica.

(9) Información complementaria: se consideran acá, las fuentes de información para la consecución de la salida gráfica, la fecha de realización del mapa, y su referencia numérica con respecto a los demás entregables.

Plantillas salidas cartográficas

Por definición la salida cartográfica para el presente proyecto, se refiere de la siguiente manera: **la escala es dependiente del alcance temático**, Su desarrollo es requerido para los análisis particulares de cada temática, y hace parte integral de los documentos y pueden servir en las presentaciones que se hagan en los diferentes espacios de participación.

Las salidas cartográficas presentadas, constituyen los entregables definidos en el desarrollo del contrato de CONSULTORIA PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN, Y AVENIDAS TORRENCIALES EN SECTORES PRIORIZADOS EN LAS COMUNAS CUATRO (CAMILO TORRES, CUYANITA, MILAGRO DE DIOS, ZARABANDA, Y CIUDAD PERDIDA) Y CINCO (PANTANO I, PANTANO II, Y PANTANO III) DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA; por otro lado, la salida cartográfica se puede presentar en formato digital o análogo (papel), pero sin las rigurosidades técnicas, que son obligatorias en la presentación de un mapa.

3.17.5.2 Organización de Contenidos

Para llevar a cabo esta tarea con éxito, desde la planeación se incorporó dentro de una estructura y modelo de representación espacial, como punto de partida para estandarizar la entrega de los productos geográficos; cabe resaltar que este modelo está fundamentado en las normas técnicas NTC 4611, NTC 5043 y NTC 5661.

Teniendo en cuenta lo anterior, se configuró un modelo físico de almacenamiento y presentación de la información. El componente cartográfico y de sistemas de información geográfica se encuentra en la carpeta “SIG_AVR_C4_C5_V1_ES”. Dentro de esta se desprenden tres grandes componentes que son: Cartografía Base, Cartografía temática e Informes.

En cada carpeta se encuentrará la información almacenada en subcarpetas de manera estandarizada para que la información se consulte, y administre con facilidad y a su vez permite la incorporación de nueva información.

Esta estructura se organizó de acuerdo a lo establecido en la norma técnica NTC 5661, la cual estandariza la entrega de productos cartográficos. Cada uno de los ítems, contendá dentro de sí, toda la información cartográfica, así como los productos finales generados a partir de los diferentes componentes, según los lineamientos propios del desarrollo del contrato de CONSULTORIA PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR

MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN, Y AVENIDAS TORRENCIALES EN SECTORES PRIORIZADOS EN LAS COMUNAS CUATRO (CAMILO TORRES, CUYANITA, MILAGRO DE DIOS, ZARABANDA, Y CIUDAD PERDIDA) Y CINCO (PANTANO I, PANTANO II, Y PANTANO III) DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA.

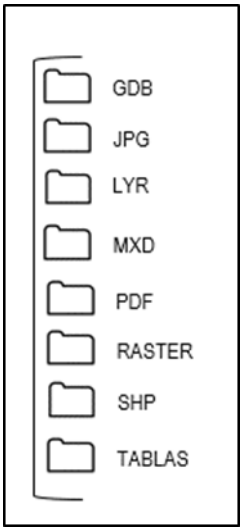


Figura 3.379 Estructura de carpetas del proyecto
Fuente: (Equipo Consultor, 2023)

Subcarpeta GDB

El concepto de Geodatabase hace referencia a la estructura de datos nativa para el software ArcGIS y es el formato de datos principal que se utiliza para la edición y administración de datos.

El software ArcGIS de la empresa ESRI, trabaja con información geográfica en numerosos formatos de archivo, y está diseñado para trabajar con las capacidades de la geodatabase y las utilidades que estas permiten.

Las geodatabases cuentan con un modelo de información integral para representar y administrar información geográfica. Este modelo de información integral se implementa como una serie de tablas que almacenan clases de entidad, datasets ráster y atributos. Además, los objetos de datos SIG avanzados agregan comportamiento SIG, reglas para administrar la integridad espacial y herramientas para trabajar con diversas relaciones espaciales de las entidades, los rásteres y los atributos principales.

Subcarpeta JPG – PDF

Todos los documentos que son derivados del desarrollo del contrato de CONSULTORIA PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN, Y AVENIDAS TORRENCIALES EN SECTORES PRIORIZADOS EN LAS COMUNAS CUATRO (CAMILO TORRES, CUYANITA, MILAGRO DE DIOS, ZARABANDA, Y CIUDAD PERDIDA) Y CINCO (PANTANO I, PANTANO II, Y PANTANO III) DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA, se entregan en medio digital.

De acuerdo con las Especificaciones Técnicas para los mapas y salidas cartográficas, se anexaran los insumos cartográficos generados y estructurados conforme el Modelo de Datos definido para el

proyecto; así mismo, las salidas cartográficas en formato Acrobat (.pdf) y formato de imagen (.jpg); y los archivos fuente (.mxd) y las capas cartográficas asociadas a estos archivos fuente (shapefile).

Las salidas cartográficas se ajustarán a las especificaciones técnicas establecidas para el proyecto y la entrega se hizo en formato de Acrobat (.pdf) y formato de imagen (.jpg), con una resolución no menor a 300 dpi.

Subcarpeta LYR

Los Layer representan con símbolos y etiquetas de texto la descripción de un shapefile. Dentro de la estructura a entregar del componente SIG del contrato de CONSULTORIA PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN, Y AVENIDAS TORRENCIALES EN SECTORES PRIORIZADOS EN LAS COMUNAS CUATRO (CAMILO TORRES, CUYANITA, MILAGRO DE DIOS, ZARABANDA, Y CIUDAD PERDIDA) Y CINCO (PANTANO I, PANTANO II, Y PANTANO III) DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA, se encuentra una carpeta LYR (Layer), y en ella, la información con cada una de las capas utilizadas para la representación graficas de los mapas y salidas cartográficas según los lineamientos del proyecto.

Subcarpeta MXD

Se generaron plantillas para la presentación de mapas de la siguiente manera: la escala de trabajo será dependiente del alcance temático. Además, considerar la impresión física con referencia al tamaño pliego (700 x 1000 mm). Cada una se entrega en archivo de fuente (.mxd) con referencial espacial asociada a las capas de cartografía base en un archivo (shapefile o feature class) con sus correspondientes layers, para finalmente generarlas en figuras en formato Acrobat (.pdf) e imagen (.jpg).

Subcarpeta SHP

Es un formato de almacenamiento de información vectorial que guarda la localización de elementos geográficos y sus atributos.

Subcarpeta Tablas y Metadatos

Según la Universidad Nacional de Colombia, el metadato se define como “datos altamente estructurados que describen información, el contenido, la calidad, la condición y otras características de los datos. Es "Información sobre información" o "datos sobre los datos". Algunos ejemplos de información que se puede describir usando metadatos son: impresa, audiovisual, geoespacial, etc.

Para el caso de la información cartográfica, generada y usada del contrato de CONSULTORIA PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN, Y AVENIDAS TORRENCIALES EN SECTORES PRIORIZADOS EN LAS COMUNAS CUATRO (CAMILO TORRES, CUYANITA, MILAGRO DE DIOS, ZARABANDA, Y CIUDAD PERDIDA) Y CINCO (PANTANO I, PANTANO II, Y PANTANO III) DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA, se elaboraran metadatos, para todas y cada una de las capas de información, y constituyen parte fundamental de la entrega de la información del modelo de almacenamiento geográfico y su base temática, los metadatos se estructuraran según la plantilla institucional de metadatos adoptada mediante resolución 1503 del 4 de agosto de 2010 y bajo el estándar NTC 4611.

El metadato está estructurado de una forma correlativa según el tipo de información de la siguiente manera:

- Identificación: es la información básica requerida para identificar inequívocamente el producto (nombre, ubicación, nivel de detalle, etc.).
- Calidad de los datos: Información sobre la calidad de los datos, evaluar el grado en que un producto cumple con los requerimientos para ser apto para su utilización
- Representación espacial: describe el mecanismo digital usado para representar espacialmente el conjunto de datos vectoriales y roster.
- Referencia espacial: describe la identificación y la descripción del sistema de referencia usado para los datos.
- Catálogo de símbolos: información que identifica el catálogo de símbolos usado.
- Distribución: identificación del distribuidor, así como la información de contacto.
- Citación: Información de la organización, dependencia o persona(s) que desarrolló o conoce el conjunto de datos.
- Contacto: Identificación de la persona(s) y organizaciones asociadas con el conjunto de datos, y los mecanismos para comunicarse con ellos.
- Información de la fecha: fecha de referencia y el evento (Creación, publicación, revisión).

Carpeta Cartografía Base

La información cartográfica base, es aquella necesaria para la caracterización básica de la zona de estudio, es decir, es aquella que se utiliza para la organización de todos los demás productos, incluyendo la plantilla general. A su vez permite establecer la presentación de la cartografía temática que incluye productos como la cobertura vegetal, capacidad de uso del suelo, entre otros.

El nivel de alcance de la cartografía base se refiere a una escala de trabajo 1:1000, y está claramente definido mediante la superposición e intersección del polígono validado con el área de interés.

Carpeta Temática

Para efectos del presente alcance, comprende los resultados cartográficos, producto del análisis temático realizado en el marco de ejecución del contrato de CONSULTORIA PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN, Y AVENIDAS TORRENCIALES EN SECTORES PRIORIZADOS EN LAS COMUNAS CUATRO (CAMILO TORRES, CUYANITA, MILAGRO DE DIOS, ZARABANDA, Y CIUDAD PERDIDA) Y CINCO (PANTANO I, PANTANO II, Y PANTANO III) DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA.

Carpeta Informes

Para efectos del presente alcance, comprende los informes técnicos, producto del análisis temático realizado en el marco de ejecución del contrato de CONSULTORIA PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN, Y AVENIDAS TORRENCIALES EN SECTORES PRIORIZADOS EN LAS COMUNAS CUATRO (CAMILO TORRES, CUYANITA, MILAGRO DE DIOS, ZARABANDA, Y CIUDAD PERDIDA) Y CINCO (PANTANO I, PANTANO II, Y PANTANO III) DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA.

3.17.6 Control de Calidad del Producto Final

En este numeral, se espera presentar el resultado consolidado de la evaluación de calidad generada a los elementos de cartografía base y temática (vistos como un conjunto de datos), teniendo en cuenta, cada una de los objetos geográficos (capas) que lo componen.

La referencia normativa de aplicación de las actividades subsecuentes, corresponden a la NTC 5043 (1a actualización) - Información Geográfica. Conceptos básicos de la calidad de los datos geográficos y a la NTC 5660 - Información Geográfica. Evaluación de la calidad, procesos y medidas. Adicionalmente, se aplican los criterios de calidad explícitos en la resolución 471 de 2020 (en su numeral 5.3), y su modificación 179 de 2022.

