CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA (CDMB)

SECTOR XXIII DE JUNIO



CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO PARA EL CONTROL DE LA EROSIÓN EN ZONAS PRIORIZADAS DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA, DEFINIDAS POR LA CDMB, COMO APOYO AL CUMPLIMIENTO DE ÓRDENES, ACCIONES JUDICIALES Y ACTUACIONES PREVENTIVAS DE LOS ÓRGANOS DE CONTROL RELACIONADAS CON LA GESTIÓN DEL RIESGO.

CDMB
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA

CONTENIDO

PREÁMBULO 10

1. OBJETIVOS 13

1.1. OBJETIVO GENERAL 13
1.1.1. OBJETIVOS ESPECÍFICO 13

2. ALCANCE 14

3. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO 16

4. ANALISIS GEOLÓGICO 18

4.1. METODOLOGÍA 19

4.2. GEOLOGÍA 20

4.2.1. GEOLOGÍA REGIONAL 20
4.2.2. UNIDADES GEOLÓGICAS DE INGENIERÍA (UGI) 30
4.2.2.1 SUELO RESIDUAL DEL MIEMBRO LIMOS ROJOS (Sraml) 31
4.2.2.2 SUELO RESIDUAL FINO (Srmf) 31
4.2.2.3 SUELOS ALUVIALES DE CAUCE ACTIVO (SACA) 31
4.2.2.4 SUELO RESIDUAL GRAVOSO (Srg) 31
4.2.2.5 SUELOS COLUVIALES RECIENTES (Scr) 32

4.3. GEOLOGIA ESTRUCTURAL 34

4.3.1. MARCO GEOLÓGICO Y TECTÓNICO DE COLOMBIA 34
4.3.2. MARCO GEOLÓGICO Y TECTÓNICO DEL DEPARTAMENTO DE SANTANDER 35

5. GEOMORFOLOGÍA 37

5.1. MORFOGÉNESIS 37

5.2. MORFOMETRÍA 37

5.2.1. PENDIENTE 37
5.2.2. CURVATURA 39
5.2.3. RUGOSIDAD 40

5.3. MORFODINÁMICA 41

5.4. ELEMENTOS GEOMORFOLOGICOS 41

5.4.1. GEOFORMAS DE ORIGEN DENUDACIONAL 42
5.4.1.1 LADERA DENUDACIONAL ABRUPTA (Dla) 42
5.4.1.2 LADERA DENUDACIONAL MUY ABRUPTA (Dlma) 42
5.4.1.3 LADERAS DENUDACIONALES INCLINADAS (Dli) 42
5.4.1. GEOFORMAS DE ORIGEN FLUVIAL 42
5.4.3.1 CAUCE ALUVIAL ACTIVO (Fca) 42
5.4.3.2 TERRAZAS DE CAUCE ALUVIAL ACTIVO (Ftca) 43
5.4.2. GEOFORMAS DE ORIGEN ANTRÓPICO 43
5.4.4.1 SUPERFICIE DE EXPLANACIÓN (Ase) 43

6. COBERTURA DEL SUELO 45

6.1. BOSQUE ABIERTO (BA) 45
6.2. TEJIDO URBANO CONTINUO DE VIVIENDAS URBANAS (TUCVU) 46
6.3. RED VIAL (RV) 46
6.4. CANAL DE CAUCE ACTIVO (CCA) 46
6.5. ÁREAS DEPORTIVAS (AD) 46
6.6. TIERRAS DEGRADADAS (TD) 47

7. EVALUACION HIDROLOGÍCA - SECTOR 23 DE JUNIO 49

7.1. PARAMETROS MORFOLOGICOS 52

7.1.1. AREA DE LA CUENCA (A) 52
7.1.2. PERÍMETRO DE LA CUENCA 52
7.1.3. LONGITUD MAYOR DEL RIO (L) 52
7.1.4. FORMA DE LA CUENCA 53

7.2. SISTEMA DE DRENAJE 54

7.3. PENDIENTE MEDIA DEL DRENAJE 56

7.4. CLIMATOLOGÍA E HIDROLOGÍA 58

7.4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CLIMA 58
7.4.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA TEMPERATURA, HUMEDAD Y BRILLO SOLAR 61
7.4.3. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PRECIPITACIÓN 63

7.5. DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS 66

7.6. INFORMACIÓN HIDROLÓGICA 67

7.7. CARACTERIZACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN 69

7.7.1. PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL 71
7.7.2. VARIACIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN TOTAL 77
7.7.3. PRECIPITACIÓN MAXIMA EN 24 HORAS 81
7.7.4. LLUVIAS DE CORTA DURACIÓN 90
7.7.5. CURVAS IDF PARA EL SECTOR 23 DE JUNIO 92
7.7.6. LLUVIAS ACUMULADAS PARA EL SECTOR 23 DE JUNIO 93
7.7.7. CALCULO DE LA ESCORRENTIA 95
7.7.8. DIMENSIONMIENTO CANALETAS DE CORONACIÓN 99

8. HIDROGEOLOGIA 103

8.1. IINFORMACIÓN SECUNDARIA 104
8.2. HIDROGRAFÍA 108
8.3. RECARGA DEL ACUÍFERO 108
8.4. ANÁLISIS HIDROLÓGICO 109
8.5. RELACIÓN ENTRE LLUVIAS Y NIVELES FREÁTICOS 110
8.6. ANÁLISIS DE DESLIZAMIENTOS 111
8.7. RELACIÓN DE LLUVIAS - DESLIZAMIENTOS 112
8.8. AFECTACIÓN DE LA ZONA POR PROBLEMAS DE AGUA 113
8.9. CONCLUSIÓN HIDROGEOLÓGICA 113
8.10. CRITERIOS PARA DEFINICIÓN Y DISEÑO DE MEDIDAS DE DRENAJE 114

9. SISMOLOGÍA 115

9.1. AMENAZA SÍSMICA SEGÚN LA NORMA NSR-10. 116
9.1.1. EFECTOS LOCALES 122
9.1.2. TIPO DE PERFIL DEL SUELO. 122
9.1.3. COEFICIENTE DE IMPORTANCIA. 124
9.1.4. ESPECTRO ELÁSTICO DE DISEÑO. 124
9.2. AMENAZA SÍSMICA SEGÚN LA ZONIFICACIÓN SISMOGEOTÉCNICA INDICATIVA DEL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA (JUNIO DE 2001). 126
9.2.1. ESPECTROS DE DISEÑO PROPUESTOS PARA EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA. 130
9.3. RESULTADO DE LA SISMOLOGÍA DE ACUERDO A LA NSR-10 Y LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE BUCARAMANGA DE 2001. 136
9.4. ANÁLISIS Y SISMO DE DISEÑO PARA EL MODELO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO (H.5.2.5 TITULO H, NSR-10). 137

10. EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA 139

10.1. INTRODUCCIÓN 140
10.2. MODELOS DE ESTABILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA 141
10.2.1. MODELAMIENTOS SEGÚN UN ESCENARIO ESTÁTICO: 141
10.2.2. MODELAMIENTOS SEGÚN UN ESCENARIO DINÁMICO: 142

10.3. ANÁLISIS GEOTÉCNICO, MODELO DE ESTABILIDAD EN CONDICIONES ACTUALES..... 142
10.3.1. RESULTADOS MODELAMIENTO GEOTÉCNICO (ESTÁTICO) 143
10.3.2. RESULTADOS MODELAMIENTO GEOTÉCNICO (DINÁMICO) 144

11. CLASIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA 145

12. MEDIDAS GEOTÉCNICAS DE MITIGACIÓN ANTE MOVIMIENTOS EN MASA. 149

13. CLASIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA CON OBRAS GEOTÉCNICAS DE MITIGACIÓN. 169

13.1. RESULTADOS MODELAMIENTO GEOTÉCNICO (ESTÁTICO) CON OBRA GEOTÉCNICA DE MITIGACIÓN: 170
13.2. RESULTADOS MODELAMIENTO GEOTÉCNICO (DINÁMICO) CON OBRA GEOTÉCNICA DE MITIGACIÓN: 171

14. CONCLUSIONES 173

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 176

TABLAS

Tabla 1. Contenido Consultoría 11
Tabla 2. Alcances Consultoría 15
Tabla 3. Contendido Geología 18
Tabla 4. Clasificación de las unidades geológicas para ingeniería. Sector 23 de Junio 32
Tabla 5. Clasificación de los elementos geomorfológicos, sector 23 de Junio. 43
Tabla 6. Clasificación de las coberturas del suelo, sector 23 de Junio 47
Tabla 7. Contenido Hidrología 49
Tabla 8. Parámetros morfológicos de la microcuenca 58
Tabla 9. Principales Parámetros meteorológicos promedios mensuales anuales 58
Tabla 10. Inventario de estaciones IDEAM no suspendidas – Departamento de Santander, de influencia en el sector 23 de junio. 59
Tabla 11. Relación de temperatura del periodo (1975 – 2005) 61
Tabla 12. Inventario de estaciones en el Área Metropolitana de Bucaramanga 68
Tabla 13. Inventario de estaciones seleccionadas para el estudio regional 69
Tabla 14. Valores máximos anuales, promedio, desviación y coeficiente de variación 87
Tabla 15. Valores de precipitación máxima en las estaciones de Bucaramanga 88
Tabla 16. Valores de precipitación máxima estaciones Zona occidente de Bucaramanga 88
Tabla 17. Valores de precipitación máxima período de retorno de 100 años 89
Tabla 18. Intensidades máximas. Estación CDMB 92
Tabla 19. Resultados curva de frecuencia lluvia acumulada Estación CDMB. 94
Tabla 20. Coeficientes de escorrentía. 97
Tabla 21. Cálculo del tiempo de concentración Tc 98
Tabla 22. Intensidades máximas para la Estación La CDMB 99
Tabla 23 Tabla A.2.3-2 Valor de Aa y de Av para las ciudades capitales de departamento 116
Tabla 24 Nivel de amenaza sísmica según valores de Aa y de A 121
Tabla 25 Nivel de amenaza sísmica según valores de Aa y de A (NSR10) 121
Tabla 26 Nivel de amenaza sísmica para el sector de Estudio según el municipio en el que se ubica Aa y de A (NSR10) 122
Tabla 27 A.2.4-1 Clasificación de los perfiles de suelo (NSR10) 122
Tabla 28 A.2.4-3 Valores del coeficiente Fa, para la zona de periodos cortos del espectro. suelo (NSR10) 123
Tabla 29 A.2.4-4 Valores del coeficiente Fv, para la zona de periodos intermedios del espectro.suelo (NSR10) 123
Tabla 30 Tipo de suelo de acuerdo al título A de la NSR-10, tabla A.2.4-1 y valores de Fa (tabla A.2.4-3) y Fv (tabla A.2.4-4) suelo (NSR10) 123
Tabla 31 A.2.5-1Valores del coeficiente de importancia, I (NSR10) 124
Tabla 32 Valores del coeficiente de importancia para el presente estudio (NSR10) 124
Tabla 33 Parámetros de control para la construcción de espectros de diseño propuestos para el Área Metropolitana de Bucaramanga. (Zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga) 127
Tabla 34 Resultados de análisis sismológico 136
Tabla 35 Valores de KST / amax Mínimos para Análisis pseudoestático de Taludes (NSR-10) 137
Tabla 36 Resultados sismo de diseño para el modelo geológico geotécnico 138
Tabla 37 Resultados Factores de Seguridad, con obras de mitigación 172

ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ubicación detallada del área de estudio – Sector 23 de junio..... 16
Ilustración 2. Ubicación del área de estudio – Sector 23 de junio 17
Ilustración 3 Unidad Neis de Bucaramanga ubicada al este del Municipio de Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 1999). 24
Ilustración 4 Formación Silgará en los alrededores de Matanza y Suratá. Ubicada al Noreste del Municipio de Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 1999). 24
Ilustración 5 Formación Bucaramanga Miembro Órganos (Qbo), al oeste del Municipio de Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 2001)..... 26
Ilustración 6 Formación Bucaramanga Miembro Finos, al norte del municipio de Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 2001)..... 27
Ilustración 7 Formación Bucaramanga Miembro Gravoso, al norte del municipio de Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 2001)..... 29
Ilustración 8 Formación Bucaramanga Miembro Limos Rojos (Tomado de INGEOMINAS, 2001). . 29
Ilustración 9 Perfil típico y espesores promedio de la Formación Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 2001). 30
Ilustración 10. Mapa de unidades geológicas para ingeniería UGI, sector 23 de Junio. 33
Ilustración 11. Mapa de pendientes del sector 23 de Junio 38
Ilustración 12. Mapa de curvatura del terreno, sector 23 de Junio 39
Ilustración 13. Mapa de rugosidad del terreno, sector 23 de Junio..... 40
Ilustración 14. Mapa de elementos geomorfológicos, sector 23 de Junio. 44
Ilustración 15. Cobertura del suelo asociada a bosque abierto, sector 23 de Junio 45
Ilustración 16 Área deportiva, sector 23 de Junio 47
Ilustración 17. Mapa de cobertura del suelo, sector 23 de Junio 48
Ilustración 18 Delimitación de la quebrada seca influencia del sector 23 de junio 50
Ilustración 19 Ubicación Área de Estudio respecto a la Quebrada seca 51
Ilustración 20 Microcuenca Quebrada seca..... 57
Ilustración 21 Localización estaciones Hidroclimatológicas aferentes al área metropolitana de Bucaramanga 60
Ilustración 22 Temperatura media mensual multianual estación UIS (1975 – 2005)..... 62
Ilustración 23 Humedad relativa promedio mensual multianual E. Aeropuerto Palonegro..... 63
Ilustración 24 Brillo solar mensual multianual estación Aeropuerto Palonegro (1975 – 2005)..... 63
Ilustración 25 Precipitación media mensual multianual Aeropuerto Palonegro (1975 – 2005)..... 64
Ilustración 26 Histograma de precipitación media anual multianual estaciones analizadas 65
Ilustración 27 Isoyetas período retorno 2 años..... 66
Ilustración 28 Precipitación Media mensual multianual estación Floresta (1978-2008) 70
Ilustración 29 Histograma de precipitación media anual porcentual las estaciones analizadas. 71
Ilustración 30 Precipitación anual Estación Bucaramanga 72
Ilustración 31 Precipitación anual Estación UIS..... 72
Ilustración 32 Precipitación anual Estación La Floresta..... 73
Ilustración 33 Precipitación anual Estación Apto Palonegro. 73
Ilustración 34 Precipitación anual Estación La Laguna..... 74
Ilustración 35 Precipitación anual Estación Palo Gordo..... 74

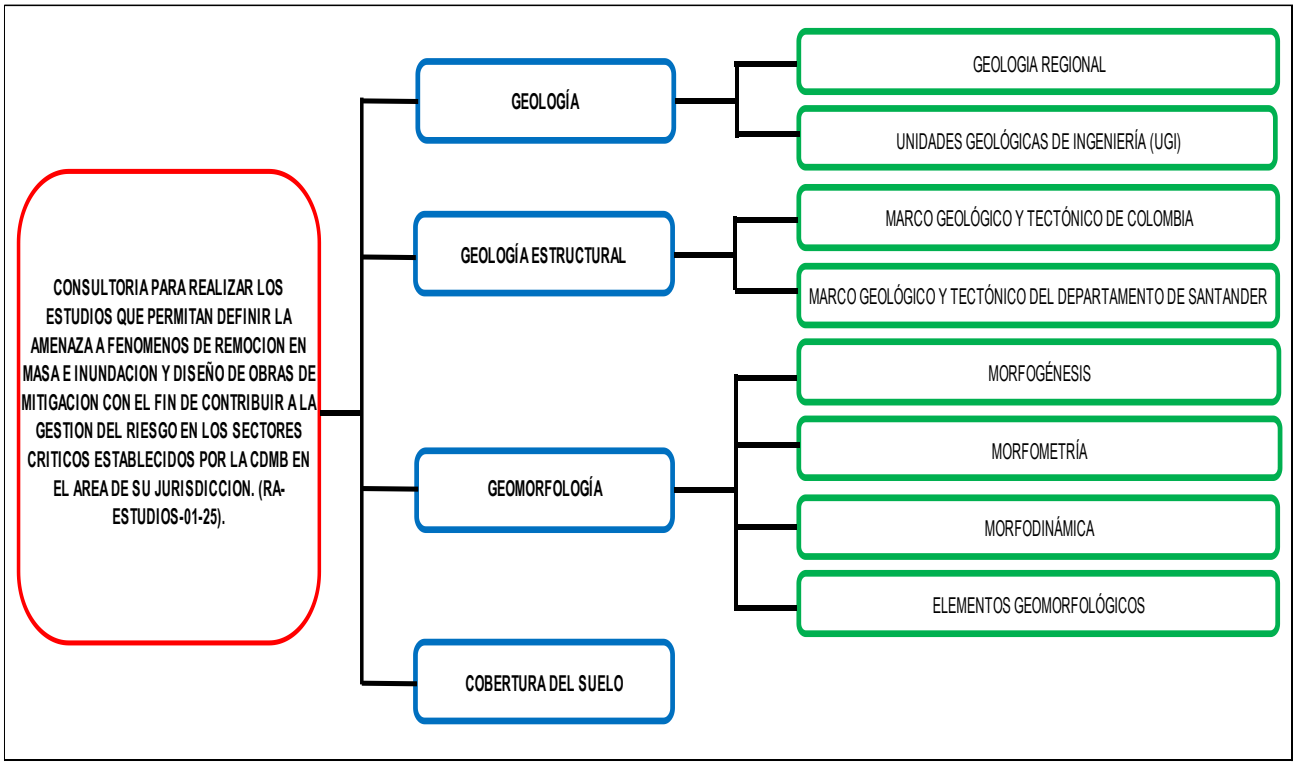
Ilustración 36 Precipitación anual Estación CDMB 75
Ilustración 37 Precipitación anual Estación Club Campestre 75
Ilustración 38 Precipitación anual Estación La Esperanza. 76
Ilustración 39 Precipitación anual Estación La Flora. 76
Ilustración 40 Precipitación anual Estación PTAR 77
Ilustración 41 Curvas Isoyetas medias anuales con base en las estaciones seleccionadas (mm) 78
Ilustración 42 Relación de la elevación y precipitación estaciones de Bucaramanga 79
Ilustración 43 Relación de la elevación y precipitación de las estaciones en la zona Occidente 80
Ilustración 44 Valores totales anuales de precipitación estaciones en la zona Occidente 81
Ilustración 45 Precipitación máxima en 24 horas Estación Bucaramanga 82
Ilustración 46 Precipitación máxima en 24 horas Estación UIS. 82
Ilustración 47 Precipitación máxima en 24 horas Estación La Floresta 83
Ilustración 48 Precipitación máxima en 24 horas Estación Aeropuerto Palonegro 83
Ilustración 49 Precipitación máxima en 24 horas Estación La Laguna 84
Ilustración 50 Precipitación máxima en 24 horas Estación Palogordo 84
Ilustración 51 Precipitación máxima en 24 horas Estación CDMB 85
Ilustración 52 Precipitación máxima en 24 horas Estación Club Campestre 85
Ilustración 53 Precipitación máxima en 24 horas Estación La Esperanza 86
Ilustración 54 Precipitación máxima en 24 horas Estación La Flora 86
Ilustración 55 Precipitación máxima en 24 horas Estación PTAR 87
Ilustración 56 Distribución Gumbel para máximos de precipitación en 24 horas 90
Ilustración 57 Curvas IDF Sintéticas para la Estación CDMB – Método de Bell 93
Ilustración 58 Curva frecuencia lluvia acumulada diferentes periodos retorno 94
Ilustración 59 Área de aporte a las obras de manejo de agua superficial del sector 23 de junio. 99
Ilustración 60 Capacidad hidráulica, canaleta proyectada 100
Ilustración 61 Localización cuenca en estudio con un área de 464km^2. Tomado de INGEOMINAS, 2007 105
Ilustración 62 Mapa de localización de las principales afluentes de drenaje del área metropolitana de Bucaramanga y su área de influencia (Cuenca superior rio Lebrija. Fuente: IGAC – Autores). 107
Ilustración 63 Esquema del modelo Hidrológico de 109
Ilustración 64 Mecanismos de falla (CDMB-Gómez Sully-1989) 111
Ilustración 65 A.2.3-1 — Zonas de Amenaza Sísmica aplicable a edificaciones para la NSR-10 en función de Aa y Av 117
Ilustración 66 A.2.3-2 — Mapa de valores de Aa) (NSR-10) 118
Ilustración 67 A.2.3-3 - Mapa de valores de Av) (NSR-10) 119
Ilustración 68 A.2.3-1 — Zonas de Amenaza Sísmica aplicable a edificaciones para la NSR-10 en función de Aa y Av (NSR-10) 120
Ilustración 69 A.2.6-1 — Espectro Elástico de Aceleraciones de Diseño como fracción de g (NSR-10) 124
Ilustración 70 Espectro elástico de diseño 125
Ilustración 71 Mapa modificado de la Zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga (Zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga de 2001, Subdirección de amenazas Geoambientales (Servicio Geológico Colombiano anterior INGEOMINAS)) 128

Ilustración 72 Ubicación área de estudio en el Mapa modificado de la Zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga (Servicio Geológico Colombiano anterior INGEOMINAS) 129
Ilustración 73 Espectro de diseño para la Zona 1 (Roca) en el Área Metropolitana de Bucaramanga. 130
Ilustración 74 Espectro de diseño para la Zona 2 (Suelo Rígido) en el Área Metropolitana de Bucaramanga. 131
Ilustración 75 Espectro de diseño para la Zona 3 (Llenos) en el Área Metropolitana de Bucaramanga. 132
Ilustración 76 Espectro de diseño en el Área Metropolitana de Bucaramanga. 133
Ilustración 77 Espectro de diseño en zona de Estudio 134
Ilustración 78 Espectro de diseño en el Área Metropolitana de Bucaramanga VS Espectro en zona de Estudio 135
Ilustración 79 Ubicación de perfiles transversales..... 140
Ilustración 80 Perfil tipo establecido para mostrar los diferentes estratos en profundidad. 142
Ilustración 81 Modelamiento geotécnico en condiciones estáticas 143
Ilustración 82 Modelamiento geotécnico en condiciones dinámicas. 144
Ilustración 83 Clasificación Alta ante movimientos en masa según la resolución 1294 de 2009, Normas Geotécnicas, CDMB..... 145
Ilustración 84 Clasificación Media ante movimientos en masa según la resolución 1294 de 2009, Normas Geotécnicas, CDMB..... 146
Ilustración 85 Clasificación Baja ante movimientos en masa según la resolución 1294 de 2009, Normas Geotécnicas, CDMB..... 147
Ilustración 86 Resultados Factores de Seguridad una vez se modelaron las secciones trasversales definidas previamente 148
Ilustración 87 Esquematización de una pantalla anclada..... 151
Ilustración 88 Esquema de una pantalla anclada (corte transversal) 152
Ilustración 89 Esquema de una pantalla anclada..... 153
Ilustración 90 Esquema de una pantalla anclada (vista frontal y lateral) 157
Ilustración 91 Esquema a) Definición de estratos y sus propiedades, b) Predimensionamiento, c) Vista lateral de los anclajes)..... 158
Ilustración 92 Esquema de una pantalla anclada (emplazada en el talud) 160
Ilustración 93 Esquema de una pantalla anclada (emplazada en el talud) 161
Ilustración 94 Esquema de una zapata. 161
Ilustración 95 Detalles, anclaje. 162
Ilustración 96 Corte transversal, pantalla anclada 163
Ilustración 97 Detalles, Bulbo y lechada..... 164
Ilustración 98 Detalles, Bulbo de selle y lechada de cemento 165
Ilustración 99 Detalles, Torones..... 166
Ilustración 100 Malla de refuerzo 166
Ilustración 103 Detalle de canaleta..... 167
Ilustración 104 Detalle de canaleta..... 169

PREÁMBULO

Teniendo en cuenta que gran parte de la ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana, se encuentra asentada en una zona elevada y altamente habitada, motivo por el cual una cantidad considerable de la población se ha visto en la necesidad de trasladarse y edificar en lugares de riesgo y que están en peligro debido a posibles deslizamientos de tierra y erosión; por consecuencia de estas situaciones, la CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA (CDMB), ha buscado proteger a quienes habitan ciertas zonas en riesgo, de manera que, para lograrlo, se necesita conocer la situación actual evaluando factores como la geología, geomorfología, uso del suelo, recursos hídricos, hidrogeología, actividad sísmica y riesgos de deslizamientos, para poder gestionar las posibles situaciones que se puedan presentar.

A continuación, se presentan los capítulos que conforman esta consultoría:



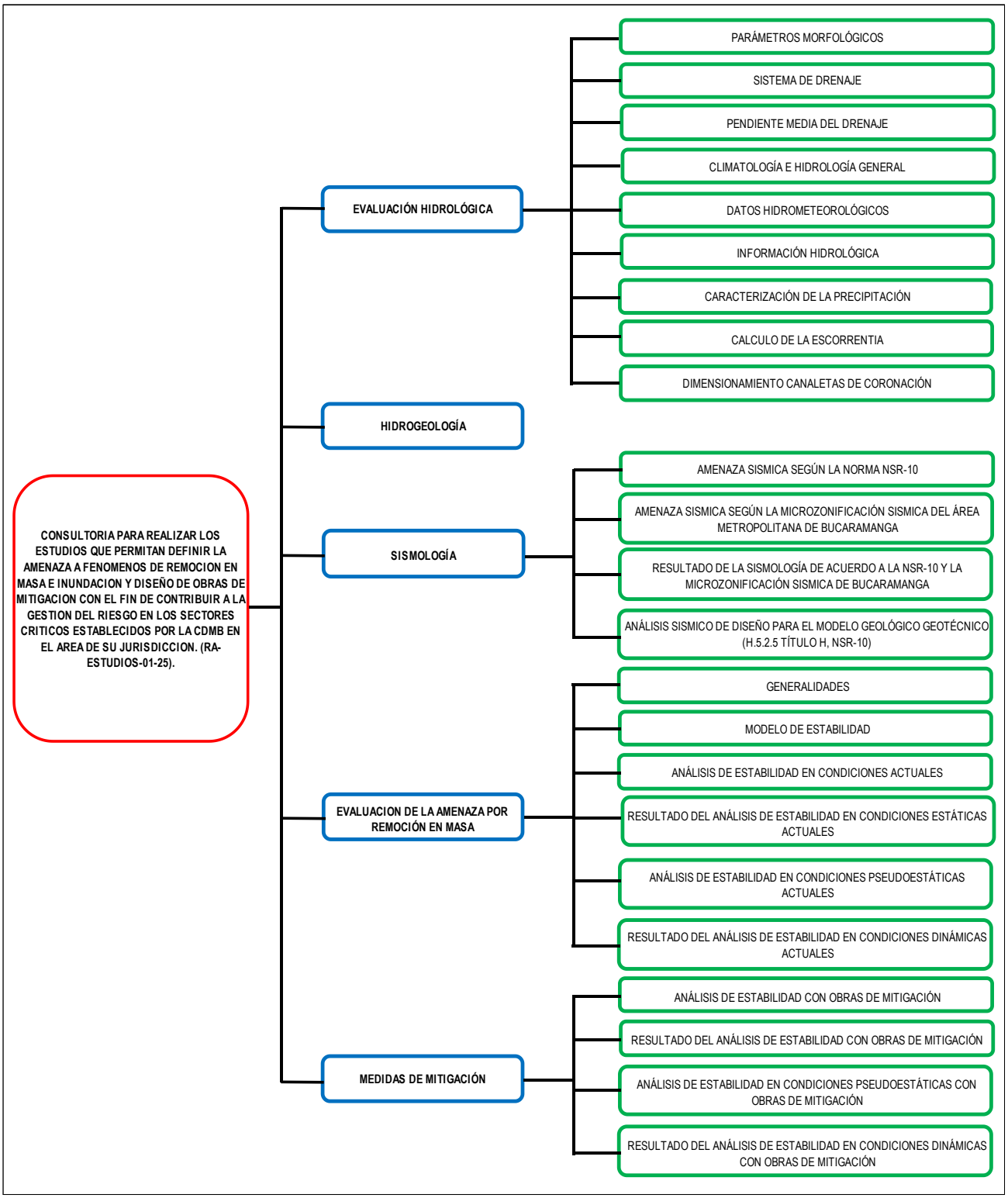


Tabla 1. Contenido Consultoría

Los movimientos masivos de tierra o deslizamientos, ocurren debido a diversos factores como el clima, la topografía, la geología y la geomorfología, que en conjunto generan que el suelo natural sea vulnerable. Por otro lado, los factores antrópicos se relacionan directamente con el uso del suelo y las actividades económicas y sociales, las cuales a lo largo del tiempo muestran el impacto que tienen en el territorio, además de ayudar a identificar posibles amenazas y riesgos.

Es apropiado realizar un estudio geotécnico y geológico por la probable afectación a varias viviendas que, en caso en que ocurra una emergencia, podrían desencadenarse en pérdidas humanas de familias que habitan en estas áreas y pérdidas materiales significativas.

La ejecución del estudio y la planificación del proyecto, considera las normativas vigentes, entre las cuales se destacan las normas Geotécnicas de la CORPORACION AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA CDMB de 2009, la regulación correspondiente del Plan Básico de Ordenamiento Territorial y los requisitos establecidos por la ley 400 de 1997, que se encuentran en la Norma Sismo Resistente NSR-10 en su título H, iniciando con una introducción general y se listan las actividades llevadas a cabo tanto en campo como en laboratorio, además de la clasificación o caracterización del suelo y los análisis de riesgo pertinentes.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Ejecutar la consultoría para la elaboración de los estudios geotécnicos que incluyen el diseño de obras de mitigación de la amenaza por movimientos en masa para el TALUD CRITICO – SECTOR 23 DE JUNIO de la ciudad de Bucaramanga-Santander.

1.1.1. OBJETIVOS ESPECÍFICO

- Realizar el levantamiento topográfico del sector.
- Realizar la caracterización geotécnica del sector, por medio de muestreo ejecutado por perforaciones de campo, ensayos geofísicos, análisis de laboratorio de los ensayos de corte directo, compresión simple, granulometría, límite líquido y humedad natural.
- Caracterizar geológica y geomorfológicamente el TALUD CRITICO – SECTOR 23 DE JUNIO.
- Realizar el análisis hidrológico que establezca los parámetros básicos para el dimensionamiento de las obras hidráulicas necesarias para el adecuado manejo del agua de escorrentía si es el caso, en el TALUD CRITICO – SECTOR 23 DE JUNIO.
- Generar el modelo geológico geotécnico de acuerdo con la caracterización geotécnica, geológica, geomorfológica y morfométrica.
- Analizar los diferentes modelos geológicos geotécnicos por medio de métodos determinísticos para evaluar la amenaza ante movimientos en masa.
- Plantear las medidas de mitigación a la amenaza por movimientos en masa para la reducción de los riesgos asociados a estos fenómenos.

2. ALCANCE

A continuación, se define el alcance de la consultoría para el TALUD CRITICO – SECTOR 23 DE JUNIO

- El levantamiento topográfico a escala 1:1000 o más detallada del área se estudió, así como la entrega de planos, cartera topográfica, registro fotográfico e imágenes aéreas.
- El estudio Geológico y geomorfológico con sus respectivas unidades (Geológicas Superficiales y Geomorfológicas), análisis morfométrico, usos de suelo e inventario de deslizamiento, cada uno con sus respectivos mapas a escala 1:1000 o más detallada.
- La caracterización geotécnica con sus respectivos sondeos, apiques, ensayos geofísicos y resultados de ensayos de laboratorio.
- El análisis de la amenaza sísmica teniendo en cuenta el estudio de Zonificación Sismo geotécnica Indicativa del Área Metropolitana de Bucaramanga 2001.
- El modelo geológico-geotécnico, así como las secciones para el modelamiento.
- Análisis de estabilidad para procesos de movimientos en masa en condiciones normales y de sismo con sobrecargas en cada escenario.
- Diseño de obras de mitigación, así como su respectivo análisis presupuestal.
- Entrega de diseños con localización de obras y dimensionamiento de cada una de ellas y sus respectivas obras de drenaje.
- Entrega final correspondiente a planos (topográfico, geológico, geomorfológico, localización de obras propuestas, detalle de obras), informe principal, anexos (ensayos de laboratorio, ensayos geofísicos, especificaciones técnicas, análisis de precios unitarios y presupuestos).

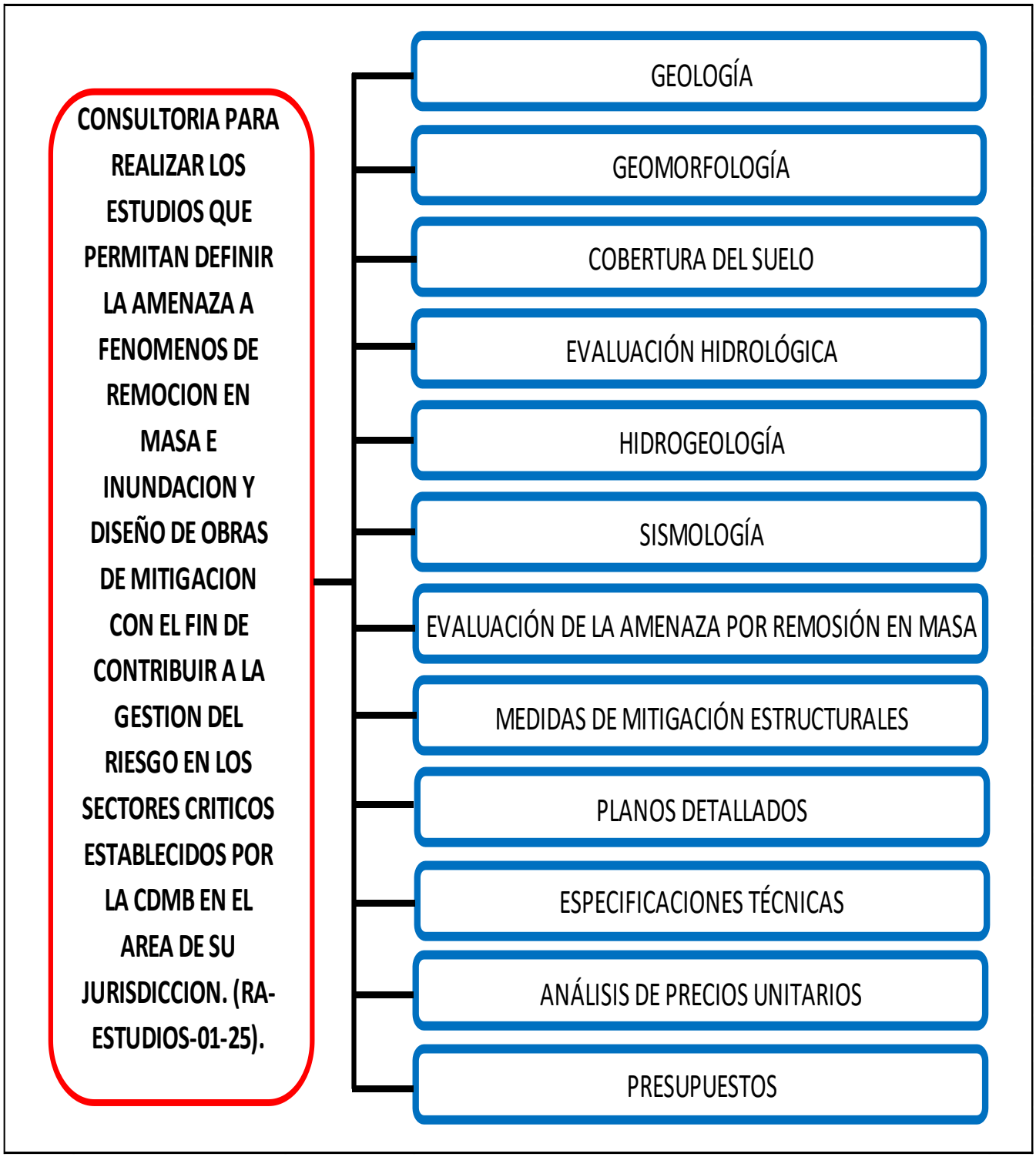


Tabla 2. Alcances Consultoría

3. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

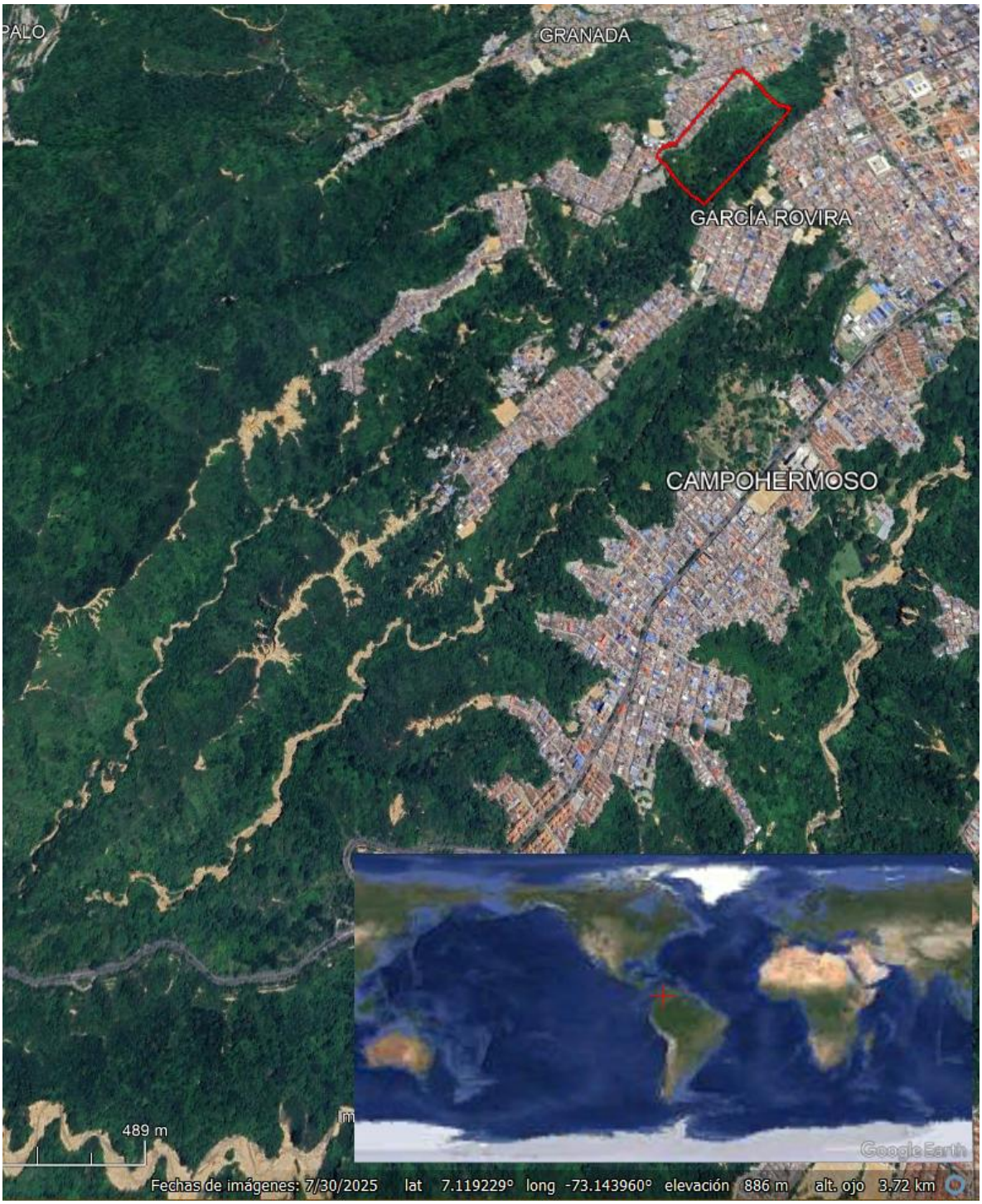


Ilustración 1. Ubicación detallada del área de estudio – Sector 23 de junio

El sector 23 de Junio se localiza en la zona centro-occidental del municipio de Bucaramanga, dentro de un entorno urbano densamente consolidado que integra los barrios García Rovira y Las Pinitas, con influencia directa de sectores aledaños como Granada y Campohermoso. El área se encuentra asociada al talud urbano que desciende hacia la quebrada Seca, constituyendo una franja de transición entre áreas residenciales y zonas con cobertura vegetal continua.

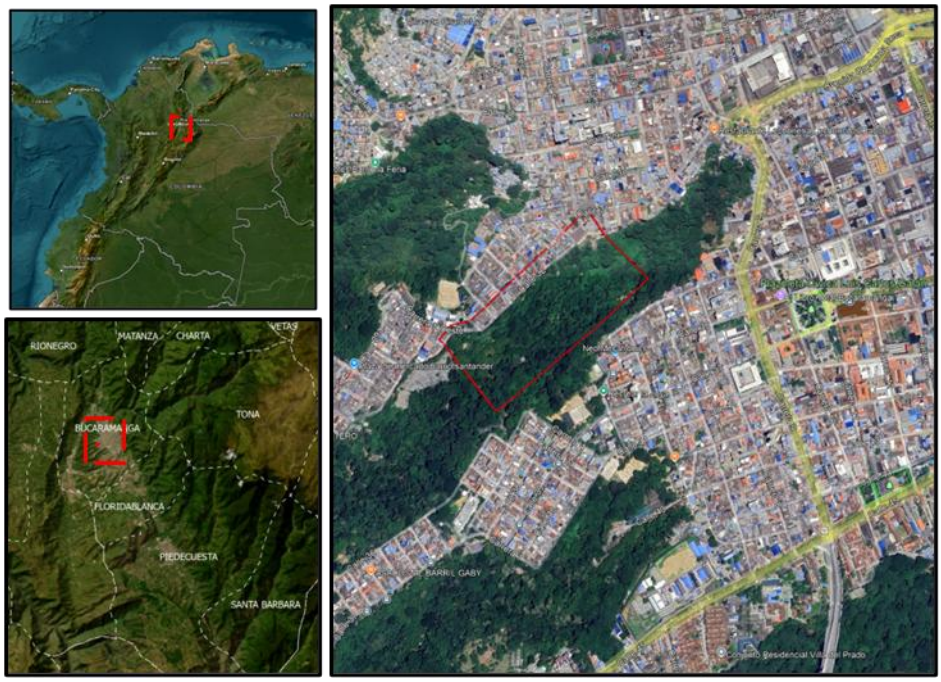


Ilustración 2. Ubicación del área de estudio – Sector 23 de junio

4. ANALISIS GEOLÓGICO

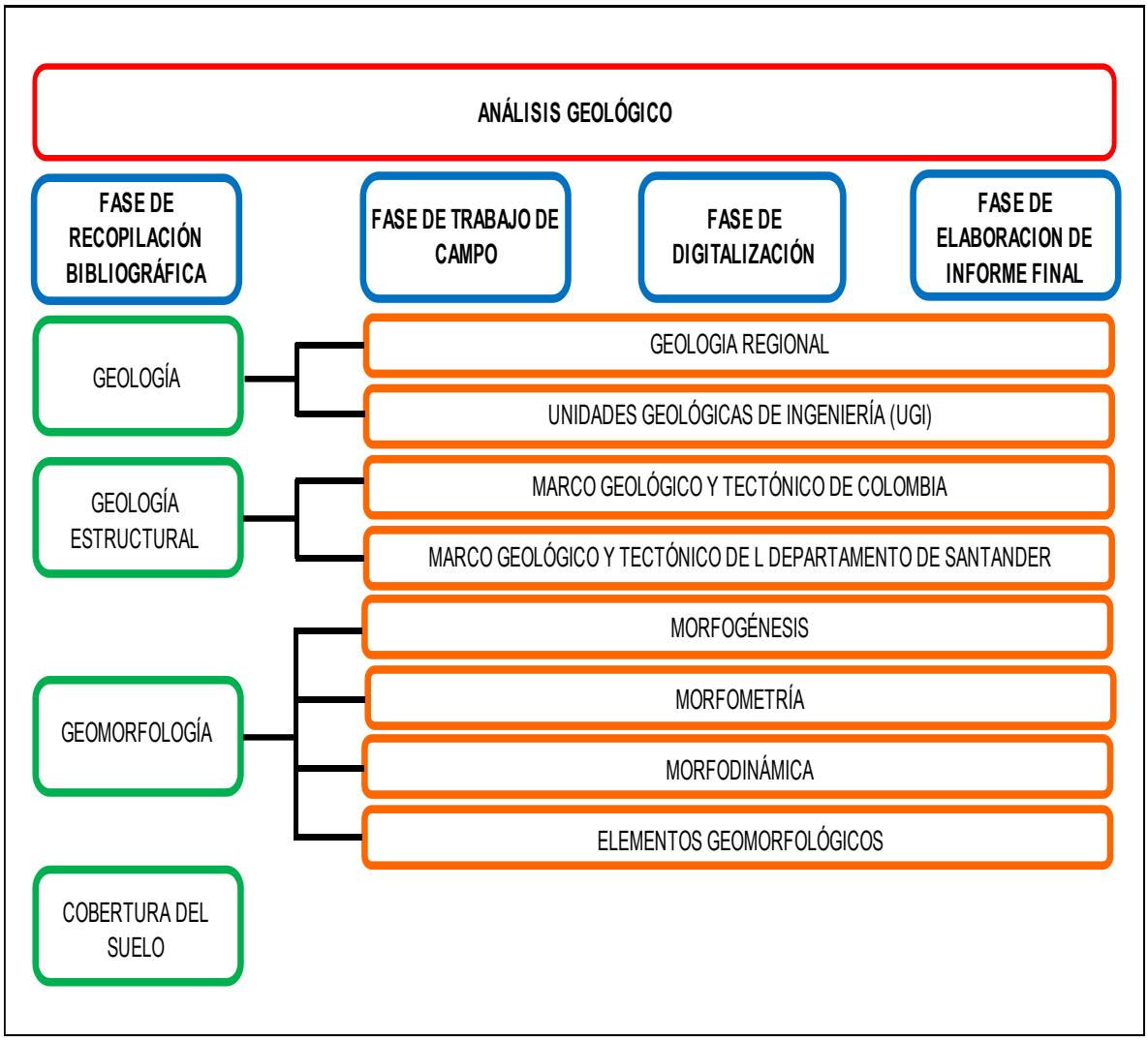


Tabla 3. Contendido Geología

4.1. METODOLOGÍA

La metodología usada para el desarrollo de la presente consultoría consta de las siguientes fases:

Fase de Recopilación Bibliográfica. Esta fase consiste en consultar y seleccionar material bibliográfico como informes técnicos, artículos científicos, mapas geológicos y memorias explicativas, con lo cual se permite definir las nomenclaturas a usar para cada uno de los respectivos mapas a visualizar y cartografiar en campo (geología, geomorfología, cobertura del suelo y deslizamientos), tomando como base los lineamientos usados por el Servicio Geológico Colombiano y entes a nivel local (CDMB, Alcaldía del municipio con EOT y POT, entre otros). En esta etapa también se genera una base de datos bibliográfica y cartográfica inicial del área de estudio, en un sistema de información geográfica.

Fase de Trabajo de Campo. Consiste en realizar la visita técnica al área de estudio, cartografiando las unidades de geología para ingeniería (UGI), la geomorfología (Morfogenética), la cobertura del suelo actual y la especificación de procesos morfodinámicos (Procesos de movimientos en masa y erosión). Esta información se plasma en mapas realizados en campo de acuerdo con la distribución observada de cada uno de los diferentes entes y procesos.

Fase de Digitalización. Esta fase consiste en digitalizar la información colectada en la zona de estudio, en donde se complementan las bases de datos que se desarrollan en etapas previas.

Fase de Elaboración de Informe Final. Consiste en la redacción de un informe técnico detallado donde se explican los principales rasgos geológicos, así como los rasgos geomorfológicos, cobertura del suelo y procesos morfodinámicos.

4.2. GEOLOGÍA

Este capítulo describe las características geológicas regionales y las Unidades Geológicas de ingeniería (UGI) a nivel del área de estudio.

Para realizar el análisis geológico se tienen en cuenta primeramente estudios previos regionales y locales, de entidades oficiales y particulares, dentro de las que se encuentran el Servicio Geológico Colombiano (SGC), la Universidad Industrial de Santander (UIS), la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), como también la Alcaldía de Bucaramanga (Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) y Plan de Ordenamiento territorial (POT)), los cuales permiten conocer la información geológica desarrollada en el área a diferentes escalas, permitiendo la revisión preliminar de estudios generales, como también la estandarización y uso de nomenclaturas para el presente estudio.

Geológicamente la zona más importante del área metropolitana (Bucaramanga) se encuentra ubicada dentro de depósitos de terraza y de cono aluvial (Ward et al., 1973) en la denominada Terraza de Bucaramanga, de edad Pleistoceno-Holoceno. De acuerdo con De porta (1959) y Julivert (1963), la parte inferior de la Terraza de Bucaramanga está compuesta de grava, arena, limo y capas menores arcillosas fluviales; mientras la parte superior está compuesta de cantos no calibrados que se interpretan como depósitos coluviales, los cuales adelgazan lejos del frente montañoso.

4.2.1. GEOLOGÍA REGIONAL

La zona denominada 23 de Junio, localizada en el sector central de Bucaramanga, se encuentra emplazada sobre los depósitos cuaternarios antiguos (Qtf) que conforman parte de la franja sedimentaria del valle del río de Oro y de las quebradas que atraviesan la ciudad. Este entorno geológico forma parte del sistema de terrazas y abanicos aluviales que bordean la planicie urbana, producto de la interacción entre la dinámica fluvial, los procesos coluviales de ladera y la influencia tectónica del Macizo de Santander (Ward et al., (1973)).

El área pertenece al dominio morfoestructural de la Cordillera Oriental, donde la tectónica compresiva andina ha ejercido un papel determinante en la configuración del relieve y en la acumulación sedimentaria del Cuaternario. La presencia de fallas regionales, como la Falla de Bucaramanga–Santa Marta y otras estructuras menores asociadas al sistema del río de Oro, ha condicionado tanto la orientación de los drenajes como la morfología del valle. Estas estructuras han generado zonas de subsidencia relativa, en las cuales se acumularon los depósitos aluviales y coluviales que hoy conforman el sustrato del sector urbano de Bucaramanga (SGC, 2015).

Durante el Pleistoceno, la dinámica erosivo-depositacional estuvo marcada por episodios alternos de incisión fluvial y sedimentación, asociados a variaciones climáticas y movimientos tectónicos. En estas condiciones se formaron las terrazas y conos de deyección agrupadas en la unidad Qtf, que representan los depósitos más antiguos de la secuencia cuaternaria local. Posteriormente, durante el Holoceno, el río de Oro y sus tributarios establecieron nuevas planicies de inundación (Qal), más jóvenes y restringidas a los cauces actuales, mientras que las terrazas antiguas quedaron parcialmente disectadas o urbanizadas, como ocurre en el sector 23 de Junio (Ward et al., (1973); SGC, 2015).

El relieve de la zona refleja una topografía suavemente ondulada, característica de las superficies de terraza. Estas se desarrollan a cotas intermedias respecto a las planicies activas del río de Oro, mostrando una ligera inclinación hacia el suroeste, que corresponde a la dirección natural del drenaje. Los suelos derivados de estos depósitos son poco profundos, con un alto contenido de materiales arenosos y gravas, reflejando su origen aluvial.

La estabilidad relativa de las terrazas permitió la expansión urbana central de Bucaramanga, asentada principalmente sobre la unidad Qtf, que constituye el principal nivel geomorfológico intermedio entre los depósitos más antiguos y los más recientes (Ward et al., (1973); Diagnóstico territorial de Bucaramanga, 2020).

A nivel regional, el sector 23 de Junio puede considerarse representativo de la evolución cuaternaria del valle interandino de Bucaramanga–Girón, donde las terrazas fluviales registran las oscilaciones en

la energía y capacidad de transporte del sistema fluvial principal. Su disposición y características sedimentológicas permiten inferir un ambiente de acumulación fluvio-coluvial en condiciones de clima variable, bajo la influencia de eventos tectónicos recurrentes propios del borde occidental del Macizo de Santander.

La unidad Qtf (depósitos cuaternarios antiguos de terraza y abanico) constituye la formación dominante en la zona 23 de Junio. Está integrada por conglomerados polimícticos con matriz arenosa, arenas medias a gruesas, limos y niveles de arcilla compacta intercalados. Los componentes clásticos son subangulosos a subredondeados, y su composición incluye fragmentos de cuarzo, feldespato, arenisca, esquisto y gneis, procedentes de la erosión del basamento metamórfico del Macizo de Santander. Esta variabilidad refleja un régimen fluvial con alternancia de fases de alta y baja energía, donde los aportes laterales de ladera se combinaron con los procesos de transporte fluvial principales (Ward et al., (1973)).

Desde el punto de vista deposicional, los sedimentos de Qtf en Bucaramanga se asocian a ambientes de abanico aluvial y terraza fluvial, formados durante periodos de mayor carga sedimentaria y caudales más irregulares. Las condiciones climáticas del Pleistoceno medio y superior favorecieron la incisión del cauce del río de Oro y la posterior acumulación de estos materiales, que fueron estabilizándose a medida que disminuyó la energía del sistema. En los mapas geológicos regionales, la unidad Qtf se reconoce ampliamente en la periferia de Bucaramanga y Floridablanca, conformando los sustratos más antiguos sobre los cuales se desarrolló gran parte del tejido urbano actual (SGC, 2015).

En el caso particular del sector 23 de Junio, la unidad Qtf representa un cuerpo sedimentario consolidado y relativamente continuo, sin evidencias de intercalaciones recientes. Su contacto hacia el suroeste con los aluviones holocenos (Qal) marca una transición gradual hacia zonas de sedimentación más reciente, mientras que hacia el este limita con las colinas bajas del basamento metamórfico. Esta disposición estratigráfica evidencia la superposición de procesos fluviales antiguos y recientes, típicos del valle intramontano de Bucaramanga–Girón (Ward et al., (1973); SGC, 2015).

En conjunto, los depósitos de la unidad Qtf en el sector 23 de Junio representan un registro sedimentario estable, resultado de los procesos de acumulación fluvial y coluvial ocurridos durante las fases intermedias del Cuaternario. Constituyen la base geológica sobre la cual se estructuró la ciudad moderna de Bucaramanga y un testimonio de la evolución geomorfológica y tectónica de su entorno inmediato.

Regionalmente la zona de estudio está relacionada a los bloques tectónicos delimitados por la Falla de Suárez al occidente y la Falla Bucaramanga al Oriente (INGEOMINAS, 2007). A continuación, se describen algunas unidades presentes en esta región, tomando como base el estudio de zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga (2001):

- **Neis de Bucaramanga (p€b):** Definido por Goldsmith (1971), esta unidad está constituida por una secuencia de roca metasedimentaria de alto grado de metamorfismo conformado principalmente por paragneis pelítico, semipelítico y arenáceo, esquistos y neis calcáreo, mármol, neis horbléndico y anfibolita. El neis incluye dos tipos de zonas de migmatita, una donde el paragneis está mezclado con roca granítica gnéisica y otra donde ambos están cortados por masas pequeñas de granito no foliado (Ward *et al.,* 1973). Aflora al oriente del área metropolitana de Bucaramanga y se localiza al este de la Falla Bucaramanga. Entre los municipios de Floridablanca y Piedecuesta esta unidad presenta variación en la orientación de la foliación, lo cual indica perturbaciones tectónicas severas. Se encuentra en contacto con intrusivos jurásicos graníticos y se considera de edad precámbrica (Ward *et al*., 1973).

- **Formación Silgará (pDs):** Nombre propuesto por Ward *et al*., (1973) para referirse a una secuencia de rocas clásticas metamorfoseadas de estratificación delgada, compuestas por filitas, cuarcitas, esquistos, metareniscas y menores cantidades de pizarra y filita calcárea, cuya sección tipo se localiza en la Quebrada Silgará. Las relaciones estratigráficas sugieren que esta unidad suprayace al Neis de Bucaramanga e infrayace rocas del Devónico.

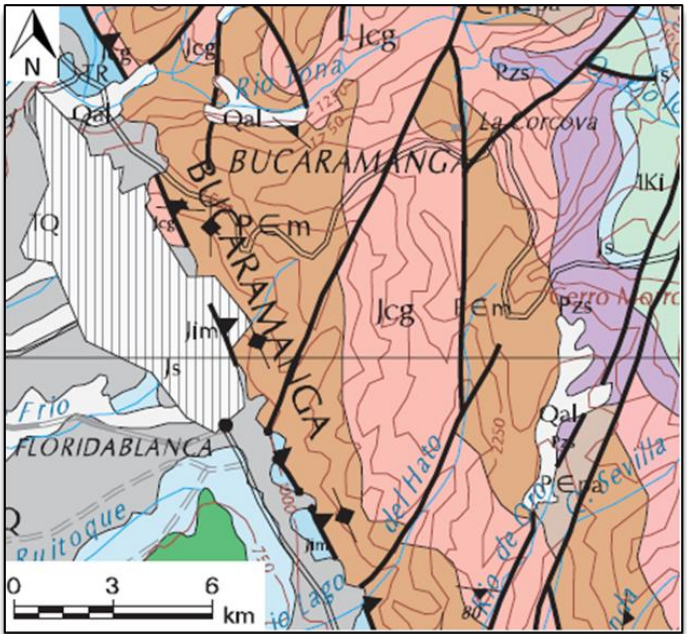


Ilustración 3 Unidad Neis de Bucaramanga ubicada al este del Municipio de Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 1999).

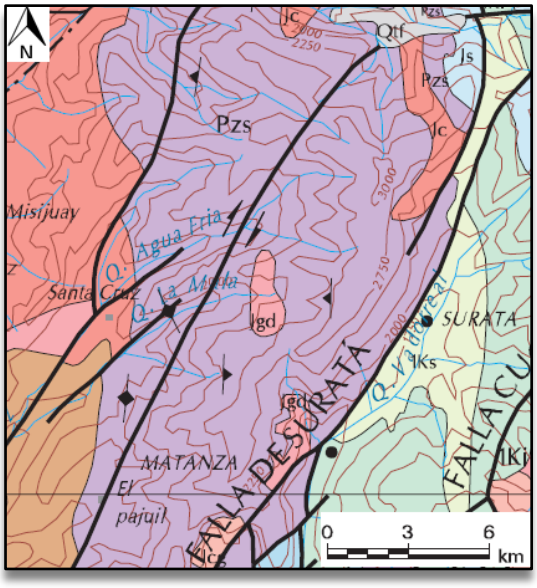


Ilustración 4 Formación Silgará en los alrededores de Matanza y Suratá. Ubicada al Noreste del Municipio de Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 1999).

- **Formación Bucaramanga:** La Formación Bucaramanga hace parte de los depósitos cuaternarios descritos por Ward *et al*., (1973). Esta unidad inicialmente fue propuesta por Hubach (1951), quien la subdivide en: Miembro Órganos (Qbo) y Miembro Finos (Qbf). Posteriormente De Porta (1959) divide la formación Bucaramanga en tres paquetes: uno inferior conformado por niveles discontinuos de gravas clasto soportados y con lentes arenosos intercalados con un espesor de 150m; un segundo paquete con un espesor de 18m ubicado en la parte superior, compuesto de sedimentos arcillosos y un tercer paquete de 8 a 15 metros de espesor, constituido por una mezcla de fragmentos angulares gruesos y finos arenosos. Sin embargo, después de trabajos de campo detallados el INGEOMINAS subdivide esta unidad en cuatro miembros: Órganos (Qbo), Finos (Qbf), Gravoso (Qbg) y Limos Rojos (Qblr); de acuerdo con las dataciones publicadas en el proyecto hidroeléctrico Fonce-Suárez, la edad de la Formación Bucaramanga es menor que 730.000 años (Pleistoceno) (INGEOMINAS, 1997).
- Morfológicamente esta unidad corresponde a un abanico aluvial erosionado posiblemente asociado en gran parte al Río Suratá, acumulado sobre una depresión de origen tectónico, sobre la cual se ubica el casco urbano de la ciudad de Bucaramanga. Este abanico limita al nororiente y oriente con el Macizo de Santander, al noroccidente y occidente con el Cerro de Palonegro y el Río de Oro, y al sur con la Mesa de Ruitoque. Presenta una superficie suavemente ondulada, con pendiente ligeramente inclinada al occidente, entre 2º y 7º, y una extensión aproximada de 60 a 80 km². El valor real del espesor de la Formación Bucaramanga es aún desconocido, sin embargo, a partir de cortes geológicos se ha estimado un valor promedio de 250 m en las zonas con mayor espesor.
- El ambiente de deposición de esta unidad ha sido considerado como un ambiente fluvial, con alternancia de materiales de origen aluvial tipo cono de deyección, flujos de escombro, canal y lagunar, en base a la granulometría que presentan dichos materiales, los rasgos geomorfológicos que presenta esta formación, así como los posibles agentes de transporte y la fuente de los materiales (Julivert, 1958).
- A continuación, se describen las características geológicas de cada uno de estos miembros, de acuerdo con la información geológica que se presenta en los estudios del INGEOMINAS (2001).

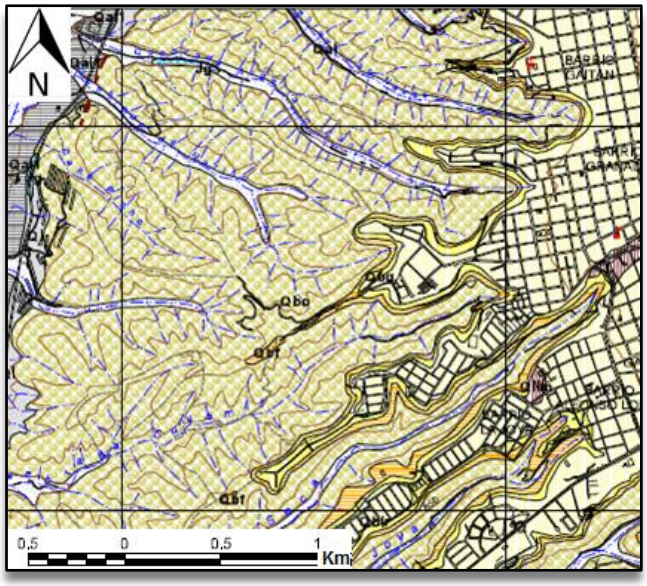


Ilustración 5 Formación Bucaramanga Miembro Órganos (Qbo), al oeste del Municipio de Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 2001).

- **Miembro Órganos (Qbo):** Esta unidad fue definida por Hubach (1951) y presenta un espesor mayor a 180m, siendo este el más potente de la Formación Bucaramanga. Presenta una serie 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, según Bueno y Solarte (1994). Los niveles lenticulares descritos por Hubach (1951), algunos son niveles limo-arenosos de hasta 5 m; otros son niveles de aspecto conglomerático que forman los depósitos de gravas y bloques poco consolidados dispuestos en forma de capas gruesas a muy gruesas, con espesores hasta de 15 m. El tamaño de los cantos varía entre 10 y 30 cm, alcanzando bloques mayores de 1 m de diámetro con una composición predominante de areniscas silíceas de grano medio, bien cementadas y en menor proporción fragmentos de rocas ígneas ácidas de textura fanerítica, neises micáceos de color amarillo hasta rosado, areniscas lodosas rojizas de grano fino y alto contenido de micas, cuarzo lechoso, liditas y cherts. Los niveles gravosos presentan matriz arcillosa pardo amarillenta y los niveles finos presentan material arcillo arenosos y areno arcilloso de consistencia compacta, con trazas de materia orgánica.

- **Miembro Finos (Qbf):** Este nivel fue reconocido y definido por Hubach (1951). Se ubica estratigráficamente entre el nivel inferior de la Formación Bucaramanga (Miembro Órganos) y el nivel superior (Miembro Gravoso) en contactos netos plano- paralelos. Es una capa lenticular horizontal con alternancia de niveles arcillosos, limo-arenosos y areno-limosos, de colores gris verdosos con un espesor promedio de 15m. Estos niveles presentan una geometría tabular de estratificación paralela, cruzada y ondulosa, con espesores que oscilan entre 5 y 40 cm. Hacia la base el Miembro Finos presenta material arcillo-limoso, masivo, de colores grises a verdes, con estratificación plana paralela, con gran variación de espesor. Hacia el techo presenta alternancia entre niveles arenolimosos con niveles limo arenosos arcósicos de colores amarillento a pardo amarillento.

Geomorfológicamente se caracteriza por presentar escarpes con un grado de alteración moderada de consistencia plástica para el material arcilloso. El ambiente de deposición para este miembro de la Formación Bucaramanga es un ambiente aluvial de intercanales, poco profundo, de baja energía y de escasas interdigitaciones de flujo de escombros de facies arenosas (INGEOMINAS, 2001).

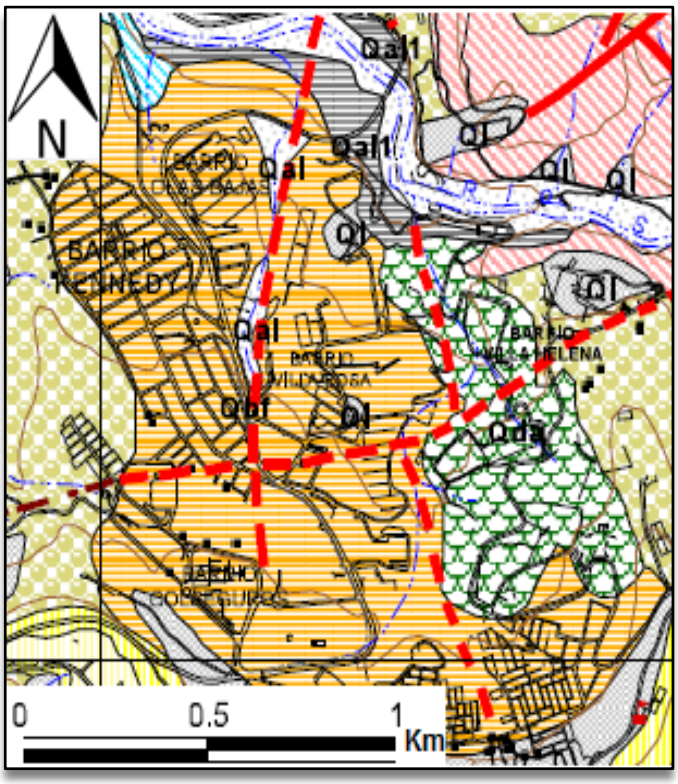


Ilustración 6 Formación Bucaramanga Miembro Finos, al norte del municipio de Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 2001).

- **Miembro Gravoso (Qbg):** Definido por Niño y Vargas (1992), se encuentra ubicado sobre la escarpa occidental y norte de Bucaramanga. Conforma los escarpes superiores de la parte alta del barrio La Gran Ladera y el nacimiento de la quebrada La Iglesia, en los alrededores de los barrios Lagos del Cacique, Diamante II y San Luis. Presenta un espesor que varía entre 8 y 30 m. presentando niveles gravosos, gravo arenosos y gravo lodosos. Los cantos están compuestos por rocas metamórficas e ígneas y sedimentarias tales como areniscas cuarzosas, areniscas limosas y limolitas moradas.

  El tamaño grava presenta un diámetro promedio de 15 cm, y predomina sobre bloques de rocas de hasta 80 cm de diámetro. A modo general el Miembro Gravoso es matriz soportado, presentando en sitios puntuales, material clasto soportado. Se encuentra suprayaciendo el Miembro Finos presentando contacto neto, continuo y suavemente onduloso. Infrayace el Miembro Limos Rojos en contacto gradacional (Niño y Vargas, 1992).

  Geomorfológicamente es similar al Miembro Órganos en los sectores de los valles de las quebradas. En la parte sur de la Quebrada la Iglesia, su morfología se caracteriza por presentar colinas suaves onduladas y laderas alargadas con un drenaje dendrítico. Estos depósitos presentan un grado de meteorización medio a alto, siendo la parte superficial de este miembro poco compacta y altamente permeable. Su ambiente de deposición es de flujo de escombros (INGEOMINAS, 2001).

- **Miembro Limos Rojos (Qblr):** Nivel definido por Julivert (1963). Se encuentra localizado de forma no uniforme en el sector urbano de Bucaramanga y continúa hacia el sur, hasta el sector norte del municipio de Floridablanca.

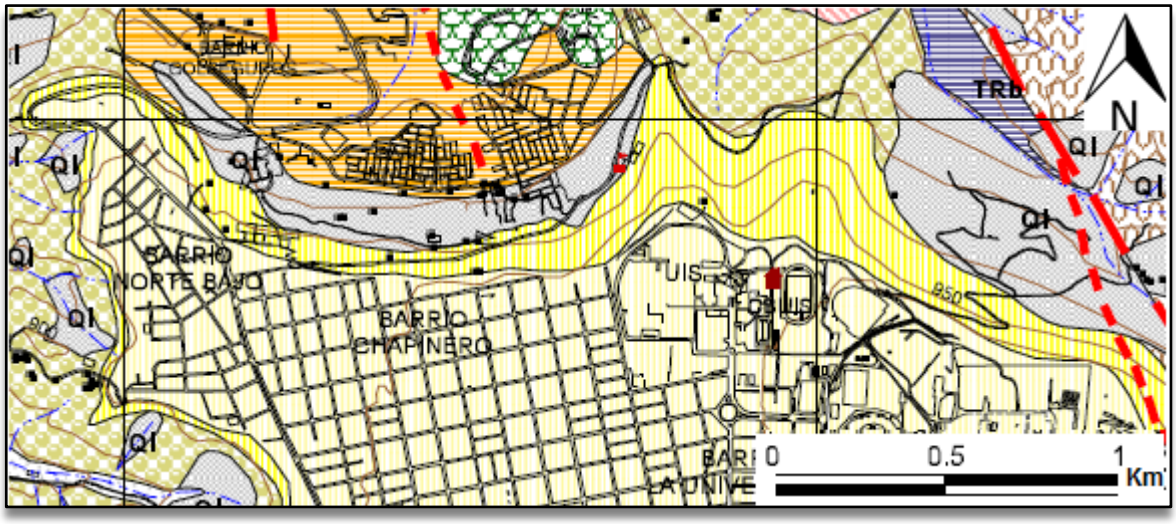


Ilustración 7 Formación Bucaramanga Miembro Gravoso, al norte del municipio de Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 2001).

Presenta arenas arcillosas gravosas y limos de colores rojizos, amarillentos y naranjas. En algunos sectores se aprecian bloques angulares de arenisca meteorizados, embebidos dentro de limos rojos y se asocian superficialmente a este miembro. Este depósito se encuentra suprayaciendo el Miembro Gravoso en contacto gradacional. La parte más superficial de este miembro presenta un alto grado de meteorización formando niveles de oxidación (INGEOMINAS, 2001). Geomorfológicamente se caracteriza por constituir la parte superficial de la llamada inicialmente “Meseta de Bucaramanga”, presentando una topografía plana con pendientes menores al 7%, de drenaje escaso, paralelo y superficial (Niño y Vargas, 1992)

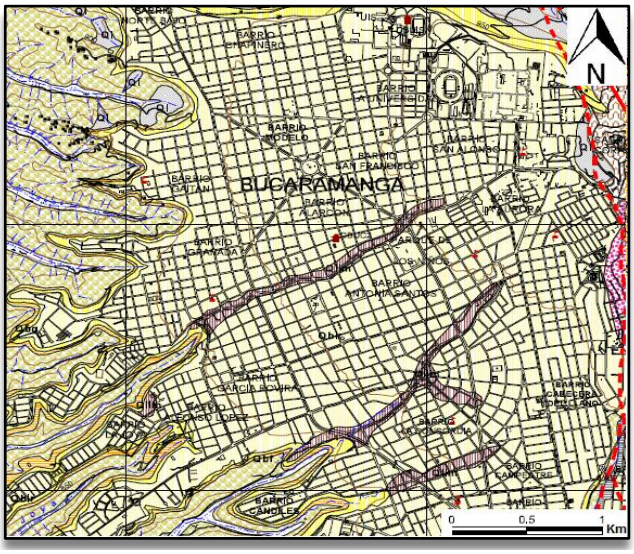


Ilustración 8 Formación Bucaramanga Miembro Limos Rojos (Tomado de INGEOMINAS, 2001).

En la siguiente ilustración se muestra de manera esquemática el perfil del subsuelo correspondiente a la Formación Bucaramanga.

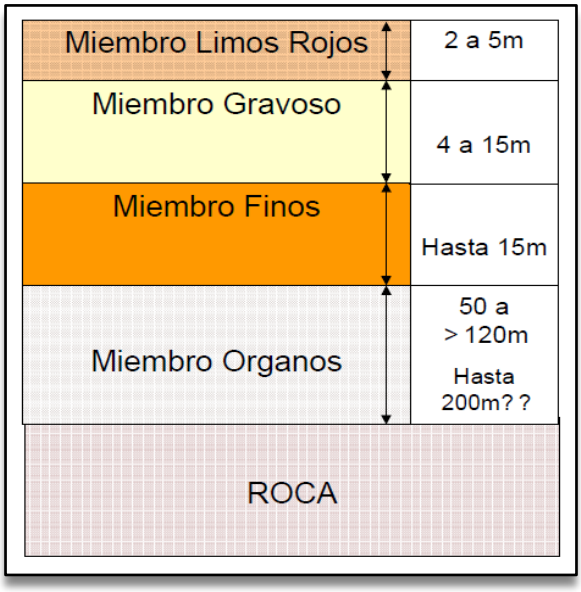


Ilustración 9 Perfil típico y espesores promedio de la Formación Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 2001).

4.2.2. **UNIDADES GEOLÓGICAS DE INGENIERÍA (UGI)**

La caracterización geológica se apoya en la delimitación de Unidades Geológicas para Ingeniería (UGI) (SGC - UNAL, 2016), las cuales permiten agrupar sectores con materiales que presentan comportamiento mecánico y origen geológico similares. Estas unidades constituyen el insumo principal para la evaluación del terreno, ya que facilitan distinguir entre suelos y rocas, reconocer espesores significativos de suelo residual o transportado, y establecer las condiciones estructurales y de meteorización del macizo rocoso.

En el sector 23 de Junio predominan suelos residuales y gravosos asociados a depósitos cuaternarios, que conforman la mayor parte del talud y condicionan su estabilidad. De manera puntual se presentan suelos aluviales de cauce activo y coluviones recientes en el pie de ladera, caracterizados por baja cohesión y alta susceptibilidad a erosión y remoción superficial. Los suelos residuales finos y limos rojos ocupan sectores más estables, aunque su comportamiento se ve afectado por la pendiente y forma del relieve.

4.2.2.1 SUELO RESIDUAL DEL MIEMBRO LIMOS ROJOS (Sraml)

Esta unidad corresponde a suelos residuales finos derivados del miembro Limos Rojos de la Formación Bucaramanga. Se caracteriza por materiales limo-arcillosos, con alto grado de meteorización, estructura masiva y consistencia media a baja. Se desarrolla principalmente en sectores suavemente inclinados y en zonas donde el relieve ha sido parcialmente modificado por actividades antrópicas.

4.2.2.2 SUELO RESIDUAL FINO (Srmf)

El suelo residual fino en el sector 23 de Junio corresponde a materiales derivados de depósitos cuaternarios finos, con predominio de limos y arenas finas. Presenta estructura poco desarrollada, porosidad media y compactación baja a media, localizada principalmente en la parte media de la ladera y en sectores de transición entre áreas urbanizadas y zonas con cobertura vegetal.

4.2.2.3 SUELOS ALUVIALES DE CAUCE ACTIVO (Saca)

Esta unidad corresponde a depósitos recientes asociados al cauce activo y zonas de influencia directa de la quebrada Seca. Está conformada por materiales heterogéneos de origen aluvial, con mezcla de gravas, arenas y limos. Su presencia dentro del sector 23 de Junio es puntual y se concentra en el fondo de la ladera.

4.2.2.4 SUELO RESIDUAL GRAVOSO (Srg)

En el área de estudio el suelo residual gravoso está compuesto por gravas y cantos subangulosos a subredondeados, inmersos en una matriz arenosa a limo-arenosa, producto de la meteorización de depósitos cuaternarios gravosos.

Esta unidad domina gran parte del talud del sector 23 de Junio y coincide con zonas de mayor pendiente. Es altamente susceptible a caída y desprendimientos de clastos, especialmente donde el terreno ha sido intervenido por cortes o donde se concentra la escorrentía superficial. Corresponde a la unidad de mayor extensión, con un área aproximada de 3,59 ha.

4.2.2.5 SUELOS COLUVIALES RECIENTES (Scr)

Esta unidad corresponde a acumulaciones de material coluvial reciente en la parte baja del talud, compuesta por una mezcla heterogénea de fragmentos gravosos, bloques, arenas y limos, sin estratificación definida, producto del transporte gravitacional desde las partes altas de la ladera.

CÓDIGO UGI	UNIDAD GEOLÓGICA PARA INGENIERÍA UGI	ÁREA HECTÁREAS
Sraml	1,737925176	1,74
Srmf	2,217408884	2,22
Saca	1,424645866	1,42
Srg	3,587567975	3,59
Scr	0,448622237	0,45

Tabla 4. Clasificación de las unidades geológicas para ingeniería. Sector 23 de Junio

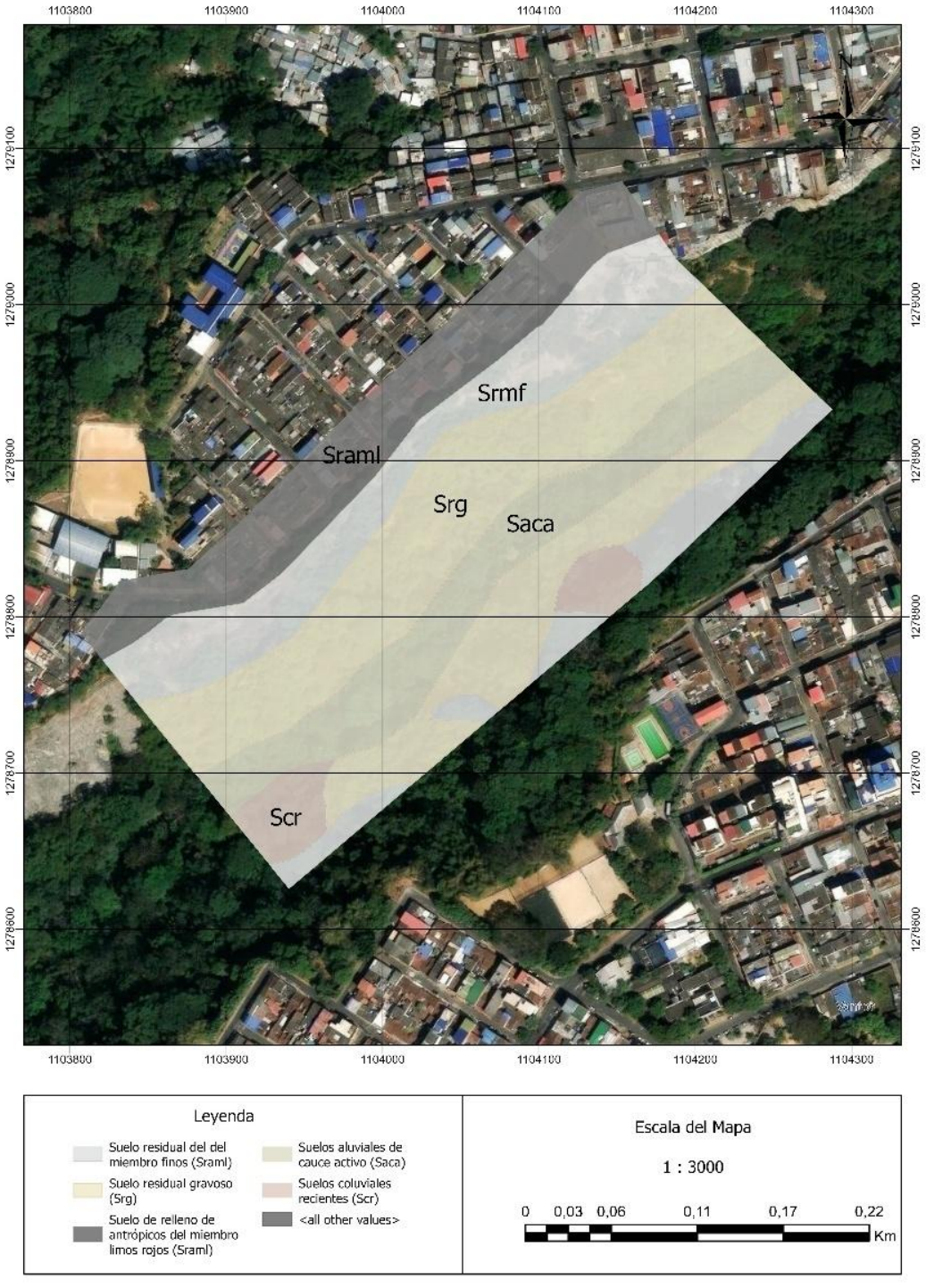


Ilustración 10. Mapa de unidades geológicas para ingeniería UGI, sector 23 de Junio.

4.3. GEOLOGIA ESTRUCTURAL

4.3.1. MARCO GEOLÓGICO Y TECTÓNICO DE COLOMBIA

Colombia se ubica en la convergencia activa de las placas de Nazca, Caribe y Sudamericana (con influencia del bloque Panamá–Chocó). La placa de Nazca avanza hacia el este (~54 mm/año) y subduce bajo Suramérica, provocando el levantamiento de los Andes y formando las Cordilleras Occidental y Central como arcos volcánicos activos. En cambio, la placa del Caribe se acerca de manera oblicua (≈15 mm/año) por el norte de Colombia, generando fallas de cizalla izquierda de larga extensión (por ejemplo, el sistema Santa Marta–Bucaramanga). Esta dinámica ha dado lugar al denominado Bloque Norte de los Andes, con una compleja red de fallas transversales e inversas que reparte la deformación continental.

El resultado son tres cadenas montañosas principales geológicamente distintas. La Cordillera Occidental y la Cordillera Central son arcos magmáticos meso-cenozoicos (parte del Cinturón de Fuego del Pacífico) asociados directamente a la subducción de Nazca. En cambio, la Cordillera Oriental es un relieve intracontinental plegado, elevado principalmente en el Terciario tardío. Esta cordillera descansa sobre el escudo precámbrico de Guayana (rocas cristalinas de más de 1.300 millones de años) que sirvió como plataforma estable para la sedimentación paleozoica. Sobre dicho basamento se depositaron sedimentos miogeosinclinales (formaciones fluviales y marinas del Paleozoico inferior) que luego fueron plegados y cabalgados durante la orogenia andina terciaria. Como señala Irving (1971), estas tres ramas cordilleranas del norte de Colombia “son geológicamente distintas y se originaron en diferentes épocas”.

Además de las cordilleras, en el extremo norte se destaca la Sierra Nevada de Santa Marta, elevada por la colisión oblicua del Caribe, y hacia el este existen cuencas sedimentarias propias de la placa Suramericana (por ejemplo, los Llanos Orientales y la cuenca del Amazonas). En conjunto, el marco tectónico de Colombia es fruto de la continua colisión de placas oceánicas contra el continente, con subducción de Nazca (levantamiento andino) y empuje oblicuo del Caribe (fallas transversales). Este proceso ha formado las cordilleras andinas y otras estructuras mayores (fosas tectónicas, fallas principales) que siguen activas hoy en día.

4.3.2. **MARCO GEOLÓGICO Y TECTÓNICO DEL DEPARTAMENTO DE SANTANDER**

Santander se encuentra principalmente sobre la Cordillera Oriental, dominada por el Macizo de Santander, un bloque montañoso intraplaca de origen paleozoico. En el núcleo del macizo aflora un basamento ígneo-metamórfico muy antiguo: gneises, migmatitas y esquistos de alto grado (la llamada Formación Bucaramanga) de edad Precámbrico-Paleozoico. Estas rocas cristalinas constituyen la parte más rígida y elevada del departamento. Asociados a ellas hay plutones graníticos jurásicos (el Grupo Plutónico de Santander), prueba de un pulso magmático mesozoico durante la apertura de las cuencas.

Alrededor del núcleo metamórfico central afloran secuencias sedimentarias paleozoicas. La Formación Silgará (Ordovícico–Silúrico) consta de filitas, esquistos y mármoles de bajo a medio grado de metamorfismo; fue depósito de un mar antiguo en el borde de la plataforma cratónica. Por encima se ubica la Formación Floresta

(Devónico medio), compuesta de lutitas y calizas fosilíferas de bajo grado metamórfico. Estas rocas sugieren un ambiente marino profundo en el Paleozoico. Al final del Paleozoico, depósitos calizos carbonífero-permicos (Formación Diamante) completan la secuencia antes de un hiato de levantamiento.

En el Mesozoico inferior la región sufrió tectónica extensiva: se formaron grabens donde se depositaron los conglomerados y areniscas rojas triásicas de las Formaciones Jordán y Girón. Luego, en el Cretácico la mayor parte del macizo quedó emergido y erosionado, pero en las cuencas marginales colindantes entró un mar somero. En el valle del Magdalena se acumularon sedimentos cretácicos marinos: arenas cuarzosas (Formación Tambor), calizas fosilíferas (Formación Rosa Blanca) y espesos niveles de lutitas orgánicas (Formaciones Paja, Tablazo, Simití, La Luna, Umir). Estos depósitos marinos cretácicos afloran en los flancos del Macizo de Santander, indicando la amplia transgresión que cubrió la región. En resumen, el basamento antiguo del macizo fue recubierto lateralmente por arenas, calizas y lutitas del Cretácico.

Con la orogenia andina terciaria se invirtió esta geometría: el Macizo de Santander se alzó como un bloque rígido y sus flancos fueron plegados e invertidos. En particular, la Falla de Bucaramanga (rumbo NNW) es la estructura más importante: marca el límite occidental del macizo y presenta un desplazamiento horizontal (sinestral) seguido de un fuerte levantamiento diferencial hacia el este. Al este del macizo, la falla regional de Servitá delimita cuencas sedimentarias internas (de edad Devónico a Cretácico) que también sufrieron cabalgamientos. Otras fallas menores (por ejemplo, la Falla de Salinas) cortan el triásico y cretácico del oeste, controlando la forma de mesetas y valles internos.

El resultado tectónico actual es un relieve de «horst y graben»: un bloque central alto (el Macizo) rodeado de depresiones y valles rellenos con sedimentos cenozoicos. La erosión en el Pleistoceno también es notoria: se han identificado vestigios de glaciaciones alpinas en las cumbres y amplias terrazas fluviales en los valles. En conjunto, la geología estructural de Santander refleja un viejo basamento metamórfico levantado por fallas andinas y esculpido por la erosión reciente, dando al departamento su relieve abrupto y montaña escarpada característica.

5. GEOMORFOLOGÍA

5.1. MORFOGÉNESIS

La morfogénesis del sector 23 de Junio está asociada a la evolución de una ladera de origen denudacional, desarrollada sobre depósitos cuaternarios y posteriormente modificada por la acción combinada de procesos gravitacionales y fluviales. El modelado del relieve responde principalmente a la remoción progresiva de materiales superficiales, favorecida por pendientes moderadas a muy abruptas y por la concentración de escorrentía hacia el drenaje principal del sector

En la parte media y baja del talud, los procesos denudacionales han generado la acumulación de depósitos coluviales recientes, producto del transporte gravitacional de materiales desde las zonas más altas. De igual forma la dinámica fluvial ha intervenido en el fondo de la ladera, dando origen al cauce aluvial activo y a superficies de terraza, que representan episodios de sedimentación y reajuste del drenaje.

5.2. MORFOMETRÍA

El análisis morfométrico en este estudio busca comprender cómo la forma del relieve condiciona la estabilidad local. Este enfoque se basa en el uso de tres parámetros ampliamente aceptados en geomorfometría: la pendiente la rugosidad y la curvatura del terreno, que según Wood (1996) y Pike et al. (2009), describen de manera efectiva cómo se organiza el terreno y cómo se distribuyen los procesos superficiales.

5.2.1. PENDIENTE

El relieve del sector 23 de Junio muestra un contraste marcado entre zonas de pendiente baja en los bordes y un parte central de ladera con pendientes medias a altas. En los márgenes se reconocen superficies planas a suavemente inclinadas y zonas inclinadas, asociadas a áreas de transición y pequeñas plataformas urbanas. Hacia el interior domina una ladera continua con pendientes moderadamente abruptas y abruptas, que representan la mayor parte del talud y controlan la dirección del escurrimiento superficial.

Asi mismo se presentan algunos sectores con pendientes muy abruptas y sectores escarpados, principalmente asociados a los cambios bruscos de relieve. Estas pendientes altas son las más sensibles a procesos de inestabilidad superficial, cuando se combinan con intervención antrópica y concentración de aguas lluvias.

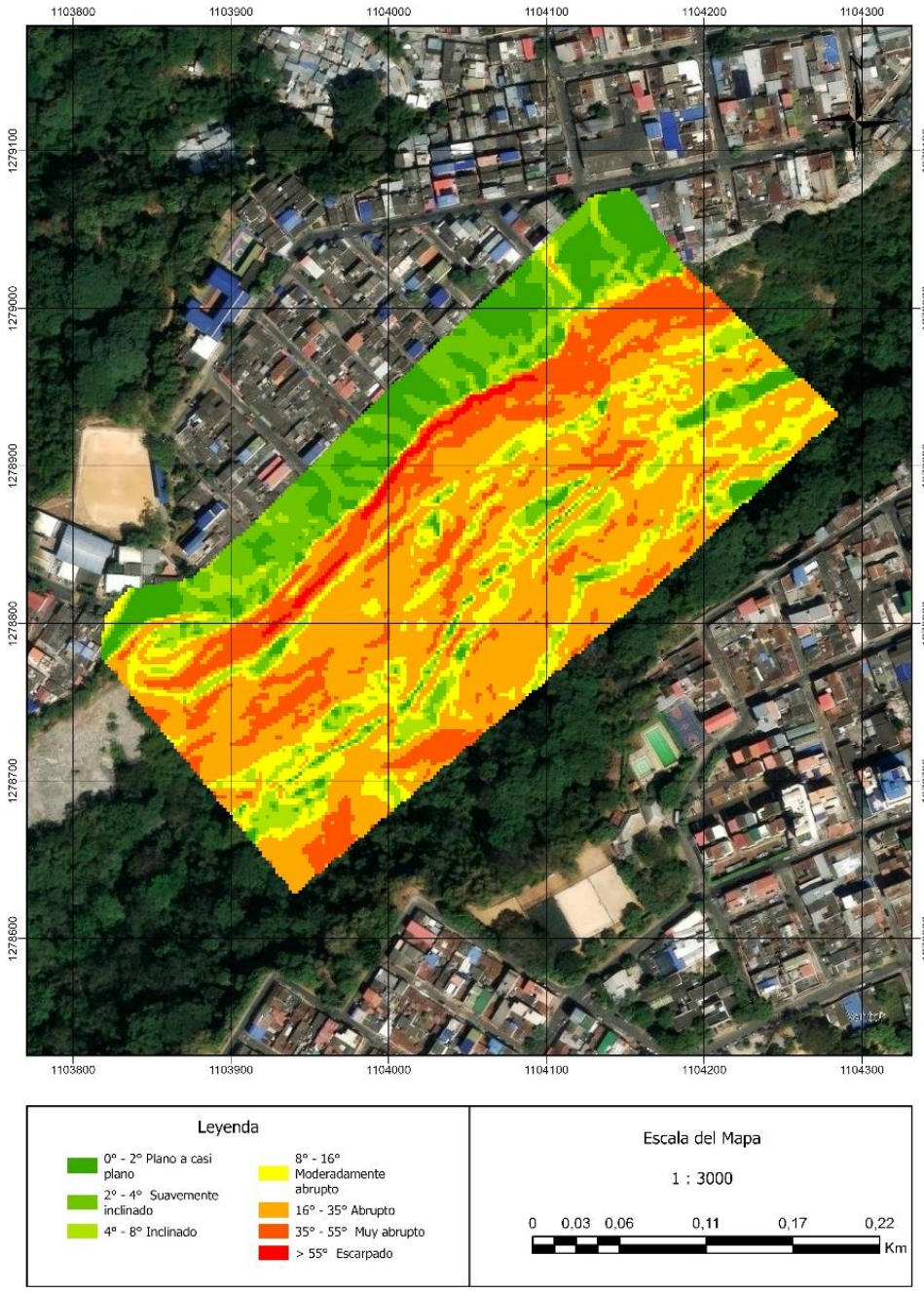


Ilustración 11. Mapa de pendientes del sector 23 de Junio

5.2.2. CURVATURA

El análisis de la curvatura del terreno en el sector 23 de Junio evidencia un predominio de superficies planas a semiplanas, que corresponden a zonas de transición y a áreas parcialmente intervenidas por la urbanización. Estas superficies se distribuyen de forma continua a lo largo del talud y reflejan sectores donde la escorrentía tiende a dispersarse. Se identifican curvaturas cóncavas moderadas, relacionadas con los drenajes del sector y surcos incipientes, donde se concentra el flujo superficial y se favorecen procesos de erosión y acumulación de humedad. En contraste, las curvaturas convexas, indican zonas de mayor exposición, pérdida de material y potencial inestabilidad superficial.

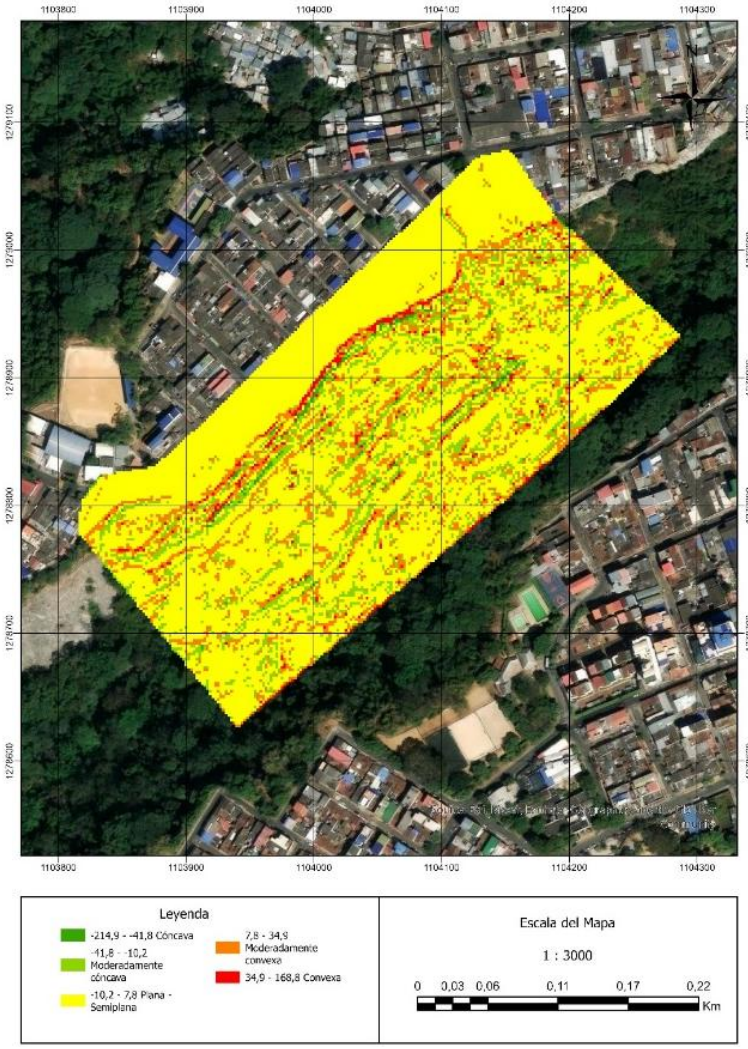


Ilustración 12. Mapa de curvatura del terreno, sector 23 de Junio

5.2.3. RUGOSIDAD

El análisis de la rugosidad del terreno en el sector 23 de Junio muestra un predominio de rugosidad baja a moderada, asociada a laderasa, con cobertura vegetal y superficies estabilizadas por la ocupación urbana. Estas zonas reflejan un relieve suavizado, donde la variación de la pendientes es menor, sin claras manifestaciones de procesos superficiales.