El presente documento exhibirá los resultados de la evaluación de calidad generada a cada uno de los objetos geográficos y tablas que componen el contrato de CONSULTORIA PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN, Y AVENIDAS TORRENCIALES EN SECTORES PRIORIZADOS EN LAS COMUNAS CUATRO (CAMILO TORRES, CUYANITA, MILAGRO DE DIOS, ZARABANDA, Y CIUDAD PERDIDA) Y CINCO (PANTANO I, PANTANO II, Y PANTANO III) DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA, concebido como un conjunto de datos. Para ello, los datos evaluados corresponden a los objetos expuestos en los componentes de modelado y estructura de datos (ver numerales MODELO DE ALMACENAMIENTO DE LA CARTOGRAFÍA BASE Y ESTRUCTURA DE DATOS y DEFINICIÓN DEL MODELO DE ALMACENAMIENTO DE LA CARTOGRAFÍA TEMÁTICA Y ESTRUCTURA DE DATOS).

Con base en lo anterior, se determinarán pruebas de calidad, de acuerdo a los elementos y subelementos existentes a nivel normativo para tal fin.

3.18 ETAPA 17: SOCIALIZACIÓN

3.18.1 Actividades Planteadas

1. Etapa de contacto y reconocimiento del territorio
2. Reuniones de presentación
3. Levantamiento de Información a las familias habitantes
4. Reuniones de avance
5. Elaboración de informes por cada uno de los sectores e informe general
6. Registro Fotográfico

3.18.2 Desarrollo de las Actividades

Para implementar las actividades acordadas en contrato, se realizaron actividades que se describen a continuación

1. Se inicia el proceso de contacto con los y las líderes de cada sector a fin de poder adelantar la convocatoria para la reunión de inicia, se establece contacto y se construye base con la información, con estas personas se acuerda el sitio y hora de las socializaciones.

BARRIO	NOMBRE	TELEFONO	DIRECCIÒN
Cuyanita	Orfilia Buitrago	3138012007	Calle 28 N 1-84
Pantano II	Alvaro Torres	3145861450	Calle 35 A 10 cc 07
Pantano II	Hamilton Quintero Lora	3229124814	Calle 35 A 10W 32 Casa 18
Milagro de Dios	Juliana Zambrano	3166106621	Cra 2 N No 25 16 MZ E
Ciudad Perdida	Anayibe Cepeda	3233278217	Calle 28 0-22
Pantano I	Yosman Oses	3043964179	Cra 8 occ 35-10
Zarabanda	María Cristina Rojas	3028504173	Calle 27 187 Casa 58
Zarabanda	Robinson Carrillo	3125923806	Calle 24 2c58
Camilo Torres	Ronald Martínez Monsalve	3105238293	Calle 24 #2c65

2. Reuniones de inicio enero 2023 efectuada en cada uno de los barrios con el siguiente cronograma y en contacto con las siguientes personas:

FECHA	HORA	BARRIO	CONTACTO	NO TEL	DIRECCIÓN REUNIÓN
27/01/2023	6:00 p. m.	Camilo Torres	Ronald MARTINEZ	3105238293	Salón Comunal
27/01/2023	8:00 p. m.	COMUNA 5 PANTANO I, PANTANO II Y III	Hamilton Quintero	3229124814	Cra. 10 occidente con calle 35
27/01/2023	4:00 p. m.	Ciudad Perdida	Anayibe Cepeda	3233278217	Calle 28 No 0-22
28/01/2023	8:00 a. m.	Cuyanita	Orfilia Buitrago	3138012007	Calle 1 No. 10-47
28/01/2023	10:00 a. m.	Milagro de Dios	Juliana Zambrano	3166106621	Cra 2 No. 25-16 Mz A Casa 12
28/01/2023		Zarabanda	Robinson Carrillo	3122923806	Cra 2 No. 25-16 Mz A Casa 12

En el desarrollo de la socialización, algunos de los principales interrogantes que tuvo la comunidad sobre el proyecto fueron:
La comunidad pregunta si este proceso se tendrá en cuenta para la legalización de los barrios. La alcaldía precisa que este estudio es necesario para conocer la situación de riesgo del barrio y que se convierte en insumo para los procesos de legalización que se lleguen a adelantar. · Como saber quiénes son las personas que realizan las visitas. Se informa que se realiza acompañamiento con personas del sector a los profesionales que realizarán las visitas para que se logre identificar, adicional se comenta que estarán identificados. · ¿Cuándo se inicia la fase de campo? Se estará informando a través de los líderes. · ¿Con quién llega la Información del inicio de las visitas? Por intermedio de los líderes y lideresas de cada uno de los barrios. · ¿Sino estamos en la casa, como se hace para responder las encuestas? Se buscarán las alternativas para poder recoger la información. · Terminada la ronda de preguntas se da por finalizada la reunión.

3. A partir de las reuniones de inicio en los diferentes barrios de la comuna 4 y 5 se inician las labores de alistamiento y campo de los profesionales, ingenieros, sociales y jurídicos se desarrollan las siguientes acciones:
   - ✓ Recorrido para la verificación de la zona de estudio con el fin de reconocer el área completa a fin de establecer la delimitación de los barrios Zarabanda, Milagro de Dios y Cuyanitas.





- ✓ Una vez realizado el reconocimiento y delimitación de la zona se reúne el equipo encuestador para planear el recorrido por manzanas según lo evidenciado en campo.





- ✓ El día 8 de febrero de 2023 se inicia la aplicación de los instrumentos técnicos, jurídicos y sociales para la recolección de información en campo, iniciando por los sectores de Cuyanita, Zarabanda Milagro de Dios. Mediante visita predio a predio a predio con presencia de los 3 profesionales, Ingeniero, Social y abogado. Este proceso de visita predio a predio se adelanta con el acompañamiento de los diferentes líderes de acuerdo con el sector visitado.
- ✓ En este punto se precisa que hubo presencia en todas las etapas de recolección de información de líderes para buscar que la comunidad sintiese seguridad de las personas a las que les entregaban la información.
- ✓ Se aplicaron los diferentes formatos aprobados para los tres componentes, social, jurídico y técnico.





Con el inicio de la fase de levantamiento de la información, se realizó consolidado base con lo reportado desde los tres componentes con el siguiente resultado:

COMUNA	SECTOR		PREDIOS	TOTAL PREDIOS	FAMILIAS	TOTAL FAMILIAS	HABITANTES	TOTAL HABITANTES
4	1	Camilo Torres	185	942	193	999	739	3618
4	2	Cuyanita	169		126		400	
4	3	Milagro de Dios	116		181		724	
4	4	Zarabanda	116		155		639	
4	5	Ciudad Perdida	133		125		399	
5	6	Pantano I	24		17		67	
5	7	Pantano II	144		152		473	
5	8	Pantano III	55		50		177	

4. Reuniones de avance: Se realizan reuniones de avance para comentar y presentar el estado a fecha de las actividades planteadas en la reunión de inicio y en el contrato firmado con la alcaldía.
   - ✓ **Reunión Abril 2023**
     Se elabora propuesta de presentación con el objetivo que las personas pudieran ubicarse dentro del mapa, que ubicaran el barrio y se identificaran los avances.

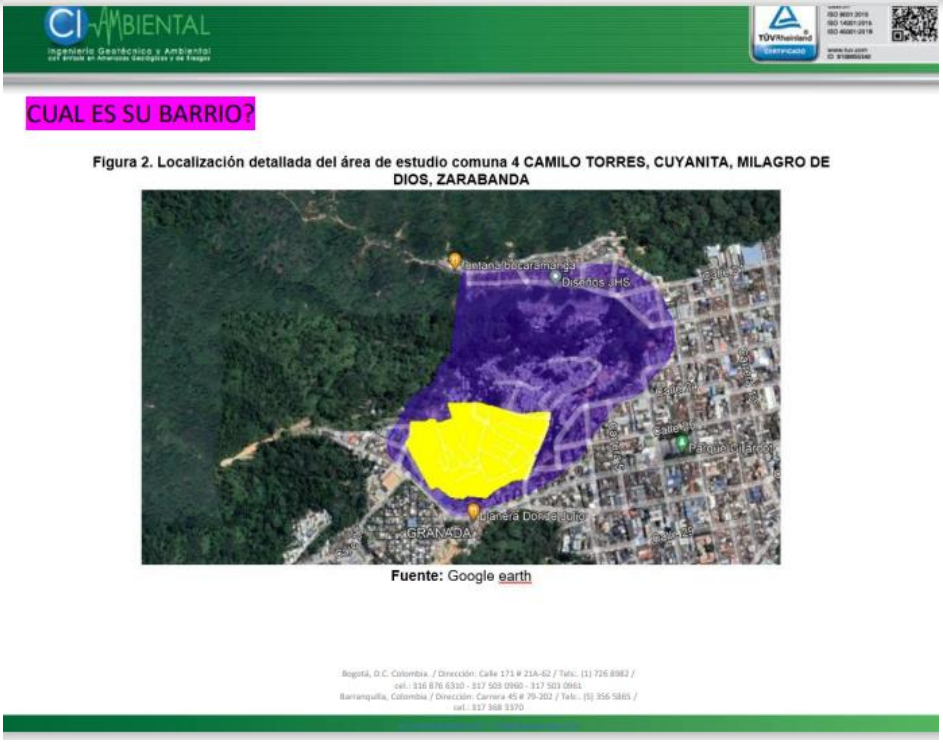


Figura 3.380 Reunión avance abril 2023

BARRIO	DIA	HORA	LUGAR
Camilo Torres	27-ene	5:30	Salón Comunal Girardot
Cuyanita	27-ene	19:00	Salón Comunal Girardot
Pantano I	28-abr	6:00 p. m.	Entrada
pantano II Y III	28-abr	7:30 p. m.	Kiosco
Ciudad Perdida	29-abr	5:30 p. m.	Salón Comunal Girardot
MILAGRO DE DIOS/ZARABANDA ALTA	29-abr	7:00 p. m.	Salón Comunal Girardot

Para estas reuniones las preguntas estuvieron orientadas a conocer la fecha de terminación del estudio y los resultados, para conocer que pasara con las familias y cuál es el riesgo que se presenta en el sector.

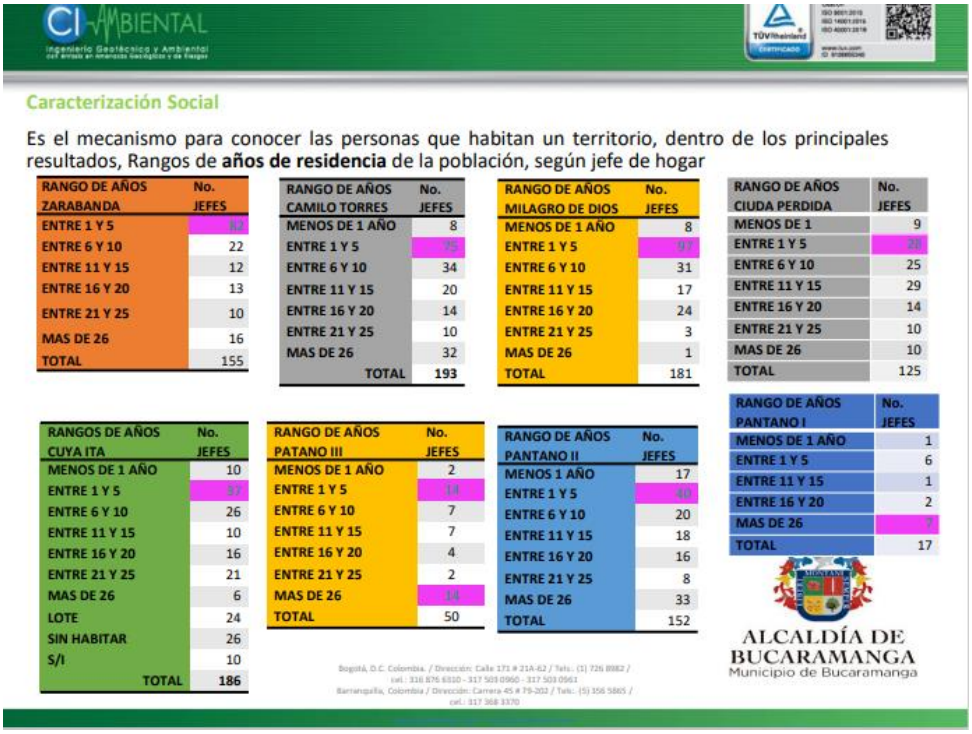
Se realizó presentación de los avances en cada una de las actividades a fin de que la comunidad tuviese presente el estado actual del avance del proyecto, para lo cual se precisó para cada uno de los sectores las actividades que habían visto desarrollarse en campo para la recolección de la información.

Se le precisa a la comunidad que, si se tiene alguna duda o si requieren conocer algo puntual, se pueden acercar a los equipos que están en campo a fin de dar solución y sino de escalar la pregunta para buscar una respuesta.

Se comenta que se están haciendo nuevos recorridos para las personas que no fueron encontradas en los predios con el propósito de recoger la información.

En esta reunión no hubo mayores situaciones a ser explicadas, por lo que se da por finalizada, precisando que se realizara una nueva convocatoria para continuar en el proceso de avance.

✓ **Reunión Agosto 2023**



Caracterización Social

Es el mecanismo para conocer las personas que habitan un territorio, dentro de los principales resultados, Rangos de **años de residencia** de la población, según jefe de hogar

RANGO DE AÑOS ZARABANDA	No. JEFES
ENTRE 1 Y 5	47
ENTRE 6 Y 10	22
ENTRE 11 Y 15	12
ENTRE 16 Y 20	13
ENTRE 21 Y 25	10
MAS DE 26	16
TOTAL	155

RANGO DE AÑOS CAMILO TORRES	No. JEFES
MENOS DE 1 AÑO	8
ENTRE 1 Y 5	75
ENTRE 6 Y 10	34
ENTRE 11 Y 15	20
ENTRE 16 Y 20	14
ENTRE 21 Y 25	10
MAS DE 26	32
TOTAL	193

RANGO DE AÑOS MILAGRO DE DIOS	No. JEFES
MENOS DE 1 AÑO	8
ENTRE 1 Y 5	97
ENTRE 6 Y 10	31
ENTRE 11 Y 15	17
ENTRE 16 Y 20	24
ENTRE 21 Y 25	3
MAS DE 26	1
TOTAL	181

RANGO DE AÑOS CIUDA PERDIDA	No. JEFES
MENOS DE 1	9
ENTRE 1 Y 5	28
ENTRE 6 Y 10	25
ENTRE 11 Y 15	29
ENTRE 16 Y 20	14
ENTRE 21 Y 25	10
MAS DE 26	10
TOTAL	125

RANGOS DE AÑOS CUYA ITA	No. JEFES
MENOS DE 1 AÑO	10
ENTRE 1 Y 5	37
ENTRE 6 Y 10	26
ENTRE 11 Y 15	10
ENTRE 16 Y 20	16
ENTRE 21 Y 25	21
MAS DE 26	6
LOTE	24
SIN HABITAR	26
S/I	10
TOTAL	186

RANGO DE AÑOS PATANO III	No. JEFES
MENOS DE 1 AÑO	2
ENTRE 1 Y 5	14
ENTRE 6 Y 10	7
ENTRE 11 Y 15	7
ENTRE 16 Y 20	4
ENTRE 21 Y 25	2
MAS DE 26	14
TOTAL	50

RANGO DE AÑOS PANTANO II	No. JEFES
MENOS 1 AÑO	17
ENTRE 1 Y 5	40
ENTRE 6 Y 10	20
ENTRE 11 Y 15	18
ENTRE 16 Y 20	16
ENTRE 21 Y 25	8
MAS DE 26	33
TOTAL	152

RANGO DE AÑOS PANTANO I	No. JEFES
MENOS DE 1 AÑO	1
ENTRE 1 Y 5	6
ENTRE 11 Y 15	1
ENTRE 16 Y 20	2
MAS DE 26	7
TOTAL	17

ALCALDÍA DE BUCARAMANGA
Municipio de Bucaramanga

Las personas preguntan por lo que podría suceder con los estudios porque Hay cambio de administración, se precisa que el estudio se termina antes del cierre de administración.
Expresan que los conflictos que se dieron por el retiro del gas fueron ocasionados por desinformación.
Preguntan que en Ciudad perdida hay viviendas que se encuentran predios del municipio y otras sin documentos, La supervisión indica que los predios del municipio serán verificados por el DADEP Y entre particulares sería un tema aparte.
Entre otras se solicita a los presentes que repliquen la información con veracidad.

5. Informes por sector e informe general
   Se elaboran 9 informes que contienen los aspectos más relevantes de la recopilación de la información que son aprobados y entregados, así como la elaboración del informe general presentado y aprobado.

3.18.3 Registro Fotográfico

1. Fotografías de campo reconocimiento de territorio



Figura 3.381 Fotografías tomadas por el equipo CI ambiental, recorridos en los territorios con alcaldía y con líderes de los sectores

2. Fotografías levantamiento información



Figura 3.382 Fotografías tomadas por el equipo CI ambiental, recorridos de campo para recolección de la información con acompañamiento de líderes

3. Elaboración de invitaciones

   Se elaboraron invitaciones para convocar a los líderes y que pudieran compartir por los diferentes grupos la información a las comunidades.

Señor (a) residente de Barrio Camilo Torres

Le estamos invitando a reunión el día 27 de enero del 2023
Hora: 6:30 p.m.
Lugar: Salón Comunal
El objetivo de la reunión es la presentación de el proceso que se adelanta para llevar a cabo estudios de riesgo de la zona

Objeto: "CONSULTORÍA PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN, Y AVENIDAS TORRENCIALES EN SECTORES PRIORIZADOS EN LAS COMUNAS CUATRO (CAMILO TORRES, CUYANITA, MILAGRO DE DIOS, ZARABANDA, Y CIUDAD PERDIDA) Y CINCO (PANTANO I, PANTANO II, Y PANTANO III) DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA"

ALCALDÍA DE BUCARAMANGA
Municipio de Bucaramanga

Su participación contribuye a construir escenarios de dialogo y de conocimiento

CI AMBIENTAL





Se cambia la fecha para el mes de agosto.
Se remite información para invitación a las líderes para la última reunión.

RE: Presentación Tercera Jornada de Socialización Cto. 379 - 2022

JM Juan Camilo Marrugo
Para: CONSORIO INTERVENTORIA AVR M&A <consorciointerventoria.avrmya@gmail.com> Mar 01/08/2023 10:20
CC: Lucy Bohorquez; Jesus Garcia; MARTHA CECILIA OSORIO LOPEZ <mosoriol@bucaramanga.gov.co>; jjbaezl@bucaramanga.gov.co
Cco: ERIKA NATALIA ARIZA CURREA <erika.ariza@mail.escuelaing.edu.co>; johnjairobaez@gmail.com; **y 1 más**

Buenos días.

Atentamente remitimos las direcciones de los líderes de las zonas de interés asociados al objeto del contrato 379 de 2022 para la emisión de invitaciones:

- Orfilia Buitrago- Cuyanita
Calle 28 N 1-84

- Alvaro Torres
Calle 35 A 10 cc 07
Pantano II

- Hamilton Quintero Lora
Calle 35 A 10W 32
Pantano II

- Juliana Zambrano
Cra 2 N No 25 16 MZ E Casa 18
Milagro de Dios

- Anayibe Cepeda
Calle 28 0-22
Ciudad Perdida

- Yosman Oses
Cra 8 occ 35-10
Pantano I

- María Cristina Rojas
Call 27 187 Casa 58
Zarabanda

- Robinson Carrillo
Calle 24 2c58

4. Fotografías primera socialización

<u>Comuna 4</u>




Figura 3.383 Primera Socialización Comuna 4

5. Fotografías segunda socialización

Comuna 4



Figura 3.384 Segunda Socialización Comuna 4

Comuna 5



Figura 3.385 Segunda Socialización Comuna 5Fotografías tercera socialización, tomadas por el equipo Ci Ambiental



Figura 3.386 Tercera socialización con los líderes en Alcaldía Municipal

4 CONCLUSIONES

4.1 CARTOGRAFÍA BASE DIGITAL Y MODELADO 3D

- Se realizó la recolección de datos en terreno planimétricos y altimétricos por medio de métodos topográficos de posicionamiento cinemático en tiempo real y corrección diferencial post procesados.
- Se fundieron en terreno un total de 6 mojones en concretos a los cuales se les realizo el trasladó de coordenadas de acuerdo a la resolución 643 del 2018.
- Se plasmaron en terreno un total de 23 puntos de control los cuales fueron esenciales al momento de realizar el proceso de calidad.
- Se procesó y analizó la información recolectada por medio de Software especializados y técnicas de ingeniería organizándola de forma entendible.
- Se plasmaron los resultados obtenidos en ortoimagenes, curvas de nivel, MDT, MDS, Planos y un informe detallado de la metodología emplea.
- Se realizaron en total 23 puntos de control distribuidos en diferentes partes de los polígonos de la Ortoimagemen, los cuales dan cumplimientos con el valor del RMSEr permitido a lo establecido en la Resolución No. 471 de 2020.
- Se realizaron en total 23 puntos de control distribuidos en diferentes partes de los polígonos del MDT, los cuales dan cumplimientos con el valor del RMSEz permitido a lo establecido en la Resolución No. 471 de 2020.

4.2 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

En los polígonos de las áreas de estudio que abarcan las comunas 4 y 5 del municipio de Bucaramanga, específicamente sobre los barrios Cuyanita, Zarabanda, Camilo Torres, Milagro de Díos, Ciudad Perdida, Pantanos 1, 2 y 3 se identificaron 11 unidades de geología para ingeniería, los cuales comprenden unidades de suelo que se asocian principalmente con los miembros de la Formación Bucaramanga, la de mayor predominancia con 23,68 hectáreas corresponde al Suelo transportado areno arcilloso del Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga (Staaob), seguida del Suelo transportado limo arcilloso del Miembro Limos Rojos de la Formación Bucaramanga (Stlalb) con 10,15 ha, en menor proporción el Suelo transportado limo arenoso del Miembro Finos de la Formación Bucaramanga (Stlafb) con 9,70 ha y Suelo transportado aluvial (Stal) que ocupa 4,83 ha y con menor área de ocupación las unidades de origen antrópico.