Se identifican puntualmente 3 sectores con rugosidad alta a muy alta, principalmente sobre eje central del talud y con sectores donde se concentran surcos y escorrentía superficial. Estas áreas evidencian una mayor irregularidad del terreno, producto de procesos erosivos activos y modificaciones antrópicas.

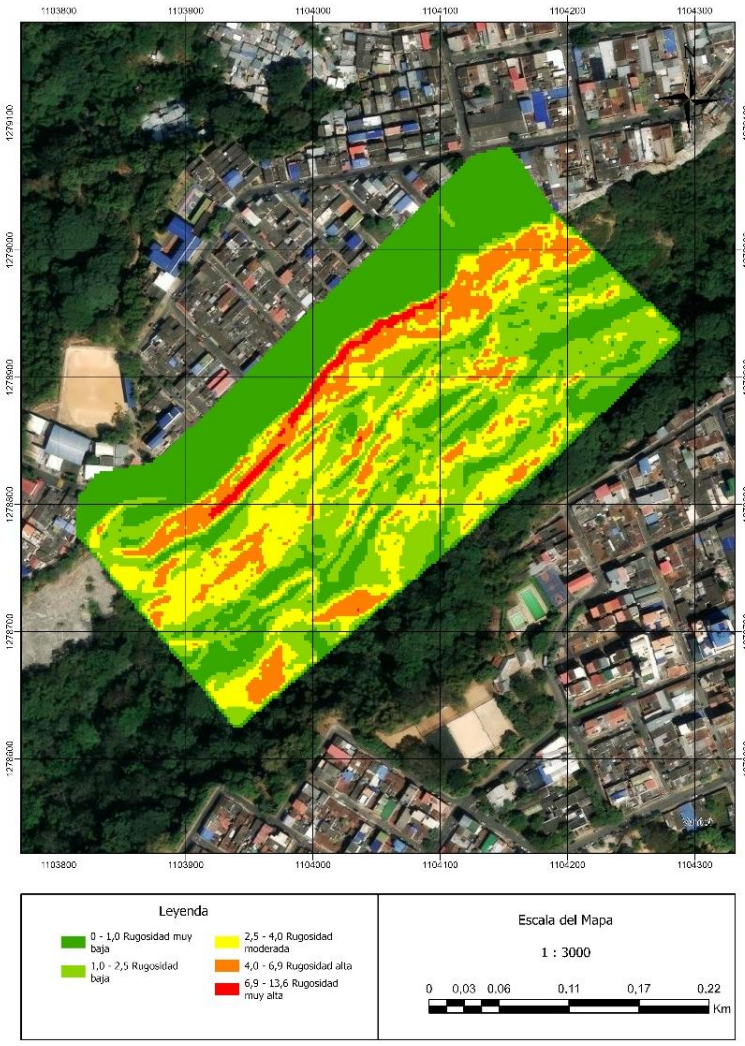


Ilustración 13. Mapa de rugosidad del terreno, sector 23 de Junio

5.3. MORFODINÁMICA

La morfodinámica del sector 23 de Junio esta condicionada por la relación entre la pendiente de las laderas, la escorrentía superficial y la intervención antrópica. En las laderas denudacionales abruptas y muy abruptas predominan procesos de lavado superficial, erosión laminar y formación de surcos, asociados a la concentración de aguas lluvias y a la baja cohesión de los materiales superficiales.

En los sectores de mayor pendiente y rugosidad se presentan desprendimientos puntuales y movimientos superficiales de suelo, especialmente en áreas afectadas por cortes antrópicos, senderos informales y pérdida de cobertura vegetal. Estas zonas actúan como fuentes de material que es transportado por gravedad hacia las partes bajas del talud.

Hacia el fondo de la ladera, la dinámica se concentra en el cauce aluvial activo, donde se desarrollan procesos de socavación, transporte y deposición de sedimentos, con acumulación de materiales en terrazas y depósitos coluviales adyacentes.

5.4. ELEMENTOS GEOMORFOLOGICOS

Para la escala detallada empleada en este estudio, los elementos geomorfológicos constituyen la unidad básica de análisis, ya que permiten reconocer con precisión las formas del terreno, sus variaciones morfométricas y los microrelieves asociados a condiciones litológicas y procesos locales. Este enfoque facilita diferenciar rasgos puntuales dentro de una misma subunidad geomorfológica y entender cómo responden a los procesos que los modelan. La clasificación y descripción de estos elementos se realiza siguiendo los lineamientos de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia (Carvajal, 2011), con el fin de caracterizar cada geoforma según su origen, configuración, dimensiones y dinámica actual.

El sector 23 de Junio se caracteriza por un relieve dominado por laderas denudacionales abruptas y muy abruptas, que concentran los principales procesos de escorrentía y erosión superficial. De manera puntual se presentan depósitos coluviales en el pie del talud y formas fluviales activas asociadas al cauce y sus terrazas.

5.4.1. GEOFORMAS DE ORIGEN DENUDACIONAL

5.4.1.1 LADERA DENUDACIONAL ABRUPTA (Dla)

En el áera de estudio corresponde al elemento geomorfológico con mayor porcentaje de área desarrollado a lo largo de la zona central del talud. Se caracteriza por pendientes fuertes, relieve irregular y superficies modeladas por procesos de remoción superficial y escorrentía concentrada. Estas laderas constituyen el soporte principal de la ocupación urbana en el sector y presentan suelos residuales y coluviales con diferentes grados de intervención antrópica, así mismo se evidencian surcos y variaciones de pendiente.

5.4.1.2 LADERA DENUDACIONAL MUY ABRUPTA (Dlma)

Esta unidad se localiza principalmente en sectores donde el talud presenta pendientes muy pronunciadas y un relieve más abrupto, asociado a zonas de transición entre la parte alta urbanizada y las laderas que desembocan en el cauce principal. Se caracteriza por una alta rugosidad del terreno y mayor exposición de los materiales superficiales.

Las laderas denudacionales muy abruptas concentran procesos de erosión, desprendimientos y desprendimientos de material, especialmente en los sectores que presentan límites con superficies antrópicas.

5.4.1.3 LADERAS DENUDACIONALES INCLINADAS (Dli)

En el sector estos elementos se relacionan con superficies de pendiente moderada que se desarrollan hacia los bordes laterales del sector, actuando como zonas de transición entre áreas más estables y laderas abruptas. Presentan un relieve más regular y menor energía del terreno, lo que favorece una escorrentía más difusa.

5.4.1. GEOFORMAS DE ORIGEN FLUVIAL

5.4.3.1 CAUCE ALUVIAL ACTIVO (Fca)

Corresponde al eje de drenaje principal que atraviesa el sector, asociado al cauce activo de la quebrada Seca. Esta unidad está conformada por depósitos aluviales recientes, con materiales sueltos

y sometidos a procesos de socavación y transporte. El cauce actúa como el principal colector de escorrentía del sector y condiciona la dinámica geomorfológica del talud adyacente.

5.4.3.2 TERRAZAS DE CAUCE ALUVIAL ACTIVO (Ftca)

Esta unidad corresponde a superficies ligeramente elevadas respecto al cauce activo, que representan antiguos niveles de sedimentación fluvial. Presentan pendientes suaves y materiales aluviales parcialmente estabilizados, aunque aún susceptibles a inundación ocasional y erosión lateral.

5.4.2. GEOFORMAS DE ORIGEN ANTRÓPICO

5.4.4.1 SUPERFICIE DE EXPLANACIÓN (Ase)

Corresponde a superficies artificialmente modificadas mediante cortes y rellenos para la adecuación de áreas urbanas y vías de acceso de los barrios aledaños al sector 23 de Junio.

CÓDIGO UGI	ELEMENTO GEOMORFOLÓGICO	ÁREA HECTÁREAS
Fca	Cauce aluvial activo	0,815
Dla	Ladera denudacional abrupta	3,149
Dlma	Ladera denudacional muy abrupta	1,421
Dladc	Laderas abruptas de depósitos coluviales	0,480
Dli	Laderas denudacionales inclinadas	0,713
Ase	Superficie de explanación	1,967
Ftca	Terrazas de cauce aluvial activo	0,871

Tabla 5. Clasificación de los elementos geomorfológicos, sector 23 de Junio.

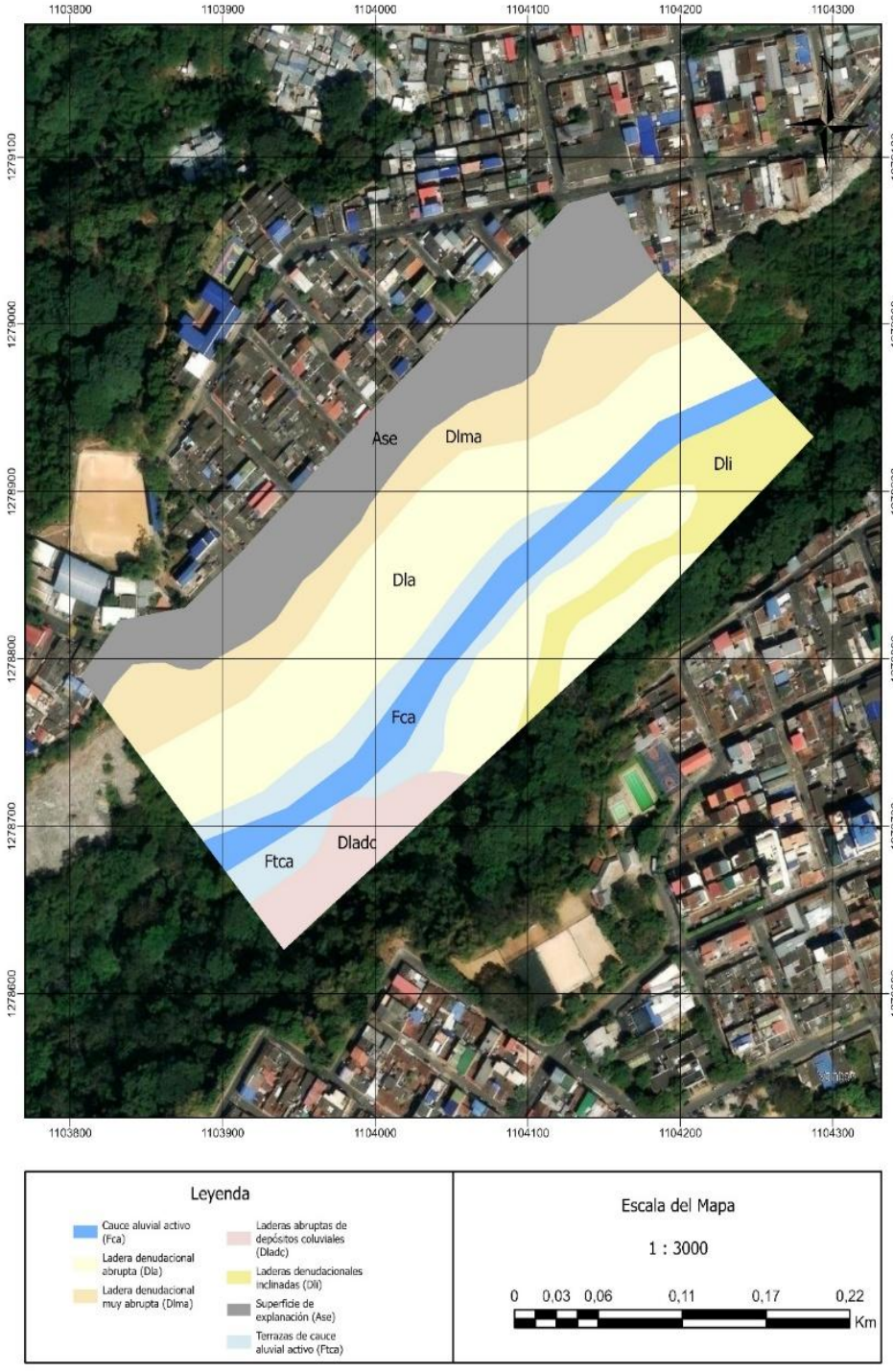


Ilustración 14. Mapa de elementos geomorfológicos, sector 23 de Junio.

6. COBERTURA DEL SUELO

El análisis de coberturas del suelo permite identificar los tipos de uso y vegetación presentes en cada sector, así como su relación con la dinámica del terreno y las condiciones de estabilidad local. A escala detallada, estas coberturas reflejan el grado de intervención antrópica, la continuidad de la vegetación y la capacidad del terreno para protegerse frente a la erosión y la escorrentía.

El sector 23 de Junio presenta una cobertura del suelo dominada por bosque abierto, que protege parcialmente la ladera y regula la escorrentía superficial. De forma localizada se desarrollan áreas urbanas consolidadas y red vial que incrementan la impermeabilización del terreno, mientras que el canal de cauce activo concentra el drenaje del sector. De manera puntual se identifican áreas deportivas y tierras degradadas, asociadas a intervención antrópica.

6.1. BOSQUE ABIERTO (Ba)

La cobertura del suelo de tipo bosque abierto, está conformada por vegetación secundaria con árboles dispersos, arbustos y estrato herbáceo, ayudando a regular la escorrentía superficial.



Ilustración 15. Cobertura del suelo asociada a bosque abierto, sector 23 de Junio

6.2. TEJIDO URBANO CONTINUO DE VIVIENDAS URBANAS (Tucvu)

Esta cobertura se localiza principalmente en la parte superior del sector y corresponde a áreas residenciales consolidadas con alta densidad de viviendas.

6.3. RED VIAL (Rv)

Esta cobertura se encuentra asociada en el sector a la infraestructura vial que bordea y atraviesa parcialmente el sector, facilitando el acceso a las viviendas y áreas aledañas.

6.4. CANAL DE CAUCE ACTIVO (Cca)

Esta cobertura corresponde al eje de drenaje que atraviesa el sector y concentra el flujo superficial proveniente de la ladera. Se asocia directamente a procesos de transporte de sedimentos, erosión y socavación durante eventos de lluvia. Cumple un papel fundamental en la dinámica hidrológica y geomorfológica del sector.

6.5. ÁREAS DEPORTIVAS (Ad)

Corresponde a superficies intervenidas y niveladas destinadas a actividades recreativas y deportivas. Presentan cobertura vegetal baja o superficies compactadas, lo que reduce la infiltración y favorece la generación de escorrentía superficial.



Ilustración 16 Área deportiva, sector 23 de Junio

6.6. TIERRAS DEGRADADAS (Td)

Esta cobertura se presenta de manera puntual y corresponde a áreas con pérdida parcial de la cobertura vegetal, suelo expuesto y signos de alteración por uso antrópico.

CÓDIGO	COBERTURA DEL SUELO	ÁREA HECTÁREAS
Ba	Bosque abierto	6,97
Ad	Areas deportivas	0,09
Tucvu	Tejido urbano contiuo viviendas urbanas	1,06
Td	Tierras degradadas	0,11
Rv	Red Vial	0,37
Cca	Canal de cauce activo	0,82

Tabla 6. Clasificación de las coberturas del suelo, sector 23 de Junio

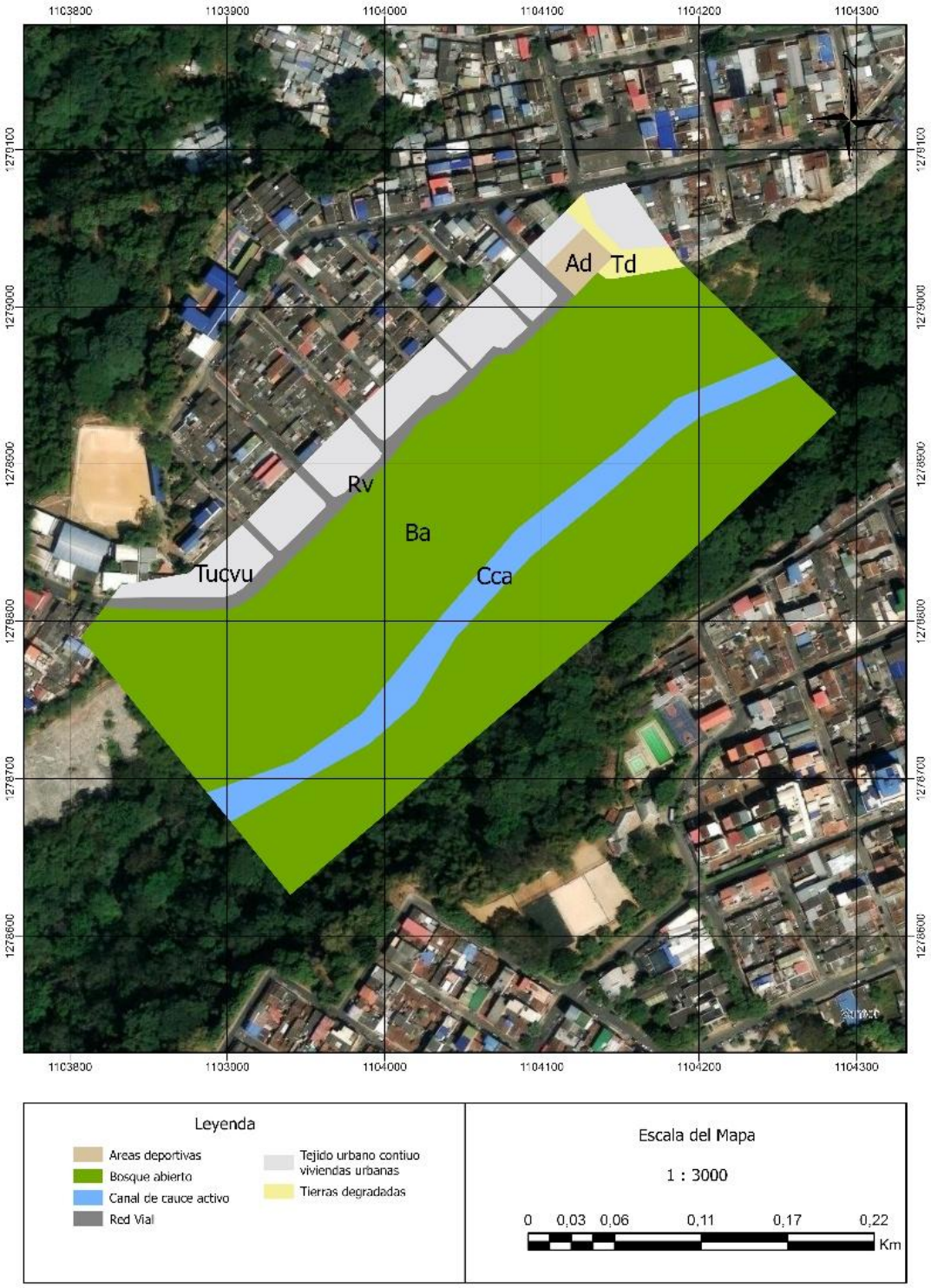


Ilustración 17. Mapa de cobertura del suelo, sector 23 de Junio

7. EVALUACION HIDROLOGÍCA - SECTOR 23 DE JUNIO

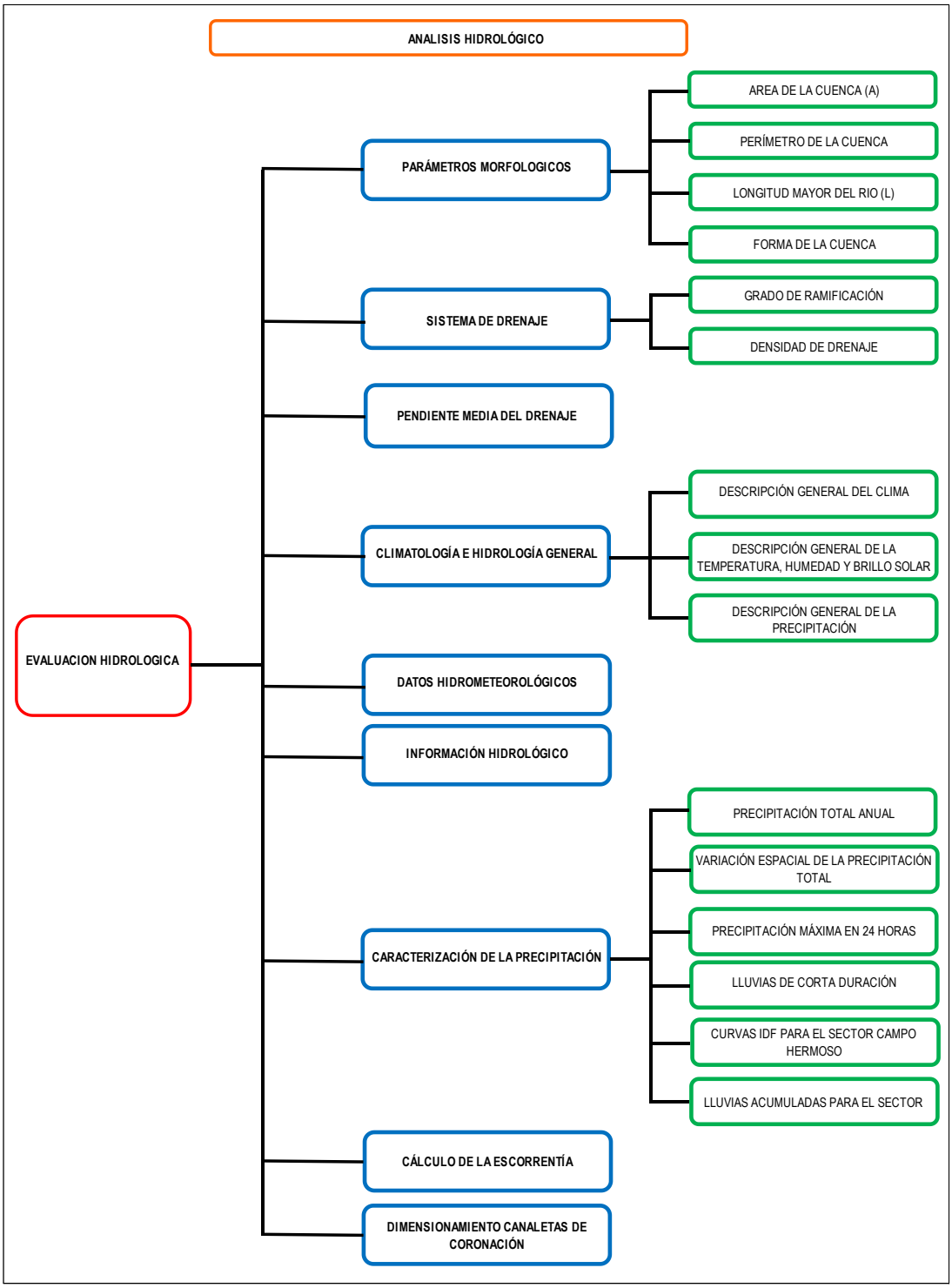


Tabla 7. Contenido Hidrología

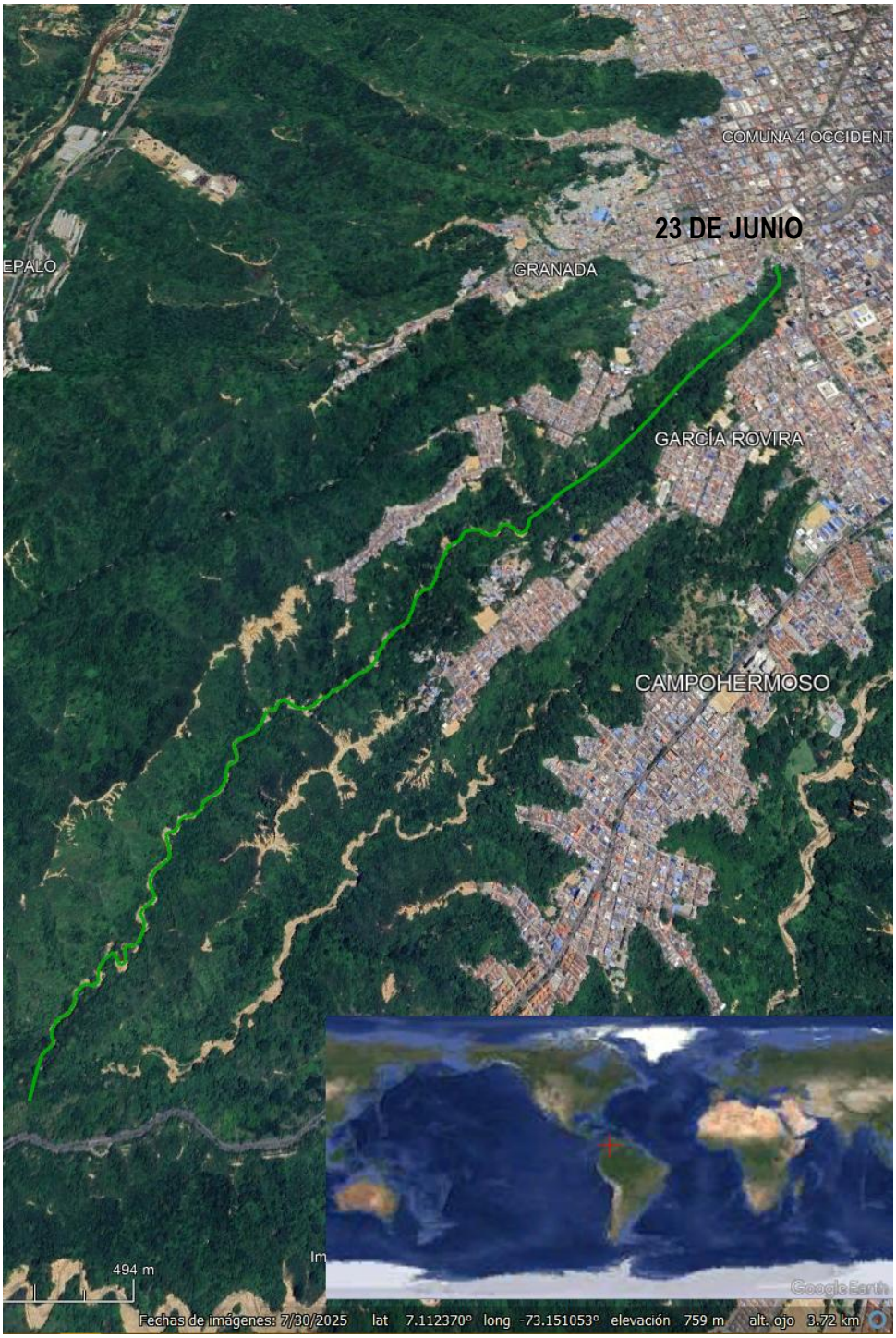


Ilustración 18 Delimitación de la quebrada seca influencia del sector 23 de junio

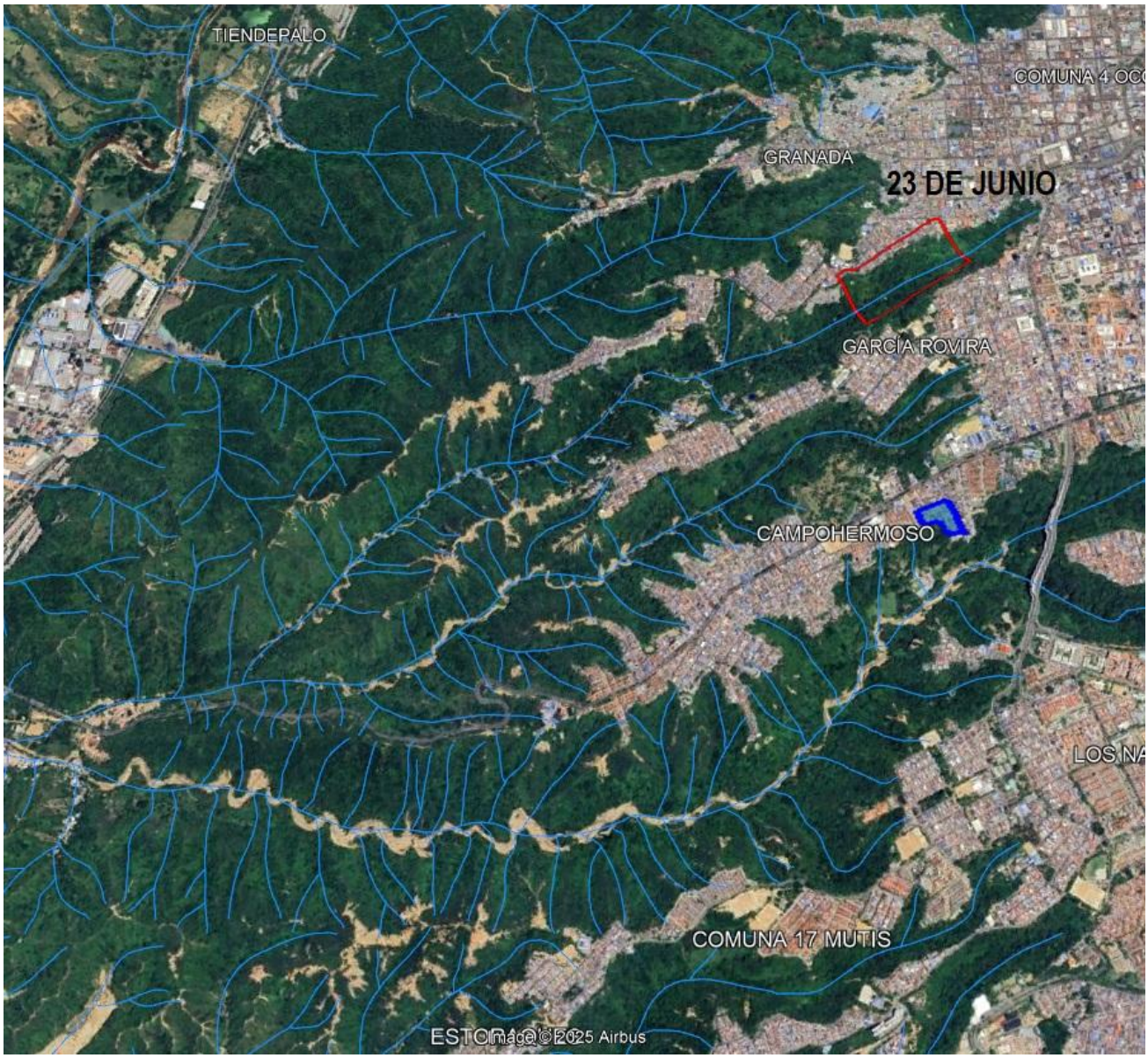


Ilustración 19 Ubicación Área de Estudio respecto a la Quebrada seca

El lugar de estudio hace parte de la cuenca de la quebrada seca, la cual se encuentra al occidente, y se comunica al sector por un área de drenaje desde el TALUD CRITICO – SECTOR 23 DE JUNIO, por el cual corren aguas de escorrentía.

7.1. PARAMETROS MORFOLOGICOS

El relieve del ámbito de las cuencas en estudio es típicamente montañoso y propia de la zona fisiográficamente del paisaje es ondulado a plano, con relación al a vegetación, la zona tiene una densa cobertura de plantas a lo largo de la orilla de la quebrada compuesta por especies autóctonas de zonas tropicales. En este aspecto, se elaboró un marco teórico y el cálculo de los principales parámetros geomorfológicos en el área del proyecto de la microcuenca relacionado a su capacidad de respuesta a la precipitación en forma de escorrentía, estos parámetros incluyen área, perímetro, longitud del cauce principal, ancho promedio, coeficiente de compacidad, factor de forma, grado de ramificación, densidad de drenaje y pendiente Media.

7.1.1. AREA DE LA CUENCA (A)

La superficie de la cuenca delimitada por el divisor topográfico corresponde a la superficie de la misma proyectada en un plano horizontal, y su tamaño influye en forma directa sobre las características de los escurrimientos fluviales y sobre la amplitud de las fluctuaciones.

7.1.2. PERÍMETRO DE LA CUENCA

El perímetro de la cuenca está definido por la longitud de la línea de división de aguas (Divortium Aquarium).

7.1.3. LONGITUD MAYOR DEL RIO (L)

Recibe este nombre, el mayor cauce longitudinal que tiene una cuenca determinada, es decir, el mayor recorrido que realiza el río desde la cabecera de la cuenca, siguiendo todos los cambios de dirección o sinuosidades hasta un punto fijo de interés, que puede ser una desembocadura.

7.1.4. FORMA DE LA CUENCA

Es la que determina la distribución de las descargas de agua a lo largo del curso principal o cursos principales, y es en gran parte responsable de las características de las crecientes que se presentan en la cuenca. Es expresada por parámetros, tales como el Ancho Promedio, Coeficiente de Compacidad y el Factor de forma.

ANCHO PROMEDIO

Es la relación entre el área de la cuenca y la longitud mayor del curso del río, la expresión es la siguiente:

PARÁMETROS FORMA DE LA CUENCA			
ANCHO PROMEDIO			
DESCRIPCIÓN	**UNIDAD**	**SIGLA**	**FORMULA**
ANCHO PROMEDIO DE LA CUENCA	KM	Ap	$Ap = A/L$
AREA DE LA CUENCA	KM^2	A	
LONGITUD MAYOR CAUCE DEL AFLUENTE	KM	L	

COEFICIENTE DE COMPACIDAD (Kc)

O índice de Gravelius, constituye la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de una circunferencia cuya área - igual a la de un círculo - es equivalente al área de la cuenca en estudio. Su fórmula es la siguiente:

PARÁMETROS FORMA DE LA CUENCA			
COEFICIENTE DE COMPACIDAD (Kc)			
DESCRIPCIÓN	**UNIDAD**	**SIGLA**	**EXPRESIÓN**
COEFICIENTE DE COMPACIDAD	KM/KM^2	Kc	$Kc = \frac{P}{2\sqrt{P * A}}$ ó $kc = 0.28\sqrt{\frac{P}{A}}$
PERÍMETRO DE LA CUENCA	KM	P	
ÁREA DE LA CUENCA	KM^2	A	

Una cuenca se aproximará a una forma circular cuando el valor Kc se acerque a la unidad, Cuando se aleja de la unidad, presente una relación irregular con relación al círculo. Si este coeficiente fuera igual a la unidad, significa que habrá mayores oportunidades decrecientes debido a que los tiempos de Concentración, Tc (duración necesaria para que una gota de agua que cae en el punto más alejado de aquella llegue a la salida o desembocadura), de los diferentes puntos de la cuenca serían iguales. De igual modo, cuanto mayor sea el valor de Kc, también será mayor el tiempo de concentración de las aguas y. por tanto, estará menos propensa a una inundación. Generalmente en cuencas muy alargadas el valor de Kc, es mayor que 2. Un valor de Kc, menor que 1 nos indica una cuenca de forma circular, siguiendo el desarrollo de su curso principal, debiendo estar más expuesta a las crecientes que una cuenca de forma redondeada.

FACTOR DE FORMA (Ft)

Es otro índice numérico con el que se puede expresar la forma y la mayor o menor tendencia a crecientes de una cuenca. Es la relación entre el ancho promedio de la cuenca (Ap) y la longitud del curso de agua más largo (L).
La expresión es la siguiente:

PARÁMETROS FORMA DE LA CUENCA			
FACTOR DE FORMA (Ft)			
DESCRIPCIÓN	**UNIDAD**	**SIGLA**	**EXPRESIÓN**
FACTOR DE FORMA		Ft	$Ft = \frac{Ap}{L}$
AREA DE LA CUENCA	KM^2	A	
LONGITUD DEL CURSO MÁS LARGO	KM	L	

Una cuenca con Factor de Forma bajo, está sujeta a menos crecientes que otra del mismo tamaño, pero con un Factor de Forma mayor. Este valor es adimensional.

7.2. SISTEMA DE DRENAJE

El sistema de drenaje de una cuenca está conformado por un curso de agua principal y sus tributarios: observándose por lo general, que cuanto más largo sea el curso de agua principal, más llena de

bifurcaciones será la red de drenaje. Con la finalidad de determinar las características de dicha red, se definen los siguientes índices:

GRADO DE RAMIFICACIÓN

Para definir el grado de ramificación de un curso de agua principal (Según Horton), se ha considerado el número de bifurcaciones que presentan sus tributarios, asignándole un orden a cada uno de ellos en forma creciente desde el curso principal hasta el encuentro con la divisoria de la cuenca.

DENSIDAD DEL DRENAJE

Indica la relación entre la longitud total de los cursos de agua: efímeros, intermitentes o perennes de una cuenca (Li) y el área total de la misma (A). Valores altos de densidad refleja una cuenca muy bien drenada que debería responder relativamente rápido al influjo de la precipitación, es decir que las precipitaciones influirán inmediatamente sobre las descargas de los ríos (Tiempos de Concentración cortos). Una cuenca con baja densidad de drenaje refleja un área pobremente drenada con respuesta hidrológica muy lenta. Una baja densidad de drenaje es favorecida en regiones donde el material del subsuelo es altamente resistente bajo una cubierta de vegetación muy densa y de relieve plano. La densidad de drenaje tiende a uno en ciertas regiones desérticas de topografía plana y terrenos arenosos, y a un valor alto en regiones húmedas, montañosas y de terrenos impermeables. Esta última situación es la más favorable, pues si una cuenca posee una red de drenaje bien desarrollada, la extensión media de los terrenos a través de los cuales se produce el escurrimiento superficial es corto y el tiempo en alcanzar los cursos de agua también será corto; por consiguiente, la intensidad de las precipitaciones influirá inmediatamente sobre el volumen de las descargas de los ríos. La expresión es la siguiente:

SISTEMA DE DRENAJE			
DENSIDAD DE DRENAJE			
DESCRIPCIÓN	**UNIDAD**	**SIGLA**	**EXPRESIÓN**
DENSIDAD DE DRENAJE	KM/KM^2	Dd	$Dd = \frac{Li}{A}$
LONGITUD TOTAL DE LOS CURSOS DE AGUA	KM	Li	
AREA DE LA CUENCA	KM^2	A	

Monsalve, refiere que Dd usualmente toma los siguientes valores:

Entre 0.5 Km/Km2 para hoyas con drenaje pobre. Hasta 3.5 Km/Km2 para hoyas excepcionalmente bien drenadas.

7.3. PENDIENTE MEDIA DEL DRENAJE

El agua superficial concentrada en los lechos fluviales escurre con una velocidad que depende directamente de la declividad de éstos, así a mayor declividad habrá mayor velocidad de escurrimiento. La pendiente Media del río es un parámetro empleado para determinar la declividad de un curso de agua entre dos puntos. Se determina mediante la siguiente expresión:

PENDIENTE MEDIA DEL DRENAJE		
DESCRIPCIÓN	**SIGLA**	**EXPRESIÓN**
PENDIENTE MEDIA DEL RIO	Ic	$Ic = \frac{HM - Hm}{1000 * L}$
LONGITUD DEL RIO	L	
ALTITUD MÁXIMA Y MÍNIMA DEL LECHO DEL RIO, REFERIDAS AL NIVEL MEDIO DE LAS AGUAS DEL MAR	HM y Hm	

SECTOR 23 DE JUNIO - QUEBRADA SECA		
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MEDIDA
PERÍMETRO	M	8484
ÁREA	M^2	1177284
LONGITUD	M	3941

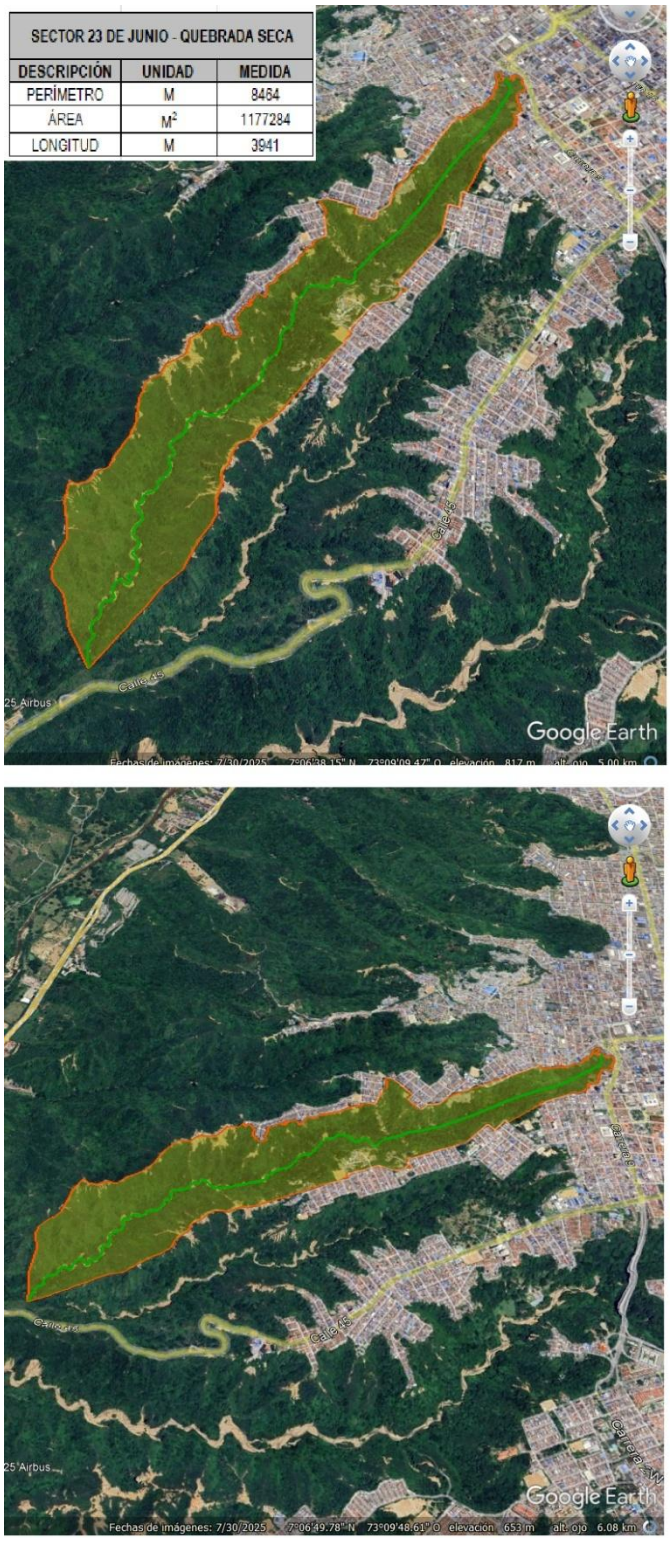


Ilustración 20 Microcuenca Quebrada seca

DATOS	UNIDAD	PARAMETROS MORFOLOGICOS DE LA MICROCUENCA QUEBRADA SECA
AREA	Km²	1,18
COTA SUP.	msnm	935
COTA INF.	msnm	739
LOG. CAUCE	km	3,94
PERIMETRO	km	8,46
ANCHO PROMEDIO	km	0,299
COEF. COMPACIDAD	km/km²	0,749725373
FACTOR DE FORMA		0,076013296
DENSIDAD DE DRENAJE	km/km²	3,338983051
PENDIENTE MEDIA DEL DRENAJE	%	4,974619289
PENDIENTE MEDIA DEL DRENAJE	m/Km	49,74619289
PENDIENTE MEDIA DEL DRENAJE	m/m	0,049746193

Tabla 8. Parámetros morfológicos de la microcuenca

7.4. CLIMATOLOGÍA E HIDROLOGÍA

7.4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CLIMA

Para la identificación del clima, se utilizan los parámetros presentados por el IDEAM para la ciudad de Bucaramanga a nivel mensual y se aplican al sector desde el TALUD CRITICO – SECTOR 23 DE JUNIO como se muestra en la tabla. (FUENTE: IDEAM).

MEDIOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
PRECIPITACION	52.40	70.80	131.90	152.90	123.50	89.00	84.40	91.80	92.60	157.00	110.90	57.90
No. DE DIAS	8.00	9.00	14.00	18.00	19.00	17.00	18.00	20.00	18.00	20.00	14.00	9.00
T. MAX. ABS	29.20	30.50	29.60	29.00	29.00	29.20	29.00	30.20	29.40	28.80	29.00	28.40
T. MIN. ABS	15.00	15.40	15.60	16.70	16.60	15.60	14.20	12.40	15.50	13.00	15.80	15.60
T. MAX. MED.	27.30	27.60	27.90	27.50	27.60	27.60	27.60	28.20	28.00	27.60	26.90	26.90
TEMPERATURA	21.10	21.40	21.60	21.40	21.30	21.30	21.30	21.30	21.10	20.60	20.70	20.70
T. MIN. MED.	16.70	16.90	16.90	17.20	17.30	17.00	16.60	16.40	16.50	16.30	17.00	16.80
HUMEDAD	82.00	83.00	84.00	87.00	88.00	87.00	85.00	84.00	86.00	89.00	90.00	88.00
BRILLO	216.40	163.10	149.10	132.70	152.10	142.60	172.20	155.70	153.70	145.40	148.10	188.60
EVAPORACIÓN	135.50	128.70	135.20	117.80	122.50	110.40	124.00	121.80	121.10	115.70	127.70	116.50
NUBOSIDAD	4.00	5.00	5.00	6.00	6.00	6.00	5.00	6.00	6.00	6.00	6.00	5.00

Tabla 9. Principales Parámetros meteorológicos promedios mensuales anuales

Además, de la red de estaciones consultada como se observa en la tabla Inventario de estaciones en el área Metropolitana de Bucaramanga, con información hidrometeorológica que fue referida en el estudio regional, de las 20 estaciones seleccionadas pertenecientes a la CDMB y el IDEAM y con las cuales se realizó el respectivo análisis espacial y temporal de la lluvia se destaca cinco estaciones con las cuales se realizó el respectivo análisis espacial y temporal de la lluvia que corresponden a las estaciones de Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander, Aeropuerto Palonegro, CDMB y la Flora, se Destaca la estación CDMB como la más cercana al sector en estudio. En la tabla se presentan las estaciones IDEAM que se encuentran activas, involucradas en el análisis espacial y temporal de la lluvia, cercanas al TALUD CRITICO – SECTOR 23 DE JUNIO.

No.	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	MUNICIPIO	CORRIENTE	INSTALADA	TIPO	COORDENADA ESTE	COORDENADA NORTE	ELEVACIÓN (M.S.N.M)
1	BUCARAMANGA IDEAM	BUCARAMANGA	SURATÁ	1/10/1988	PG	1106527	1278528	1025
2	UIS	BUCARAMANGA	TONA	1/01/1957	CP	1108365	1280375	1018
3	FLORESTA LA	FLORIDABLANCA	Q LA IGLESIA	1/06/1978	PG	1104693	1274837	925
13	CDMB	BUCARAMANGA	DE ORO	1/01/1979	PG	1105857	1279071	950
14	CLUB CAMPESTRE	FLORIDABLANCA	FRIO	10/01/1982	PG	1106399	12773072	940
17	LA FLORA	BUCARAMANGA	SURATÁ	1/01/1979	PG	1107543	1280894	1100
19	PTAR	GIRÓN	FRIO	8/01/1985	CO	1102856	1272989	758

Tabla 10. Inventario de estaciones IDEAM no suspendidas – Departamento de Santander, de influencia en el sector 23 de junio.