El miembro Órganos se logró subdividir en 2 facies, asociadas a la variación lateral del depósito, en este caso se diferenció un nivel con predominancia areno arcillosa y otro con estructura limosa, esta corresponde a la unidad más antigua o basal de la Formación Bucaramanga. Así mismo el miembro Gravoso a través de la exploración geotécnica directa se separó en 2 niveles un nivel más areno limoso o basal y otro limo arcilloso que lo suprayace, estas diferencias texturales permiten un comportamiento distinto ante la estabilidad y sus propiedades geotécnicas como cohesión. Según esto es necesario tener en cuenta ante la ocurrencia de movimientos en masa, no solo detonante agua, también el detonante sismo que, según las características del terreno con pendientes altas, las características geotécnicas de materiales no consolidados pueden movilizarse ante magnitudes o aceleraciones

sísmicas que se representan como agrietamientos, hundimientos en el terreno y evolucionan a movimientos en masa más profundos.

La intervención antrópica en el área de estudio además de modificar las formas del terreno juega un papel importante en la cartografía e identificación de los materiales, en ocasiones representa una limitante al momento de realizar los recorridos de campo, así mismo los materiales antrópicos que son dispuestos de manera no técnica en forma de adecuación de la superficie ocasionalmente puede ser propenso a afectarse por movimientos en masa de tipo deslizamiento o erosión.

Según las perforaciones realizadas en la exploración geotécnica se realizaron columnas estratigráficas a partir de las descripciones de los materiales identificados a profundidades entre 10 y 30 metros, estas columnas se correlacionaron según su cercanía y permitieron definir la premisa que las unidades de geología para ingeniería asociadas a la Formación Bucaramanga no son continuas o representan franjas homogéneas, sino que pueden verse heterogéneas sin continuidad con variaciones laterales que se representan en cambios de facies relacionados a su diferente textura. Las perforaciones 5, 6 y 8 evidenciaron un acuñamiento de los miembros Finos y Gravoso, lo que alteró la continuidad normal y distribución de los materiales.

Geomorfológicamente la zona de estudio se caracteriza por presentar laderas cóncavas que terminan en su parte alta con formas semicirculares en el borde que limita con la zona superior o superficies del abanico de Bucaramanga, es un indicio de antiguos procesos de erosión remontante (erosión que avanza hacia atrás o hacia el talud superior) que dejó cicatrices en el terreno, debido posiblemente a antiguos movimientos en masa, cuyos depósitos se pudieron preservar en algunos sectores o en otros fueron totalmente removidos (lavados) por erosión y transporte posterior.

Según el ambiente morfogenético de las formas del terreno se estableció la premisa de definir geoformas asociadas al ambiente denudacional a pesar de ser geoformas o materiales generados dentro de la evolución de las cuencas con un origen fluvial, en este caso debido a la presencia de procesos denudacionales predominantes que continúan modelando el Abanico de Bucaramanga. Es así como en el área de estudio se encontraron 17 elementos geomorfológicos con predominio del ambiente denudacional con una ocupación de 39,61 ha (66,13%), seguido por el ambiente fluvial que abarca 16,90 ha (28,22%) y finalmente el ambiente antropogénico con una ocupación de 3,38 ha (5,65%).

Se cartografiaron un total de 28 movimientos en masa de los cuales 13 fueron caracterizados a través de formatos de tipo inventario de MM (2) y catálogo de MM (11). Del total de procesos cartografiados, 10 son de tipo caída de detritos, y 18 corresponden a deslizamientos traslacionales principalmente localizados en los barrios Cuyanita, Camilo Torres y Zarabanda de la Comuna 4; cuatro movimientos de tipo caída de detritos y deslizamientos traslacionales en el barrio Ciudad Perdida (Divino Niño) de la misma comuna; seis procesos en los barrios Pantanos I, II y III de la Comuna 5. Según lo anterior se concluye que la mayor concentración de movimientos en masa se presenta en los barrios Cuyanita, Camilo Torres y Zarabanda de la Comuna 4, asociados a un proceso de erosión remontante de la quebrada Argelia o Cantera, que es posible que se encuentre en una etapa avanzada de erosión. Por otra parte, el área de los barrios Pantanos, es la segunda con mayor densidad de movimientos, localizados en la parte alta de la ladera sobre la margen izquierda de la quebrada Seca, el cual presentan evidencias de antiguas microcuencas denudacionales que reflejan la erosión regresiva de los cauces

aferentes a estas. Mientras que, el sector de Ciudad Perdida se encuentra topográficamente en una cima delimitada por nichos semicirculares asociados a antiguos procesos de carcavamiento generados por la erosión intensa y remontante (regresiva) en zonas con el suelo expuesto que ante las altas precipitaciones y que puede evolucionar a movimientos en masa cuando la erosión se intensifica.

4.3 COBERTURA Y USO DEL SUELO

El área llamada como el barrio la feria es el área que con mayor variación tendiendo al aumento del tejido urbano continuo, aunque es un terreno con fuertes pendientes esto no impide el crecimiento o expiación de la frontera urbana llevando a la disminución de la cobertura Arbustal denso, cobertura más importante de las encontradas en este sector, ya que en este tipo de coberturas se encuentran arbustos y árboles de pequeños a grandes tamaños los cuales presentan un comportamiento radicular fuerte y profundo lo cual brinda agarre y estabilidad al suelo y ayuda con la evapotranspiración del agua disminuyendo el nivel freático del mismo; esto se ha disminuido con la perdida de esta cobertura siendo remplazada principalmente por la cobertura de tejido urbano continuo, seguida por el tejido urbano discontinuo, coberturas que generan una sobre carga y un aumento en los volúmenes de descargas hídrica aumentando consigo el nivel freático del terreno.

Para el sector conocido como Ciudad Perdida el aumento de la cobertura tejido urbano continuo y discontinuo es debido a la disminución del Arbustal denso, mientras que para el sector Pantanos el aumento del tejido urbano continuo se debe a la disminución de las coberturas de Arbustal abierto esclerófilo, Herbazal abierto arenoso y Tierras desnudas y degradadas. Estas variaciones no son tan representativas ya que el aumento del tejido urbano continuo es pequeño 0.36 ha para el sector Ciudad Perdida y 0.859 ha para Pantanos, esto puede ser debido a la topografía del terreno ya que se trata de áreas de pendientes fuertemente pronunciadas, y que en conjunto con altas precipitaciones se pueden presentar problemas de inestabilidad.

4.4 EXPLORACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA

En el marco del proyecto se ejecutó un total de veintiocho (28) perforaciones distribuidas en ocho (8) perforaciones de entre los 15.00 y 25.00 m de longitud, numeradas como CI-P-01 a CI-P-06, CI-P-08 y CI-P-09, en las que se distribuyó un total de 160 m de avance por rotación en el sistema WireLine, y veinte (20) perforaciones que fluctúan entre los 3.00 y 4.00 m de longitud, identificadas de la CI-S-01 a la CI-S-20, en las que se distribuyó un total de 106 metros de avance por sondeos manuales a percusión.

El sistema de exploración que se implementó permitió la recuperación de muestras de suelo suficientes y aptas para las pruebas de laboratorio que permiten su clasificación y su caracterización mecánica. Con esto se logran suficientes y óptimos elementos para realizar la parametrización de las unidades de suelo exploradas.

Las muestras de suelo recuperadas en las perforaciones ejecutadas fueron objeto de descripción, registro fotográfico, embalaje, protección y transporte adecuados, en conformidad de lo dispuesto por la Entidad. El grupo de testigos que se destinó a las pruebas de laboratorio fue trasladado al laboratorio de suelos de CI Ambiental, en Bogotá.

Las pruebas de refracción sísmica y ensayo Downhole permitieron la medición de velocidades de onda compresional y cortante de los estratos en profundidad, lo cual se aprovechó a su vez para asociar a los estratos parámetros elásticos y definir perfiles en profundidad de los refractores encontrados.

En las Tomografías realizadas se muestra una distribución de valores de resistividad eléctrica en profundidad y lateralmente que se puede agrupar en diez unidades:

- Unidad 1: Es una Unidad geológica Superficial correspondiente a Suelos transportados areno arcillosos del miembro Órganos de la Formación Bucaramanga (Staaob), con valores de resistividad entre 136 y 791 ohm-m. Entre los 0 y 7 m de profundidad.

- Unidad 2: Es una Unidad Geológica más profunda, situada bajo la anterior, correspondientes a arenas y arcillas del miembro Órganos de la Formación Bucaramanga, con valores entre 42 a 75 ohm-m. Se encuentra entre los 7 y más de 20 m de profundidad.

- Unidad 3: Es una Unidad geológica Superficial correspondiente a Suelos transportados limo arcillosos del miembro Finos de la Formación Bucaramanga (Stlafb), con valores de resistividad entre 58 y 458 ohm-m. Entre los 0 y 10 m de profundidad.

- Unidad 4: Es una Unidad geológica Superficial correspondiente a Suelos transportados coluviales (Stco), con valores de resistividad entre 458 y 765 ohm-m. Entre los 0 y 3 m de profundidad.

- Unidad 5: Es una Unidad Geológica más profunda, situada bajo la anterior, correspondientes a bloques y gravas del miembro Gravoso de la Formación Bucaramanga, con valores entre 765 a 1279 ohm-m. Se encuentra entre los 3 y más de 20 m de profundidad.

- Unidad 6: Es una Unidad Geológica más profunda, situada bajo la anterior, correspondientes a limolitas y arenitas compactas de la Formación Bucaramanga, con valores mayores a 1279 ohm-m. Se encuentra entre los 5 y más de 20 m de profundidad.

- Unidad 7: Es una Unidad geológica Superficial correspondiente a Suelos transportados arcillosos y arenosos del miembro Gravoso de la Formación Bucaramanga (Stagb), con valores de resistividad entre 15 y 186 ohm-m. Entre los 0 y 7 m de profundidad.

- Unidad 8: Es una Unidad Geológica más profunda, situada bajo la anterior, correspondientes a bloques y gravas del miembro Gravoso de la Formación Bucaramanga, con valores entre 186 a 644 ohm-m. Se encuentra entre los 7 y más de 20 m de profundidad.

- Unidad 9: Es una Unidad geológica Superficial correspondiente a Suelos transportados limos arcillosos del miembro Limos Rojos de la Formación Bucaramanga (Stlalb), con valores de resistividad entre 65 y 326 ohm-m. Entre los 0 y 10 m de profundidad.

- Unidad 10: Es una Unidad Geológica más profunda, situada bajo la anterior, correspondientes a arcillas, limos y arenas de la Formación Bucaramanga, con valores entre 13 y 326 ohm-m. Se encuentra entre los 7 y más de 20 m de profundidad.

En las Tomografías 1 y 5, realizadas en sentido W-E, se advierte una posible zona de falla o deslizamiento de mayor riesgo.

El nivel freático fue posible interpretarlo en las tomografías 1,3,4 y 5. En las Tomografías 1 y 3, el nivel está entre 5 y 6 m de profundidad, mientras que en las tomografías 4 y 5 se encuentra entre 5 y 10 m, y 5 y 15 m de profundidad, respectivamente. En la Tomografía 2 no se detecta con claridad el nivel freático. Posiblemente está por debajo de 20 m.

Respecto a los ensayos de laboratorio, se logró llevar a cabo el 100% de los ensayos contratados para muestras recuperadas durante la exploración.

Los ensayos ejecutados permitieron caracterizar los materiales en cuanto a su clasificación, propiedades mecánicas, propiedades de esfuerzo-deformación y propiedades dinámicas. Estos valores serán fundamentales para la definición de modelos geotécnicos en etapas posteriores, para la definición de la amenaza por movimientos en masa y para la verificación de las estructuras geotécnicas que se propongan en el marco del riesgo encontrado para las diferentes zonas.

4.5 HIDROLOGÍA

De acuerdo con la espacialización de las estaciones climatológicas más cercanas al área de estudio que cumplen con los criterios mínimos; exigidos por las normativas vigentes para el procesamiento de datos de precipitación. Se opta por emplear la estación pluviográfica de frecuencia diaria del IDEAM codificada como 23190590-LA FLORESTA y 23190830 - BUCARAMANGA IDEAM, la cual cuenta con un registro continuo de datos de precipitación desde 1973 hasta el 2022.

A nivel anual la precipitación en el área de estudio tiene un comportamiento bimodal, es decir presenta dos temporadas de invierno que se desarrollan entre marzo-mayo y septiembre-noviembre y las temporadas de sequía se dan entre junio-agosto y diciembre-enero.

El análisis estadístico de precipitación se llevó a cabo mediante la herramienta computacional HidroEsta 2, desarrollado por la escuela de Ingeniería Agrícola del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

De la cual se concluye que la mejor distribución que se ajusta a los datos de precipitación máxima promedio anual en 24 horas a nivel multianual es la distribución Normal.

Los caudales calculados en los diferentes periodos de retorno para las áreas de influencia de la comuna 4 y 5 en los asentamientos urbanos CAMILO TORRES, CUYANITA, MILAGRO DE DIOS, ZARABANDA, Y CIUDAD PERDIDA, PANTANO I, PANTANO II, Y PANTANO III se observan en la siguiente tabla

Fuente	Q Tr 2.33 m/s	Q Tr 5 m/s	Q Tr 10 m/s	Q Tr 25 m/s	Q Tr 50 m/s	Q Tr 100 m/s	Q Tr 500 m/s
Pantano 1	1.32	1.69	2.04	2.56	3.01	3.51	4.93
Pantano 2	1.44	1.82	2.19	2.73	3.20	3.73	5.22
Pantano 3	0.85	1.09	1.31	1.64	1.93	2.25	3.17
Comuna 4	2.24	2.92	3.57	4.54	5.38	6.32	9.01
Ciudad Perdida 1	0.83	1.13	1.42	1.86	2.25	2.68	3.93
Ciudad Perdida 2	0.33	0.45	0.56	0.73	088	1.04	1.52
Ciudad Perdida 3	0.21	0.30	0.38	0.50	0.61	0.74	1.09

4.6 HIDROGEOLOGÍA

- Estudios realizados por Duran, en la que realiza una detallada recolección de pozos y aljibes existentes en Bucaramanga, Duran, el autor genera un modelo de flujo de la dirección del agua

subterránea, encontrando que la dirección de va de oriente a occidente, llegando al Río de Oro, ubicado en la parte occidental de la Meseta de Bucaramanga.

- El anterior estudio corresponde a un buen punto de partida para el modelo hidrogeológico regional de la meseta de Bucaramanga. Para la zona de estudio se identificaron un acuífero superficial y un acuífero profundo. Es importante destacar, que los estudios hidrogeológicos han mostrado que el acuífero superficial, es el causante de un porcentaje importante de los problemas de inestabilidad detectados en las zonas.

- Un primer muestreo realizado entre 2002 y 2003 (Gómez & Anaya, 2004) permitió observar que la recarga a los acuíferos de Bucaramanga proviene principalmente de la zona de la montaña (alturas mayores a 1800 msnm).

- Un aspecto importante de destacar es que la principal unidad hidrogeológica del sector corresponde al miembro gravoso y el miembro órganos, correspondientes al acuífero superficial. Los análisis y estudios han demostrado que el flujo se presenta de oriente a occidente, y destacándose el hecho que algunos investigadores han detectado un abatimiento importante en sectores aledaños a los lavaderos de carro.

- La recarga debido a la precipitación es relativamente baja, pero la presencia de agrietamientos en el terreno, y la actividad antrópica han ocasionado que el efecto de la lluvia sea un factor determinante en la estabilidad de las laderas.

- Para efectos del modelo hidrogeológico local, haremos uso del método propuesto por el SGC (2016), el cual considera que los niveles freáticos son afectados por dos condiciones particulares:

    - Se asume un incremento del nivel freático debido a lluvias antecedentes por lo que se lleva a cabo un análisis de los valores de precipitación anual y a partir del número de curva de las áreas del proyecto se definen los valores de lluvia infiltrada. Estos valores de lluvia infiltrada son entonces asociados a cambios del nivel freático, por lo que a partir de ellos datos anuales se definen valores estimados de variación y se asume una distribución normal de la ubicación del nivel freático.

    - Adicional al anterior se considera un aumento del nivel freático debido a lluvias continuas por duración de 24 horas. Estas lluvias son estimadas a partir de las IDF para el proyecto.

    - La anterior información se combina con el estimado de la profundidad de aguas freáticas encontrado en la exploración o en las tomografías eléctricas.

- Los anteriores valores permitieron generar un modelo hidrogeológico local, que fue utilizado para los diferentes escenarios de amenaza utilizados.

4.7 DIAGNÓSTICO DE OBRAS DE MITIGACIÓN EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Dentro de la información previa suministrada para la revisión, no se encontraron estudios y diseños de ninguna de las estructuras existentes, por lo que no fue posible corroborar la correspondencia entre lo construido y lo diseñado inicialmente.

Ninguno de los estudios y diseños ejecutados entre 2015 y 2016 como obras de contención, pantallas ancladas, muros sobre pilotes se encuentra construido dentro de la zona de evaluación.

Por la tipología de obras encontradas no fue posible realizar ensayos de núcleos de concreto y esclerometría.

En algunas obras de mitigación el acceso restringido por el cerramiento de seguridad con malla no permitió una inspección más cercana, así mismo, las condiciones de pendiente y altura de las obras no permitía llegar a la toma de medidas exactas de fisuras elevadas.

No se han atendido en su totalidad las recomendaciones dadas en los informes de visita de 2020, que sugieren limpieza y sellado de las fisuras existentes, limpieza de material de origen antropogénico y mantenimiento rutinario.

No se realiza mantenimiento periódico de las obras de mitigación, permitiendo el crecimiento de material vegetal excesivo, generación de fisuras y humedades en aumento.

Se deben proveer obras de mitigación que controlen los efectos presentes por la falla de estructuras por el fenómeno de remoción en masa que se presentó desde el mes de marzo de 2023.

La tubería de alcantarillado existente en las comunas 4 y 5, es muy artesanal, construida por los habitantes del sector, con profundidades variables de acuerdo a las condiciones topográficas del sector, la cual se encuentra muy deteriorada y en la generalidad de los casos el agua negra que transporta se infiltra hacia el terreno natural.

La práctica común es la de conectar estas tuberías de alcantarillado (4 pulgadas), se han conectado a los sistemas de drenajes de las obras de control de erosión y conducción de los drenes que la CDMB construyó. En muchos casos las aguas residuales se vierten directamente a los taludes. Esto es muy grave, ya que estas aguas generan un fenómeno de reblandecimiento del material, con lo que, se incrementa la probabilidad de falla del talud.

El fenómeno es muy complejo, ya que los barrios no se encuentran legalizados y, por ende, EMPAS, no les presta ningún tipo de servicio. Es importante destacar por otro lado, que los habitantes de la comuna 5, pagan este servicio, pero a la hora de solicitar el mantenimiento de las redes, no les solucionan el problema. Las empresas de servicios públicos no tienen construidas redes de distribución para el caso de acueducto y en el caso de alcantarillado se han conectado a los sistemas de drenajes de las obras de control de erosión y conducción de los drenes que la CDMB construyó hace muchos años.

Otro fenómeno usual en la zona es el uso de canaletas para la evacuación de las aguas negras, fenómeno más comúnmente visto en la comuna 4.

Se deberán seguir las indicaciones del estudio de geotecnia que garantice la evaluación de estabilidad de la zona de estudio.

4.8 ANÁLISIS DETALLADO DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA

- La información de topografía, geología, geomorfología, etc. Permitió hacer una caracterización de laderas homogéneas o Unidades Geotécnicas Homogéneas que permitieron generalizar

resultados obtenidos para perfiles específicos. En total se definieron 15 tipos de unidades, claramente descritas según los criterios de su espacialización.

- Los resultados de ensayos de laboratorio y de campo permitieron obtener parámetros geomecánicos para los materiales encontrados por la etapa de geología.
- El método de talud infinito permitió obtener resultados de probabilidad de falla a nivel de pixeles, los cuales fueron obtenidos a partir de involucrar la incertidumbre de los valores de los parámetros, y asignando los valores de probabilidades de los detonantes.
- Los modelos geológico-geotécnicos de los perfiles de estudio fueron analizados mediante software de estabilidad por equilibrio límite rotacional bidimensional, obteniendo valores de probabilidad de falla para las superficies de falla críticas. En general este método arrojó valores de probabilidad de falla mayores a los de talud infinito.
- La combinación entre los valores representativos de probabilidades de falla por talud infinito y los valores de probabilidad de falla por equilibrio límite en dos dimensiones arrojó resultados asociables a las UGH que fueron espacializados. A partir de estos resultados se zonificaron y caracterizaron los diferentes niveles de amenaza para los sectores a tiempos de exposición de 1, 10 y 50 años.
- Modelaciones mediante software de análisis en tres dimensiones corroboraron los resultados obtenidos por los métodos de talud infinito y equilibrio límite en dos dimensiones para la zona del movimiento de la Feria.
- A partir de los resultados de análisis de equilibrio límite se definieron parámetros de intensidad de los movimientos, como valores de distancia de viaje, profundidad de movimiento, magnitud, que corresponden a insumos imprescindibles para la obtención de la intensidad.

4.9 Análisis Detallado de Amenaza de Inundación

Se evidencio para los diferentes asentamientos que la intervención antropológica a través de edificaciones, caminos, vías y canales ha modificado de forma drástica la morfometría de drenajes existentes anteriormente y que debido a ello no es posible realizar un análisis convencional de amenaza por inundación según los parámetros establecidos por la resolución 1294 de 2009 de la CDMB.

El análisis de inundación se centró en establecer las principales zonas por las cuales transitan las aguas de escorrentía provenientes de taludes adyacentes a los asentamientos y de los tejados mismos de las viviendas. Estos análisis permitieron evidenciar la necesidad de proyectar obras de alcantarillado en los asentamientos Pantano I, Pantano III y Divino Niño, así como también la necesidad de un estudio más detallado sobre el funcionamiento del alcantarillado existente en los asentamientos Pantano II y Comuna 4.

4.10 Análisis Detallado de Amenaza por Avenida Torrencial

En las áreas directas objeto del estudio no existe evidencias geomorfológicas ni procesos activos de áreas aportante de carga de sólidos. Las áreas corresponden a desarrollos urbanísticos que han modificado las geoformas por lo que la escorrentía se realiza por medio de los andenes, escaleras y zonas duras de los asentamientos, que han impermeabilizado los suelos. Teniendo encuentra lo consignado en el Decreto 1077 de 2015 artículo 2.2.2.1.3.2.1.3, en el que se describen las condiciones

técnicas para estudios de avenida torrencial, y donde se resalta que los estudios a escala detallada solo serán realizados en las áreas de drenaje donde se evidencie condiciones de torrencialidad.