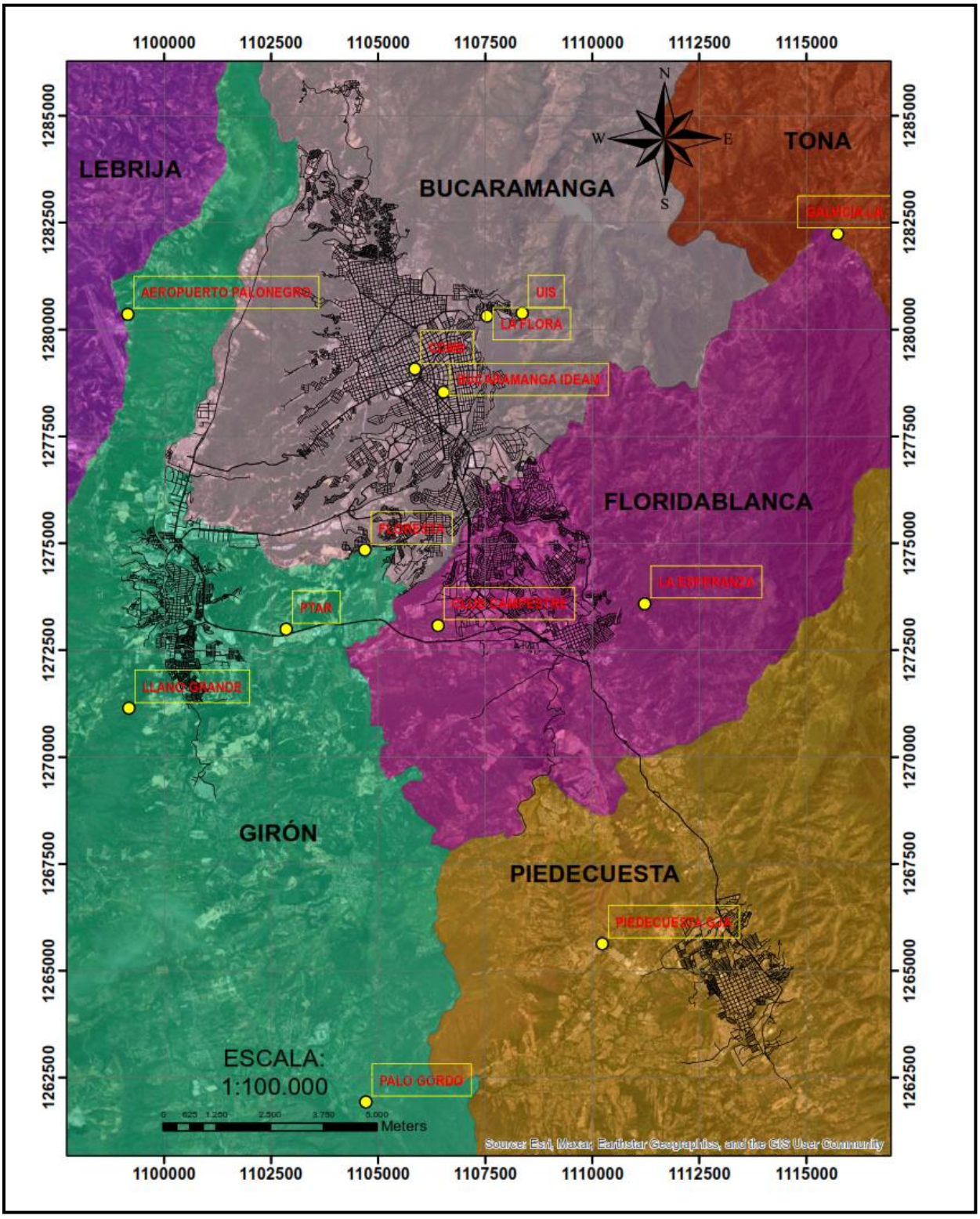


Ilustración 21 Localización estaciones Hidroclimatológicas aferentes al área metropolitana de Bucaramanga

7.4.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA TEMPERATURA, HUMEDAD Y BRILLO SOLAR

En lo correspondiente con la temperatura, humedad y brillo solar para la región existen 4 estaciones climatológicas de las cuales tres son las aferentes al área de estudio, estas son: Estación Universidad Industrial de Santander, Estación Llano Grande y Estación Aeropuerto Palonegro.

Para el análisis de variables del clima en el sector, la estación más próxima es la ubicada en la Universidad Industrial de Santander, la cual es operada por el IDEAM y fue instalada en 1957, tomando los datos de los análisis (bases tomadas para este estudio de INGEOMINAS (2008)). Se observan a continuación los histogramas y temperatura, humedad relativa y brillo solar de forma anual multianual y meda, máxima y mínima mensual multianual de las estaciones referidas.

En cuanto a la temperatura se destaca que los meses con menor temperatura promedio son octubre y noviembre y los de mayor temperatura promedio son marzo y abril coincidiendo este período en las tres estaciones de medición que se muestran en la Tabla siguiente, que presenta la relación de temperatura media, máxima y mínima en las estaciones Llano Grande, UIS, Aeropuerto Palonegro. Período (1975 – 2005) tomada de Ingeominas.

ESTACIÓN	ALTURA (MSNM)	TEMPERATURA (°C)		
		MEDIA	MÁXIMA	MÍNIMA
LLANO GRANDE	777,00	25,10	27,30	21,60
UIS	1018,00	23,00	24,90	28,80
AEROPUERTO PALO NEGRO	1190,00	21,30	23,20	19,20

Tabla 11. Relación de temperatura del periodo (1975 – 2005)

El comportamiento temporal de la temperatura obtenida de los registros de la estación UIS, se presenta en la siguiente Ilustración.

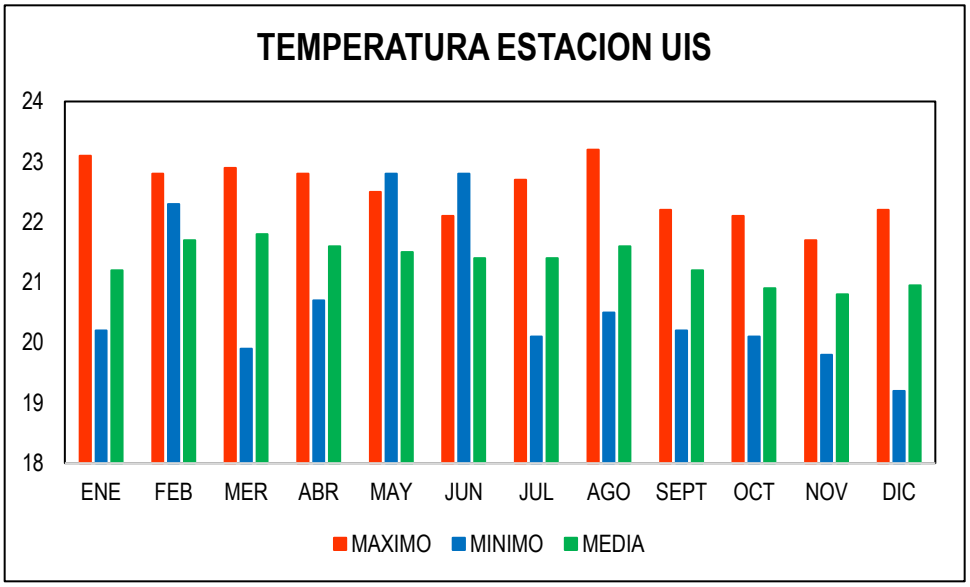


Ilustración 22 Temperatura media mensual multianual estación UIS (1975 – 2005)

En cuanto a la humedad relativa (%) promedio se establece que los valores en la estación Aeropuerto Palonegro (1975-2005) en general son mayores comparadas con la de las estaciones UIS y Llano Grande y que los mayores valores de humedad relativa coinciden con aquellos periodos lluviosos de la zona norte de la ciudad de Bucaramanga, siendo los meses de abril, mayo, octubre y noviembre aquellos con mayor magnitud. Gráficamente el comportamiento temporal de la humedad relativa (%) promedio de la Estación Aeropuerto Palonegro, se presenta en la siguiente Ilustración.

Finalmente, en cuanto a brillo solar se refiere, las estaciones con mayor periodo de registros son UIS y Aeropuerto Palonegro aunque se toma esta última como referencia, mostrando los meses con mayor número de horas de brillo solar, los cuales son diciembre y enero en comparación con los meses de abril, mayo y junio donde es menor su número.

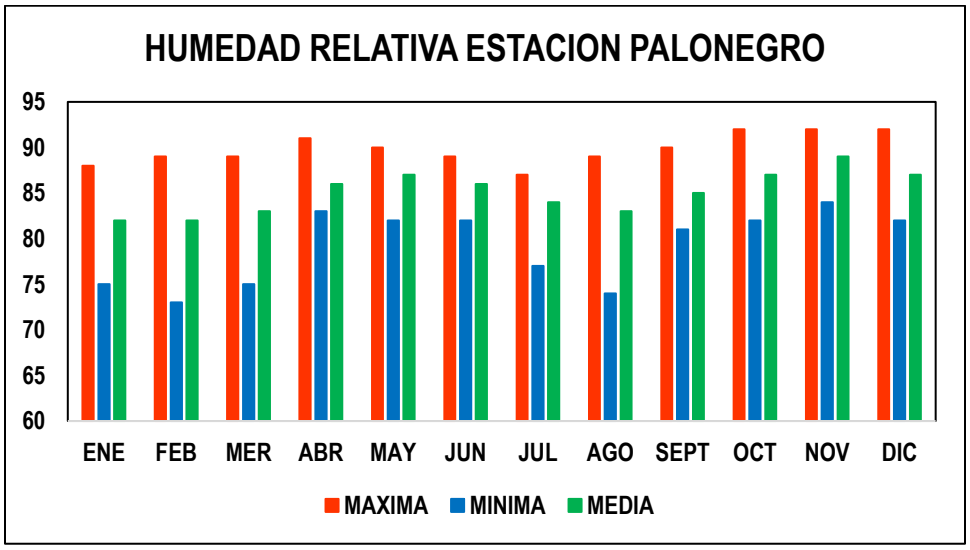


Ilustración 23 Humedad relativa promedio mensual multianual E. Aeropuerto Palonegro

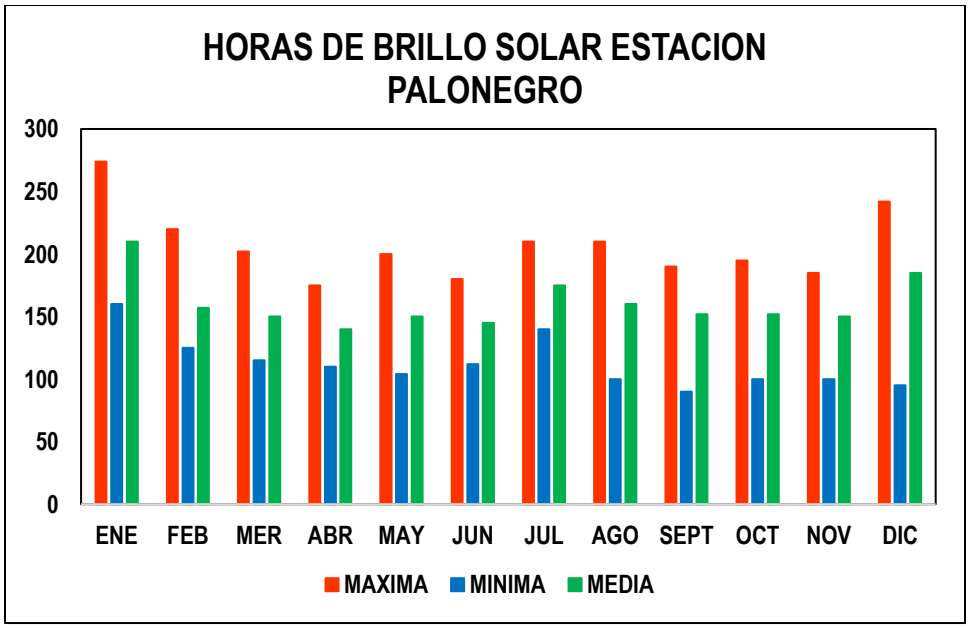


Ilustración 24 Brillo solar mensual multianual estación Aeropuerto Palonegro (1975 – 2005)

7.4.3. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PRECIPITACIÓN

La precipitación es de gran importancia en los análisis de amenaza que se realizarán en el área de estudio. Además, al ser un análisis detallado, es necesario determinar la incidencia de la precipitación sobre el terreno en términos de escorrentía y establecer las posibles obras requeridas.

Los eventos extremos de precipitación registrados en las estaciones seleccionadas dentro de los estudios de INGEOMINAS 2008 fueron relevantes, toda vez que eventos extremos de lluvia son considerados dentro de los análisis de amenazas como factores detonantes de movimientos en masa, como el acontecido el día 12 de febrero de 2005, con gran afectación en los municipios de Girón y Bucaramanga.

A partir de los datos de precipitación entre los años 1985 y 2005 de las diferentes estaciones seleccionadas, se generaron los histogramas para las estaciones como se presenta en la Ilustración 16 de forma particular para la estación Aeropuerto Palonegro (1975-2005).

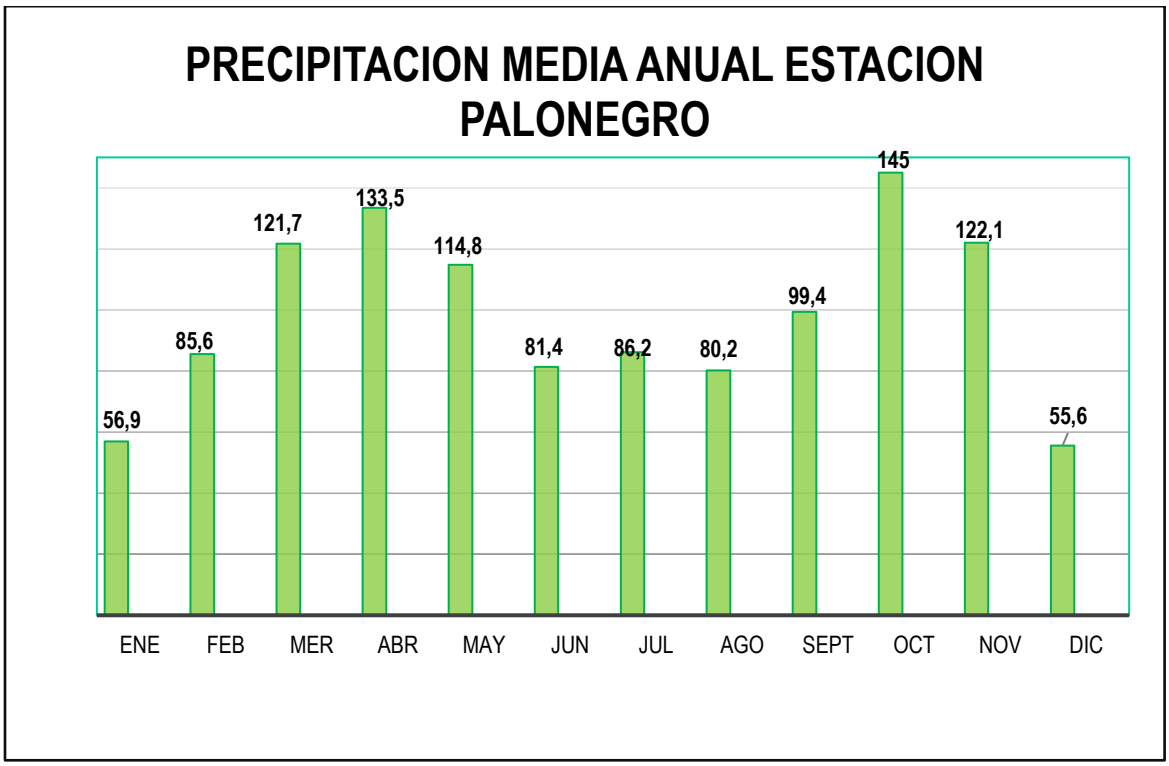


Ilustración 25 Precipitación media mensual multianual Aeropuerto Palonegro (1975 – 2005)

De la anterior grafica se puede deducir que el régimen de precipitación en la estación es bimodal con picos en los meses de abril y octubre del orden de 130 y 145 mm respectivamente, y dos meses de menor precipitación del orden de los 55 mm en diciembre y enero.

Comparando las precipitaciones anuales registradas en las estaciones seleccionadas dentro del estudio de INGEOMINAS 2008, puede apreciarse la relación entre la magnitud anual y la zona como se ilustra en la siguiente ilustración.

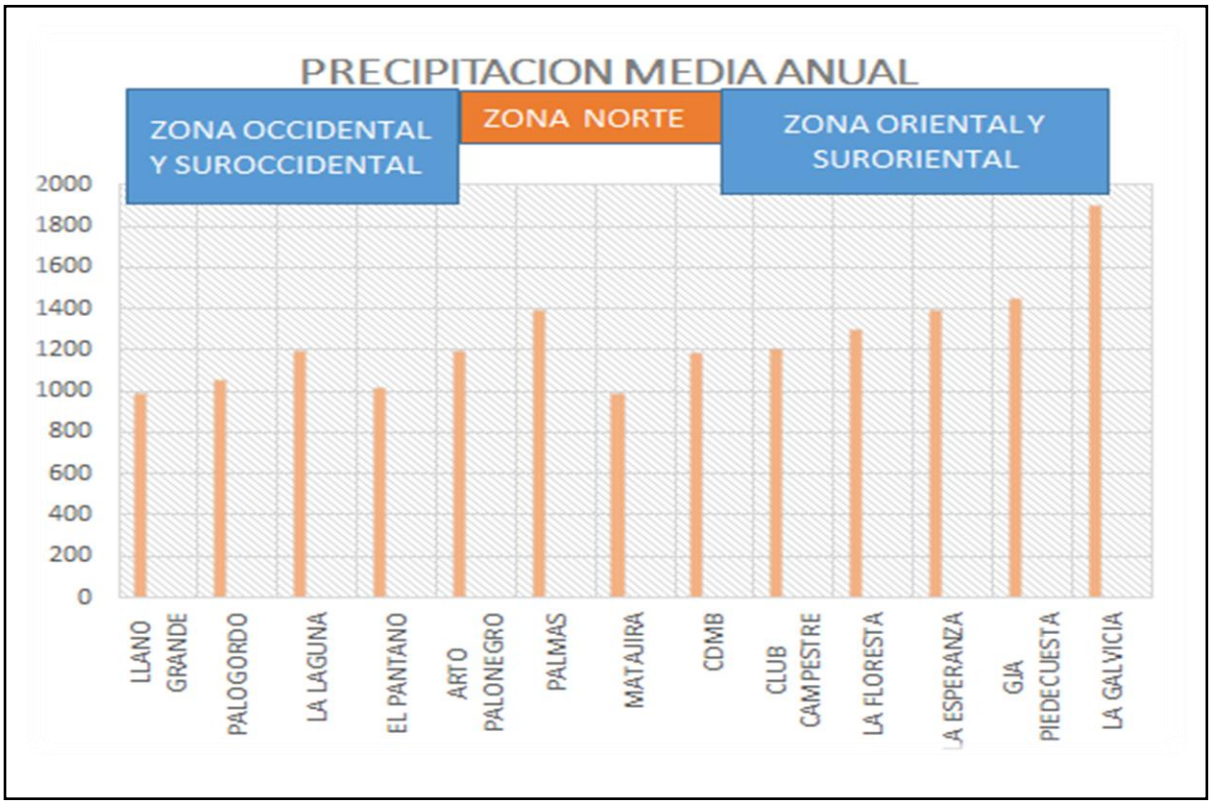


Ilustración 26 Histograma de precipitación media anual multianual estaciones analizadas

A continuación, se presenta el mapa de isoyetas y la distribución de la precipitación anual para la zona Norte de Bucaramanga. (Fuente: INGEOMINAS 2008)

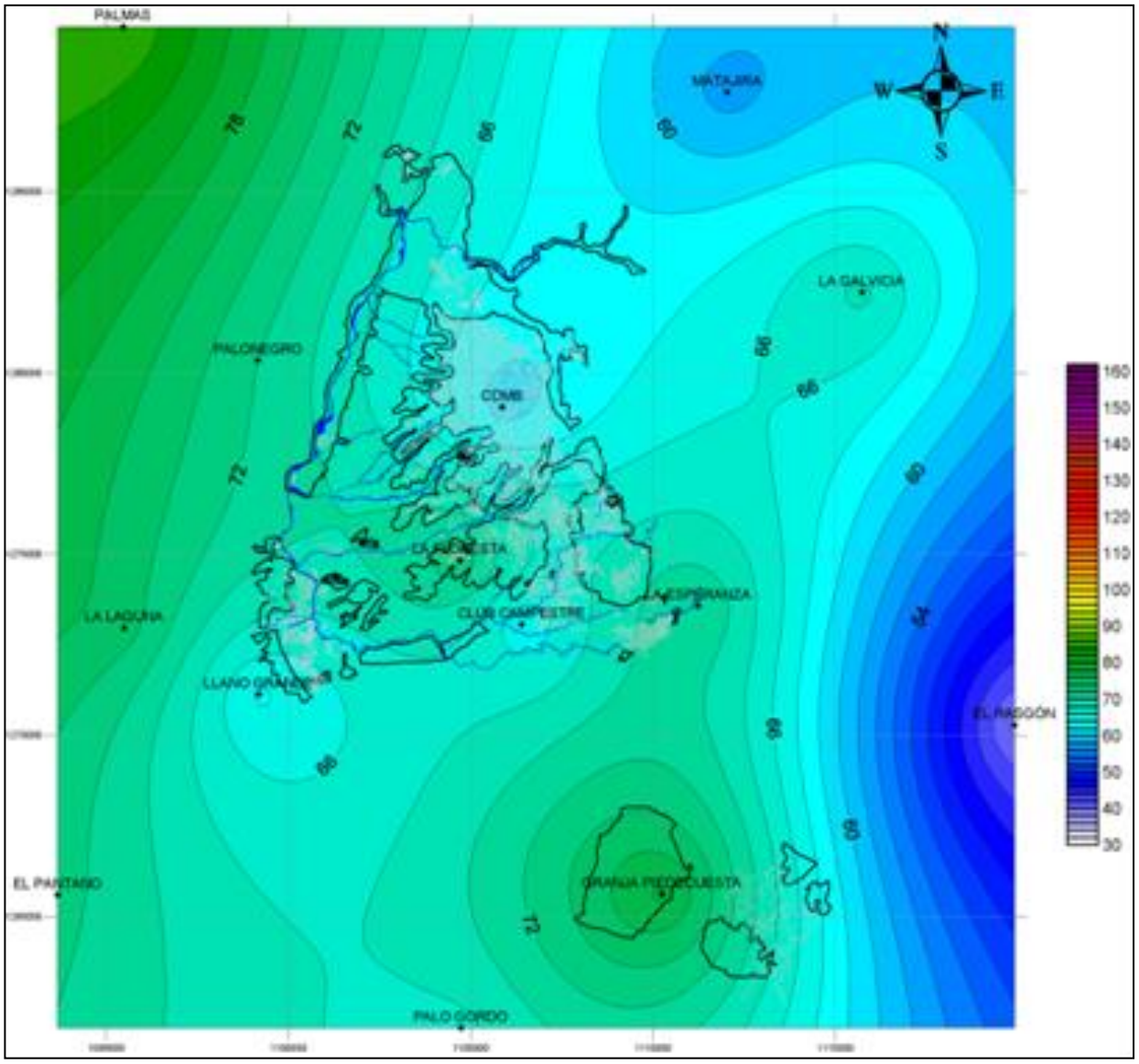


Ilustración 27 Isoyetas período retorno 2 años.

7.5. DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS

Antes de adquirir los datos hidrometeorológicos de la zona de estudio, se realizó un análisis cualitativo indicativo de la calidad de los registros, encontrándose que la periferia al área metropolitana es de

menor cubrimiento espacial, mientras que en las proximidades a las cabeceras municipales mejora la calidad de registro.

Seguidamente se elaboró el inventario de información oficial existente con base en el catálogo de estaciones WEB del IDEAM. Se observaron principalmente las estaciones con registros climatológicos (CO, CP y SP), de tipo Pluviométrico (PM) y Pluviográfico (PG), por ser ésta la información de mayor relevancia para el estudio.

Las estaciones fueron seleccionadas bajo criterio e interés particular requerido para este estudio hidrológico. La información obtenida de las estaciones no solo permitirá la actualización de la información para observar el contexto hidrológico del territorio y observar el comportamiento temporal de la precipitación, sino que también permitirá tener fundamentos sólidos para afirmar o concluir posibles relaciones sobre la ocurrencia de lluvias y deslizamientos.

7.6. INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

Los estudios técnicos elaborados en el área de estudio proporcionan suficiente información técnica.

El Área Metropolitana de Bucaramanga se destaca desde el punto de vista de monitoreo hidrológico porque cuenta con un considerable número de estaciones hidrometeorológicas, en gran medida justificadas por ser esta zona de alta importancia como eje central del desarrollo de la región y por otra parte, por la necesidad de monitoreo de los fenómenos erosivos y de remoción en masa que se presentan, comparada con otras regiones del país.

No obstante, el reconocimiento de las potencialidades del territorio y su red de monitoreo, de esa extensa red conformada según el IDEAM por 69 estaciones en los municipios de Bucaramanga, Lebrija, Girón, Piedecuesta, Floridablanca, Tona, Rionegro y Matanza, solo 32 se encuentran a la fecha activas, conforme a la siguiente tabla:

No.	CÓDIGO	ESTACIÓN	TIPO	MUNICIPIO	CORRIENTE	INSTALADA
1	2319503	APTO GOMEZ NIÑO	SINOPTICA SUPLEMENTARIA	BUCARAMANGA	DE ORO	1/06/1940
2	2319083	BUCARAMANGA IDEAM	PLUVIOGRAFICA	BUCARAMANGA	SURATA	1/10/1966
3	2319080	HMAT R.11	PLUVIOGRAFICA	BUCARAMANGA	DE ORO	1/06/1984
4	2319504	UIS	CLIMATOLOGÍA PRINCIPAL	BUCARAMANGA	TONA	1/01/1957
5	2319505	VIVERO CHIMITA	CLIMATOLOGÍA PRINCIPAL	BUCARAMANGA	SURATA	1/08/1968
6	2319746	ESPERANZA LA	LIMNIMETRICA	FLORIDABLANCA	FRIO	1/01/1977
7	2319059	FLORESTA LA	PLUVIOGRAFICA	FLORIDABLANCA	Q DE LA IGLESIA	1/06/1978
8	2319040	GALVICIA LA	PLUVIOMETRICA	FLORIDABLANCA	TONA	1/01/1968
9	2319743	CONQUISTADOR EL	LIMNIMETRICA	PIEDECUESTA	DE ORO	1/07/1978
10	2319070	PIEDECUESTA GJA	PLUVIOGRAFICA	PIEDECUESTA	LATO	1/07/1970
11	2319701	PRIMAVERA	LIMNIMETRICA	PIEDECUESTA	MANCO	1/07/1978
12	2319740	ANGOSTURAS	LIMNIMETRICA	LEBRIJA	LEBRIJA	1/08/1972
13	2319513	APTO PALONEGRO	SINOPTICA PRINCIPAL	LEBRIJA	DE ORO	1/08/1974
14	2319026	LAGUNA LA	PLUVIOMETRICA	LEBRIJA	Q LA ANGULA	1/05/1967
15	2319044	NARANJO EL	PLUVIOMETRICA	LEBRIJA	Q SAN BENITO	1/04/1971
16	2319038	PALMAS	PLUVIOMETRICA	LEBRIJA	Q HONDA	1/11/1967
17	3701502	BERLIN	CLIMATOLOGIA ORDINARIA	TONA	JORDAN	1/05/1968
18	3701701	BERLIN	LIMNIMETRICA	TONA	JORDAN	1/05/1972
19	2319030	PICACHO EL	PLUVIOMETRICA	TONA	TONA	1/07/1967
20	2319013	TONA	PLUVIOMETRICA	TONA	TONA	1/06/1958
21	2319729	CAFÉ MADRID	LIMNIMETRICA	GIRON	LEBRIJA	1/12/1968
22	2319511	LLANO GRANDE	CLIMATOLOGIA ORDINARIA	GIRON	DE ORO	1/07/1971
23	2319028	PALO GORDO	PLUVIOMETRICA	GIRON	DE ORO	1/06/1967
24	2319060	PANTANO EL	PLUVIOMETRICA	GIRON	Q LA ANGULA	1/11/1967
25	2406007	PARROQUIA LA	PLUVIOMETRICA	GIRON	Q AGUA BLANCA	1/09/1959
26	2406503	TRIGUEROS HDA	CLIMATOLOGÍA PRINCIPAL	GIRON	SOGAMOSO	1/03/1996
27	2319730	VAHONDO	LIMNIMETRICA	GIRON	DE ORO	1/12/1969
28	2319034	MATAJIRA	PLUVIOMETRICA	MATANZA	SURATA	1/10/1967
29	2319035	LLANO DE PALMAS	PLUVIOMETRICA	RIO NEGRO	Q HONDA	1/11/1967
30	2319046	PAPAYAL	PLUVIOMETRICA	RIO NEGRO	LEBRIJA	1/05/1971
31	2319036	PORTACHUELO	PLUVIOMETRICA	RIO NEGRO	NEGRO	1/10/1967
32	2319713	PTE SARDINAS	LIMNIGRAFICA	RIO NEGRO	SANTA CRUZ	1/10/1967

Tabla 12. Inventario de estaciones en el Área Metropolitana de Bucaramanga

De estas 32 estaciones fueron seleccionadas para los análisis hidrológicos, 20 estaciones conforme los resultados de lo observado sobre su tipo, confiabilidad, completitud de registros y consistencia de los mismos; dicho listado se presenta en la siguiente tabla.

No.	ENTIDAD	ESTACIÓN	MUNICIPIO	CORRIENTE	INSTALADA	TIPO	COORDENADA ESTE	COORDENADA NORTE	ELEVACIÓN (M.S.N.M)
1	IDEAM	BUCARAMANGA IDEAM	BUCARAMANGA	SURATA	1/10/1996	PG	1106527	1278528	1025
2	IDEAM	UIS	BUCARAMANGA	TONA	1/01/1957	CP	1108365	1280375	1018
3	IDEAM	FLORESTA	FLORIDABLANCA	Q LA IGLESIA	1/06/1978	PG	1104693	1274837	925
4	IDEAM	GALVICIA LA	FLORIDABLANCA	TONA	1/01/1968	PM	1115726	1282234	1779
5	IDEAM	PIEDECUESTA GJA	PIEDECUESTA	LATO	1/07/1970	PG	1110238	1265631	1000
6	IDEAM	APTO PALONEGRO	LEBRIJA	DE ORO	1/08/1974	SP	1099158	1280356	1189
7	IDEAM	LAGUNA LA	LEBRIJA	Q LA ANGULA	1/05/1967	PM	1095486	1272971	1050
8	IDEAM	PALMAS	LEBRIJA	Q HONDA	1/11/1967	PM	1095458	1289566	855
9	IDEAM	LLANO GRANDE	GIRÓN	DE ORO	1/07/1971	CO	1099176	1271139	777
10	IDEAM	PALO GORDO	GIRÓN	DE ORO	1/06/1967	PM	1104719	1261933	950
11	IDEAM	PANTANO EL	GIRÓN	Q LA ANGULA	1/11/1967	PM	1093661	1265599	1280
12	IDEAM	MATAJIRA	MATANZA	SURATA	1/10/1967	PM	1112029	1287752	996
13	CDMB	CDMB	BUCARAMANGA	DE ORO	1/01/1979	PG	1105857	1279071	950
14	CDMB	CLUB CAMPESTRE	FLORIDABLANCA	FRIO	10/01/1982	PG	1106399	1273072	940
15	CDMB	EL RASGON	PIEDECUESTA	DE ORO	1/01/1987	CO	1119913	1270294	1285
16	CDMB	LA ESPERANZA	FLORIDABLANCA	FRIO	19/09/1979	CO	1111228	1273582	1000
17	CDMB	LA FLORA	BUCARAMANGA	SURATA	1/01/1979	PG	1107543	1280310	1100
18	CDMB	LA MARIANA	TONA	FRIO	6/01/1981	PM	1117627	1280310	2250
19	CDMB	PTAR	GIRÓN	FRIO	8/01/1985	CO	1102856	1272989	785
20	CDMB	SEVILLA	PIEDECUESTA	TRINCHERAS	8/01/1981	PM	1119428	1267670	1907

Tabla 13. Inventario de estaciones seleccionadas para el estudio regional

7.7. CARACTERIZACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN

Un análisis regional, permite concluir que la estación con registro de precipitación más cercana al sitio TALUD CRITICO – SECTOR 23 DE JUNIO, es la estación pluviográfica CDMB, por ello se presenta de forma particular la distribución de la precipitación media anual de la misma por medio de una gráfica de columnas, que indica que el régimen de precipitación en la estación es bimodal con picos en los meses de mayo y octubre del orden de 108 y 99 mm respectivamente, y dos meses de menor precipitación entre 44 y 58 mm en diciembre y enero.

Para este sitio en particular y en el marco de este estudio, se ha denominado como E3 la zona homogénea donde se localiza el mismo. Por ello se destacan los registros de las estaciones La Floresta y Club Campestre como las más cercanas con registro de precipitación, así como las estaciones PTAR y Llano Grande como las estaciones climatológicas más cercanas a esta zona. Se observa que el comportamiento de la precipitación porcentualmente es muy similar no obstante en volumen la precipitación anual es de 1291, 1038, 987 y 990 mm respectivamente.

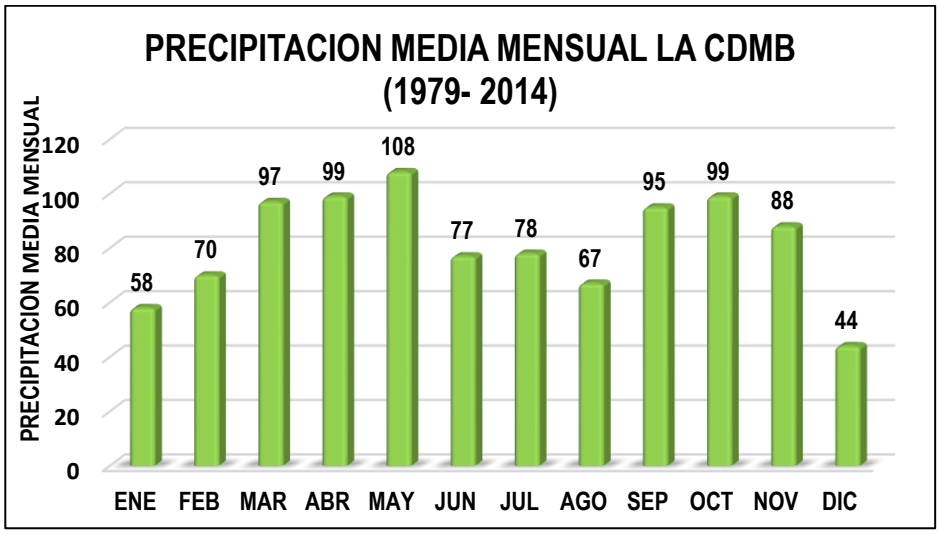


Ilustración 28 Precipitación Media mensual multianual estación Floresta (1978-2008)

A continuación, se muestra el Histograma de precipitación media anual porcentual de las estaciones analizadas en un radio de 10 Km del TALUD CRITICO – SECTOR 23 DE JUNIO.

Se destacan los registros de las estaciones CDMB, Bucaramanga y La Floresta como las más cercanas con registro de precipitación, así como la estación UIS como la estación climatológica más cercana. El comportamiento de la precipitación porcentualmente es muy similar sin embargo en términos de volumen de precipitación anual existen ciertas diferencias con volúmenes de precipitación anual de 876mm en la CDMB, 980mm en Bucaramanga, 1291mm en La Floresta y 1226 mm en UIS.

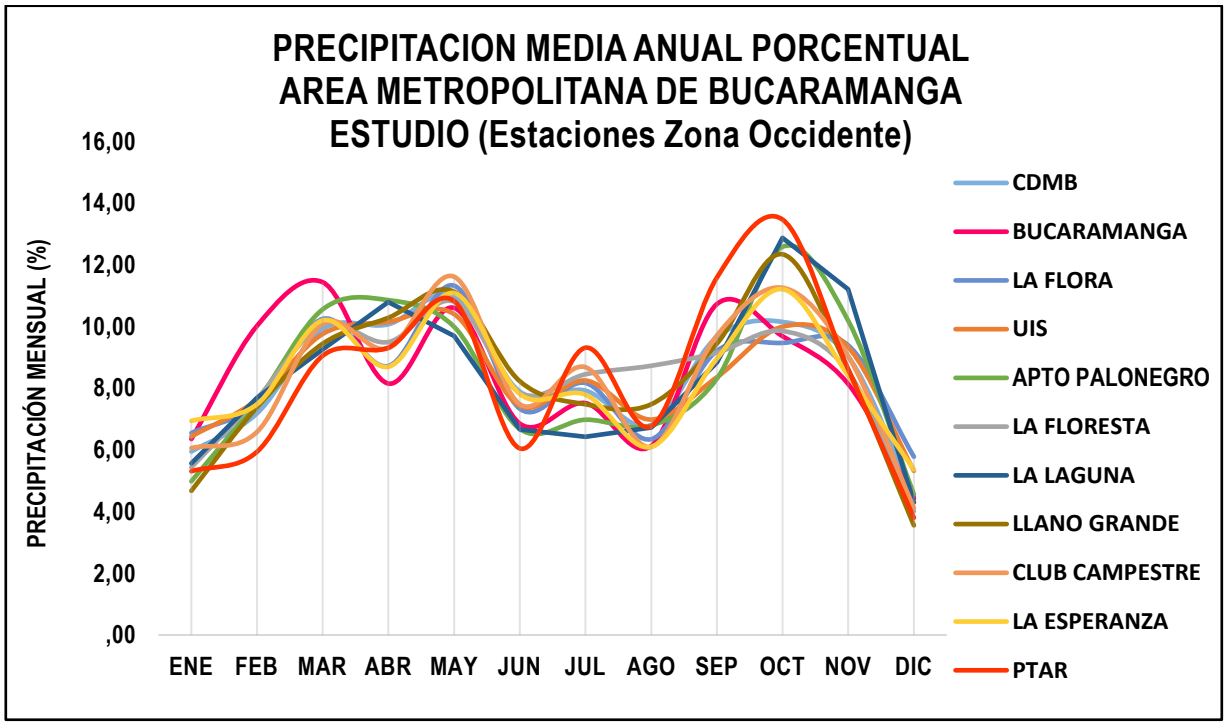


Ilustración 29 Histograma de precipitación media anual porcentual las estaciones analizadas.

7.7.1. PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL

A continuación, se presentan las gráficas de precipitación anual de cada una de las estaciones de la zona occidental identificadas en un radio de 10 Km del TALUD CRITICO – SECTOR 23 DE JUNIO.

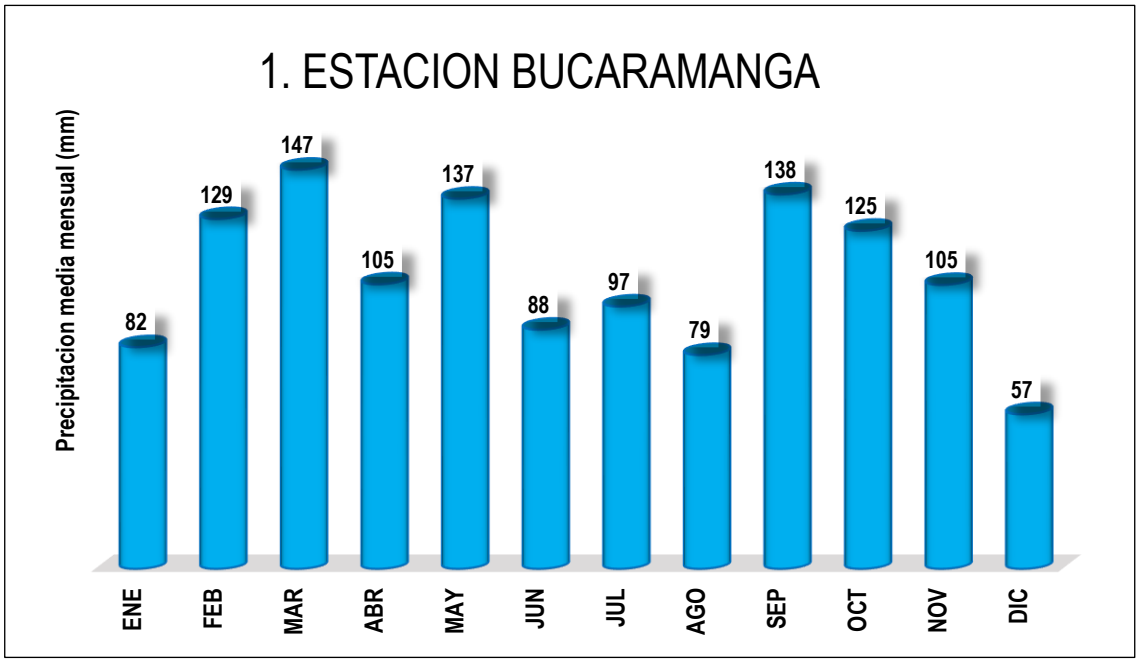


Ilustración 30 Precipitación anual Estación Bucaramanga

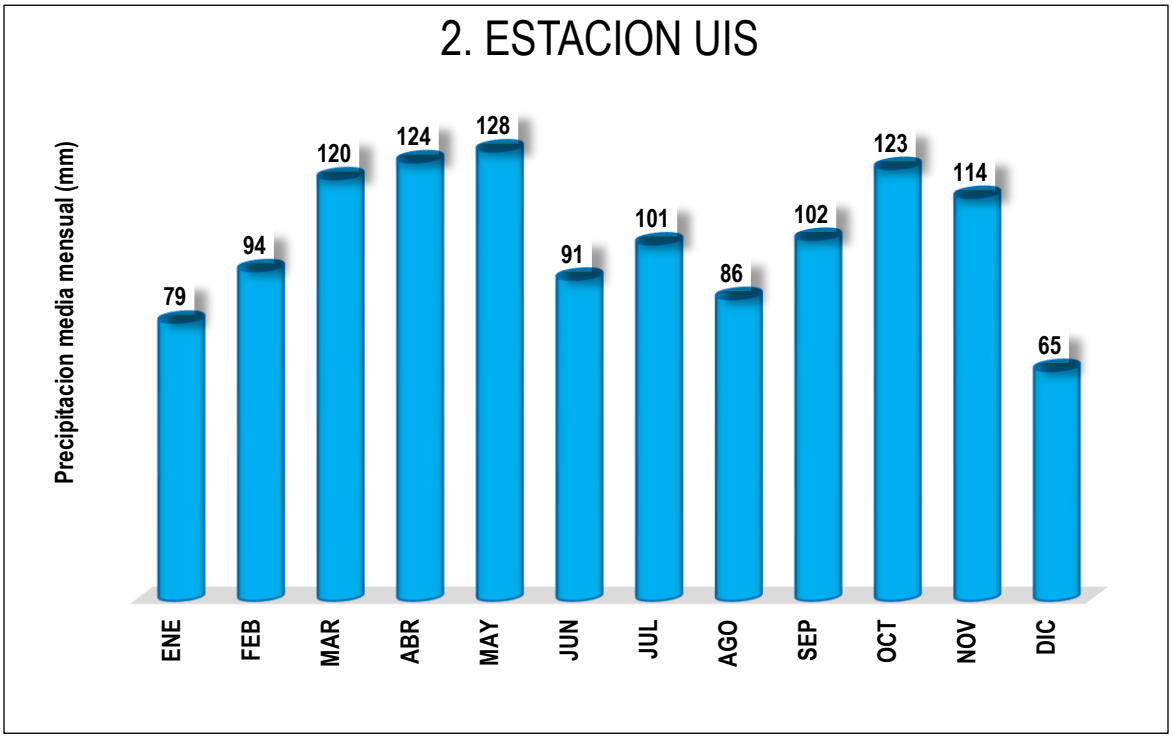


Ilustración 31 Precipitación anual Estación UIS.

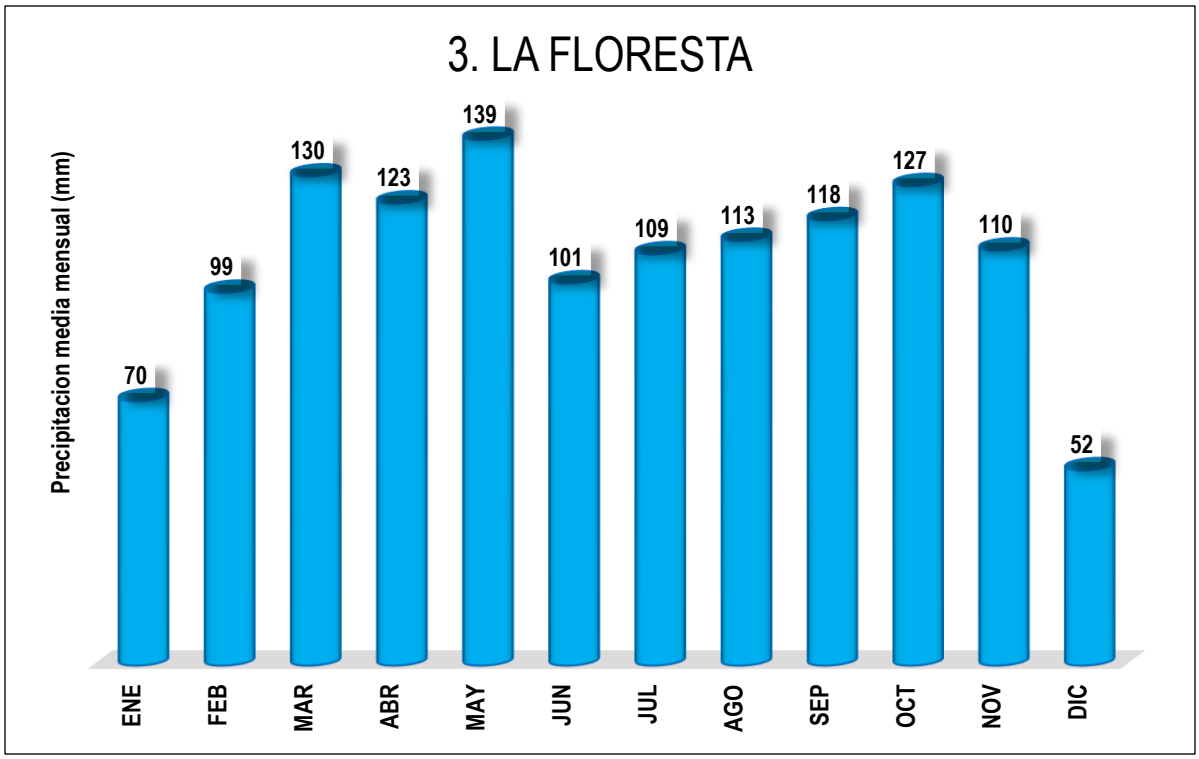


Ilustración 32 Precipitación anual Estación La Floresta.