La susceptibilidad para toda el área de estudio de los asentamientos de Divino Niño, Pantanos y sector la Feria se obtiene valores de significancia debido a las altas pendientes. En la zona urbanizada objeto del presente AVR, se obtienen valores de susceptibilidad de bajo y media.

Teniendo en cuenta que la zona objeto de estudio corresponden a áreas ubicadas en la parte más alta e iniciación de las cañadas, y por la intervención antrópica del sector que han modificado las geoformas y no se tienen definidos cauces, la amenaza por avenidas torrenciales se determina por la susceptibilidad de las áreas.

4.11 ANÁLISIS DE AMENAZA ORIGEN TECNOLÓGICO

En el sector de Pantano I, se puede observar la predominancia de áreas con una susceptibilidad media a sufrir eventos de origen tecnológico (incendios, fugas y explosiones) con un porcentaje de 92.02% con relación a las áreas identificadas de las viviendas. En segundo orden, se encuentran las áreas con una susceptibilidad baja a este tipo de fenómenos con un porcentaje de 7.98%.

En el sector de Pantano II, se puede observar la predominancia de áreas con una susceptibilidad media a sufrir eventos de origen tecnológico (incendios, fugas y explosiones) con un porcentaje de 63.87% con relación a las áreas identificadas de las viviendas. En segundo orden, se encuentran las áreas con una susceptibilidad baja a este tipo de fenómenos con un porcentaje de 23.31%. Por último, se identifica un porcentaje de 12.83% asociado a zonas con una susceptibilidad alta.

En el sector de Pantano III, se puede observar la predominancia de áreas con una susceptibilidad media a sufrir eventos de origen tecnológico (incendios, fugas y explosiones) con un porcentaje de 60.21% con relación a las áreas identificadas de las viviendas. En segundo orden, se encuentran las áreas con una susceptibilidad baja a este tipo de fenómenos con un porcentaje de 33.94%. Por último, se identifica un porcentaje de 5.84% asociado a zonas con una susceptibilidad alta.

En el sector de Camilo Torres y Zarabanda, se puede observar la predominancia de áreas con una susceptibilidad media a sufrir eventos de origen tecnológico (incendios, fugas y explosiones) con un porcentaje de 62.46% con relación a las áreas identificadas de las viviendas. En segundo orden, se encuentran las áreas con una susceptibilidad baja a este tipo de fenómenos con un porcentaje de 24.45%. Por último, se identifica un porcentaje de 13.09% asociado a zonas con una susceptibilidad alta.

Se evidenció que en el sector de análisis Nápoles, existe la predominancia de áreas con una susceptibilidad media a sufrir eventos de origen tecnológico (incendios, fugas y explosiones) con un porcentaje de 53.50% con relación a las áreas identificadas de las viviendas. En segundo orden, se encuentran las áreas con una susceptibilidad baja a este tipo de fenómenos con un porcentaje de 22.88%. Por último, se identifica un porcentaje de 22.62% asociado a zonas con una susceptibilidad alta.

Se evidenció una predominancia de áreas con amenaza baja (83.89% respectivamente) respecto a eventos de origen tecnológico. En menor proporción, se identifican zonas con categoría media (16.10%)

teniendo en cuenta la poca influencia de las variables estudiadas en esas áreas. Por último, no se identifican zonas con amenaza alta por origen tecnológico en el sector de Pantanos I.

Se evidenció una predominancia de áreas con amenaza baja (65.98% respectivamente) respecto a eventos de origen tecnológico. En menor proporción, se identifican zonas con categoría media (34.00%) teniendo en cuenta la poca influencia de las variables estudiadas en esas áreas. Por último, se identifican zonas con amenaza alta por origen tecnológico en el sector de Pantanos II (1.54%).

Se evidenció una predominancia de áreas con amenaza baja (63.73% respectivamente) respecto a eventos de origen tecnológico. En menor proporción, se identifican zonas con categoría media (32.27%) teniendo en cuenta la poca influencia de las variables estudiadas en esas áreas. Por último, no se identifican zonas con amenaza alta por origen tecnológico en el sector de Pantanos III.

Se evidenció una predominancia de áreas con amenaza media (50.11% respectivamente) respecto a eventos de origen tecnológico. En menor proporción, se identifican zonas con categoría baja (47.24%) teniendo en cuenta la poca influencia de las variables estudiadas en esas áreas. Por último, se identifican zonas con amenaza alta por origen tecnológico en el sector de Camilo Torres y Zarabanda (2.65%).

Se evidenció una predominancia de áreas con amenaza media (56.03% respectivamente) respecto a eventos de origen tecnológico. En menor proporción, se identifican zonas con categoría baja (35.84%) teniendo en cuenta la poca influencia de las variables estudiadas en esas áreas. Por último, se identifican zonas con amenaza alta por origen tecnológico en el sector de Nápoles (8.13%).

Considerando los análisis y la zonificación de la amenaza por origen tecnológico se recomienda la implementación de medidas de mitigación no estructurales, iniciando por la concientización de la población respecto al uso, manejo y distribución de los elementos que puedan originar este tipo de eventos como la manipulación y consideración de implementación de tanques de gas así mismo, regular y controlar el aislamiento de las redes eléctricas en las distancias detalladas por la normatividad vigente con relación a las edificaciones. Finalmente, se requiere la reducción de los entes de propagación como focos los cuales están influenciados por la necesidad de regulación de las actividades de comercio relacionadas en las viviendas evitando o disminuyendo entes que pueden propagar a mayor velocidad la extensión de los eventos de análisis.

4.12 EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD

4.12.1 Evaluación de Vulnerabilidad Física

- La evaluación de los elementos expuestos permitió la caracterización de las viviendas y edificaciones encontradas dentro del área de estudio, así como las líneas vitales que se encuentran en los sectores de interés.
- Las edificaciones se identificaron mediante visitas al sector, con registro fotográfico mediante ingreso a las mismas, y diligenciando el formato designado para ello. En general se encontró una predominancia de viviendas de construcción informal o “autoconstrucción”, es decir, sin supervisión por profesionales del área de la construcción; tipologías constructivas que en su mayoría estaba compuesta por edificaciones en mampostería en general con confinamiento

deficiente, aunque con algún porcentaje de mampostería confinada, e incluso se logró identificar existencia de construcciones con sistema improvisado.

- Particularmente para las líneas vitales, la red vial en general fue transitable por los encuestadores. La información de redes de acueducto y alcantarillado se tomó a partir de las indicaciones de los habitantes de las diferentes zonas y de las evidencias en superficie. La red eléctrica al ser aérea fue más fácil de identificar, en particular por el equipo de topografía. En el caso de la red de gas, se recibió información georreferenciada de parte de la empresa prestadora del servicio de gas (Vanti), en la que se incluía el diámetro y material de cada tramo.
- En cuanto a la fragilidad de las edificaciones se encontró que la fragilidad en general resultó con valores altos, lo cual era de esperarse por cuenta de las tipologías de construcción utilizadas, y en menor medida por los índices de daño encontrados. De igual forma la fragilidad de las líneas vitales fue alto en general.
- La intensidad por movimientos en masa para las edificaciones se involucró mediante la consideración de profundidades, velocidades y distancia de viaje de los movimientos, configurando en general una intensidad alta para los elementos, como era de esperarse por los resultados anteriores de la amenaza por este fenómeno. Se encontró de igual forma una intensidad alta para la mayoría de las líneas vitales.
- La intensidad por inundación arrojó valores altos en ciertas zonas en que el flujo acumulaba velocidades importantes, siendo este factor más predominante que la profundidad.
- En cuanto a la intensidad por avenida torrencial, en general fue bajo el efecto de este fenómeno, y se concentró en elementos particulares, como aquellos cercanos a las zonas de movimientos (p.e. La Feria).
- La vulnerabilidad por movimientos en masa de edificaciones y personas presentó valores que en general se ubicaban en un rango alto, utilizando la metodología propuesta por el SGC. Se concluye que este fenómeno es el más influyente en los sectores estudiados, por encima de la inundación y avenida torrencial. Se espera una gran afectación en la mayoría de las edificaciones y habitantes de darse eventos de movimientos en masa, como fue el caso del evento de La Feria. En general los resultados entre el uso o no del índice de fragilidad por edad o arrojaron valores muy similares, porque se omitieron los resultados en que no se incluía este factor. Situación similar se reflejó en las líneas vitales.
- La vulnerabilidad por inundación arrojó valores menos imponentes que los obtenidos por el fenómeno de movimientos en masa, sin embargo, se estima que este tipo de eventos podrían tener efectos importantes sobre algunas viviendas (y sus habitantes) cercanas a los flujos, particularmente en la comuna 4. Las líneas vitales en particular al ser los elementos de conducción de las inundaciones se vieron afectadas en una medida importante por este fenómeno.
- La vulnerabilidad por avenida torrencial arrojó los valores más bajos respecto a las demás amenazas, lo cual también era de esperarse dada la poca incidencia de este fenómeno, tanto en edificaciones y personas como para líneas vitales.
- Como medida de disminución de la vulnerabilidad estructural de las viviendas se propone el mejoramiento de su comportamiento mediante una intervención al sistema estructural, para la intervención técnica y estructural se tiene como referente el nuevo documento AIS-410-23 expedido por la Asociación de Ingeniería Sísmica en colaboración con la organización

internacional Build Change, con presencia en Colombia, el cual da los lineamientos para la Evaluación y Reducción de Vulnerabilidad Sísmica en Viviendas de Mampostería, el cual está indicado para ser usado en viviendas de origen informal cuyo sistema estructural principal es en mampostería y tienen una altura de hasta tres pisos, el cual fue incluido al Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes – NSR-10 mediante el Decreto 1401 del 25 de agosto de 2023, para los efectos de la aplicación de dicho documento la Alcaldía de Bucaramanga podrá utilizar herramientas de financiación como el subsidio de "Casa digna-Vida digna" establecido en el Decreto 867 del 17 de mayo de 2019, en cuyo artículo 2.1.1.7.8 – Condiciones de las intervenciones de mejoramiento, se encuentran las de reforzamiento estructural y mitigación de vulnerabilidad, y que en el artículo 2.1.1.7.10 – Valor del subsidio de vivienda, se determina que "El valor del subsidio familiar de vivienda de interés social para áreas urbanas que otorgue FONVIVIENDA, con cargo a los recursos del Presupuesto General de la Nación en la modalidad de mejoramiento en el marco del Programa "Casa Digna, Vida Digna", será otorgado por un valor equivalente hasta dieciocho (18) salarios mínimos legales mensuales vigentes."

4.12.2 Evaluación de Vulnerabilidad Social

- De la información y análisis de datos se puede inferir que las familias encuestadas, tienen acceso a los diferentes servicios agua, luz, gas, alcantarillado y recolección de basuras. Sin embargo, es importante subrayar que los servicios públicos a los que acceden son a través de las empresas de servicios, pero en otros casos son accesos a servicios son mediante pila comunitaria, alcantarillado artesanal, el gas a través de pipeta y la recolección de basuras se da en acopio de un punto. En tal sentido avanzar en el cubrimiento de acceso a los servicios en un 100% de manera oficial es preponderante.
- Dentro de los diferentes barrios se encuentran personas con algún tipo de discapacidad lo que requiere que se realice la referenciación que permita tener alternativas para lograr la evacuación segura si se llegaran a presentar situaciones de emergencia.
- Es importante que se puedan adelantar actividades de formación en temas de gestión del riesgo que logren que la comunidad cuente con las herramientas para responder a posibles situaciones de emergencia que se puedan presentar.
- La participación de las comunidades es baja por lo que es importante promover acciones de consolidación y participación que lleve a que las relaciones y promoción de los lazos a su interior sean fortalecidos en función del desarrollo de los barrios.

4.13 Evaluación del Riesgo

- A partir de los resultados anteriores de amenaza y vulnerabilidad para cada uno de los fenómenos considerados fue posible establecer el riesgo y pérdida monetaria y en vidas humanas probables para todos los sectores del área de estudio.
- Los resultados de riesgo por movimientos en masa mostraron los valores más altos de riesgo, siendo predominantemente alto y con valores altos de pérdida esperada tanto de los bienes físicos como de vidas humanas. Si bien estos resultados fueron más marcados para la temporalidad de 50 años, para una temporalidad de 10 años también la pérdida fue sustancial y el riesgo fue de categoría medio en su mayoría. Los resultados son acordes a los resultados

de amenaza y a la realidad que viven los sectores en estudio, en particular si se considera lo ocurrido en el sector de La Feria.

- El riesgo evaluado por inundación mostró resultados intermedios, con valores altos y medios en algunos predios, pero predominantemente riesgo bajo, lo cual estaba de acuerdo con la forma en que se presenta el fenómeno en la zona que sólo se da por la acumulación local de flujo y no por desborde de cuerpos de agua cercanos.
- El riesgo por avenida torrencial fue prácticamente bajo, lo cual está en concordancia con lo esperado para la zona, puesto que no es un fenómeno que se crea pueda afectar a los sectores. Algunos predios se situaron en categoría media, en particular por su ubicación dentro de áreas que se encontraron más susceptibles al fenómeno, pero que en definitiva fueron casos aislados.
- Las alternativas de mitigación del riesgo propuestas para la Comuna 4 se revisaron con el fin de poder dar una solución al sector. No se consideró en este informe los resultados propios para la zona del deslizamiento de La Feria, pues se entregó un informe aparte para el sector. Las obras de la alternativa seleccionada incluyen la implementación de micropilotes y manejo de control de agua superficial.
- Las alternativas de mitigación del sector de Ciudad Perdida contemplaron la ejecución de micropilotes, anclajes, malla de resistencia a la tracción y subdrenaje.
- La alternativa seleccionada para la zona de Comuna 5 (Pantanos) incluyó la implementación de obras como micropilotes, subdrenes y anclajes.
- En cuanto al riesgo mitigable, la tercera alternativa en cada caso correspondió al reasentamiento de las viviendas en riesgo alto. Se encontró que para la zona de Comuna 4 y Pantanos el riesgo se categoriza como mitigable al ser el reasentamiento de mayor costo que la implementación de obras. Mientras que para la zona de Ciudad Perdida las viviendas en riesgo Alto se categorizaron como de riesgo no mitigable, pues las alternativas contempladas fueron ambas más costosas que la alternativa de reubicación. Es de recordarse que también deben considerarse costos adicionales que permitan el control en la zona que evite que nuevas personas se asienten en los sectores que se disponen a ser reubicados.
- Una vez designadas las obras de cada sector, se procedió a determinar la amenaza con obras. Se observa una disminución de la categorización de riesgo en todos los tiempos de exposición considerados, aunque en algunos sectores el valor de amenaza se mantuvo en alto para el tiempo de exposición de 50 años. No obstante, es de resaltar que, si bien la categorización no bajó, sí hubo una reducción de la probabilidad de falla.
- La vulnerabilidad con obras, sin embargo, no tuvo un impacto por las obras. Esto en general se debe a que, si bien se reducen algunos de los parámetros de la intensidad, lo cierto es que la fragilidad es bastante alta para el sector y las obras no cambiaron en gran medida la forma de las superficies críticas, por lo que se mantuvo prácticamente invariante.
- El riesgo con obras por su parte mostró una notable mejora por cuenta de la fluctuación de la amenaza, el cual era el enfoque de las obras propuestas. Así las cosas, si bien se percibe la posibilidad de pérdidas materiales y de vidas humanas, se logró reducir a valores bastante menores a los que se tenían para la condición sin obras, logrando que en general la categoría de riesgo se encontrase en valores de bajo en general.

4.14 DISEÑO DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN

- La implementación de medidas de mitigación de medidas de mitigación en la zona de estudio es altamente compleja debido a la alta densidad de viviendas en el sector, que restringen la construcción de obras tales como anclajes y/o muros, motivo por el cual las obras propuestas se han definido en su mayoría en las zonas peatonales.
- Para garantizar la estabilidad tanto de la comuna 4, como de la comuna 5, se hace imprescindible la implementación de una serie de medidas de mitigación, dentro las que se destacan el manejo de las aguas superficiales, y la construcción de micropilotes de 0,30 metros de diámetro y longitud variable entre 25 y 35 metros de longitud. En todos los casos se ha garantizado que estos elementos queden por debajo de la superficie de falla potencial.
- Como medida complementaria y la presencia de viviendas así lo permitan se han definido la construcción de drenes de penetración, orientados al abatimiento del nivel freático. Esta medida deberá ser complementada con la evaluación de todo el sistema de acueducto y alcantarillado del sector, ya que la presencia de fugas, conducirán inexorablemente a perdida de resistencia del material y eventualmente a la generación de fallas locales, en viviendas, los cuales se tradujeran en agrietamientos y hundimientos de estas.
- Desde el punto de vista hidráulico se han definido todo un sistema de canales orientados precisamente a la conducción de las aguas lluvias, y en algunos casos, se ha visto la necesidad de utilizar las escalinatas como canales de evacuación, debido precisamente a las limitaciones de espacio del sector.
- Para las dos comunas se propone una mejora urbanística mediante la optimización del manejo del espacio público, siguiendo los lineamientos del manejo del espacio expresados en el Manual de Manejo de Espacio Público de Bucaramanga. Se reitera nuevamente, que las limitaciones de espacio restringieron de manera considerable esta actividad.
- Teniendo en cuenta que las áreas que drenan hacia las canaletas propuestas se encuentran totalmente intervenidas y la escorrentía superficial se realiza utilizando los peatonales y las escaleras de accesos, como se evidenció en el modelo de acumulación de flujos, estos canales artificiales construidos por la comunidad entregarán la escorrentía directamente a las estructuras de disipación diseñadas. La parte del asentamiento de Camilo Torres que no será afectado por las obras recomendadas, entregaran sus aguas de escorrentía a la canaleta 9 (Rápida 3). El asentamiento Zarabanda, Milagro de Dios y una parte de la Cuyanita entregaran las aguas de escorrentía a la canaleta 13 (Rápida 4). La otra parte del asentamiento de la Cuyanita entregará la escorrentía superficial a la canaleta 39 (Rápida 9).
- La entrega de la escorrentía superficial se recomienda se haga de forma directa, adecuando o arreglando el último tramo del peatonal o escalera con una canaleta de ancho variable (según la sección del peatonal) y una altura de muro de mínimo 0,50 m.
- Teniendo en cuenta que las áreas aledañas a las estructuras de control pluvial están pobladas, se recomienda la construcción de baranda metálica para evitar el acceso de la gente a las estructuras y de esta forma evitar accidentes.
- Los canales perimetrales tendrán sección transversal de ancho 0,50 m y altura de 0,70 m.

- Los canales de aproximación a las estructuras escalonadas tendrán sección transversal de ancho 1,2 m y altura de 0,80 m.
- Las estructuras escalonadas tendrán sección transversal de ancho 1,2 m y altura de muro de 1 m. La altura de cada contrahuella es de 1 m y la distancia mínima de la huella será la estipulada para cada estructura (Le). La altura de la solera al final de cada huella será mínimo el valor para cada estructura (dc).
- Las estructuras escalonadas tendrán un canal al final de longitud de 3,5 m.
- La estructura de rápida escalonada del sector de Ciudad Perdida tendrá un canal al final de la rápida de longitud 3,5 m. La altura de cada contrahuella será de 0,15 m.
- Los canales después de las estructuras escalonadas y la rápida escalonada de tendrán un terminado en enrocado.

4.15 Identificación Predial y Aclaraciones de la Propiedad

Se identificaron lotes con números prediales asociados a la matrícula inmobiliaria 300-284749, que corresponde a un lote de mayor extensión con propiedad constituida en común y proindiviso. Gran parte de la comunidad se encuentra ubicada en el asentamiento humano Milagro de Dios.

Se mencionan numerosas matrículas inmobiliarias que identifican propiedades dentro de los asentamientos, incluyendo información detallada sobre los propietarios, números prediales, y direcciones.

Históricamente no existen referencias de propiedad en el sector de Zarabanda, por lo que se basa en el levantamiento jurídico de las construcciones del sector, tomando encuestas con relación a la ocupación del inmueble construido y la recolección de documentos que acrediten el nexo de los habitantes con el territorio donde ejercen posesión.

Se destaca la falta de información sobre ciertos predios, lo que puede ser relevante para futuras investigaciones o acciones legales

4.16 Cartografía Temática

Se organizó la información digital en GeoData Base y a su vez se generó los mapas correspondientes a cada una de las etapas anteriores dentro del marco del contrato cuyo objetivo

4.17 Socialización

A continuación, se destacan las principales conclusiones derivadas de las distintas etapas de la socialización:

La interacción inicial con líderes comunitarios resultó crucial para la convocatoria y organización de reuniones de inicio en cada uno de los barrios.

Las preocupaciones iniciales de la comunidad, como la relación del estudio con la legalización de los barrios, fueron abordadas de manera clara y precisa por las autoridades municipales.

La comunidad demostró un interés activo en comprender el propósito del estudio, expresando preguntas significativas sobre la identificación de los encargados de las visitas y el inicio de la fase de campo.

La presencia constante de líderes comunitarios en las etapas de recolección de información contribuyó a generar confianza en la comunidad y garantizó la seguridad de la información entregada.

La realización de recorridos y el acompañamiento de profesionales en ingeniería, aspectos sociales y jurídicos permitieron una cobertura completa y detallada de los barrios Zarabanda, Milagro de Dios y Cuyanitas.

La participación activa de la comunidad en la recolección de datos fortaleció la calidad y veracidad de la información recopilada.

Las reuniones de avance cumplieron el propósito de mantener a la comunidad informada sobre el progreso del proyecto, respondiendo a inquietudes y ofreciendo claridad sobre la continuidad de las actividades.

Se destacó la importancia de la comunicación abierta, permitiendo a la comunidad acercarse a los equipos en campo para resolver dudas o inquietudes.

La elaboración de informes detallados, tanto por sector como el informe general, demostró un compromiso con la transparencia y la exhaustividad en la presentación de los resultados obtenidos.

La aprobación de los informes refleja un consenso en la calidad y validez de la información recopilada, brindando una base sólida para la siguiente fase del proyecto.

En resumen, la socialización ha sido un proceso dinámico y participativo, destacando la importancia de la interacción constante entre profesionales, líderes comunitarios y habitantes. El compromiso con la transparencia y la adaptabilidad a las inquietudes comunitarias ha sido fundamental para el éxito hasta el momento, sentando las bases para futuras etapas del proyecto.