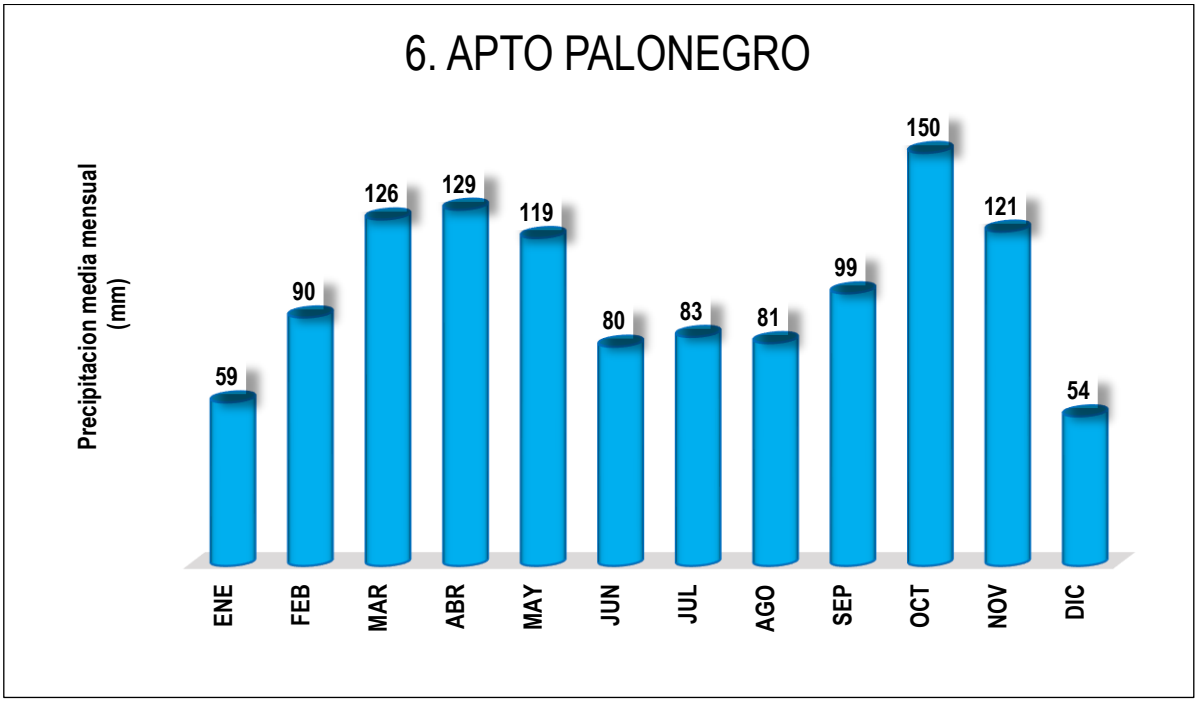


Ilustración 33 Precipitación anual Estación Apto Palonegro.

.

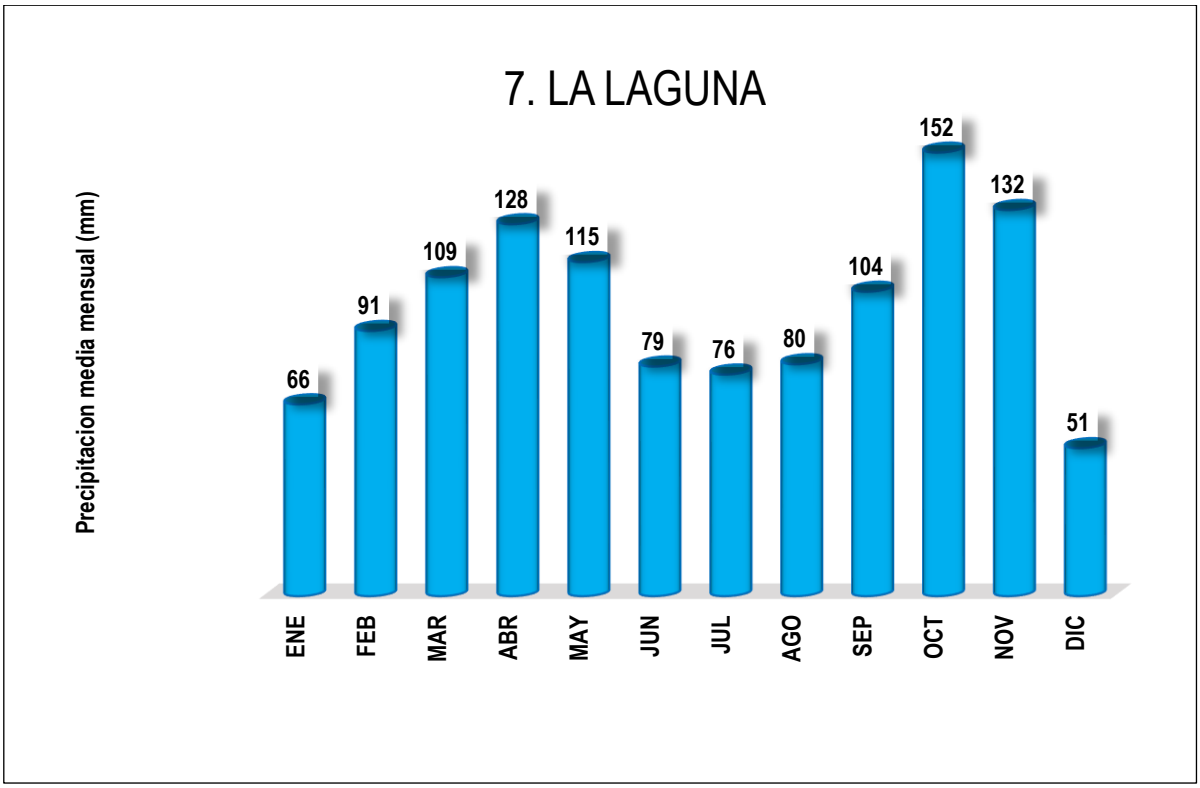


Ilustración 34 Precipitación anual Estación La Laguna.

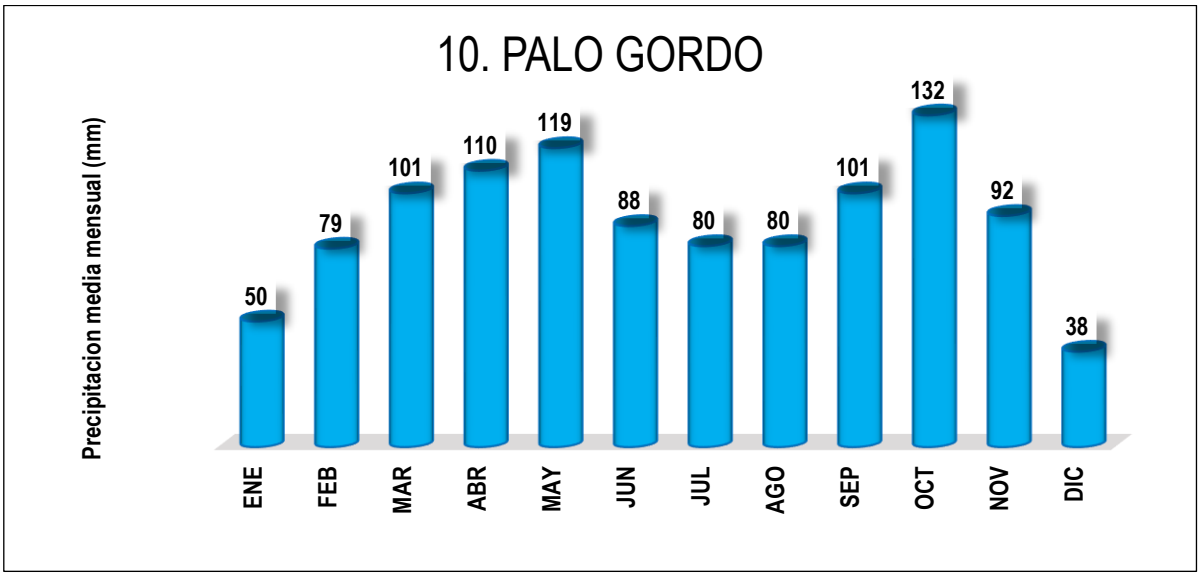


Ilustración 35 Precipitación anual Estación Palo Gordo

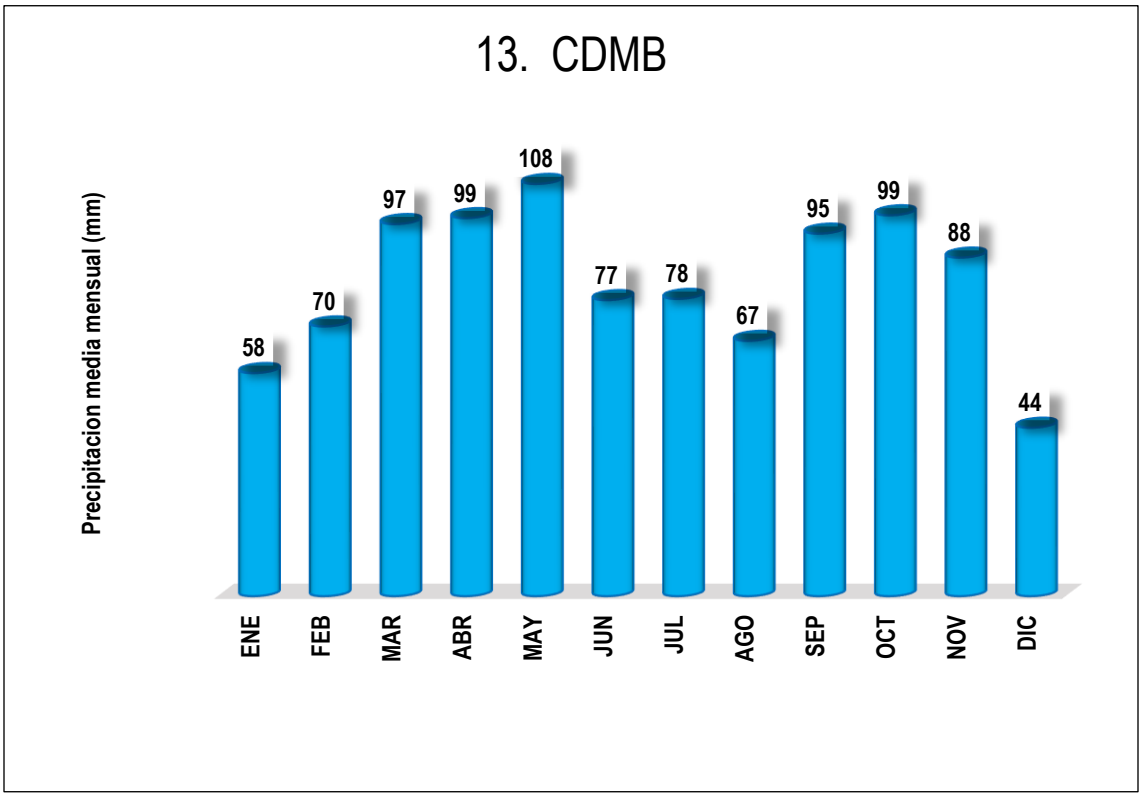


Ilustración 36 Precipitación anual Estación CDMB

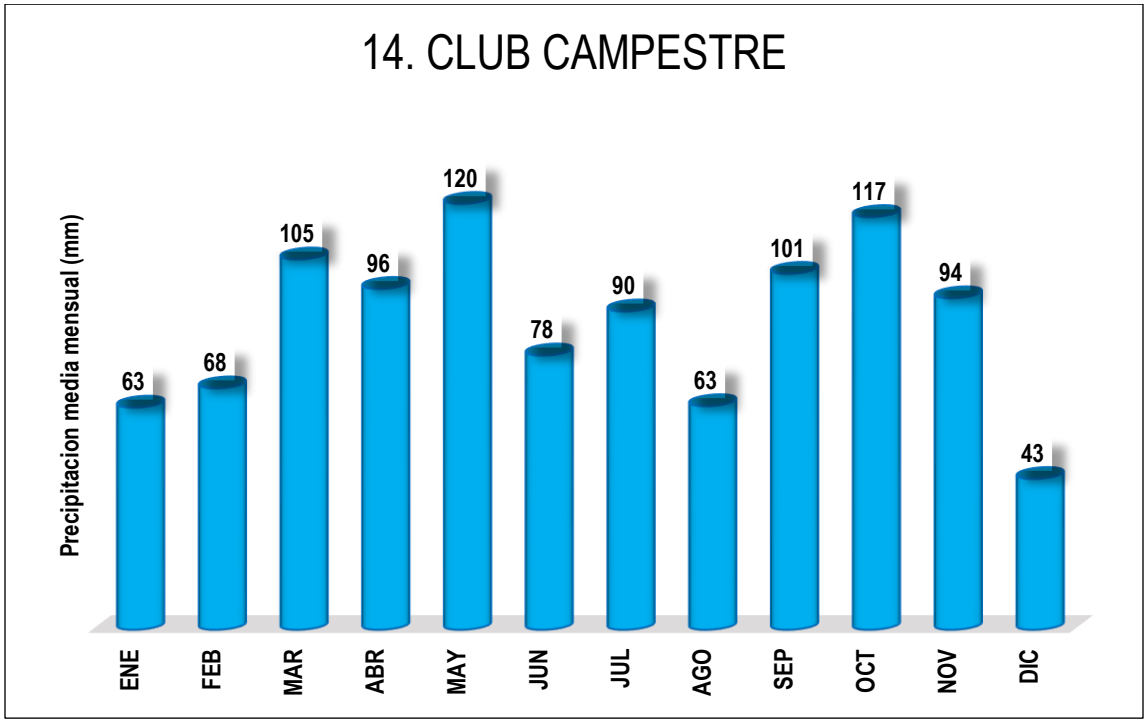


Ilustración 37 Precipitación anual Estación Club Campestre

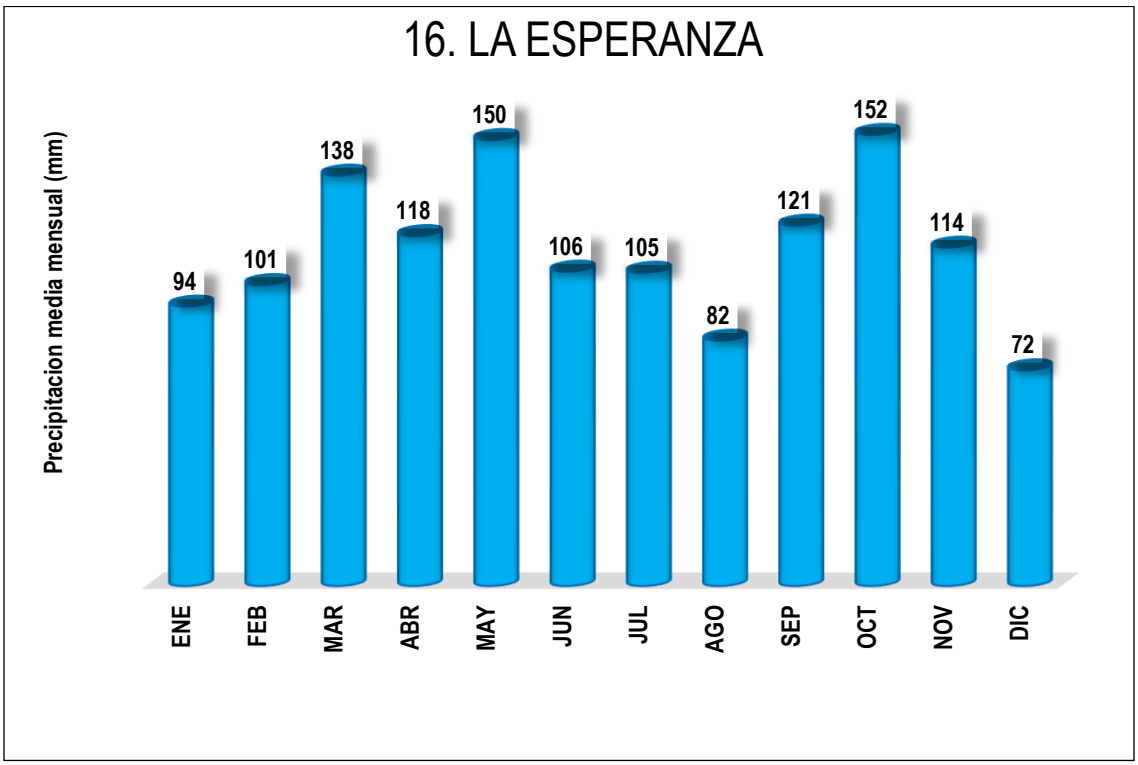


Ilustración 38 Precipitación anual Estación La Esperanza.

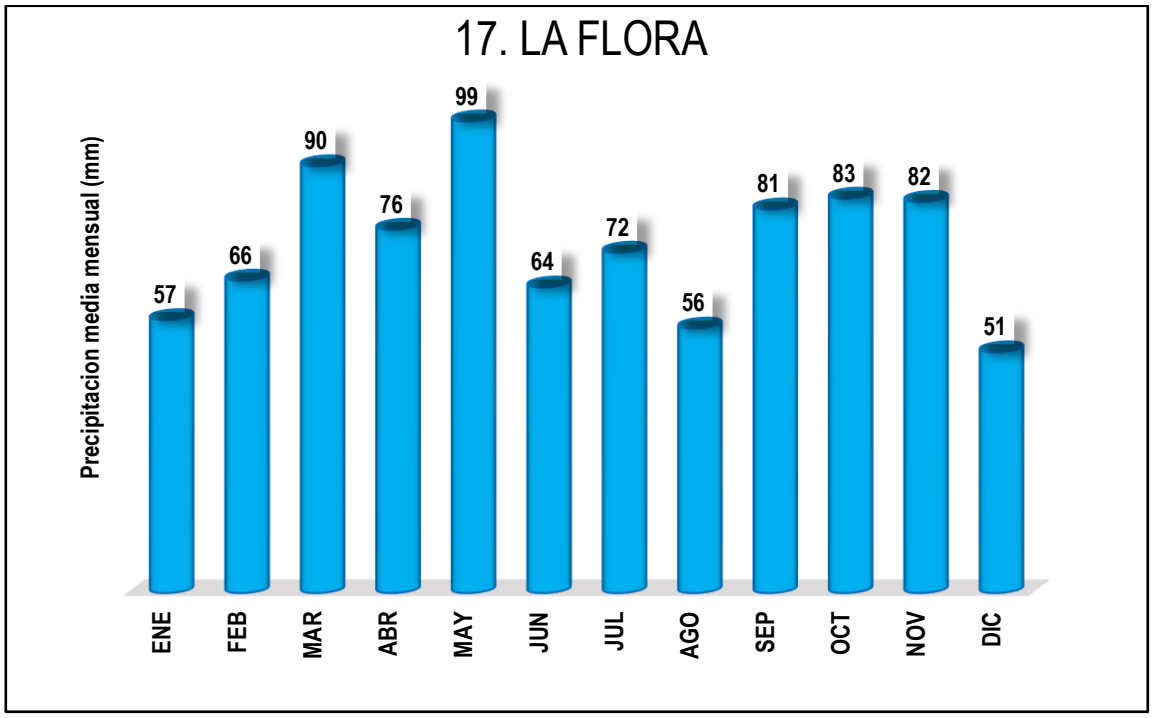


Ilustración 39 Precipitación anual Estación La Flora.

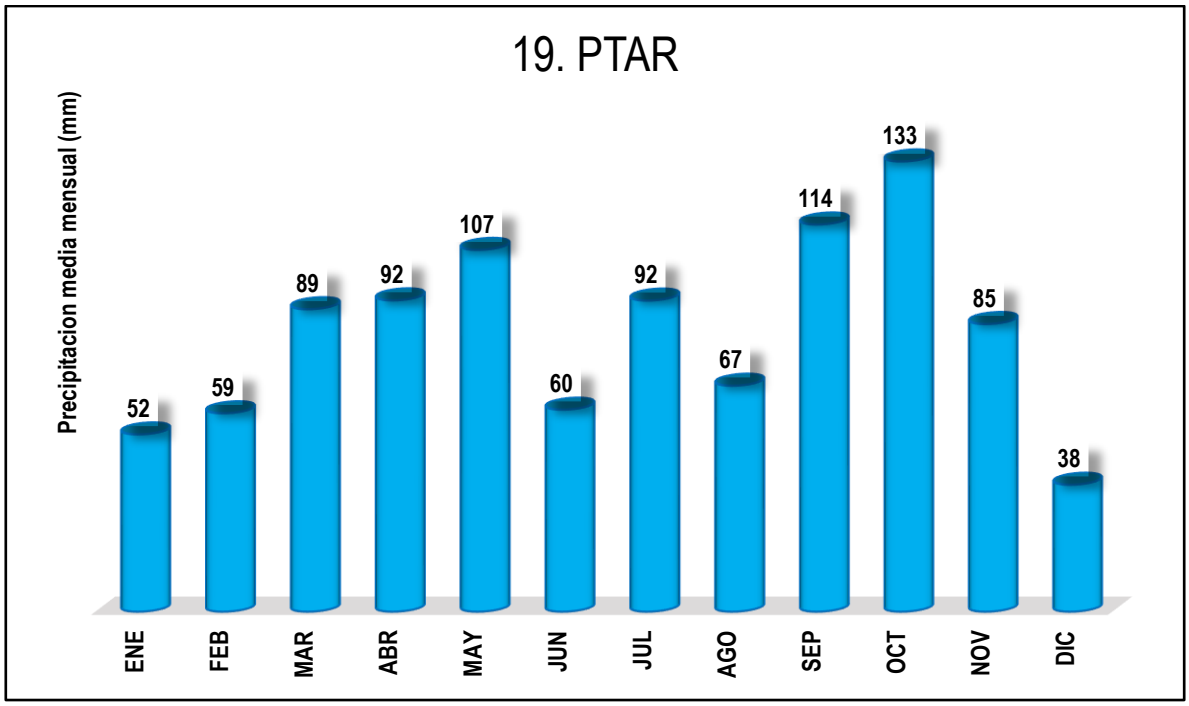


Ilustración 40 Precipitación anual Estación PTAR

7.7.2. VARIACIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN TOTAL

Con el fin de observar la variación especial de la precipitación en el área fueron elaboradas las curvas isoyetas a partir de los datos de las estaciones. El resultado no es significativamente cambiante con respecto a los resultados de INGEOMINAS (2008), pues se trata de los valores promedio de las estaciones.

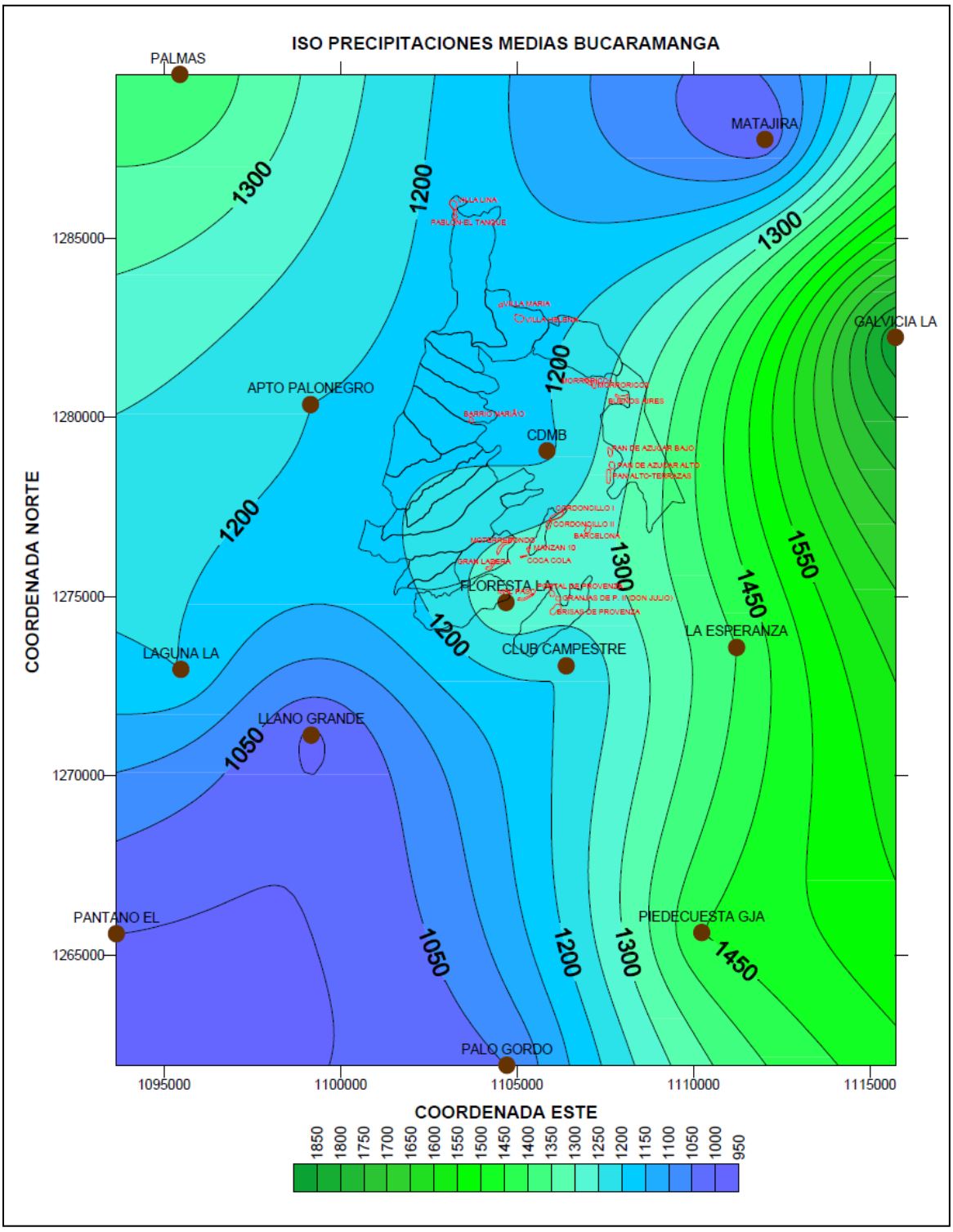


Ilustración 41 Curvas Isoyetas medias anuales con base en las estaciones seleccionadas (mm)

En la gráfica de relación de elevación vs precipitación de las estaciones seleccionadas se observa entre los entre los 700 y los 1400 msnm, la precipitación en las estaciones seleccionadas se encuentra entre 800 a los 1600 mm. Sin embargo, precipitaciones se encuentran entre 800 mm y 1600 mm son en su mayoría comunes entre estas estaciones. Se observan los picos de precipitación entre los 1250 msnm y los 1950 msnm, éste último para la estación La Floresta.

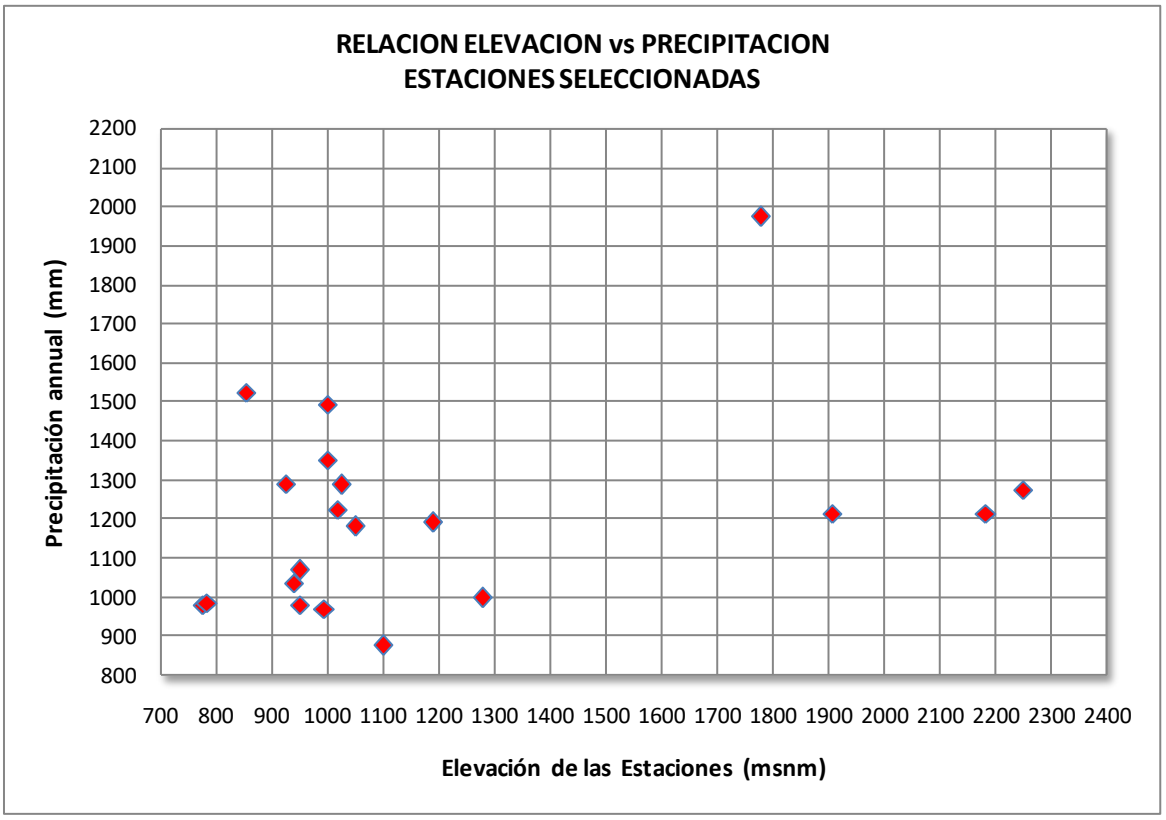


Ilustración 42 Relación de la elevación y precipitación estaciones de Bucaramanga

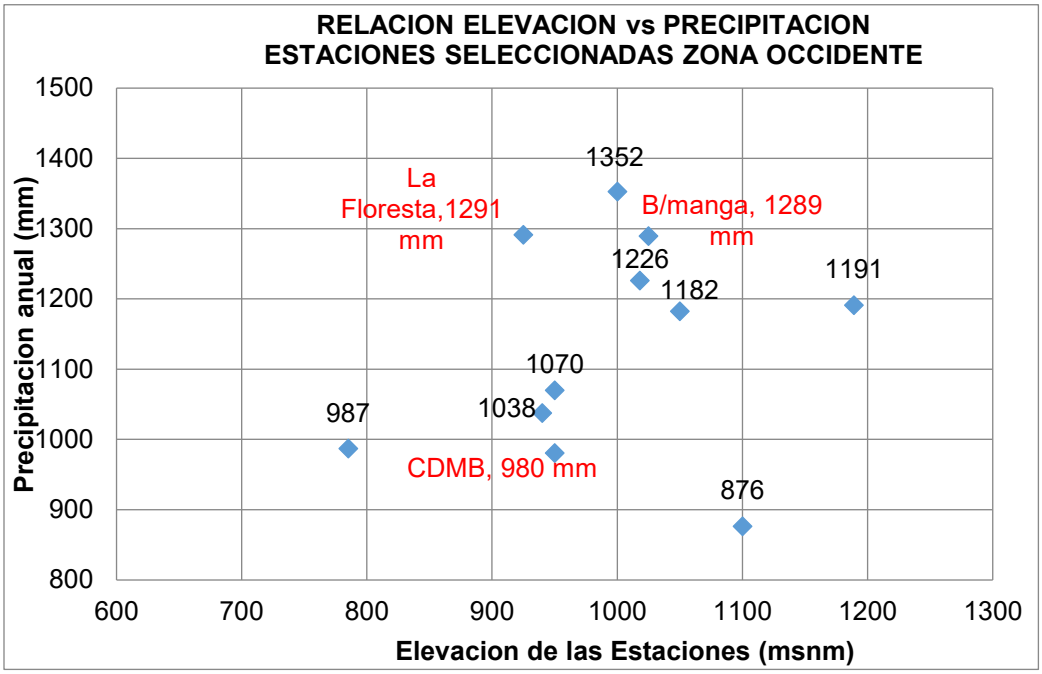


Ilustración 43 Relación de la elevación y precipitación de las estaciones en la zona Occidente

En particular para la zona occidental donde se encuentra el sitio TALUD CRITICO – SECTOR 23 DE JUNIO, se observa la relación entre la precipitación y la elevación en el entorno.

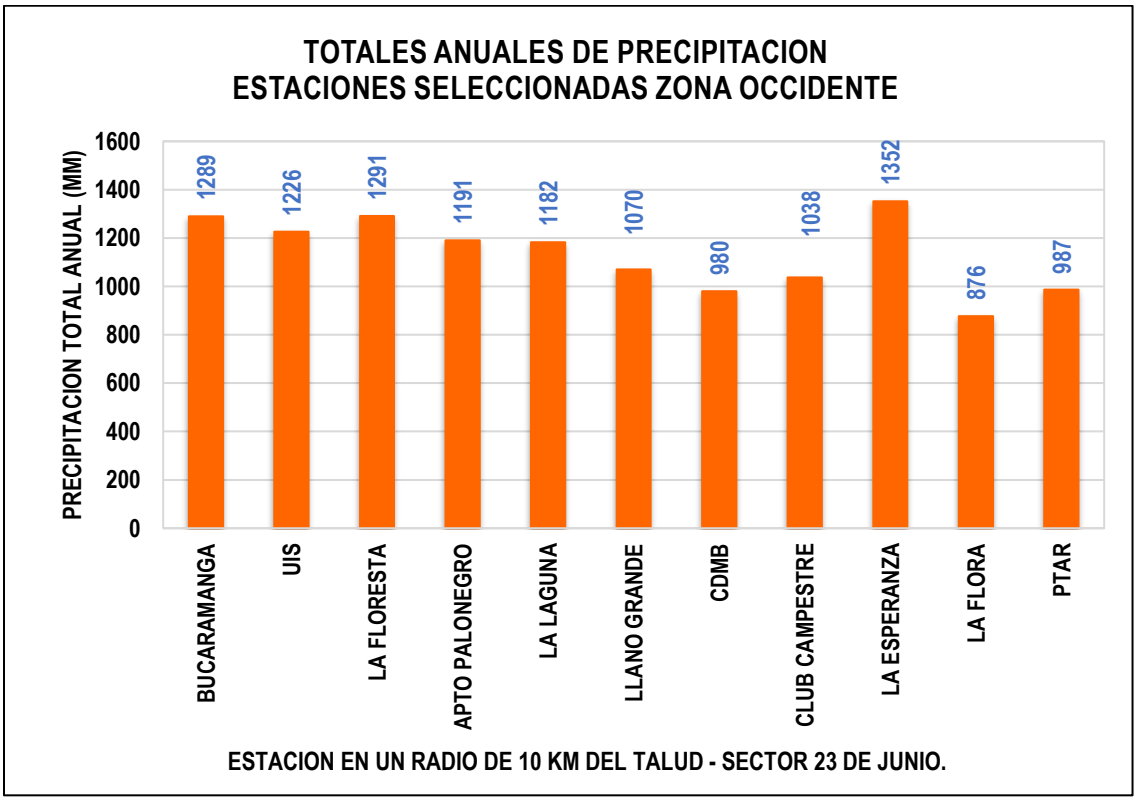


Ilustración 44 Valores totales anuales de precipitación estaciones en la zona Occidente

7.7.3. PRECIPITACIÓN MAXIMA EN 24 HORAS

Con relación a la precipitación máxima en 24 horas, fueron consultados y procesados los registros de cada una de las estaciones con el fin de determinar los valores máximos, el periodo de recurrencia de los mismos y su promedio estadístico. A continuación, se presenta el resultado de este análisis para las estaciones próximas al TALUD CRITICO – SECTOR 23 DE JUNIO.

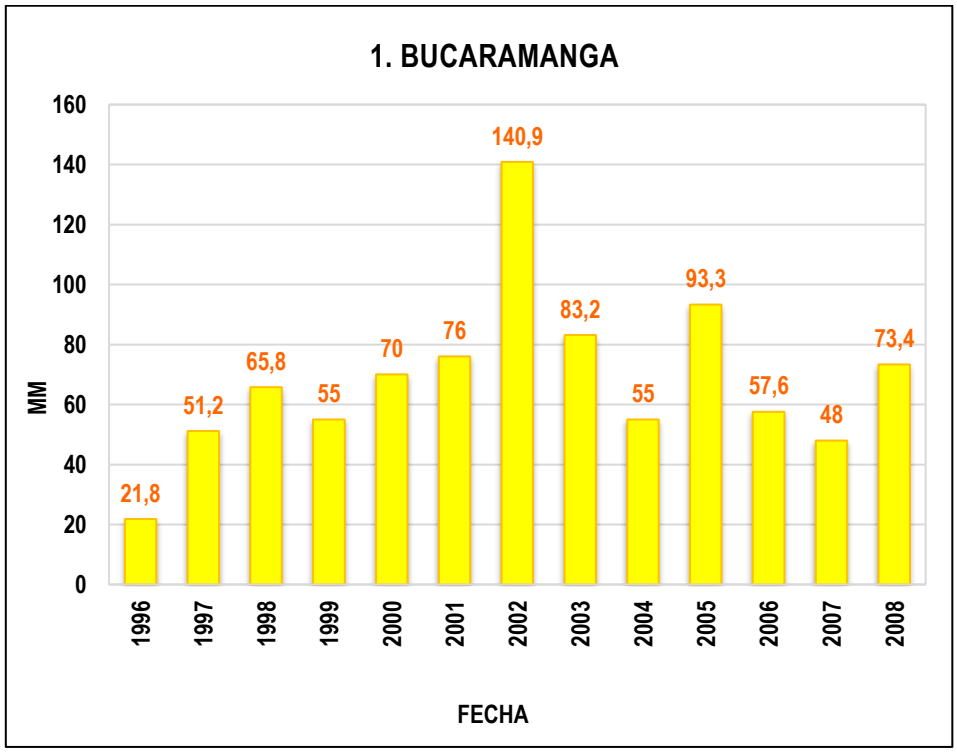


Ilustración 45 Precipitación máxima en 24 horas Estación Bucaramanga

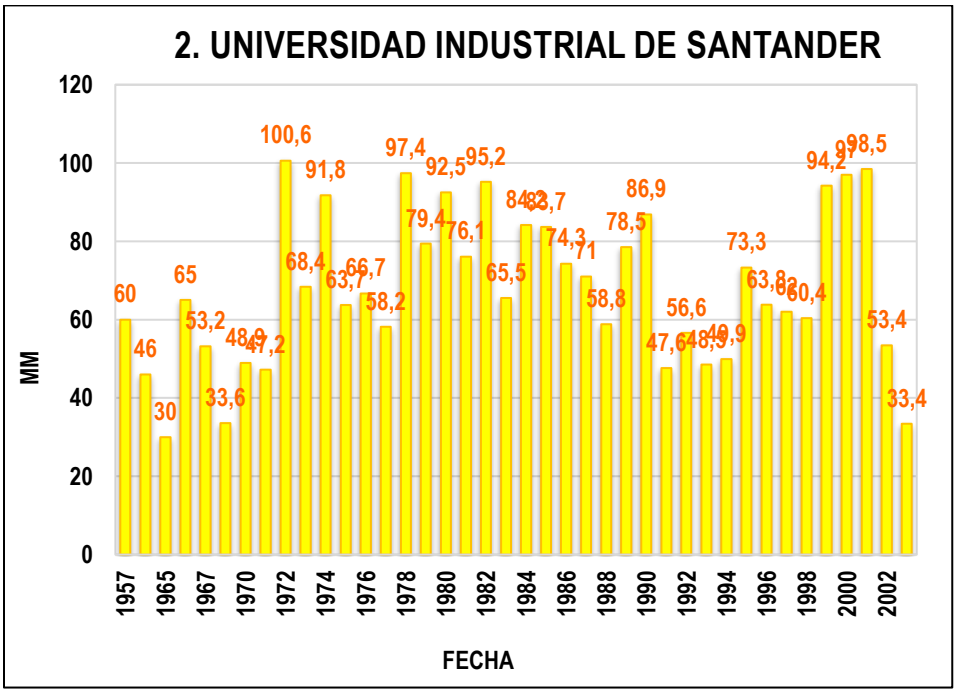


Ilustración 46 Precipitación máxima en 24 horas Estación UIS.

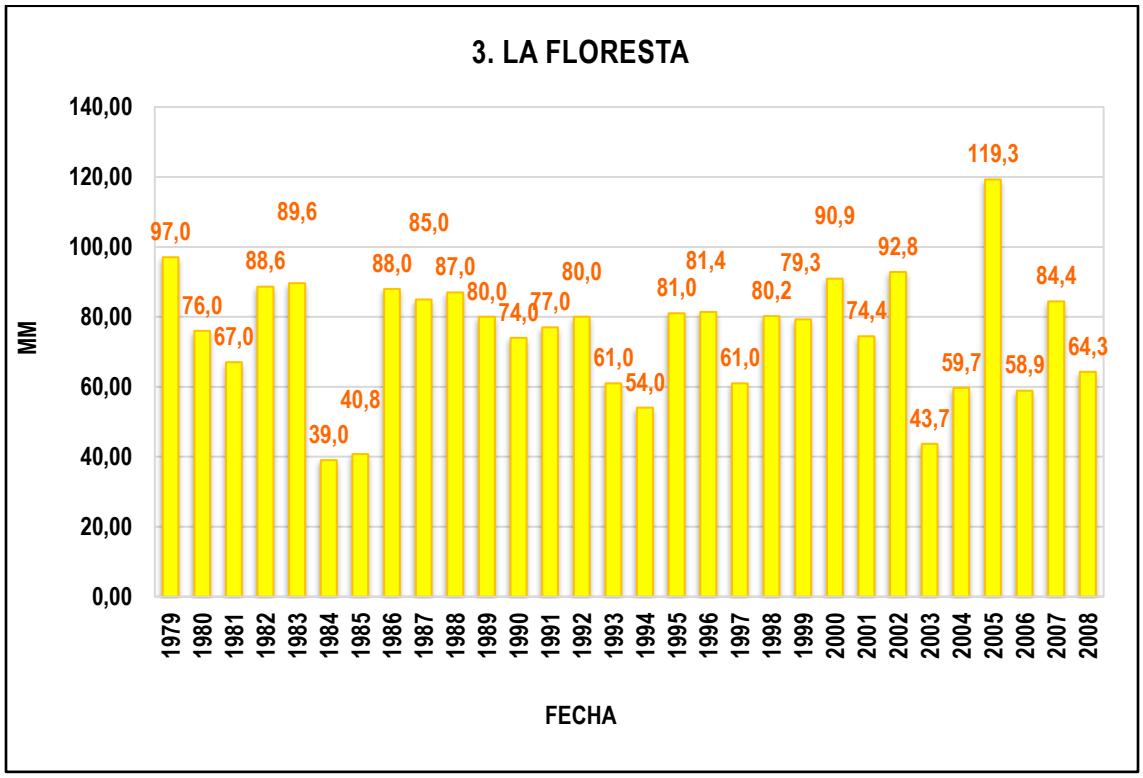


Ilustración 47 Precipitación máxima en 24 horas Estación La Floresta.

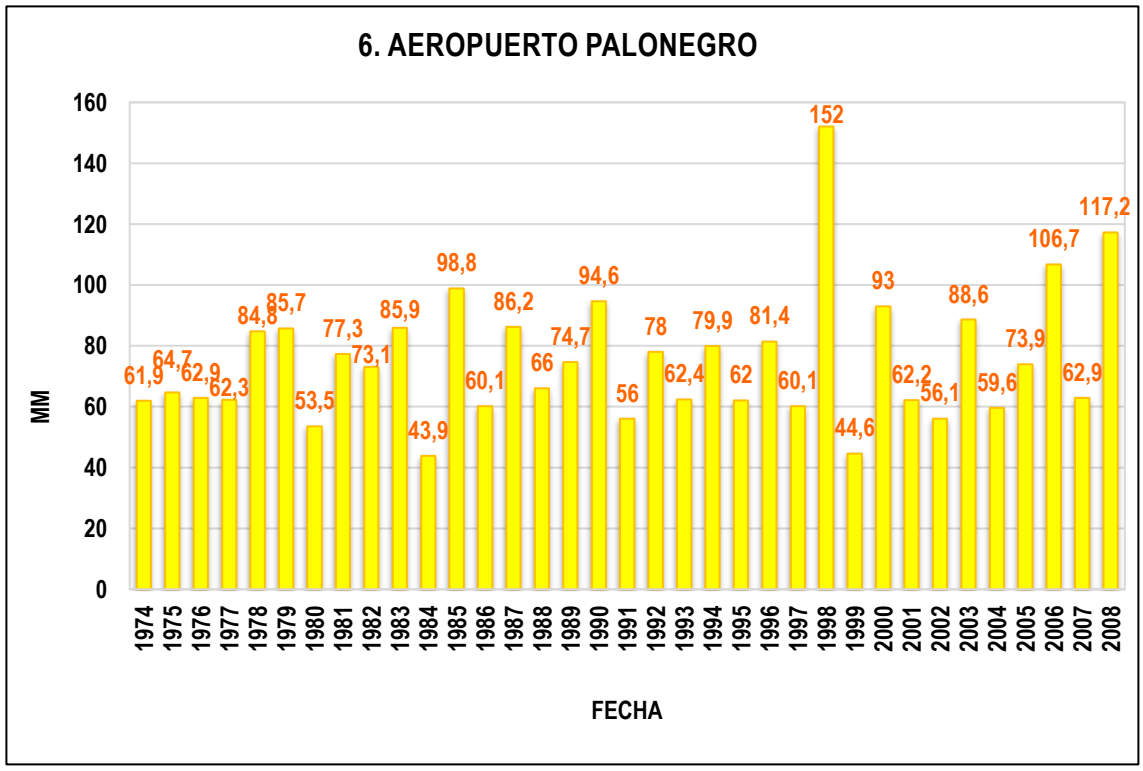


Ilustración 48 Precipitación máxima en 24 horas Estación Aeropuerto Palonegro.

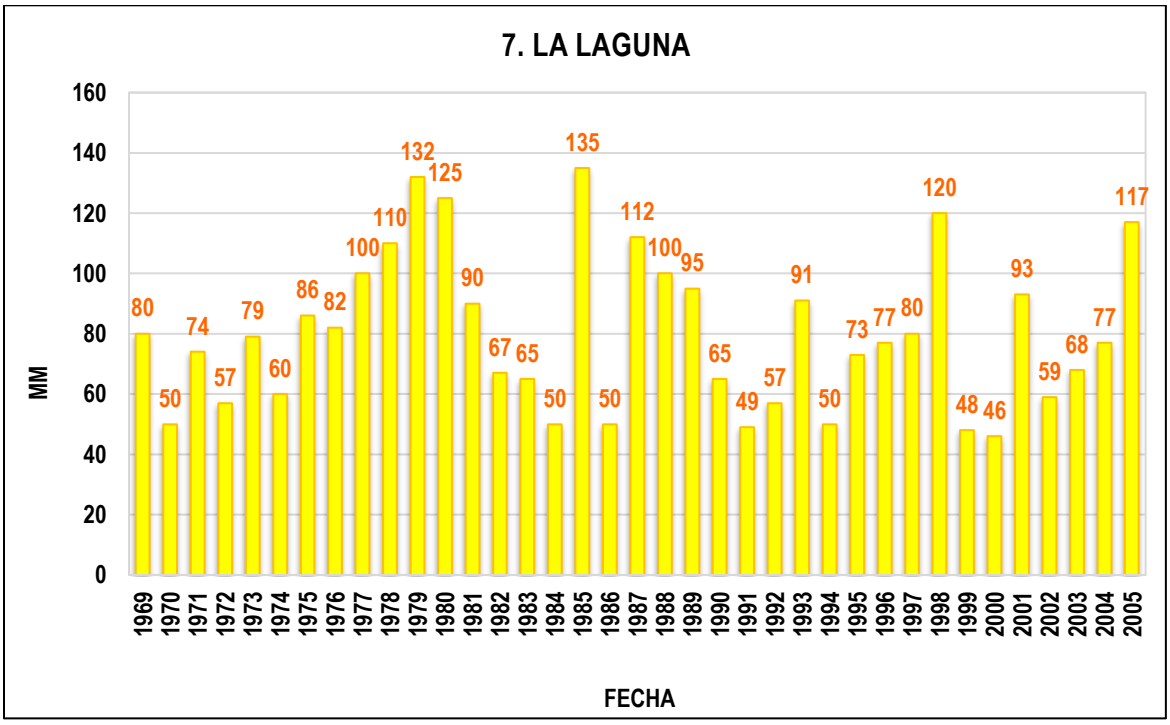


Ilustración 49 Precipitación máxima en 24 horas Estación La Laguna

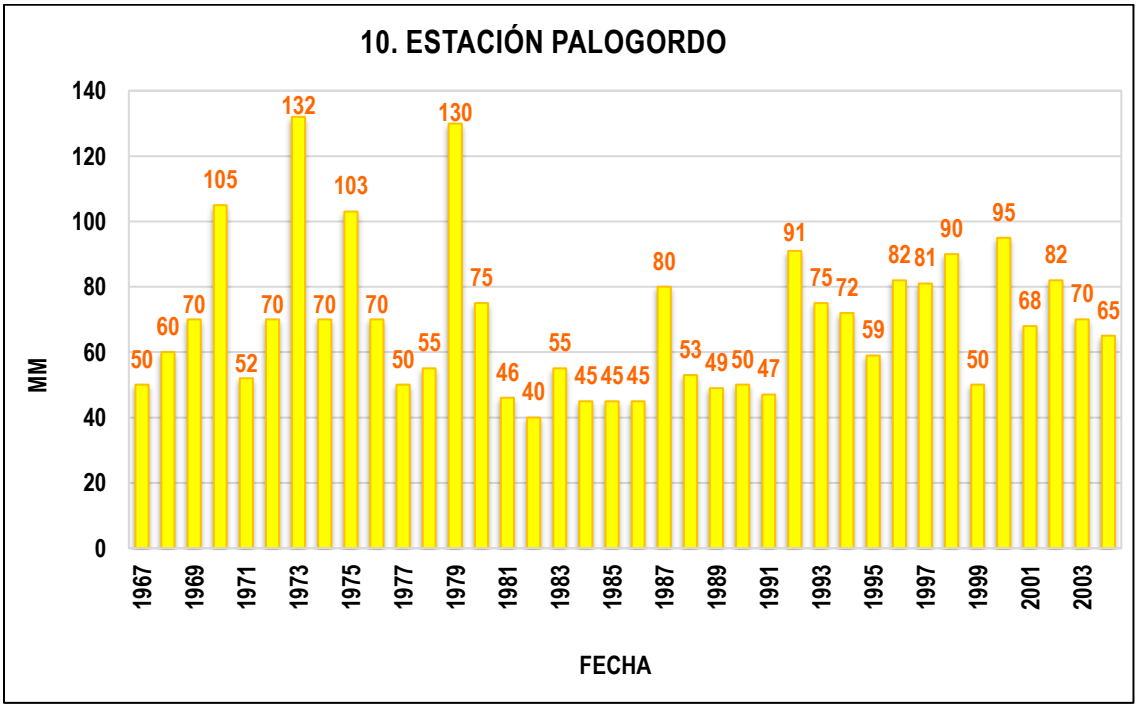


Ilustración 50 Precipitación máxima en 24 horas Estación Palogordo

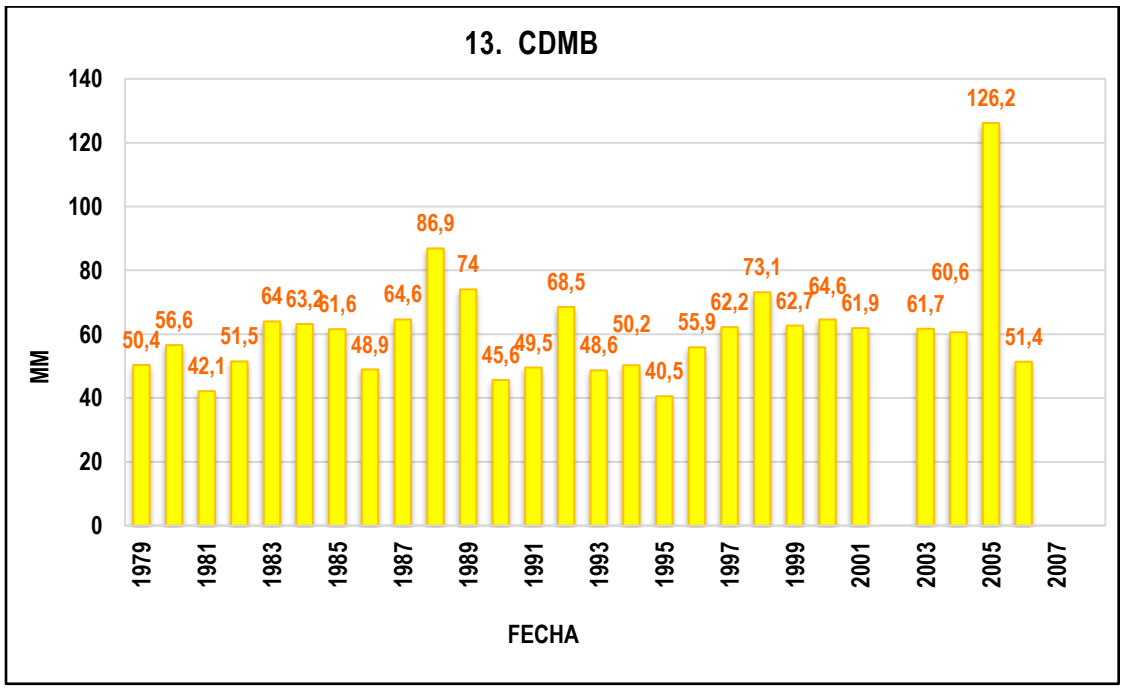


Ilustración 51 Precipitación máxima en 24 horas Estación CDMB

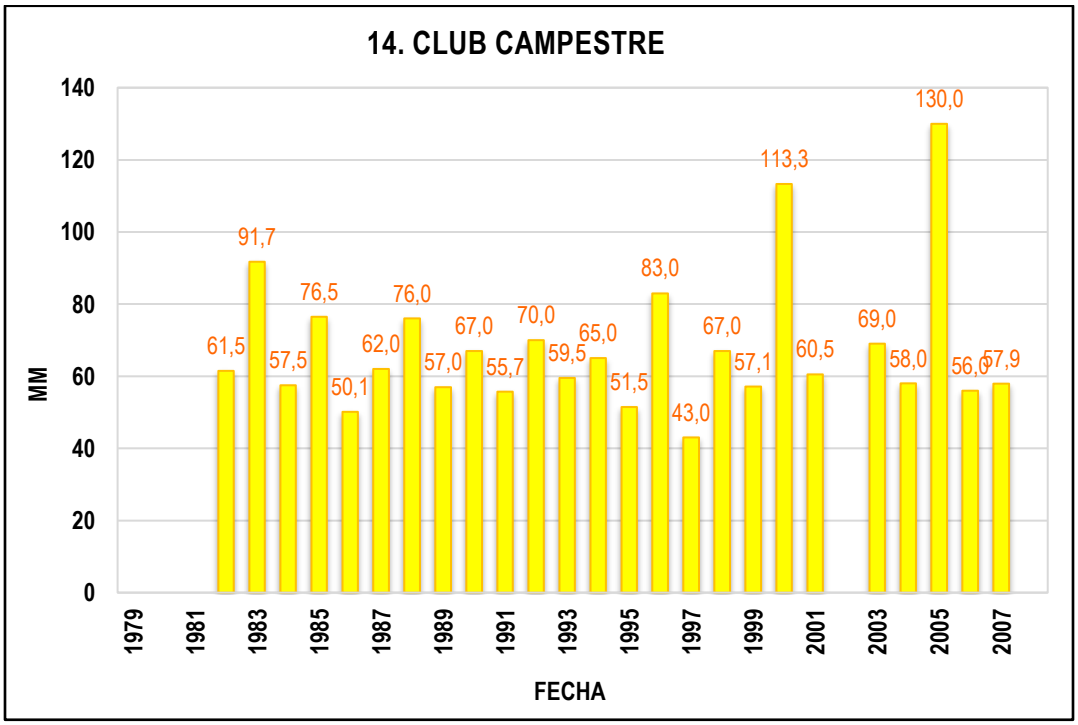


Ilustración 52 Precipitación máxima en 24 horas Estación Club Campestre

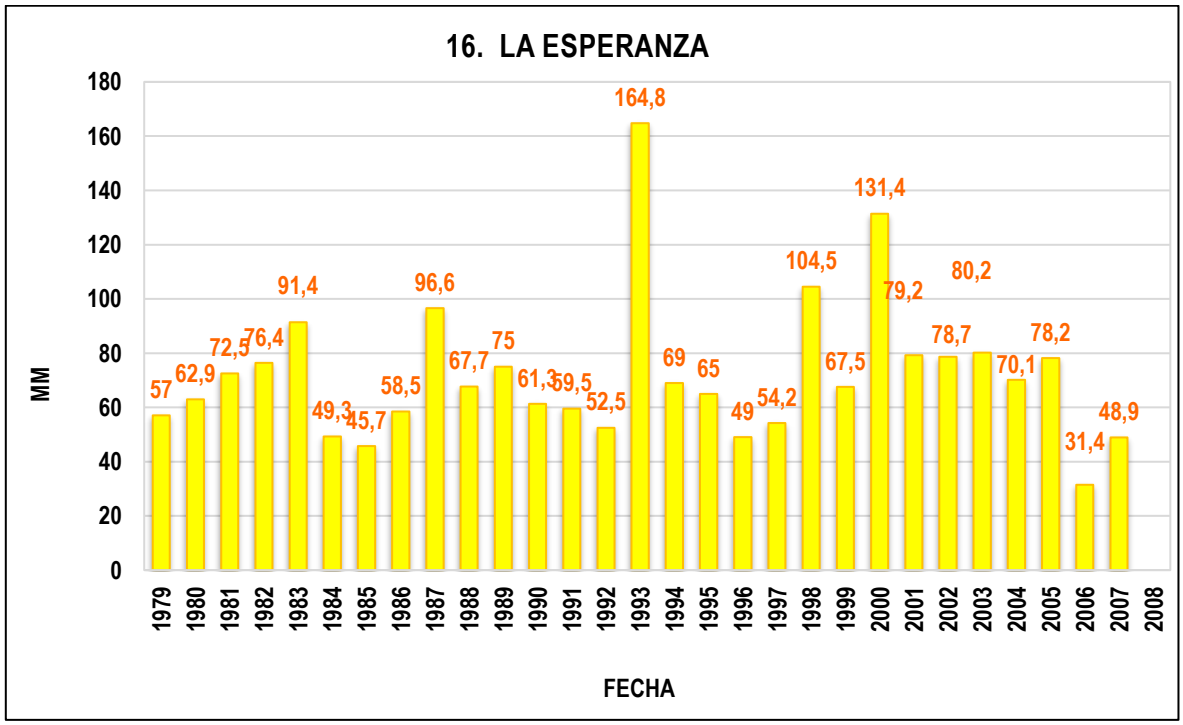


Ilustración 53 Precipitación máxima en 24 horas Estación La Esperanza

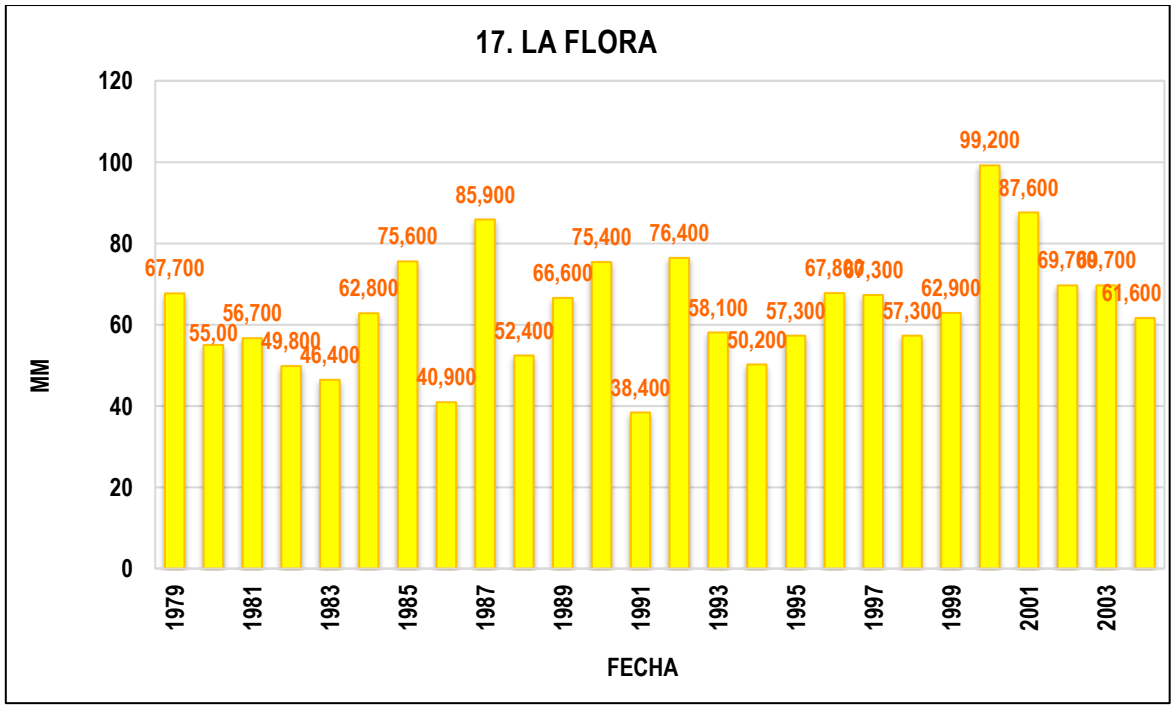


Ilustración 54 Precipitación máxima en 24 horas Estación La Flora

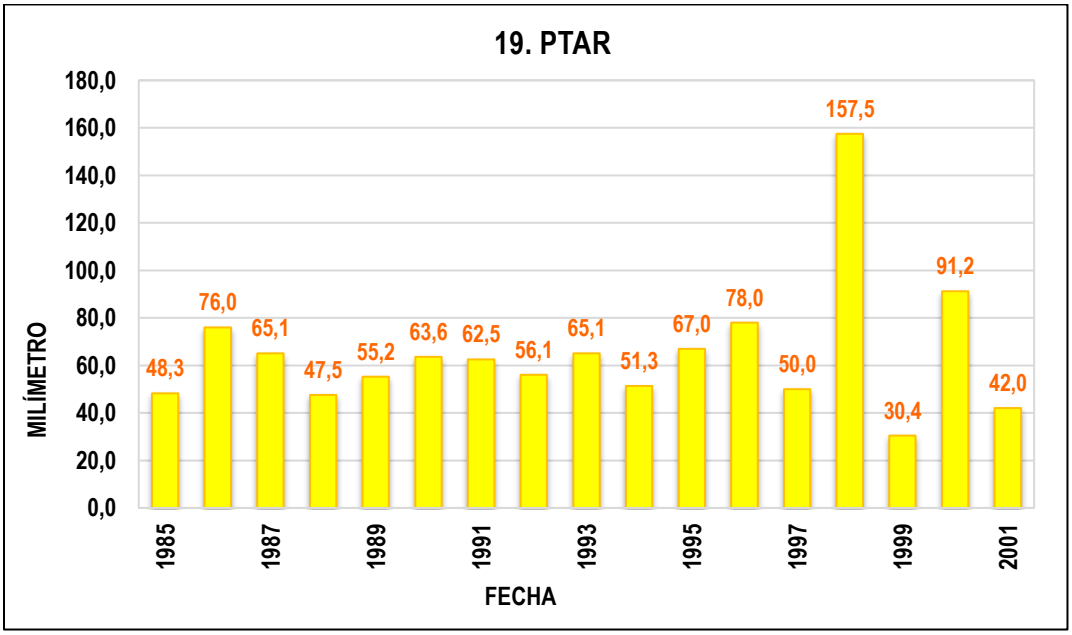


Ilustración 55 Precipitación máxima en 24 horas Estación PTAR

En la siguiente tabala se presenta el resumen del análisis efectuado con las series de valores de precipitaciones máximas en 24 horas.

ESTACIÓN	NOMBRE	MÁXIMA ANUAL (MM)	AÑO	PROMEDIO (MM)	DESVIACIÓN (MM)	COEF. DESVIACIÓN (MM)
1	BUCARAMANGA	140,90	2002	68,60	28,20	0,2
2	UIS	100,60	1972	67,90	19,40	0,19
3	LA FLORESTA	119,30	2005	75,20	17,70	0,15
4	LA GALVICIA	124,00	1997	78,30	20,80	0,17
5	PIEDECUESTA	133,50	1998	80,90	20,60	0,15
6	APTO PALONEGRO	152,00	1998	75,20	21,50	0,14
7	LA LAGUNA	135,00	1985	80,20	25,60	0,19
8	PALMAS	140,00	1969	95,00	24,10	0,17
9	LLANO GRANDE	182,00	2005	66,80	27,30	0,15
10	PALO GORDO	150,00	2005	71,40	25,00	0,17
11	EL PANTANO	132,00	2005	70,40	24,30	0,18
12	MATAJIRA	115,00	2003	55,00	16,30	0,14
13	CDMB	86,90	1988	58,60	11,20	0,13
14	CLUB CAMPESTRE	130,00	2005	67,80	19,60	0,15
15	EL RASGON	79,10	1998	43,20	15,60	0,2
16	LA ESPERANZA	164,80	1993	72,40	26,60	0,16
17	LA FLORA	99,20	2000	63,80	14,30	0,14
18	LA MARIANA	86,40	1995	40,60	18,70	0,22
19	PTAR	157,50	1998	65,10	27,90	0,18
20	SEVILLA	85,70	1991	39,60	19,40	0,23

Tabla 14. Valores máximos anuales, promedio, desviación y coeficiente de variación

La 12 muestra los valores de precipitación máximas para las estaciones ubicadas en la ciudad de Bucaramanga y de ella se concluye que los valores máximos de precipitación en 24 horas registrados han sido superiores a los 79.10 mm y no mayores de 182.00 mm. El periodo en el cual se han registrado los máximos en cada estación oscila entre 1969 y 2005. En promedio los valores de precipitación máxima en 24 horas se encuentran entre 39.56 mm y 95.00 mm y los coeficientes de variación no superan el 0.23. Lo anterior permite decir que las series pueden ser empleadas para el análisis en Bucaramanga.

	MAXIMO	MINIMO
MAXIMO ANUAL	182,00	79,10
AÑO	2005,00	1969,00
PROMEDIO	95,00	39,56
DESVIACIÓN	28,21	11,21
COEF. DESVIACIÓN	0,23	0,13

Tabla 15. Valores de precipitación máxima en las estaciones de Bucaramanga

En la 13 se muestran los valores de precipitación máximas para las estaciones ubicadas en la zona occidente de la ciudad de Bucaramanga.

ESTACIÓN	NOMBRE	MAXIMA ANUAL	AÑO	PROMEDIO	DESVIACIÓN	COEF. DESVIACIÓN
1	BUCARAMANGA	140,90	2002	68,60	28,20	0,20
2	UIS	100,60	1972	67,90	19,40	0,19
3	LA FLORESTA	119,30	2005	75,20	17,70	0,15
6	ARP. PALONEGRO	152,00	1998	75,20	21,50	0,14
7	LA LAGUNA	135,00	1985	80,20	25,60	0,19
10	PALOGORDO	150,00	2005	71,40	25,00	0,17
13	CDMB	86,90	1988	58,60	11,20	0,13
14	CLUB CMPESTRE	130,00	2005	67,80	19,60	0,15
16	LA ESPERANZA	164,80	1993	72,40	26,60	0,16
17	LA FLORA	99,20	2000	63,80	14,30	0,14
19	PTAR	157,50	1998	65,10	27,90	0,18
MAXIMO		**164,80**	**2005**	**80,20**	**28,21**	**0,20**
MINIMO		**86,90**	**1972**	**58,60**	**11,21**	**0,13**

Tabla 16. Valores de precipitación máxima estaciones Zona occidente de Bucaramanga

La tabla indica que los valores máximos de precipitación en 24 horas registrados han sido superiores a los 86.90 mm y no mayores de 164.80 mm. El periodo en el cual se han registrado los máximos en cada estación oscila entre 1972 y 2005. En promedio los valores de precipitación máxima en 24 horas se encuentran entre 58.57 mm y 80.24 mm y los coeficientes de variación varían entre 0.13 y 0.2.

Los valores de recurrencia en 100 años se obtuvieron a partir de las series de valores anuales aplicando la distribución de valores extremos de Gumbel, típica para estos análisis. Los datos obtenidos de intensidad son estimados a partir de las magnitudes de lluvia diaria para una duración de 30 minutos. Este dato se ajusta conforme las curvas IDF obtenidas.

De acuerdo con la siguiente tabla, las máximas precipitaciones diarias en la estación La Floresta son de 119.3 mm, estadísticamente pueden alcanzar los 130.57 mm para un periodo de recurrencia de 100 años y la intensidad para dicha lluvia en un aguacero de 30 minutos de duración se estima en 261.14 mm/h como se presenta en la siguiente ilustración.

No.	ENTIDAD	NOMBRE ESTACIÓN	MUNICIPIO	TIPO	MAXIMA PMAX 24 H REGISTRADA (MM)	PMAX 24 H PARA TR=100 AÑOS (MM)	INTENSIDAD DE PMAX 24 H TR=100 AÑOS Y DURACIÓN 30 MIN (MM)
1	IDEAM	BUCARAMANGA IDEAM	BUCARAMANGA	PG	140,90	157,02	314,05
2	IDEAM	UIS	BUCARAMANGA	CP	100,00	128,83	257,66
3	IDEAM	FLORESTA	FLORIDABLANCA	PG	119,30	130,57	261,14
4	IDEAM	GALVICIA LA	FLORIDABLANCA	PM	124,00	143,60	287,20
5	IDEAM	PIEDECUESTA GJA	PIEDECUESTA	PG	133,50	145,66	291,32
6	IDEAM	APTO PALONEGRO	LEBRIJA	SP	152,00	142,78	285,56
7	IDEAM	LAGUNA LA	LEBRIJA	PM	135,00	160,57	321,13
8	IDEAM	PALMAS	LEBRIJA	PM	140,00	170,74	341,47
9	IDEAM	LLANO GRANDE	GIRÓN	CO	182,00	152,46	304,93
10	IDEAM	PALO GORDO	GIRÓN	PM	150,00	149,88	299,76
11	IDEAM	PANTANO EL	GIRÓN	PM	132,00	146,49	292,98
12	IDEAM	MATAJIRA	MATANZA	PM	115,00	106,20	212,41
13	CDMB	CDMB	BUCARAMANGA	PG	86,90	93,72	187,45
14	CDMB	CLUB CAMPESTRE	FLORIDABLANCA	PG	130,00	128,93	257,86
15	CDMB	EL RASGON	PIEDECUESTA	CO	79,10	92,17	184,34
16	CDMB	LA ESPERANZA	FLORIDABLANCA	CO	164,80	155,94	311,88
17	CDMB	LA FLORA	BUCARAMANGA	PG	99,20	108,58	217,16
18	CDMB	LA MARIANA	TONA	PM	86,40	99,21	198,41
19	CDMB	PTAR	GIRÓN	CO	157,50	152,58	305,16
20	CDMB	SEVILLA	PIEDECUESTA	PM	85,70	100,34	200,67

Tabla 17. Valores de precipitación máxima período de retorno de 100 años

Los valores señalados en color rojo corresponden a eventos de lluvia máxima en 24 horas registrados, que, según las estadísticas de la estación, estarían próximos al periodo de recurrencia de 100 años, las estaciones en verde corresponden a las estaciones de la zona occidente.

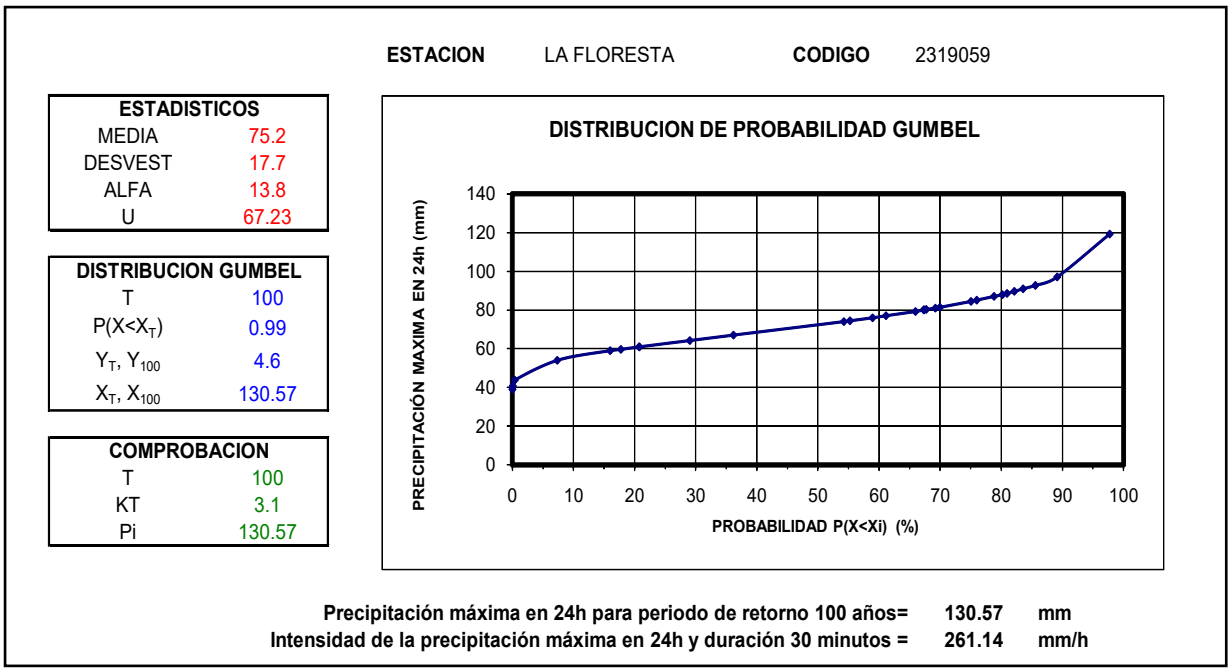


Ilustración 56 Distribución Gumbel para máximos de precipitación en 24 horas

7.7.4. LLUVIAS DE CORTA DURACIÓN

Generalmente las precipitaciones son consideradas uno de los aspectos más influyentes en la estabilidad de las laderas al punto de considerarlas como factor detonante, bien sea por causa del volumen acumulado en largos periodos de tiempo o por su intensidad comúnmente asociada a cortas duraciones.

Es por esta razón que en los estudios de estabilidad se debe considerar el evento de lluvia dentro de los detonantes de movimientos en masa. De otro lado, las lluvias de corta duración y elevado volumen resultan ser críticas a la hora de realizar un análisis de este tipo, dado que esta combinación incrementa las presiones de poros en los suelos de forma exagerada, con la consecuente disminución de los esfuerzos efectivos y por ende, pérdida de resistencia del material, produciéndose de forma casi instantánea la falla del talud.

Para el análisis de las lluvias de corta duración se recurre a Curvas IDF (Intensidad – Duración – Frecuencia), las cuales son fundamentales en los diseños de obras hidráulicas. La principal limitante en su construcción radica en la existencia de registros continuos de lluvia en el tiempo los cuales son generados por estaciones de tipo pluviográfico (PG), y que demandan grandes recursos en operación y procesamiento, razón por la cual su número en una red es limitado.

Las curvas IDF se obtienen a partir de registros pluviográficos en donde cada aguacero entra a formar parte de la historia de registro de la estación, por esta razón las curvas ya construidas pueden variar en el tiempo, más aún si eventos extraordinarios de lluvia son registrados.

En el marco regional del análisis inicialmente efectuado acerca de la precipitación en el área objeto de este estudio, se puede apreciar que tan solo 5 de las 20 estaciones son de tipo pluviográfico (PG), siendo necesario obtener parámetros generalizados para posteriormente ser abordados en detalle dentro de los cálculos y diseños puntuales.

Para este propósito se cuenta con diferentes metodologías que facilitan la obtención de las curvas IDF de manera que permiten suplir la carencia de los registros pluviográficos de la precipitación. Estas metodologías se basan principalmente en la utilización de los registros de precipitación máxima en 24 horas, siendo posible elaborar las curvas por ejemplo en estaciones de tipo pluviométrico (PM).

La validación de estas metodologías depende en gran medida de las precipitaciones que se presenten en la zona en comparación con las que se tomaron como base para su construcción. Por esta razón, en este estudio se adopta el análisis previo de los resultados obtenidos al generar curvas IDF por el método tradicional y por métodos como el de Bell (1969)[1] (método tradicional calibrado con las curvas oficiales del IDEAM) y el método de Kothyari y Garde (1992)[2] para la india, cuyos resultados han orientado el desarrollo de relaciones de este tipo para el país por Vargas y Díaz-Granados (1998)[3].

[1] Bell, F. C. Generalized Rainfall - Duration – Frequency Relationships. Journal of Hydraulics Division. Vol 95 No. HY1 January 1969
[2] Kothyari U. C., Garde R. J. Rainfall Intensity- Duration – Frequency formula for India. Journal of Hydraulic Engineering. Vol 118 No. 2 February 1992
[3] Vargas, R. Diaz-Granados M. Curvas Sintéticas Regionalizadas de Intensidad - Duración – Frecuencia para Colombia. X Seminario Nacional de Hidráulica 1998

En el caso particular del área de estudio, las lluvias de intensidades altas son generadores de procesos de erosión y efectos concatenados de movimientos en masa. Por esta razón es necesario concentrar los esfuerzos en un manejo adecuado de la escorrentía extrema para evitar que se deriven nuevos problemas aun existiendo obras para el manejo hidráulico.

7.7.5. CURVAS IDF PARA EL SECTOR 23 DE JUNIO

Como se mencionó anteriormente, para hacer comparativo y representativo el análisis regional dentro del contexto del presente estudio, se elaboraron curvas IDF sintéticas empleando la metodología de Bell (1969), ampliamente utilizada en otros estudios en nuestro medio y que permite obtener, en comparación con otros métodos, curvas IDF con distribución adecuada a las condiciones del terreno sin subestimar los efectos de la precipitación de corta duración (entre 0 y 180 minutos) para diferentes periodos de recurrencia. Este método se basa en los registros de precipitación máxima en 24 horas y los valores estadísticos obtenidos de la serie de valores anuales.

Las curvas IDF obtenidas fueron calibradas con la IDF oficial del IDEAM para la Estación UIS (2319504). Para el caso de estudio particular en el sector 23 de junio, se recomienda emplear la curva IDF de la estación más cercana, en este caso la Estación CDMB.

CURVAS DE INTENSIDAD - DURACIÓN - FRECUENCIA
13. CDMB

Pmax 24h:	58,6 mm	Promedio de las máximas anuales
Smax 24h	11,2 mm	Desviación standard de la serie
Relación Cp:	0,63	Relación entre horaria y diaria

PERIODO DE RETORNO TR (AÑOS)	INTENSIDADES MÁXIMAS EN MM/HORA PARA DURACIONES ENTRE 10 Y 180 MINUTOS						
	10	20	30	60	90	120	180
2	67,9	55,2	47,7	35,9	29,9	26,1	21,5
5	82,5	67,1	57,9	43,6	36,3	31,8	26,2
10	92,2	74,9	64,7	48,6	40,6	35,5	29,2
25	104,4	84,9	73,3	55,1	45,9	40,2	33,1
50	113,4	92,2	79,6	59,9	49,9	43,7	36
100	122,4	99,5	85,9	64,6	53,9	47,1	38,8

Tabla 18. Intensidades máximas. Estación CDMB

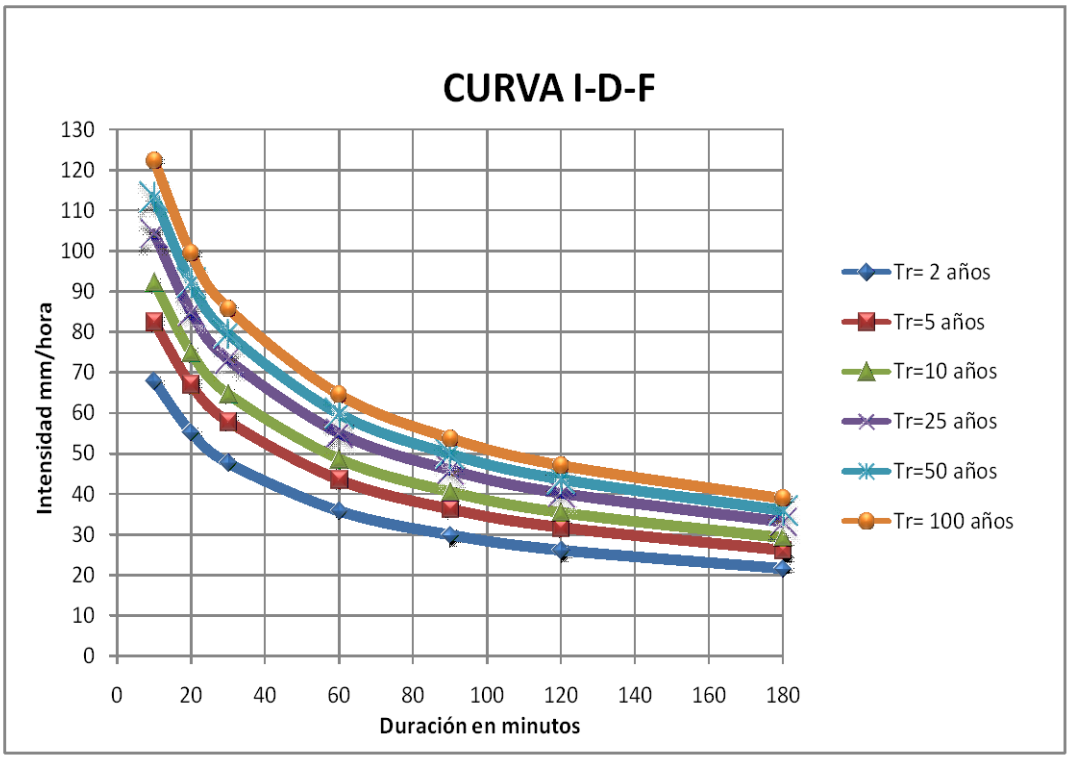


Ilustración 57 Curvas IDF Sintéticas para la Estación CDMB – Método de Bell

7.7.6. LLUVIAS ACUMULADAS PARA EL SECTOR 23 DE JUNIO

Finalmente, y con el ánimo de establecer valores de lluvia diaria crítica para la ocurrencia de movimientos en masa, se elaboraron curvas de frecuencias de lluvias acumuladas para diferentes periodos de tiempo.

Estas curvas para la estación CDMB se observan a continuación:

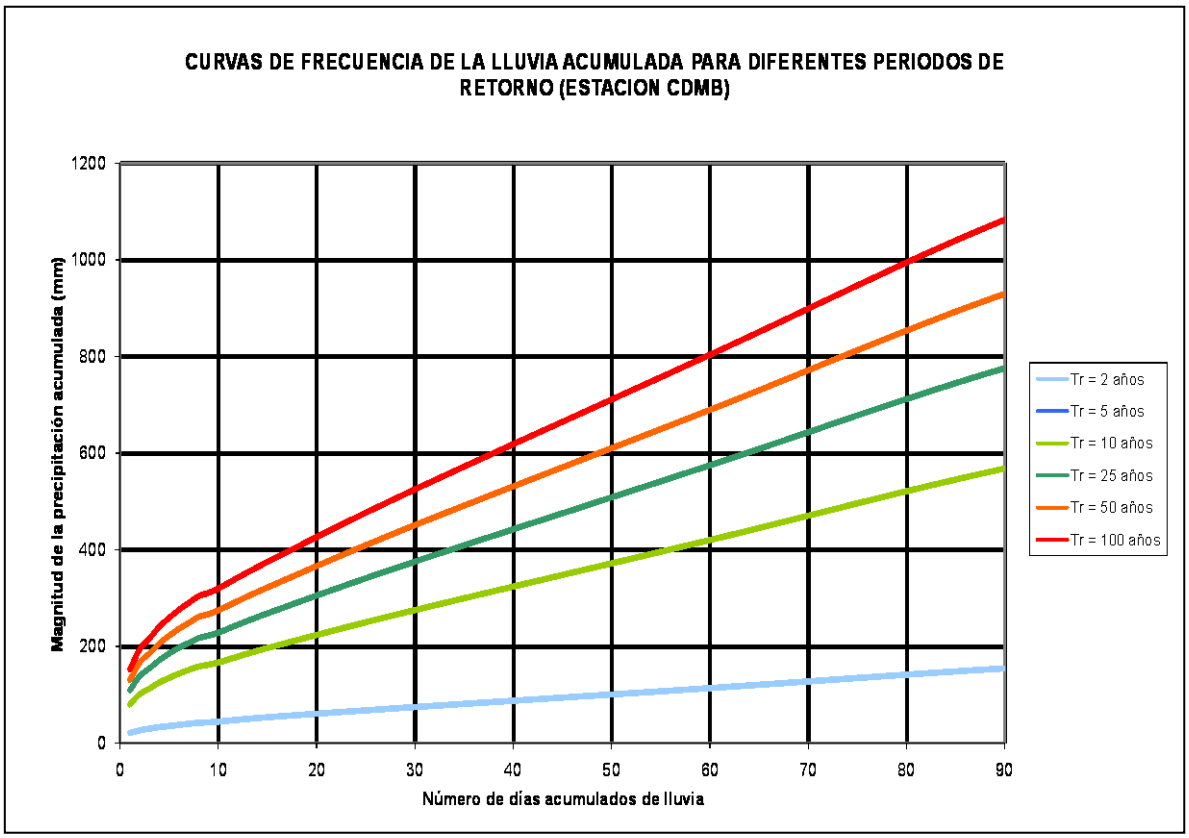


Ilustración 58 Curva frecuencia lluvia acumulada diferentes periodos retorno

Como se observa en la anterior Ilustración, un valor de 119.3 mm de precipitación en un día corresponde a un periodo de recurrencia entre 10 y 25 años conforme se indica en los registros estadísticos de lluvia diaria de la estación CDMB.

PERIODO DE RETORNO	VALORES DE PRECIPITACIÓN PARA EL NÚMERO DE DÍAS ACUMULADOS INDICADO (MM)																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	30	60	90	120	240	365
Tr = 2 años	21,1	26,6	30,2	33,1	35,8	38,1	40,2	42,2	43,3	44,9	53,8	74,7	113,8	155,1	186,3	319,7	452,4
Tr = 5 años	56,3	71,5	80,2	88,8	95,7	101,8	107,3	112,3	115	118,4	139,8	195,3	298,4	403,5	484,3	827,7	1165,9
Tr = 10 años	79,6	101,2	113,3	125,7	135,4	144,1	151,7	158,8	162,4	167,2	196,7	275,2	420,7	568	681,6	1164	1638,4
Tr = 25 años	109,1	138,7	155,1	172,3	185,6	197,4	207,7	217,5	222,4	228,7	268,6	376,1	575,1	775,9	930,9	1589	2235,4
Tr = 50 años	130,9	166,6	186,2	206,9	222,8	237	249,3	261	266,9	274,4	322	451	689,7	930,1	115,9	1904,3	2678,3
Tr = 100 años	152,6	194,2	217	241,2	259,7	276,3	290,6	304,3	311	319,7	374,9	525,3	803,5	1083,1	1299,5	2217,2	3117,8

Tabla 19. Resultados curva de frecuencia lluvia acumulada Estación CDMB.

7.7.7. CALCULO DE LA ESCORRENTIA

Es necesario anotar que las corrientes naturales han sido interpretadas como los cursos de agua posibles de formarse luego de un aguacero y no corrientes permanentes.

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 estas zonas es tendiente a uno en la medida en que el urbanismo se consolida. 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.

Se representa con la siguiente expresión dimensional:

CALCULO DE LA ESCORRENTIA			
DESCRIPCIÓN	**UNIDAD**	**SIGLA**	**EXPRESIÓN**
CAUDAL PICO DE LA ESCORRENTIA QUE SE GENERA A LA SALIDA DE UNA CUENCA O ÁREA VERTIENTE EN M^3/S	M3/S	Q	$Q = \frac{C * I * A}{3.6}$
ÁREA QUE CONCENTRA LA ESCORRENTÍA	KM^2	A	
INTENSIDAD CONSIDERADA CONSTANTE QUE TIENE EL AGUACERO DE DURACIÓN IGUAL AL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN DE LA CUENCA	MM/H	I	
COEFICIENTE DE ESCORRENTIA; SU VALOR ESTÁ COMPRENDIDO ENTRE CERO Y UNO Y DEPENDE DE LA MORFOMETRÍA DE LA CUENCA Y DE SU COBERTURA		C	

La asignación de valores apropiados al coeficiente de escorrentía es subjetiva porque, aun cuando existen tablas y recomendaciones generales, la experiencia y criterio de su selección a partir de la experiencia es determinante.

La intensidad del aguacero por su parte es fundamental en los volúmenes resultantes y por ello se realizó el análisis de las lluvias de corta duración y se identificó la estación más próxima a este lugar.

La aplicación del Método Racional induce a sobreestimar los caudales de creciente[4] y por esta razón Silva (1995) no recomienda su uso en cuencas mayores de 1 km^2.

De las imágenes presentadas dentro de este informe, se estima teniendo en cuenta la cobertura actual del terreno, que el coeficiente de escorrentía (conforme a la tabla), puede estar entre valores de 0.25 y 0.40, como ya se mencionó, dada la ocupación del terreno con viviendas, ya que etas se ubican solo en la parte alta de la ladera, mientras que en las cercanías de la confluencia del drenaje natural se encuentra altamente revegetalizado, y se encuentra en buenas condiciones, es decir no se evidencias problemas de erosión.

Este factor es muy importante en la medida en que refleja con qué porcentaje la lluvia se traduce en caudal y alimenta el drenaje superficial. El criterio en este estudio será conservador dada la presión que existe sobre el suelo para ocupación ilegal.

Así mismo, dada la pequeña extensión de las áreas vertientes en análisis asemejadas a cuencas de drenaje y su pendiente longitudinal, se concluye que los tiempos de concentración son reducidos.

[4] Silva G., Hidrología aplicada. Universidad Nacional de Colombia. 1995

TYPE OF DRAINAGE AREA		RUNOFF COEFFICIENT, C*
BUSINESS:		
	DOWNTOWN AREAS	0,70 - 0,95
	NEIGHBORHOOD AREAS	0,50 - 0,70
RESIDENTIAL:		
	SINGLE - FAMILY AREAS	0,30 - 0,50
	MULTI - UNITS, DETACHED	0,40 - 0,60
	MULTI - UNITS, ATTACHED	0,60 - 0,75
	SUBURBAN	0,25 - 0,40
	APARTMENT DWLLING AREAS	0,50 - 0,70
INDUSTRIAL:		
	LIGHT AREAS	0,50 - 0,80
	HEAVY AREAS	0,60 - 0,90
PARKS, CEMENTERIES		0,10 - 0,25
PLAY GROUNDS		0,20 - 0,40
RAILROAD YARD AREAS		0,20 - 0,40
UNIMPROVED AREAS		0,10 - 0,30
LAWNS:		
	SANDY SOIL, FLAT, 2%	0,05 - 0,10
	SANDY SOIL, AVERAGE, 2% - 7%	0,10 - 0,15
	SANDY SOIL, SLEEP, 7%	0,15 - 0,20
	HEAVY SOIL, FIAT, 2%	0,13 - 0,17
	HEAVY SOIL, AVERAGE, 2% - 7%	0,18 - 0,22
	HEAVY SOIL, SLEEP, 7%	0,25 - 0,35
STREETS:		
	ASPHALTIC	0,70 - 0,95
	CONCRETE	0,80 - 0,95
	BRICK	0,70 - 0,85
DRIVES AND WALKS		0,75 - 0,85
ROOFS		0,75 0,95
HIGUER VALUES ARE USUALLY APPROPRIATE FOR STEEPLY ALOPED AREAS AND LONGER RETURN PERIODS BECAUSE INFOLTRATION AND OTHER LOSSER HAVE A PROPORTIINALLY SMALTER EFFECT ON RUNOFF IN THESE CASES		

Tabla 20. Coeficientes de escorrentía.

No obstante, lo anterior y a fin de demostrar esta condición del terreno, se calculan los tiempos de concentración de trayectorias de escorrentía directa sobre el terreno representativas, como lo es la localizada en la parte sur central del área de estudio detallado.