5 BIBLIOGRAFÍA

Carvajal, J. H. (2012). Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia. (SGC, Ed.) Bogotá D.C., Colombia: Imprenta Nacional de Colombia.

De Porta, J. (1959). La Terraza de Bucaramanga. (UIS, Ed.) Boletín de Geología (3), 5-13.

Dearman, W. R. (1974). The Characterization of rock for civil engineering practice in Britain. La Géologie de l´Ingénieur. Société Géologique de Belgique, 1-75.

Diéderix, H., Hernández, C., Torres, E., Osorio, J., & Botero, P. (2009). Resultados preliminares del primer estudio paleosismológico a lo largo de la Falla de Bucaramanga, Colombia. Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo, 9(2), 18-23. Recuperado el abril de 2023, de https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria_sogamoso/article/view/903

Hermelín, M. (1987). Bases de geología ambiental. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

Hubach, E. (1952). Interpretación geológica de la erosión y de los deslizamientos en Bucaramanga, y medidas de defensa. Servicio Geológico Nacional. Bogotá D.C., Colombia: Servicio Geológico Nacional.

Ingeominas (Instituto colombaino de geología y minería). (2004). Propuesta metodológica para el desarrollo de la cartografía geológica para ingeniería. Proyecto: compilación y levantamiento de la información geomecánica. Bogotá D.C.: Ingeominas.

Ingeominas (Instituto colombiano de geología y minería). (2007). Zonificación de amenaza por movimientos en masa de algunas laderas de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta. Informe y mapas. Bogotá D.C.: Ingeominas.

Ingeominas (Instituto colombiano de geología y minería). (2008). Modelo de evolución morfotectónica cuaternaria basado en edivencias estructurales, neotectónicas y paleosismológicas de los principales sistemas de falla en la región de Bucaramanga. Informe y mapas. Bogotá D.C.: Ingeominas.

Ingeominas (Instituto colombiano de geología y minería). (2009). Zonificación de Amenaza por Movimientos en masa de algunas laderas de los Municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón. Revisión. Versión año 2009. Bogotá D.C.: Ingeominas.

Ingeominas (Instituto de investigación e información geocientífica, minero-ambiental y nuclear. (2001). Zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga. Informe y mapas. Bucaramanga, Colombia: Ingeominas.

Julivert, M. (1958). La morfoestructura de la zona de mesas al SW de Bucaramanga. (UIS, Ed.) Boletín de Geología (1), 7-43.

Julivert, M. (1963). Nuevas observaciones sobre la estratigrafía tectónica del Cuaternario de los alrededores de Bucaramanga. (UIS, Ed.) Boletín de Geología (15).

Montes, N., & Sandoval, A. (2001). Base de datos de fallas activas en Colombia. Recopilación bibliográfica. Bogotá D.C., Colombia: Ingeominas.

Niño, A., & Vargas, G. (1992). Geología y geotecnia de la escarpa noroccidental de la meseta de Bucaramanga. Tesis de grado. (UIS, Ed.) Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander.

París, G., Machette, M. N., Dart, R. L., & Haller, K. M. (2000). Map and database of Quaternary faults and folds in Colombia and its offshore regions. U. S. Geological Survey (USGS) - Universidad del Valle, Central Geologi Hazards Team - Departamento de Geografía.

SGC (Servicio Geológico Colombiano). (2017). Guía Metodológica para la Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa Escala 1:25.000. Bogotá D.C., Colombia: Servicio Geológico Colombiano.

SGC (Servicio Geológico Colombiano), UNAL (Universidad Nacional de Colombia). (2016). Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa, Escala Detallada. Colección de Guías y Manuales (Primera ed.). Bogotá D.C., Colombia: Imprenta Nacional de Colombia.

Suárez, J. (18 de 11 de 2013). Erosion.com.co. (J. Suárez, Ed.) Recuperado el abril de 2023, de 7. La Formacion Bucaramanga: https://www.erosion.com.co/download/7-la-formacion-bucaramanga/

Velandia P., F. (2017). Cinemática de las fallas mayores del Macizo de Santander - énfasis en el modelo estructural y temporalidad al sur de la Falla de Bucaramanga. Tesis doctoral. Bogotá D.C., Colombia: Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.

Ward, D., Goldsmith, Jimeno, R., Cruz, A., Restrepo, H., & Gómez, E. (1973). Mapa Geológico de Colombia. Cuadrángulo H-12 Bucaramanga - Planchas 120 Rionegro y 120 Bucaramanga; Cuadrángulo H-13 Pamplona - Planchas 110 Pamplona y 121 Cerrito. Escala 1:100.000. Memoria explicativa. Bogotá D.C.: Ingeominas.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2009). Estudio de amenaza sísmica de Colombia.

HARDIN, B. AND DRNEVICH, V.P. (1972b). "Shear modulus and damping in soils: design equations

and curves," Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 98, No. SM7,

pp.667-692.

INGEOMINAS. (2001). Microzonificación Indicativa Bucaramanga. Bucaramanga.

Silva Monsalve, M. R. (2015). Evaluación de efectos de amplificación topográfica debidos a eventos sísmicos en las laderas de la Comuna 14 en la ciudad de Bucaramanga. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Arcila, M. García, J., Montejo, J., Eraso, J., Valcarcel, J., Mora, M., Viganò, D., Pagani, M. y Díaz, F. (2020).

"Modelo nacional de amenaza sísmica para Colombia". Servicio Geológico Colombiano

USGS (2004) A study of possible ground-motion amplification at the Coyote Lake Dam, California.

Lysmer, J., and Kuhlemeyer, R. L. (1969). Finite dynamic model for infinite media. J. Eng. Mech.,

ASCE 95, 4, pages 859-877.

SGC. (2015). GUÍA METODOLÓGICA PARA ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA. Bogotá, D.C.: Imprenta Nacional de Colombia.

SGC. (2016). Guía Metodológica Para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo Por Movimientos En Masa Escala Detallada. Bogotá.

Desastres y protección civil: problemas sociales, políticos y organizacionales, escrito por Jesús Manuel Macías Dirección de Protección de Seguridad Civil México 1999

Estudio de investigación sobre la percepción del riesgo en una región de pobreza, escenario sierra: el caso de los deslizamientos en Huancavelica. Pedro Jesús Mendoza Arana número del contrato: 080-2005 fecha de presentación: 24 de agosto de 2005

La percepción del riesgo y el sentimiento de seguridad Gustavo Wilches-Chaux consultor independiente, profesor universitario y escritor

Percepción del riesgo en relación con capacidades de autoprotección y autogestión, como elementos relevantes en la reducción de la vulnerabilidad en la ciudad de la serena Guillermo Alexis Cid Ortiz2, Carmen Paz Castro, Correa3 y Vanessa Rugiero de Souza Nº 75 / agosto 2012 / Volumen Nº 27: 105-142 107

Definición de estímulo - Qué es, Significado y Concepto http://definicion.de/estimulo/#ixzz2UQ8hGIWm

http://www.unisdr.org/2004/campaign/booklet-spa/page9-spa.pdf

http://www.alcoberro.info/pdf/sen3.pdf. Entrevista con Amartya SEN publicada en PHILOSOPHIE MAGAZINE, nº 44, noviembre de 2010, pp. 58-63. [Trad. R.A.].

http://www.fhuce.edu.uy/actio/Textos/8/Carolina%20Pallas.pdf Pallas C (2006) ¿Libertad como antipoder o como poder efectivo?

La vulnerabilidad social y sus desafíos: una mirada desde América Latina. División de Estadística y Proyecciones Económicas Santiago de Chile, febrero de 2001 Roberto Pizarro.

http://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/20761/Terminologia-GRD-2017.pdf;jsessionid=9D7BD7777EFCC6B8F1279F7A58E385A5?sequence=2.

Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2000. Titulo D. Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y Aguas Lluvias, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio - MINVIVIENDA

Hidráulica de canales abiertos Ven Te Chow

Normas de control de Erosión, CDMB

Manual de drenajes para carreteras del INVIAS

Construcción y Consultoría (2023). CONSULTORIA PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDAS TORRENCIALES EN SECTORES PRIORIZADOS EN LAS COMUNAS UNO (CAMINOS DE PAZ I, CAMINOS DE

PAZ II, LUZ DE ESPERANZA, CERVIUNIÓN) Y DOS (PUNTA BETTIM, MONEQUE) DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA".

ArcGIS. (2022). Dominios y subtipos. Obtenido de https://doc.arcgis.com/es/insights/latest/get-started/domains-and-subtypes.htm

Bucaramanga, Á. M. (2022). Catastro. Obtenido de https://www.amb.gov.co/catastro/

CIAF, V. T. (2017). Obtenido de https://ciaf.igac.gov.co/sites/ciaf.igac.gov.co/files/files_ciaf/Veloza-Torres-Jenny-Patricia.pdf

ESTADÍSTICA, D. A. (03 de 08 de 2018). Marco Geoestadistico Nacional. Obtenido de https://geoportal.dane.gov.co/descargas/descarga_mgn/Resolucion_MGN.pdf

IGAC. (14 de 05 de 2020). Resolución 471 de 2020. Obtenido de https://igac.gov.co/sites/igac.gov.co/files/normograma/resolucion_471_de_2020.pdf

IGAC. (05 de 06 de 2020). Resolución 529 de 2020. Obtenido de https://igac.gov.co/sites/igac.gov.co/files/normograma/resolucion_529_de_2020.pdf

IGAC. (30 de 07 de 2021). Catálogo de Objetos Geográficos Cartografía Básica de Colombia. Obtenido de https://www.igac.gov.co/sites/igac.gov.co/files/igac_co_cartografiabasica_v2.2.pdf

IGAC. (2022). Datos Abiertos IGAC. Obtenido de https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-igac

IGAC. (27 de 01 de 2022). Resolución 179 de 2022. Obtenido de https://www.igac.gov.co/sites/igac.gov.co/files/normograma/resol_197_del_2022_modifica_resol_471_y_529_de_2020_especificaciones_tecnicas_productos_cartograficos.pdf

IGAC, I. G. (2020). Especificaciones técnicas para la generación de cartografía básica. Obtenido de https://www.igac.gov.co/es/contenido/areas-estrategicas/especificaciones-tecnicas-para-la-generacion-de-cartografia-basica

MINAMBIENTE. (12 de 2016). Resolución 2182 de 2016. Obtenido de https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/resolucion-2182-de-2016.pdf

6 ANEXOS

1. Oficio de relación de personal activo
2. Memorias de responsabilidades del personal
3. Oficio de trazabilidad autoridad ambiental
4. Inventario de archivo
5. Oficio de entregables (medio físico y medio magnético)
6. Tomo I
7. Tomo II
8. Tomo III
9. Tomo IV
10. Tomo V
11. Tomo VI
12. Tomo VII
13. Informe barrio Ciudad Perdida
14. Informe barrio Camilo Torres
15. Informe barrio Cuyanita
16. Informe barrio Zarabanda
17. Informe barrio Milagro de Dios
18. Informe barrio Pantano I
19. Informe barrio Pantano II
20. Informe barrio Pantano III
21. Seguridad social del personal activo en el proyecto