ECUACIÓN DE KIRPICH (1940)

ECUACIÓN DE KIRPICH (1940)			
DESCRIPCIÓN	**UNIDAD**	**SIGLA**	**EXPRESIÓN**
TIEMPO DE CONCENTRACIÓN	MIN	tc	$t_c = 60\left(\frac{0.06628\,L^{0.77}}{S^{0.385}}\right)$
LONGITUD DEL RIO DESDE AGUAS ARRIBA HSTA LA SALIDA	KM	L	
PENDIENTE PROMEDIO DE LA CUENCA	M/M	S	

FORMULA DE FEDERAL AVIATION AGERNCY (1970)

FORMULA DE FEDERAL AVIATION AGENCY (1970)			
DESCRIPCIÓN	**UNIDAD**	**SIGLA**	**EXPRESIÓN**
TIEMPO DE CONCENTRACIÓN	MIN	tc	$t_c = 3.26036\frac{(1.1-C)L^{0.50}}{S^{0.333}}$
COEFICIENTE DE ESCORRENTIA DE MÉTODO RACIONAL. VER TABLA 17		C	
LONGITUD DEL FLUJO SUPERFICIAL	M	L	
PENDIENTE DE LA SUPERFICIE	%	S	

CONSORCIO CONSULTORIA GEOTECNIA	DATOS DE LA MICROCUENCA	UNIDAD	RESULTADOS
AREA		Km²	1.18
COTA SUP.		msnm	935.00
COTA INF.		msnm	739.00
LOG. CAUCE		km	3.94
COEF. DE ESCORRENTIA			0.25
TC KIRPICH		min	35.97
TC Aviaton Agence		**min**	**101.96**
TIEMPO DE CONCENTRACION		min	36.34
PENDIENTE		m/km	49.75
AREA		Ha	118.00

Tabla 21. Cálculo del tiempo de concentración Tc

Como se observa, el tiempo de concentración es mayor a los 15 minutos, luego las intensidades máximas de precipitación conforme las curvas IDF se muestra en la siguiente tabla:

PERIODO DE RETORNO	INTENSIDADES MÁXIMAS ESTACIÓN LA CDMB EN MM/H	
	DURACIÓN 10 MINUTOS	DURACIÓN 20 MINUTOS
Tr = 50 AÑOS	113,40	92,20
Tr = 100 AÑOS	122,40	99,50

Tabla 22. Intensidades máximas para la Estación La CDMB

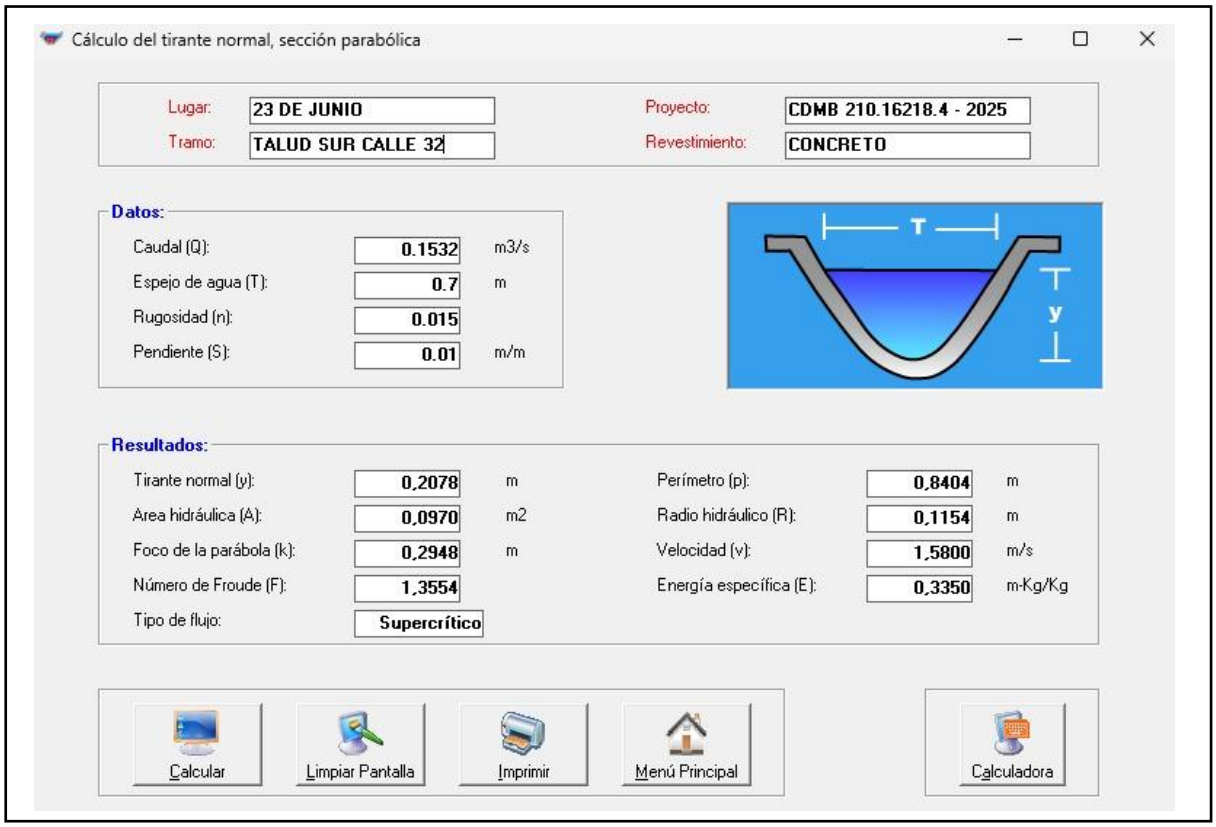
Con los anteriores valores y aplicando el Método Racional se obtienen los caudales máximos para los diferentes periodos de recurrencia de los aguaceros que producen a su vez los picos de escorrentía.

Es por ello necesario establecer las áreas de drenaje de la ladera de incidencia directa para las estructuras conforme la propuesta de estabilización particular a fin de controlar la degradación de la ladera.

7.7.8. DIMENSIONMIENTO CANALETAS DE CORONACIÓN



Ilustración 59 Área de aporte a las obras de manejo de agua superficial del sector 23 de junio.



DIMENSIONAMIENTO CANALETAS DE CORONACION

CONSORCIO CONSULTORIA GEOTECNIA

COEFICIENTES DE ESCORRENTIA RECOMENDADOS - RAS 2000	
ZONAS COMERCIALES O INDUSTRIALES	0,60 - 0,95
RESIDENCIAL, CON CASAS ANTIGUAS, PREDOMINIO DE ZONAS DURAS	0,75
RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR, CON BLOQUES CONTIGUOS Y ZONAS DURAS ENTRE ESTOS	0,60 - 0,75
RESIDENCIAL UNIFAMILIAR, CON CASAS CONTIGUAS Y PREDOMINIO DE JARDINES	0,40 - 0,60
RESIDENCIAL, CON CASAS RODEADAS DE JARDINES O MULTIFAMILIARES APRECIABLEMENTE SEPARADAOS	0,45
RESIDENCIAL, CON PREDOMINIO DE ZONAS VERDES Y PARQUES - CEMENTERIOS	0,30
LADERAS SIN VEGETACIÓN	0,60
LADERAS CON VEGETACIÓN	0,30
PARQUES RECREACIONALES	0,20

CALCULO DE LA ESCORRENTIA

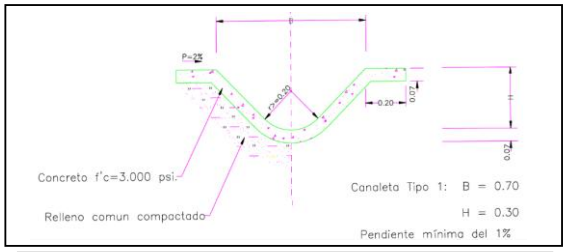
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	SIGLA	EXPRESIÓN
CAUDAL CAPTADO POR LA CANALETA	M3/S	Q	$Q = \frac{C*I*A}{3.6}$
ÁREA DE APORTE A LAS OBRAS DE MANEJO DE AGUA	KM^2	A	
INTENSIDAD DE LLUVIA	MM/H	I	
COEFICIENTE DE ESCORRENTIA		C	

LA ESTIMACIÓN DE LOS CAUDALES SE HARÁ ENTONCES UTILIZANDO EL MÉTODO RACIONAL Y LA FÓRMULA RACIONAL ESTÁ BASADA EN LA HIPÓTESIS DE KRIMGOLD

DATOS OBTENIDOS EN EL ANÁLISIS HIDROLÓGICO

C	0.4	ADIMENSIONAL	$Q = \frac{C*I*A}{3.6}$
I	122.4	MM/H	
A	11262	M^2	

$$\frac{0.4 \times 122 \times 11262}{3.6} = 153.1632 \ \frac{Lt}{seg} = 0.1532 \ \frac{m3}{seg}$$



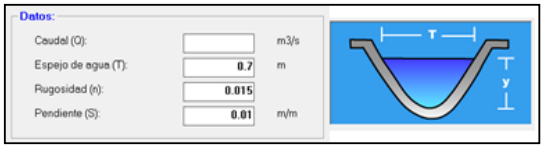


Ilustración 60 Capacidad hidráulica, canaleta proyectada

VARIABLES PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE CUNETAS

COFICIENTE DE RUGOSIDAD:

Es un valor determinado de acuerdo con el acabado de las paredes de los canales, canaletas, disipadores o tuberías, por lo cual es dependiente del material utilizado en la construcción, Manning define dicho coeficiente de acuerdo a la siguiente tabla:

COEFICIENTE DE RUGOSIDAD "n" DE MANNING[5]

CORRIENTES NATURALES	NUMERO DE MANNING
LIMPIAS, ORILLAS RECTAS, FONDO UNIFORME, ALTURA DE LA LAMINA DE AGUA SUFICIENTE	0,027 - 0,033
LIMPIAS, ORILLAS RECTAS, FONDO UNIFORME, ALTURA DE LA LAMINA DE AGUA SUFICIENTE, ALGO DE VEGETACIÓN	0,033 - 0,004
LIMPIAS, MEANDROS, EMBALSES Y REMOLINOS DE POCA IMPORTANCIA	0,035 - 0,050
LENTAS, CON EMBALSES PROFUNDOS Y CANALES RAMIFICADOS	0,060 - 0,080
LENTAS, CON EMBALSES PROFUNDOS Y CANALES RAMIFICADOS, VEGETACIÓN DENSA	0,100 - 0,20001
RUGOSAS, CORRIENTES EN TERRENO ROCOSO DE MONTAÑA	0,050 - 0,080
ÁREAS DE INUNDACIÓN ADYACENTES AL CANAL ORDINARIO	0,030 - 0,2001
CUNETAS Y CANALES REVESTIDOS	**NUMERO DE MANNING**
HORMIGÓN	0,013 - 0,017
HORMIGÓN REVESTIDO CON GUNITA	0,016 - 0,022
ENCACHADO	0,20 - 0,030
PAREDES DE HORMIGÓN, FONDO DE GRAVA	0,017 - 0,020
PAREDES ENCACHADAS, FONDO DE GRAVA	0,023 - 0,033
REVESTIMIENTO NITUMINOSO	0013 , 0,016
CUNETAS Y CANALES SIN REVESTIR	**NUMERO DE MANNING**
EN TIERRA ORDINARIA, SUPERFICIE UNIFORME LISA	0,020 - 0,025
EN TIERRA ORDINARIA, SUPERFICIE IRREGULAR	0,025 - 0,035
EN TIERRA CON LIGERA VEGETACIÓN	0,035 - 0,045
EN TIERRA CON VEGETACIÓN ESPESA	0,040 - 0,050
EN TIERRA EXCAVADA MECANICAMENTE	0,028 - 0,033
EN ROCA, SUPERFICIE UNIFORME Y LISA	0,030 - 0,035
EN ROCA, SUPERFICIE CON ARISTAS E IRREGULARIDADES	0,035 - 0,045

[5]http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358003/Residuales_Contenido_en_linea/leccin_2__principios_de_mecnica_de_fluidos_e_hidrulica.html.

Para el caso el lugar de estudio se tomó como coeficiente n de manning el valor de 0.015 que corresponde a cunetas revestidas de hormigón.

Talud (Z):

El valor de la pendiente de talud se asume de 1, de tal forma que el flujo lateral de ingreso al canal se realice a un ángulo de 45°

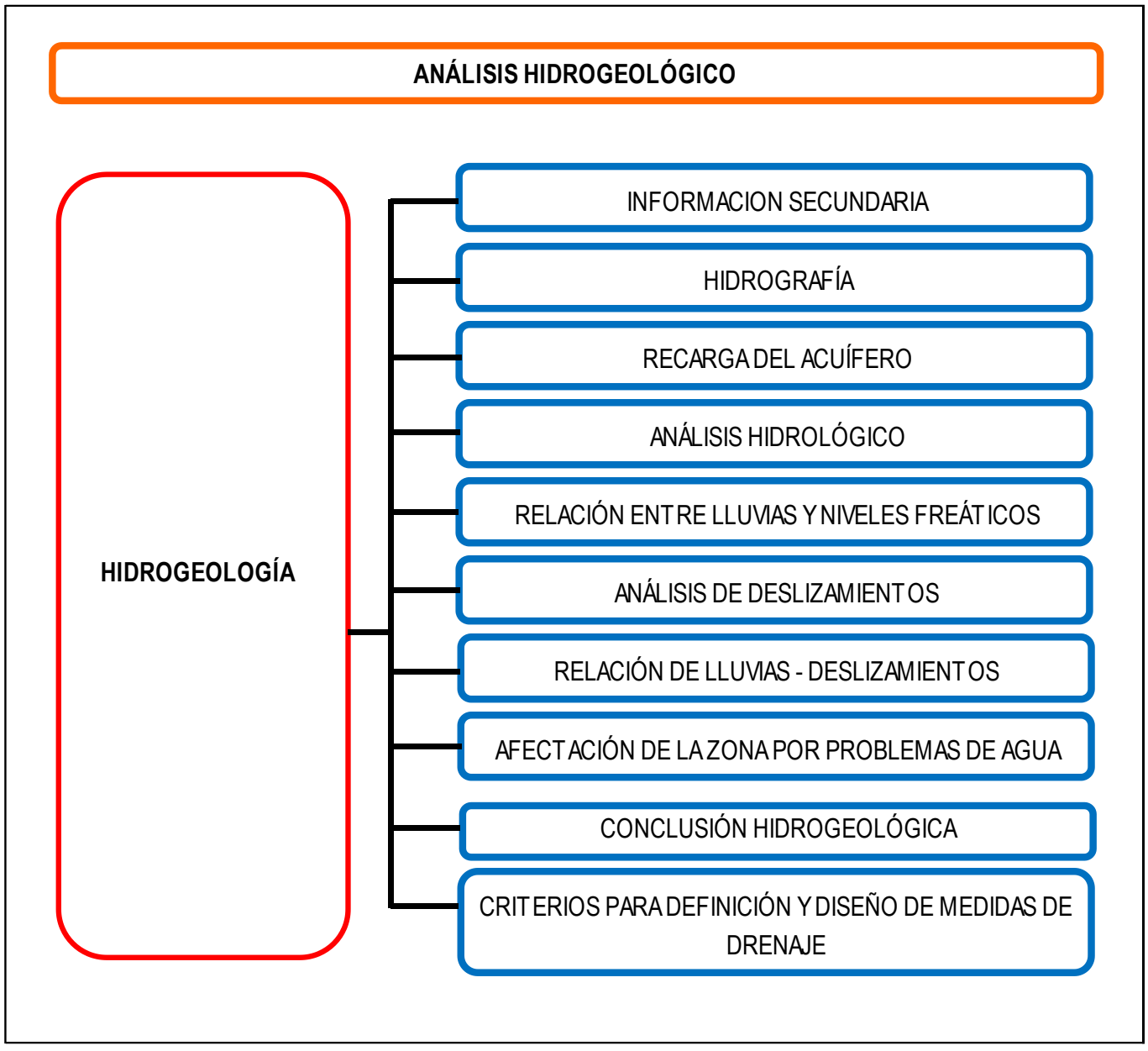
Ancho de Solera (B):

Para este caso se considera de 20 cm de tal forma que sea fácil de construir ya que se acopla a herramientas manuales comunes y a la fácil movilidad del obrero debido a que la excavación formara una base de 34 cm sobre el terreno natural.

Pendiente:

Esta se acopla con base al terreno, como se define la cuneta para captación de zona específica, esta se construirá de acuerdo con lo establecidos por el Manual de Drenaje para carreteras del INVIAS

8. HIDROGEOLOGIA



8.1. IINFORMACIÓN SECUNDARIA

- **Colombia, Ministerio de Minas y Energía, INGEOMINAS-UIS: MEMORIA EXPLICATIVA DE LA INVESTIGACION GEOLOGICA E HIDROGEOLOGICA EN EL MACIZO DE SANTANDER (2007).** Este estudio se realizó en un área de 134 km2 (ver siguiente figura), cuyo objeto se referencia en estudiar el macizo de Santander como zona de recarga para abastecer a la población de agua potable debido a las limitaciones que existen, en él se evalúa un balance hídrico a largo plazo. Se plantea finalmente un modelo conceptual de recarga y circulación de agua subterránea a través de la zona del Macizo de Santander, teniendo en cuenta la complejidad estructural de toda el área, la distribución litológica y la presencia de importantes espesores de roca meteorizada. Estos tres aspectos se constituyen como protagonistas del proceso de infiltración y flujo del agua en el Macizo de Santander. Para el presente estudio se contará con el uso del modelo de recarga y circulación del flujo para comparar con lo encontrado en cada sector en estudio.

- **INGEOMINAS, Modelo Geológico - Geofísico para el área metropolitana de Bucaramanga (2004).** En este estudio se hace una recopilación de sondeos eléctricos verticales realizados por el INGEOMINAS en 2001 y 2002 mostrando un modelo geo-eléctrico preliminar, que nos sirve como base para observar el comportamiento en las diferentes zonas en estudio.

- **INGEOMINAS, EVALUACION DE AGUA SUBTERRANEA EN EL AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA, SANTANDER A ESCALA 1:25000:** En este estudio a partir de análisis de inventarios de puntos de recolección de aguas en diferentes zonas del área metropolitana pudieron encontrar diferentes tipos de acuíferos:

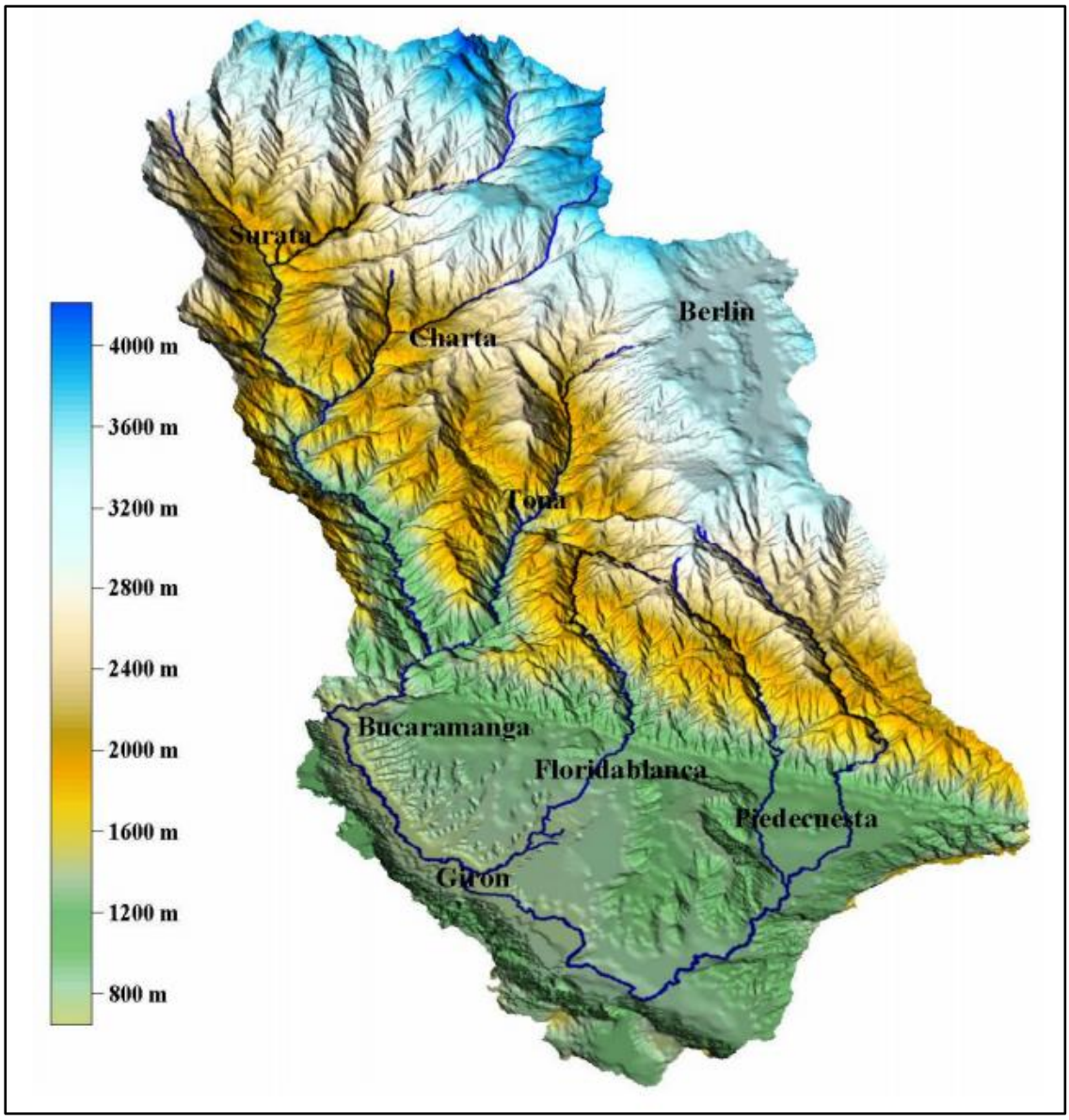


Ilustración 61 Localización cuenca en estudio con un área de 464km^2. Tomado de INGEOMINAS, 2007.

- Acuífero Órganos: Este acuífero fue captado por 13 pozos de los cuales 6 de ellos se tienen lecturas de niveles estáticos del agua subterránea. Los niveles se encuentran entre 3.2 a 37.5 m, encontrándose los niveles más profundos hacia la parte occidental del acuífero, es decir, hacia la escapa occidental de la ciudad de Bucaramanga. Este también fue captado por 6 aljibes de los cuales 5 de ellos se tienen lecturas de niveles estáticos del agua subterránea. Los niveles se encuentran a profundidades que fluctúan entre 0.1 a 19 m y al igual que sucede

con los niveles estáticos medidos en los pozos, los niveles más profundos se encuentran hacia la parte occidental del acuífero.

- Acuífero Gravoso: Se encuentran 12 pozos de los cuales para 7 de ellos se tienen lecturas de niveles estáticos del agua subterránea. Los niveles se encuentran a profundidades que van de 2.65 a 22.2 m; al igual que para el acuífero Órganos los niveles más profundos están hacia la parte occidental del acuífero, es decir hacia la escapa occidental de la ciudad de Bucaramanga.

- Acuífero Terrazas y depósitos aluviales: Captado por 19 aljibes de los cuales 17 de ellos se le puede medir el nivel estático. Los niveles varían entre 0 y 9.2m, predominando los niveles someros.

- Acuífero depósitos coluviales: Los niveles estáticos oscilan entre 1.4 a 13.7 m. en cuatro aljibes se pudo medir el nivel estático y va de 0.9 a 2.2 m.

- Acuífero Macizo de Santander: Se encuentra entre los 1400 a 3370 m, siendo 1600-200 m el intervalo de altura más predominante.

- Acuífero Girón: Captado por 11 pozos de los cuales a 6 de ellos fue posible medirles el nivel estático, el cual fluctúa entre 0.4 y 9.5 m.

- **CDMB - Gómez Sully. RELACIONES ENTRE NIVELES FREATICOS, PRECIPITACIONES Y SU INFLUENCIA EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES-1989:** Este estudio recopila información meteorológica, piezómetro e información de deslizamientos del área metropolitana de Bucaramanga con el fin de observar el comportamiento de los niveles con base en las precipitaciones y su influencia en la escarpa occidental en todo lo que tiene que ver con la ocurrencia de deslizamiento. Para el presente estudio la base y uso de información será de suma importancia ya que evalúa hidrogeológicamente la terraza de Bucaramanga, que el lugar donde se asienta el sector en estudio.

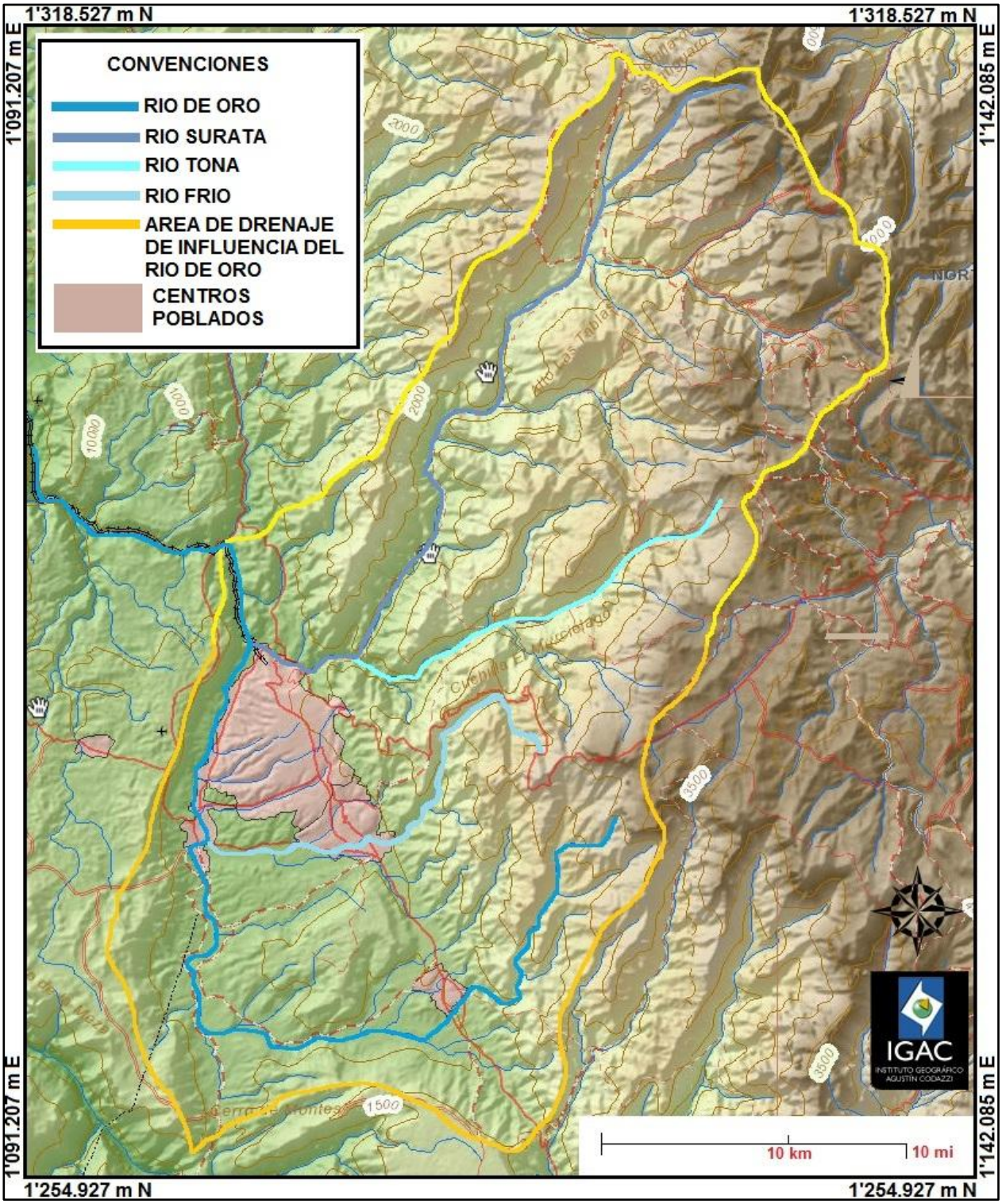


Ilustración 62 Mapa de localización de las principales afluentes de drenaje del área metropolitana de Bucaramanga y su área de influencia (Cuenca superior rio Lebrija. Fuente: IGAC – Autores).

8.2. HIDROGRAFÍA

Los ríos principales del área metropolitana de Bucaramanga son el Rio de oro, Surata, Toná, rio frio, y las quebradas de La flora, Honda, Chiquita, suratoque, La iglesia, Quebrada seca, Cacique, El Horno, san Isidro, Las Navas, La Rosita y Bucaramanga.

El rio de oro es uno de los más importantes que atraviesan el área metropolitana, según el POT de Bucaramanga, este se ubica en la escarpa occidental, nace en el macizo de Santander (Cordillera localizada al oriente de la falla de Bucaramanga – Santander donde quedan el páramo de santurban), desemboca en el los drenajes de Piedecuesta, la quebrada grande, suratoque y el rio loto, en la zona de girón recibe las aguas del rio frio, de la quebrada la iglesia, la quebrada chimita, la rosita que tiene como afluentes a la quebrada del loro y la quebrada seca que tiene a su vez a la quebrada la joya como afluente, estas últimas son los principales drenajes de la meseta de la ciudad de Bucaramanga, en el norte de la ciudad el rio de oro recibe al rio surata en el sector conocido como café Madrid, el cual tiene como afluente al rio toná y a la quebrada Honda, desde este sector a 8.0 Km agua abajo el rio de oro se une con el rio Negro formando el rio Lebrija en el corregimiento bocas del municipio de girón este último desembocando en el rio magdalena.

8.3. RECARGA DEL ACUÍFERO

Esta se realiza como consecuencia de las precipitaciones pluviales sobre el macizo de Santander, aunque no existe porosidad primaria en muchos de los casos ya que en este sector predominan rocas cristalinas debido al entorno geológico el cual está compuesto principalmente por unidades ígneo – metamórficas (Neis de Bucaramanga pEb – Ortogneis de Berlin pDo – Formación silgara pDs – Tonalita del páramo Rico TRt – Cuarzo monzonita de la corcova TRJc - Cuarzo monzonita de Santa Bárbara Jcs – Formación Girón Jg – Formación los Santos Kils – Formación Paja Kip y Formación Tablazo Kit) cuya porosidad y permeabilidad se limita a lo que puede ofrecer la meteorización y/o sistemas de fracturas presentes debido a la tectónica de la zona (porosidad secundaria)[6].

[6] INGEOMINAS – UIS Memoria Explicativa de la Investigación Geológica e Hidrogeológica en el Macizo de Santander – 2007.

Para el lugar de estudio, el cual se encuentra sobre depósitos del cuaternario como es la formación Bucaramanga Qb, de origen Fluvial, esta cuenta con porosidad primaria, de acuerdo a BERMOUDES Y VASQUEZ; 2004 , los cuales mencionan a los miembros Órganos (Qbo) y miembro gravoso (Qbg) como formaciones de interés Hidrológico, por su grado de porosidad e infiltración, pueden conducir y en un momento dado almacenar agua en espesores pequeños, para toda la zona urbana de Bucaramanga la recarga se genera de dos formas, la primera de manera lateral, la cual capta todo el fluido proveniente del macizo de Santander en el contacto que se especifica por la falla de Bucaramanga y la segunda hace referencia a una recarga distribuida que se da en las zonas libre de construcciones o zonas verdes localizadas en la meseta.

8.4. ANÁLISIS HIDROLÓGICO

Para la zona de estudio, de acuerdo al análisis de precipitaciones para Bucaramanga, se considera como precipitación promedio 1289 mm por año la estación meteorológica base es la floresta, que registra una intensidad de 158.3 mm/h para una concentración de 10 min y un periodo de retorno de 50 años, así mismo en esta caracterización, se reconoce que la zona de estudio tiene un régimen bimodal, lo cual se analizó en el capítulo que evalúa la hidrología de la zona en estudio. En la siguiente figura se observa un esquema del modelo hidrológico de Bucaramanga.

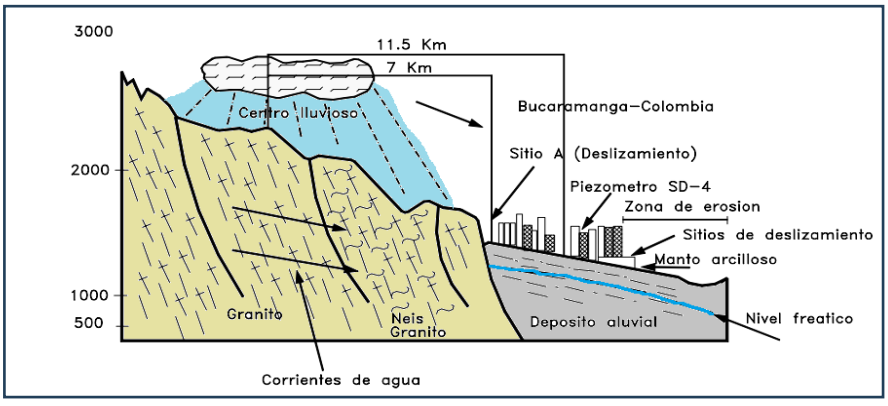


Ilustración 63 Esquema del modelo Hidrológico de Bucaramanga.[7]

[7] Tomado de Suarez Jaime. Libro de deslizamiento en zonas tropicales, capitulo 7: Lluvias, presión de poros y sus efectos.

En la figura anterior se generaliza el flujo de agua que se obtiene durante los procesos de infiltración primaria y secundaria que comienza en el masivo de Santander ingresando de manera lateral al depósito aluvial donde se ubica la zona de estudio y llega a la parte baja en la zona de Girón (Rio de Oro).

De acuerdo a ensayos registrados en el área metropolitana de Bucaramanga y a la formación aluvial descrita en el sector, se obtuvieron medidas de permeabilidad más bajos, 0.00002 m/s, siendo el más típico 0.00010 m/s a grandes profundidades (CDMB - Gómez Sully 1989[8]), además de dar a conocer un coeficiente de almacenamiento el cual es de 0.00611 y una transmisibilidad de 0.0003 m^2/s, determinándose una porosidad de 30% aproximadamente, los valores anteriores son obtenidos de una prueba de bombeo realizado y tomado del estudio de referencia.

Al comparar el ensayo de percolación realizado actualmente en la zona de estudio con los valores típicos mostrado en estudios anteriores, es posible deducir en superficie el alto contenido de infiltración el cual se reduce conforme se aumenta en profundidad, lo mismo ocurre con la porosidad ya que en superficie es superior.

En condiciones generales, cuando existe un evento de lluvia de manera normal o critica, dentro de suelo se genera un frente húmedo, el cual dependerá del grado de saturación, permeabilidad y porosidad, conociendo estas condiciones, se determina su velocidad de acuerdo a lo siguiente:

$$v = \frac{k}{(1 - S) * n}$$

8.5. RELACIÓN ENTRE LLUVIAS Y NIVELES FREÁTICOS

De acuerdo al estudio “Relaciones entre Niveles freáticos, precipitaciones y su influencia en la estabilidad de taludes”, durante el análisis el cual se realiza mediante la medición de precipitaciones

[8] CDMB - Gomez Isidro, Sully. Relaciones entre Niveles freáticos, precipitaciones y su influencia en la estabilidad de taludes

y el nivel freático en diferentes sectores del área metropolitana de Bucaramanga, se observa el incremento de los niveles piezómetros debido a eventos de lluvia, este incremento del nivel freático sucede dos meses después de ocurrida la precipitación para la zona occidental de la meseta y de manera inmediata para la zona oriental, esto se atribuye al espesor de la capa de la formación Bucaramanga, la cual es amplia al occidente y además por la presencia de la falla Bucaramanga que se encuentra al oriente y que genera mayor fracturamiento de las formaciones.

8.6. ANÁLISIS DE DESLIZAMIENTOS

De acuerdo a los modelos hidrogeológicos, el agua infiltrada corre de oriente a occidente con un gradiente hidráulico bajo y paralela al terreno, cuando se acerca a la zona de escarpa, el gradiente aumenta y se presentan afloramientos.

Los afloramientos se presentan de dos tipos, el primero ocurre por encima o en el pie del talud, por lo cual allí se presentan mayores velocidades de flujo y fuerzas de filtración, generándose una zona crítica por la cual se debilita la superficie de contacto produciendo caídos de suelo.

El segundo tiene que ver con la obstrucción de la salida del afloramiento por depósitos de deslizamientos recientes (Coluviones). El agua fluye saturando dichas masas, produciendo así un movimiento paulatino, generando perdida de soporte del talud que soportaba el coluvión y generando fallas de corte que desembocan en un fracturamiento del terreno que favorecen en un caso dado el proceso de infiltración agilizando el deslizamiento.

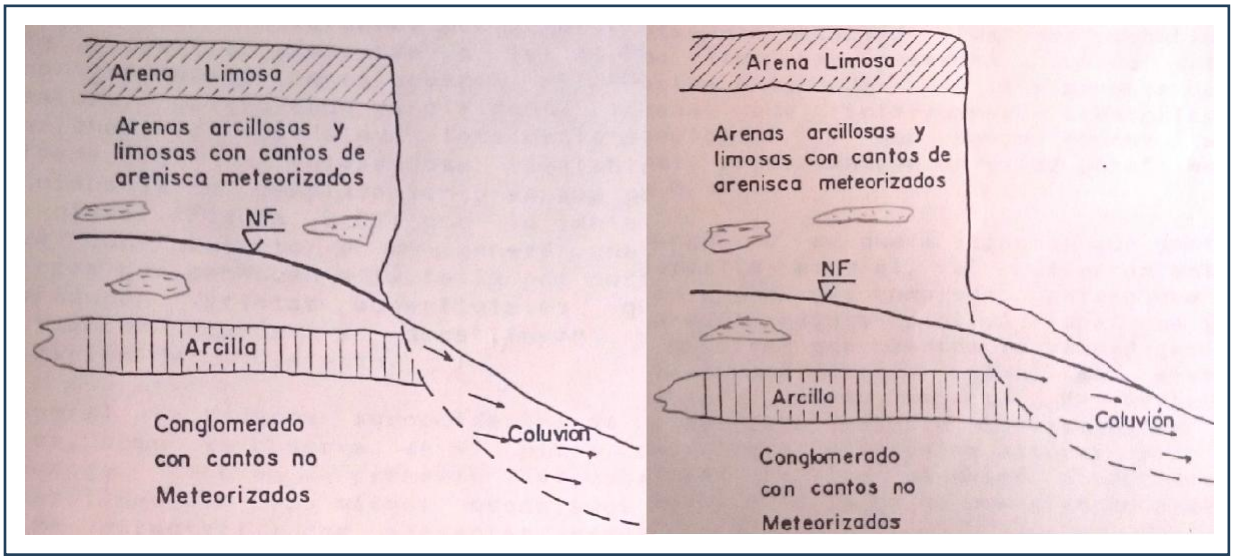


Ilustración 64 Mecanismos de falla (CDMB-Gómez Sully-1989)

Para la zona de estudio no se tiene evidencia la presencia de grandes masa de coluvión, así mismo no se evidencia la existencia de afloramientos, por lo que es poco probable la presencia de fallas causada por el acuífero existente o por saturación total del suelo, pero la falla tipo que se puede presentar si es una falla de corte que genere caídos de suelo, ya que es posible la creación de grietas de tensión generadas por los esfuerzos de cimentación debido a la cercanía de viviendas a la escarpa del sector. De acuerdo a Rankine la profundidad de la grieta a tensión se estima mediante la siguiente formula:

$$Z_{CRIT.} = \frac{2 * C}{\gamma \sqrt{\tan\left(45 - {}^{\varphi}/_{2}\right)^{2}}}$$

8.7. RELACIÓN DE LLUVIAS - DESLIZAMIENTOS

De acuerdo al estudio de la CDMB –Gómez Sully de 1989, se evidencia en el análisis de frecuencia de las lluvias en el área metropolitana de Bucaramanga y la frecuencia de los deslizamientos, se concluyó que el deslizamiento ocurre en épocas de verano y no en las épocas de lluvia, se presenta cuando han trascurrido 2 o 3 meses de la lluvia más representativa del periodo de precipitación, y en su mayoría se asocian a lluvia presentadas en periodos secos.

Para la zona de Bucaramanga (el sector de la meseta) y donde existen depósitos aluviales (Girón, Floridablanca y Piedecuesta) los deslizamiento se presenta en periodos entre abril a junio o en agosto a noviembre, son productos del aumento de acuífero que en algunas ocasiones provoca un debilitamiento de la superficie generando fallas de tensión, y en muchas ocasiones al someterse a una precipitación no considerada, genera el deslizamiento al ocurrir mayor infiltración y saturación de las grietas, provocando desprendimientos de suelos.

8.8. AFECTACIÓN DE LA ZONA POR PROBLEMAS DE AGUA

Durante el recorrido por los taludes descubiertos de la zona de estudio, no se evidencio problemas severos de inestabilidad por afloramientos de agua, se encontró problemas de erosión superficial leve por ausencia de capa vegetal.

8.9. CONCLUSIÓN HIDROGEOLÓGICA

De acuerdo a lo recopilado tanto en campo como en estudios anteriores se reconoce que el área metropolitana de Bucaramanga es de interés Hidrogeológico, reconociendo zonas potenciales de recarga por precipitación y procesos de infiltración primaria y secundaria.

La infiltración primaria se relaciona con los depósitos aluviales que se encuentran en la zona de la meseta reconocida por el servicio geológico como Formación Bucaramanga (Qb), la cual contiene dos miembros potenciales de almacenamiento y conducción de agua como son miembro órganos (Qbo) y miembro gravoso (Qbg).

La infiltración secundaria tiene que ver con el macizo de Santander y la influencia de la falla de Bucaramanga sobre este, ya que las fracturas de la roca y el grado de meteorización por tectonismo contrarrestan la baja porosidad de las formaciones localizada en el lugar.

Se define en el modelo hidrogeológico que el flujo de agua va de oriente a occidente, siendo parte impórtate del flujo base del rio de Oro, así mismo se reconoce que los procesos de infiltración generados durante los periodos de lluvia causan variaciones en los niveles freáticos asociados al acuífero y con una reacción de dos (2) meses después de acontecido el evento, haciendo énfasis a la zona occidental de la meseta ya que es allí donde existe el mayor espesor aluvial.

Debido a la existencia de flujo dentro del suelo, en las zonas de escarpe durante los años se han generado desprendimiento que pueden ser asociados al aumento y variación de los niveles freáticos después de un evento de lluvia, dicha variación no ha superado los dos metros de altura en el aumento

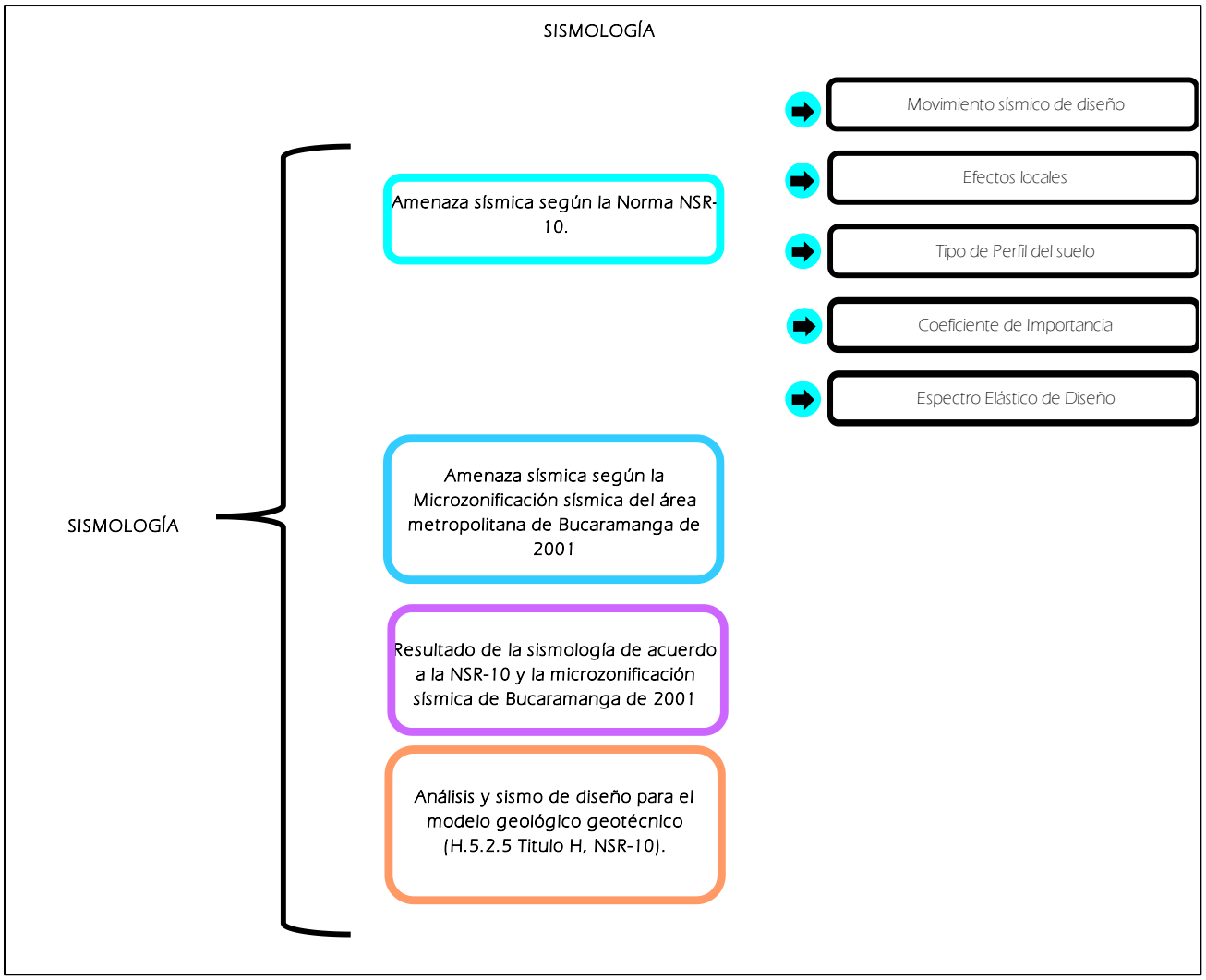
de nivel. Se asocian los deslizamientos a las precipitaciones en la zona principalmente por el afloramiento que se produce del acuífero en zonas de escarpa, dicho afloramiento genera debilitamiento de las propiedades del suelo, es decir produce inestabilidad de la base o intermedio del talud y causa un desprendimiento de la masa del suelo. Si no se produce el desprendimiento, simplemente se generaría un aumento de tensiones del suelo, lo que ocasiona grietas en la superficie, dicho fenómeno ayudara a activar la inestabilidad y producirá falla cortante inmediata cuando exista otro evento de lluvia, pero en general los deslizamientos asociados a los eventos de lluvia en el sector se producen en los meses de verano ya que la reacción del agua subterránea se genera entre dos a tres meses después de generada la precipitación.

Como la influencia sobre el talud es por precipitación, se tomará el tiempo de concentración hallado en el capítulo de análisis hidrológico para determinar ciertas características del frente húmedo el cual es la masa de agua que por efectos de la gravedad ingresa al suelo. El ingreso del frente húmedo al suelo solo se realizar por zonas descubiertas, de acuerdo al análisis de uso o cobertura del suelo, se determinó que más del 50% del área corresponde de zonas arbustivas o arbóreas, entre otras y lo demás corresponde a zona urbana, por lo cual la incidencia de la lluvia solo se presentara en la zona donde existe el escarpe, que es la única superficie no construida y que en ciertos sectores tiene deficiente cobertura vegetal, luego la incidencia de la precipitación se ve reflejada en procesos de erosión superficial o en fenómenos de desprendimiento de masa de suelo, sobre todo en el sector donde el talud es más vertical, ya que allí se generan grietas de tensión producto de las cargas de las viviendas emplazadas en el lugar, las cuales pueden ser infiltradas más rápidamente y producir la falla de corte del bloque de suelo.

8.10. CRITERIOS PARA DEFINICIÓN Y DISEÑO DE MEDIDAS DE DRENAJE

Debido a que en la zona no existen afloramientos de agua, más del 50% del área se encuentra descubierta y es propensa a generar infiltraciones, así mismo la mayor parte de la zona se encuentra como cara del escarpe, se recomienda seguir todos los criterios determinados desde el punto hidráulico ya que las medidas de drenaje que se tengan que proponer más adelante dentro de este estudio serán de control superficial.

9. SISMOLOGÍA



En el desarrollo del presente estudio, se analizaron condiciones especiales del subsuelo con el fin de efectuar modelamientos geotécnicos que contemplen los parámetros sísmicos de diseño, por lo cual se han desarrollado metodologías para la determinación de este comportamiento, por medio de fuerzas estáticas ideales, que representan el comportamiento del máximo pico de un sismo probable de acuerdo a la norma NSR 10.

Como no es viable efectuar estudios de efectos locales a todos los proyectos, debido a su complejidad y necesidad de parámetros dinámicos, que son costosos, el estado colombiano ha adoptado unas normas nacionales, donde se caracterizó, por medio de análisis regionales el comportamiento sísmico

de las zonas, de acuerdo a la estructura y actividad tectónica del área, donde se encuentra determinado municipio.

9.1. Amenaza sísmica según la Norma NSR-10.

Según las normas Colombianas de Diseño y Construcciones Sismo Resistente, NSR-10 el área metropolitana de Bucaramanga se encuentra en la región 5. (Ver Figura A.2.3-2 — Mapa de valores de Aa.

Tabla A.2.3-2
Valor de A_a y de A_v para las ciudades capitales de departamento

Ciudad	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica
Arauca	0.15	0.15	Intermedia
Armenia	0.25	0.25	Alta
Barranquilla	0.10	0.10	Baja
Bogotá D. C.	0.15	0.20	Intermedia
Bucaramanga	0.25	0.25	Alta
Cali	0.25	0.25	Alta
Cartagena	0.10	0.10	Baja
Cúcuta	0.35	0.30	Alta
Florencia	0.20	0.15	Intermedia
Ibagué	0.20	0.20	Intermedia
Leticia	0.05	0.05	Baja
Manizales	0.25	0.25	Alta
Medellín	0.15	0.20	Intermedia
Mitú	0.05	0.05	Baja
Mocoa	0.30	0.25	Alta
Montería	0.10	0.15	Intermedia
Neiva	0.25	0.25	Alta
Pasto	0.25	0.25	Alta
Pereira	0.25	0.25	Alta
Popayán	0.25	0.20	Alta
Puerto Carreño	0.05	0.05	Baja
Puerto Inírida	0.05	0.05	Baja
Quibdó	0.35	0.35	Alta
Riohacha	0.10	0.15	Intermedia
San Andrés, Isla	0.10	0.10	Baja
Santa Marta	0.15	0.10	Intermedia
San José del Guaviare	0.05	0.05	Baja
Sincelejo	0.10	0.15	Intermedia
Tunja	0.20	0.20	Intermedia
Valledupar	0.10	0.10	Baja
Villavicencio	0.35	0.30	Alta
Yopal	0.30	0.20	Alta

Tabla 23 Tabla A.2.3-2 Valor de Aa y de Av para las ciudades capitales de departamento

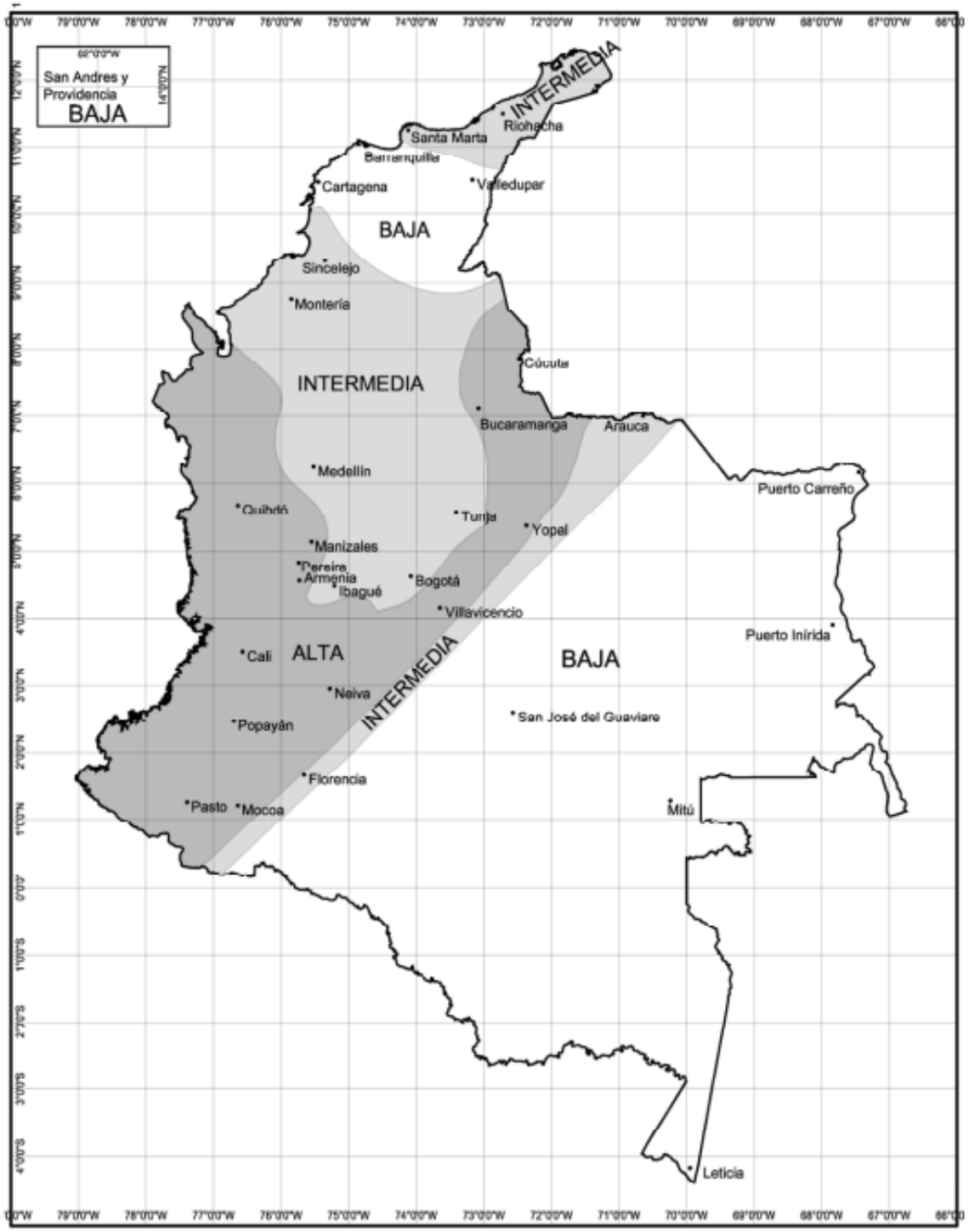


Ilustración 65 A.2.3-1 — Zonas de Amenaza Sísmica aplicable a edificaciones para la NSR-10 en función de Aa y Av

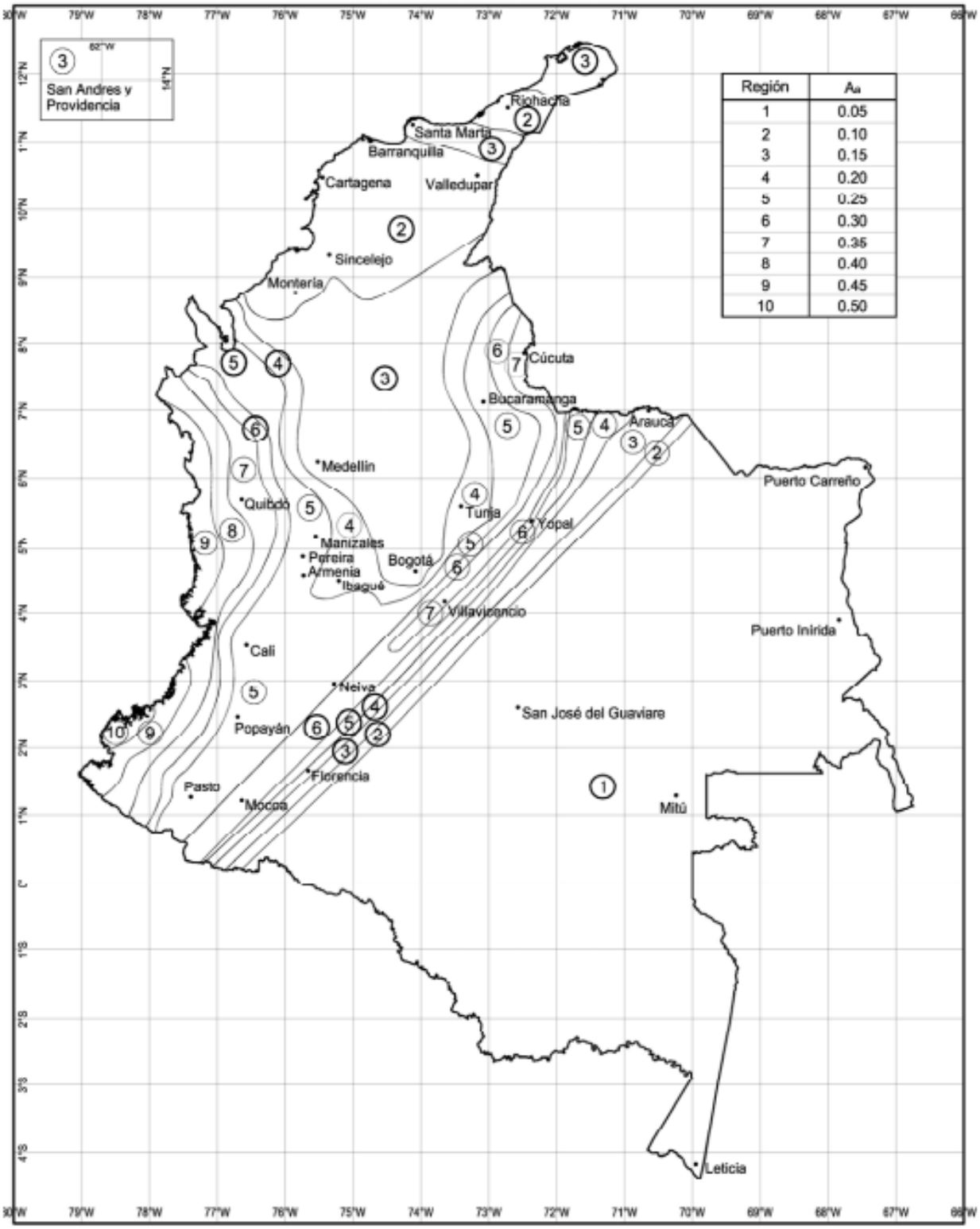


Ilustración 66 A.2.3-2 — Mapa de valores de Aa) (NSR-10)

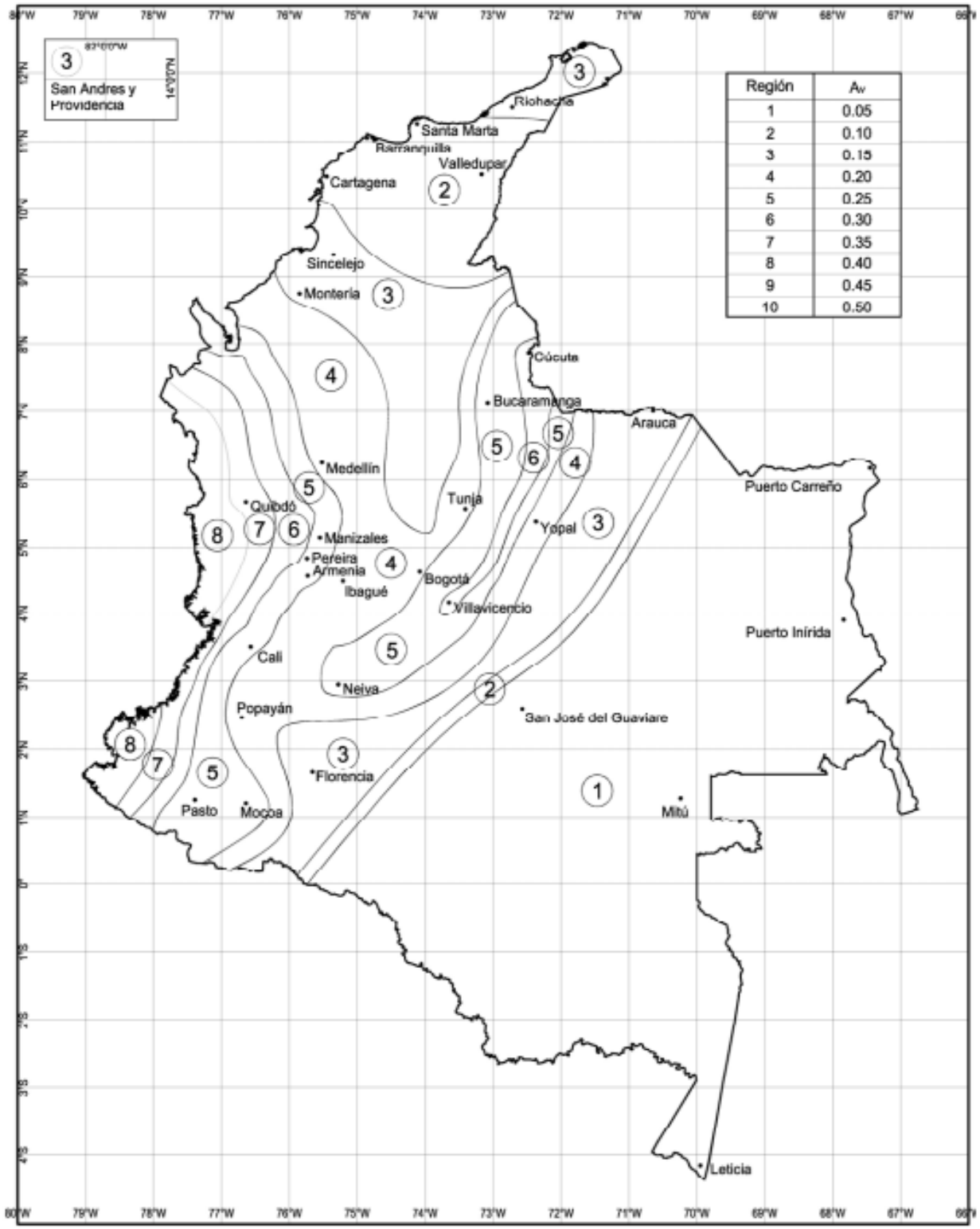


Ilustración 67 A.2.3-3 - Mapa de valores de Av) (NSR-10)

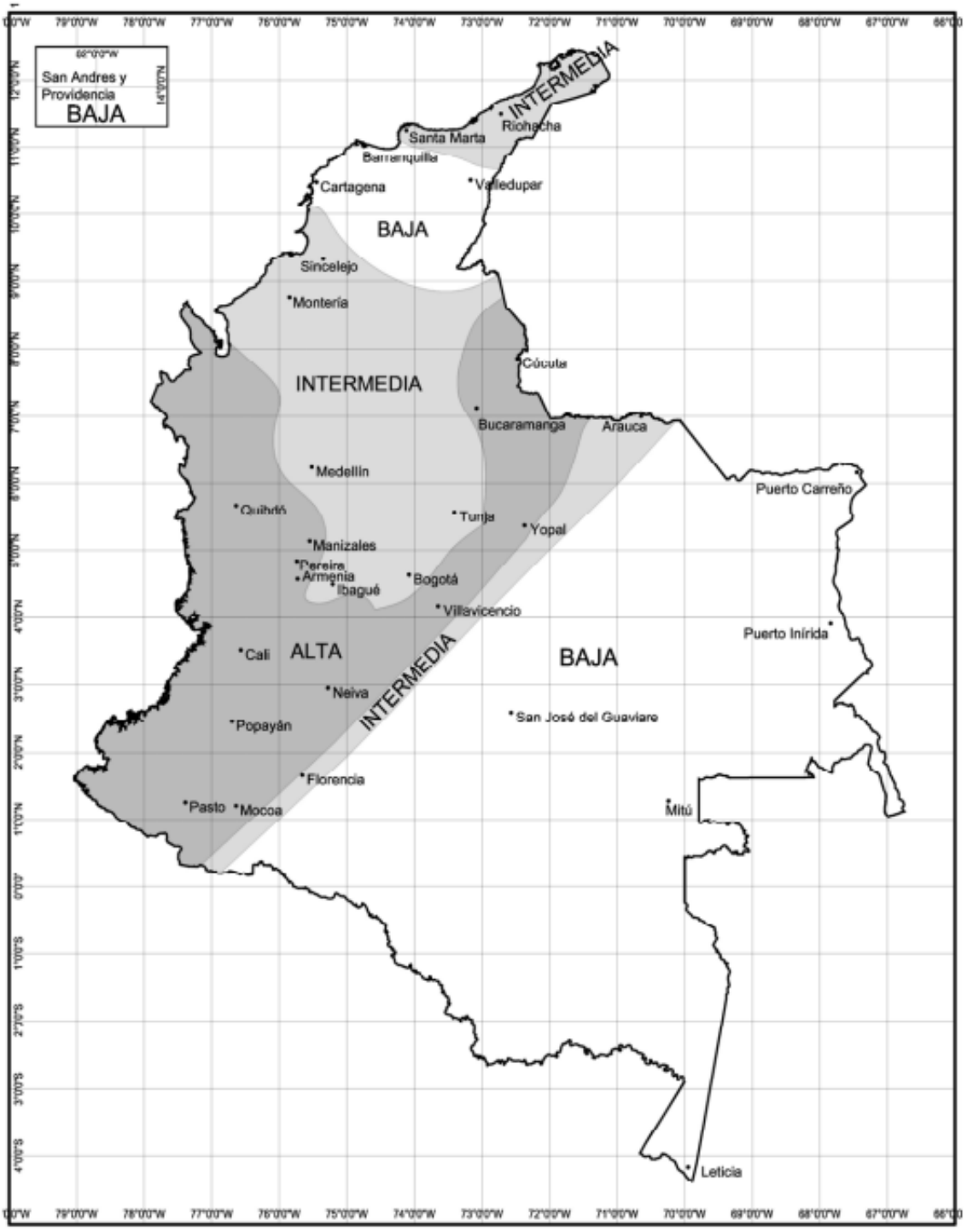


Ilustración 68 A.2.3-1 — Zonas de Amenaza Sísmica aplicable a edificaciones para la NSR-10 en función de Aa y Av (NSR-10)

Según lo anterior, el sector de estudio se define como amenaza sísmica alta. (Ver ilustración A.2.3-1 — Zonas de Amenaza Sísmica aplicable a edificaciones para la NSR-10 en función de Aa y Av). Aa = coeficiente que representa la aceleración horizontal pico efectiva, para diseño, dado en A.2.2. Av = coeficiente que representa la velocidad horizontal pico efectiva, para diseño, dado en A.2.2. Ad= coeficiente de umbral de daño.

Con el propósito de modelar estas cargas pseudo estáticas probables, se consultaron los parámetros obtenidos del estudio a nivel nacional, realizado por la norma Sismo Resistente Colombiana NSR 10, para ingresarlos en los modelos de estabilidad geotécnica. Esta norma recomienda tener en cuenta solo la fuerza pseudo estática horizontal, ya que es la que más aporta solicitación en un evento sísmico, las demás direcciones se omiten.

Mayor valor entre Aa y Av	Asociado en mapas de las figuras A,2,3-2 y A,2,3-3 a Región N°	Amenaza Sísmica
0,50	10	Alta
0,45	9	Alta
0,40	8	Alta
0,35	7	Alta
0,30	6	Alta
0,25	5	Alta
0,20	4	Intermedia
0,15	3	Intermedia
0,10	2	Baja
0,05	1	Baja

Tabla 24 Nivel de amenaza sísmica según valores de Aa y de A

Los movimientos sísmicos de diseño se definen en función de la aceleración pico efectiva, representada por el parámetro Aa, y de la velocidad pico efectiva, representada por el parámetro Av, para una probabilidad del diez por ciento de ser excedidos en un lapso de cincuenta años. Los valores de estos coeficientes para el Municipio de Bucaramanga, son:

Departamento	Municipio	Cod Municipio	Aa	Av	Z A S	Ae	Ad
Santander	Bucaramanga	68001	0,25	0,25	Alta	0,15	0,09

Tabla 25 Nivel de amenaza sísmica según valores de Aa y de A (NSR10)

MUNICIPIO	Bucaramanga
DEPARTAMENTO	Santander
Aa	0,25
Av	0,25

Tabla 26 Nivel de amenaza sísmica para el sector de Estudio según el municipio en el que se ubica Aa y de A (NSR10)

9.1.1. Efectos locales

El perfil de suelo debe ser determinado por el ingeniero geotecnista a partir de unos datos geotécnicos debidamente sustentados.

9.1.2. Tipo de Perfil del suelo.

Se determinan dos factores de amplificación del espectro por efectos de sitio, Fa y Fv; Fa = coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de períodos cortos, debida a los efectos de sitio, adimensional. Fv = coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de períodos intermedios, debida a los efectos de sitio, adimensional.

Tipo de Perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	Vs ≥ 1500 m/s
B	Perfil de roca de rigidez Media	1500 m/s > Vs ≥ 760 m/s
C	Perfil de suelos muy densos o roca blanda	760 m/s > Vs ≥ 360 m/s
		N≥ 50 - Su ≥ 100 Kpa
D	Perfil de suelos rígidos	360 m/s > Vs ≥ 180 m/s
		50> N ≥ 15 - 100 Kpa > Su ≥ 50 Kpa
E	Suelos que cumplan con el criterio de Vs	180 m/s > Vs
	Espesores H mayores a 3m de arcillas bandas	IP>20 - w≥ 40% - 50 Kpa > Su
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases: - F1: Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como Suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados. - F2: Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H> 3m de estos materiales). - F3: Arcillas de muy alta plasticidad (H> 7.50m con IP>75). - F4: Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H>36).	

Tabla 27 A.2.4-1 Clasificación de los perfiles de suelo (NSR10)

De acuerdo a las características geológicas del terreno sobre el área de análisis, este se caracteriza por poseer un perfil de suelo TIPO C (perfil de suelos muy densos o roca blanda). Los efectos locales de la respuesta sísmica de la edificación deben evaluarse con base en los perfiles de suelo dados en el presente estudio independientemente del tipo de obra proyectada.

Tipo de Perfil	INTENSIDAD DE LOS MOVIMIENTOS SISMICOS				
	Aa≤ 0,1	Aa=0,2	Aa=0,3	Aa=0,4	Aa≥ 0,5
A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
B	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
C	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
D	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
E	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
F	Véase nota	Véase nota	Véase nota	Véase nota	Véase nota

Tabla 28 A.2.4-3 Valores del coeficiente Fa, para la zona de periodos cortos del espectro. suelo (NSR10)

Tipo de Perfil	INTENSIDAD DE LOS MOVIMIENTOS SISMICOS				
	Av≤ 0,1	Av=0,2	Av=0,3	Av=0,4	Av≥ 0,5
A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
B	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
C	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
D	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
E	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
F	Véase nota	Véase nota	Véase nota	Véase nota	Véase nota

Tabla 29 A.2.4-4 Valores del coeficiente Fv, para la zona de periodos intermedios del espectro.suelo (NSR10)

PERFIL DEL SUELO	D
Fa	1,3
Fv	1,9

Tabla 30 Tipo de suelo de acuerdo al título A de la NSR-10, tabla A.2.4-1 y valores de Fa (tabla A.2.4-3) y Fv (tabla A.2.4-4) suelo (NSR10)

9.1.3. Coeficiente de Importancia.

Todas las edificaciones deben clasificarse dentro de uno de los siguientes Grupos de Uso:

Grupo de Uso	Coeficiente de Importancia, I
IV	1,50
III	1,25
II	1,10
I	1,00

Tabla 31 A.2.5-1Valores del coeficiente de importancia, I (NSR10)

Se define el grupo de tipo de uso de la estructura de mitigación que se plantee con su respectivo grupo y su coeficiente de importancia de la siguiente manera:

GRUPO DE USO	II
IMPORTANCIA	1,1
ZONA DE AMENAZA SISMICA	Alta

Tabla 32 Valores del coeficiente de importancia para el presente estudio (NSR10)

9.1.4. Espectro Elástico de Diseño.

La forma del espectro elástico de aceleraciones, para un coeficiente de amortiguamiento crítico de cinco por ciento (5%), que se debe utilizar en el diseño.

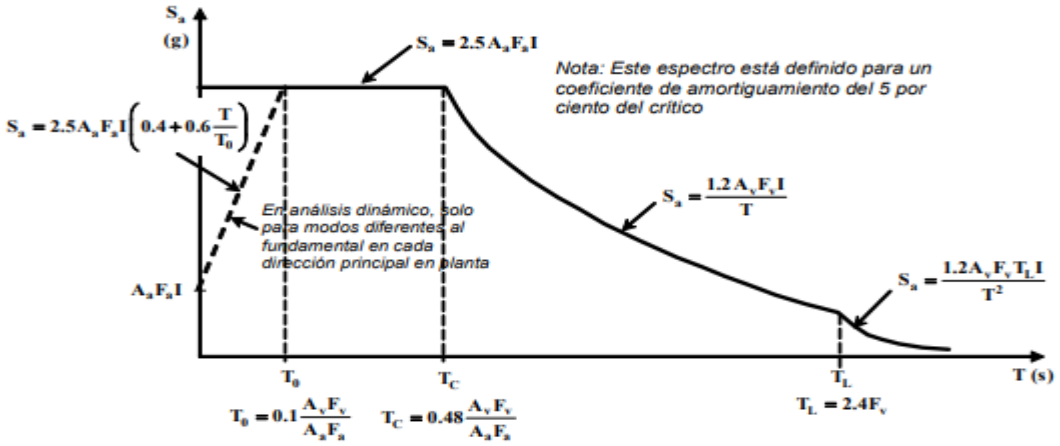


Ilustración 69 A.2.6-1 — Espectro Elástico de Aceleraciones de Diseño como fracción de g (NSR-10)

	T	Sa
To	0,146	0
	0,146	0,894

	T	Sa
Tc	0,702	0
	0,702	0,894

	T	Sa
TL	4,560	0
	4,560	0,138

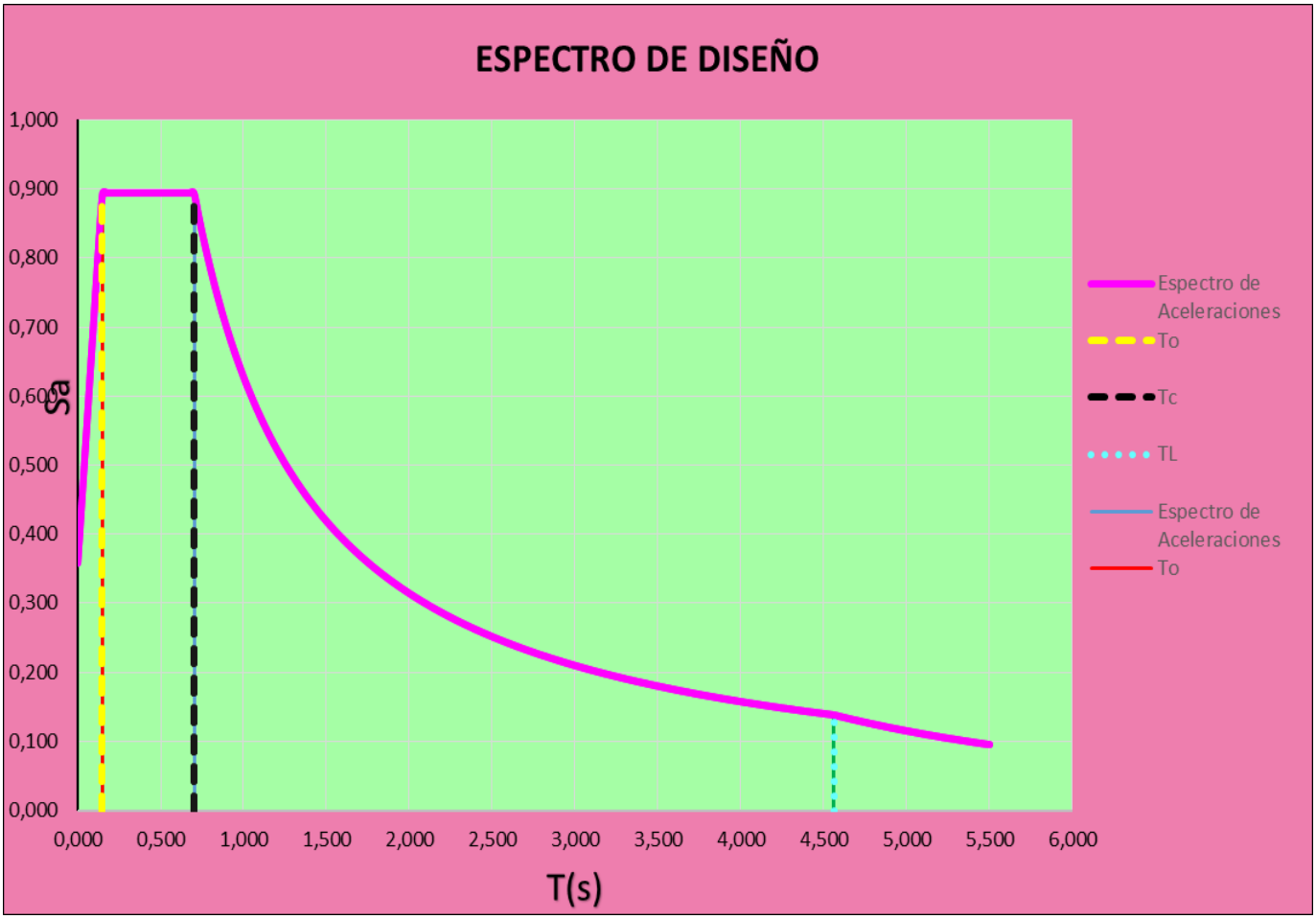


Ilustración 70 Espectro elástico de diseño

9.2. Amenaza sísmica según la zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga (Junio de 2001).

En total son tres zonas de respuesta dinámica diferente para las cuales se pueden hacer las siguientes observaciones (Ver mapa de Zonificación Sismogeotécnica Indicativa):

Zona 1 - Roca: Esta zona comprende los depósitos de roca correspondientes a la formación Girón (1G), cualquier depósito que se pueda considerar como roca pura (R), los depósitos considerados como roca blanda y/o suelos residuales competentes sobre manto rocoso, que comprende las zonas identificadas como 1N, 3 y 7. Teniendo una forma espectral y aceleraciones máximas similares a lo propuesto por la NSR98.

Zona 2 – Suelo Rígido: donde se encuentra la mayor parte de la población del área metropolitana de Bucaramanga, y corresponde a depósitos de suelo rígido y reúne las zonas geotécnicas 2, 4 y 5. Presenta aceleraciones espectrales máximas considerablemente altas. Dicha forma espectral, así como los valores máximos están en concordancia con la propuesta de la norma UBC97 para sitios donde efectos de campo cercano son esperados; tal y como podría ser el caso del Área Metropolitana de Bucaramanga.

Zona 3 - Llenos: corresponde a los llenos (6), que deben tener consideraciones especiales, dadas las aceleraciones espectrales tan altas obtenidas. Es pertinente mencionar que los datos geotécnicos para caracterizar estas zonas son muy pobres y como tal la incertidumbre de su respuesta dinámica es bastante elevada. Sin embargo, es de anotar que el espectro propuesto aquí ha sido reducido en su amplitud máxima. Es también importante aclarar que pueden existir llenos de menor tamaño que no han sido cartografiados.

Existen 2 zonas adicionales para las cuales no existe un espectro de respuesta debido a que se encuentran en zonas de áreas restringidas para su uso en edificación como son la zona de coluviones y las rondas de los ríos.

Con base en el estudio de microzonificación sísmica del Área Metropolitana de Bucaramanga de 2001, se sectoriza los valores sísmicos en tres zonas fundamentales debido a la cercanía de la falla Bucaramanga – Santa Marta.

	Zona 1 (Roca)	Zona 2 (Suelo Rigido)	Zona 3 (Llenos)
To (s)	0,10	0,05	0,15
Tc (s)	0,50	0,4	0,5
TL (s)	4,00	3,6	4
Am (g)	0,30	0,4	0,65
Sm (g)	0,63	0,9	1,25

Tabla 33 Parámetros de control para la construcción de espectros de diseño propuestos para el Área Metropolitana de Bucaramanga. (Zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga)

La tabla anterior indica los datos inmersos en el desarrollo de los espectros de respuesta para las tres zonas de respuesta dinámica (Roca, Suelo Rígido y Llenos); a continuación, se describen las variables necesarias para construir el espectro:

Am: aceleración máxima del terreno en un periodo (T=0s),

Sm: valor máximo de aceleración espectral, el cual corresponde a la parte plana del espectro.

To: periodo que define el inicio de la parte plana del espectro.

Tc: periodo que define el final de la parte plana del espectro.

TL: Periodo posterior en el que las aceleraciones espectrales se vuelven constantes (Am/4).

En el siguiente mapa se establecen las diferentes zonas sismogeotécnicas dentro del estudio de Zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga de 2001.

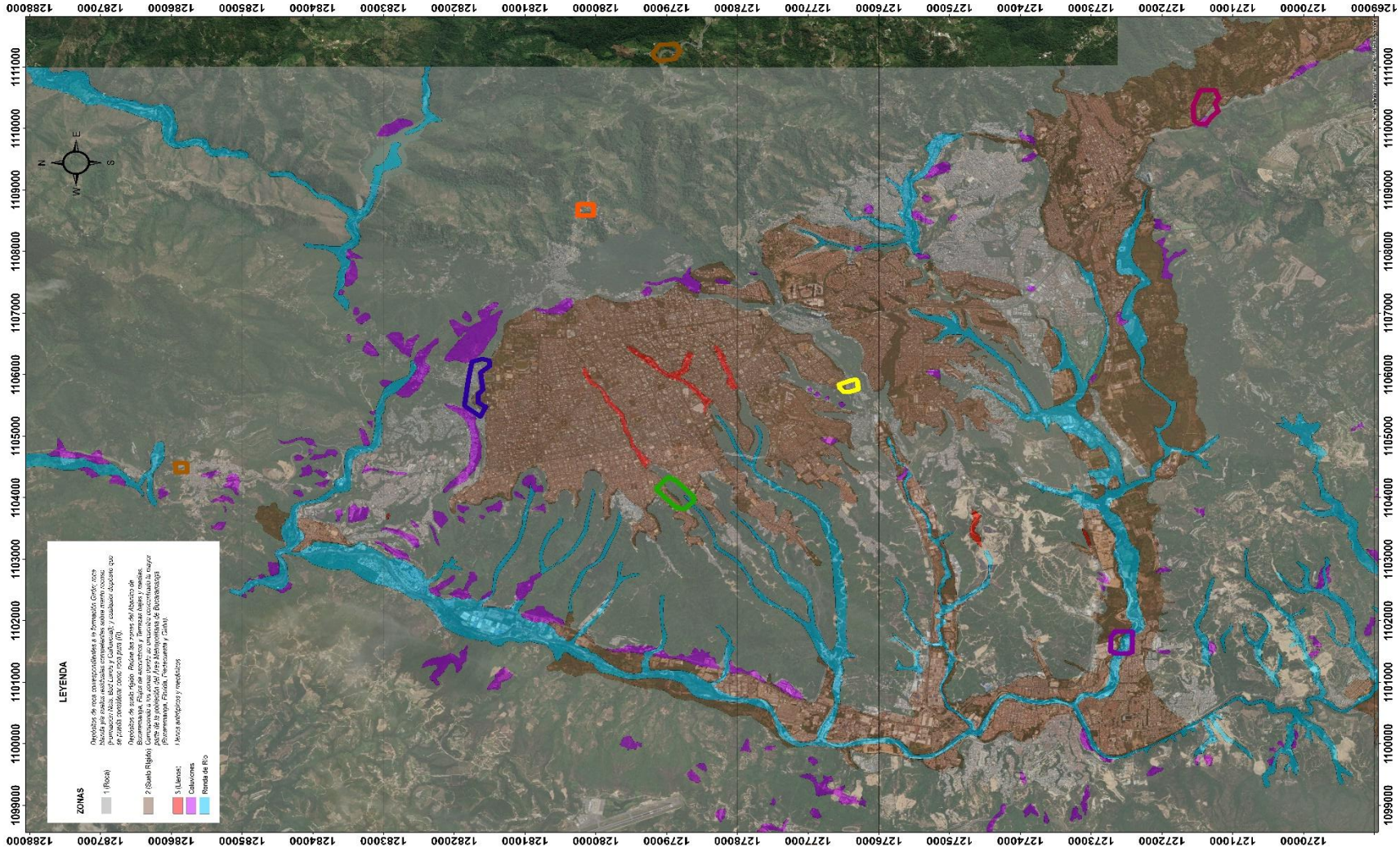


Ilustración 71 Mapa modificado de la Zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga (Zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga de 2001, Subdirección de amenazas Geoambientales (Servicio Geológico Colombiano anterior INGEOMINAS))

En el siguiente mapa se ubica la zona de estudio respecto a las diferentes zonas sismogeotécnicas dentro del estudio de Zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga de 2001.

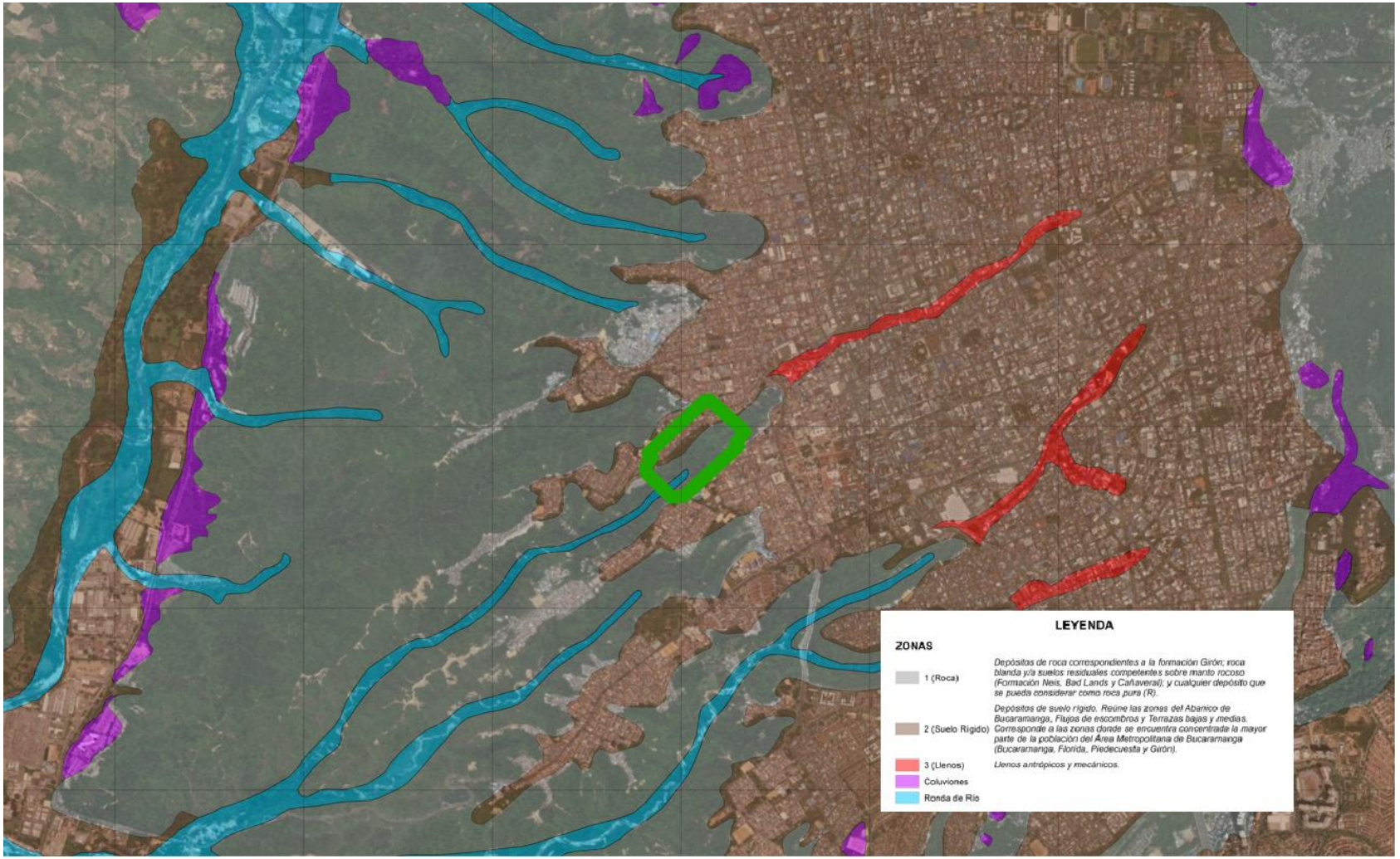


Ilustración 72 Ubicación área de estudio en el Mapa modificado de la Zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga (Servicio Geológico Colombiano anterior INGEOMINAS)

9.2.1. Espectros de diseño propuestos para el Área Metropolitana de Bucaramanga.

A continuación, se muestran los espectros y la forma esquemática con la cual fueron desarrollados para las 3 zonas (Roca, Suelo Rígido y Llenos):

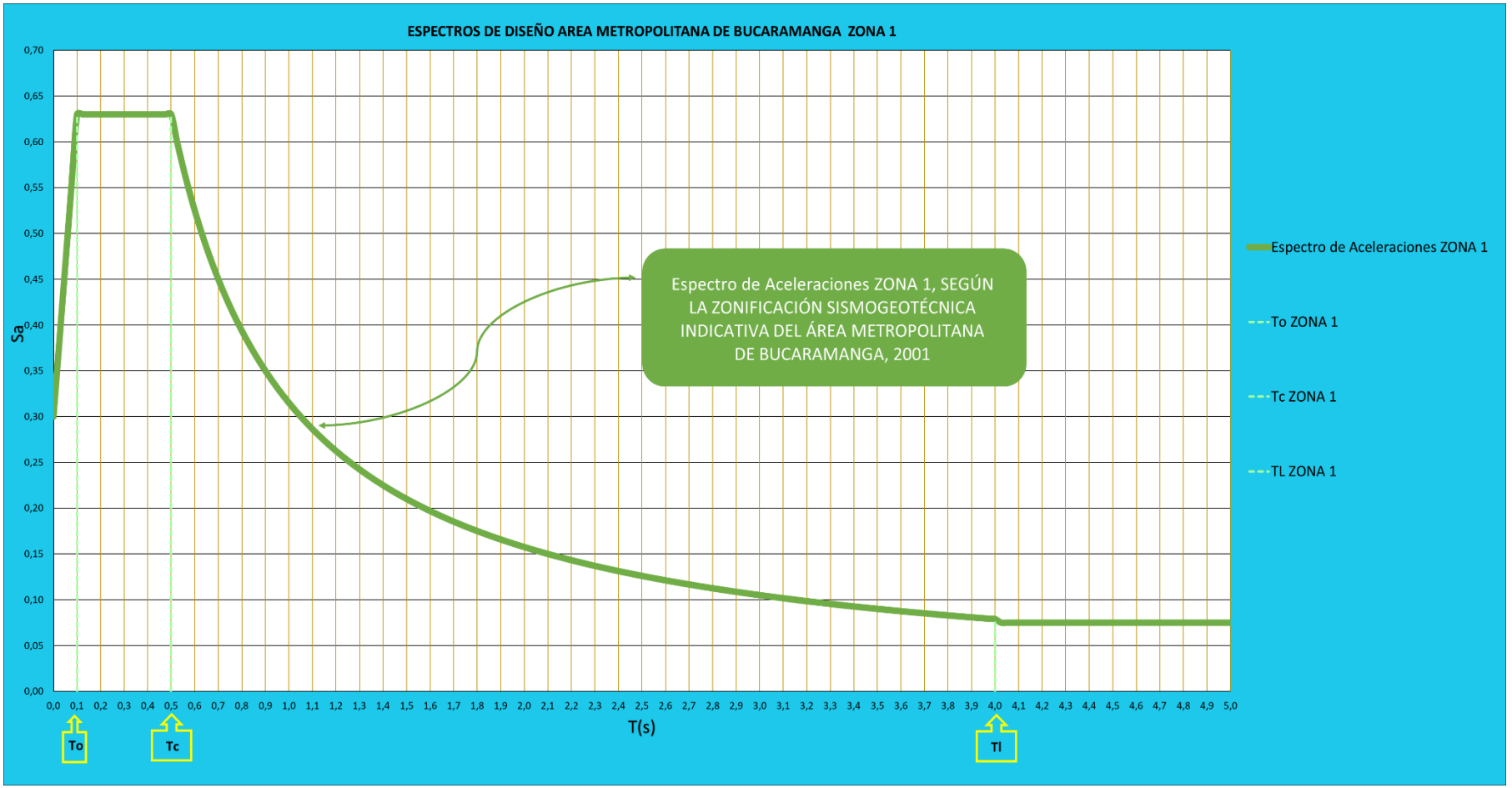


Ilustración 73 Espectro de diseño para la Zona 1 (Roca) en el Área Metropolitana de Bucaramanga.

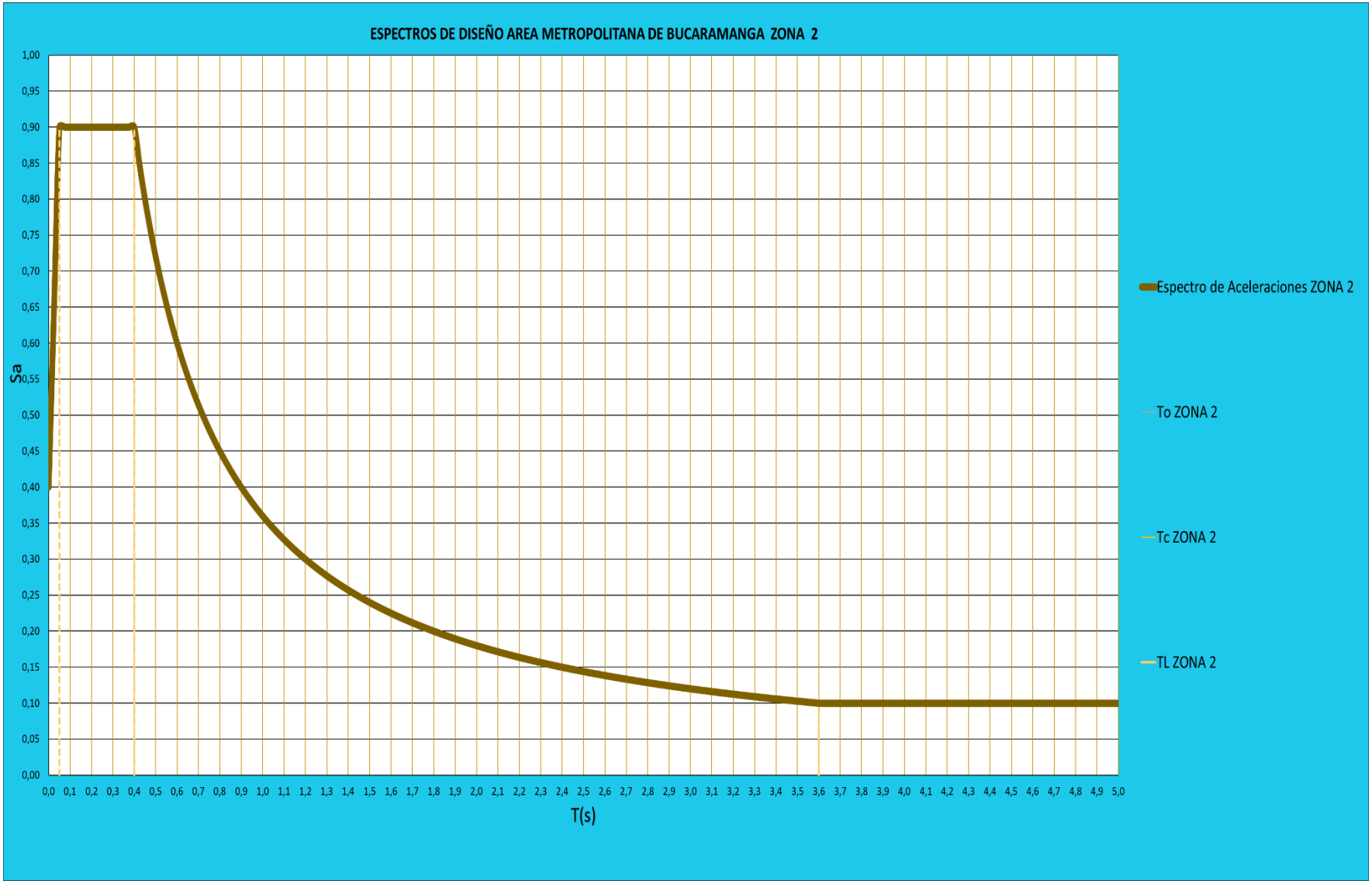


Ilustración 74 Espectro de diseño para la Zona 2 (Suelo Rígido) en el Área Metropolitana de Bucaramanga.

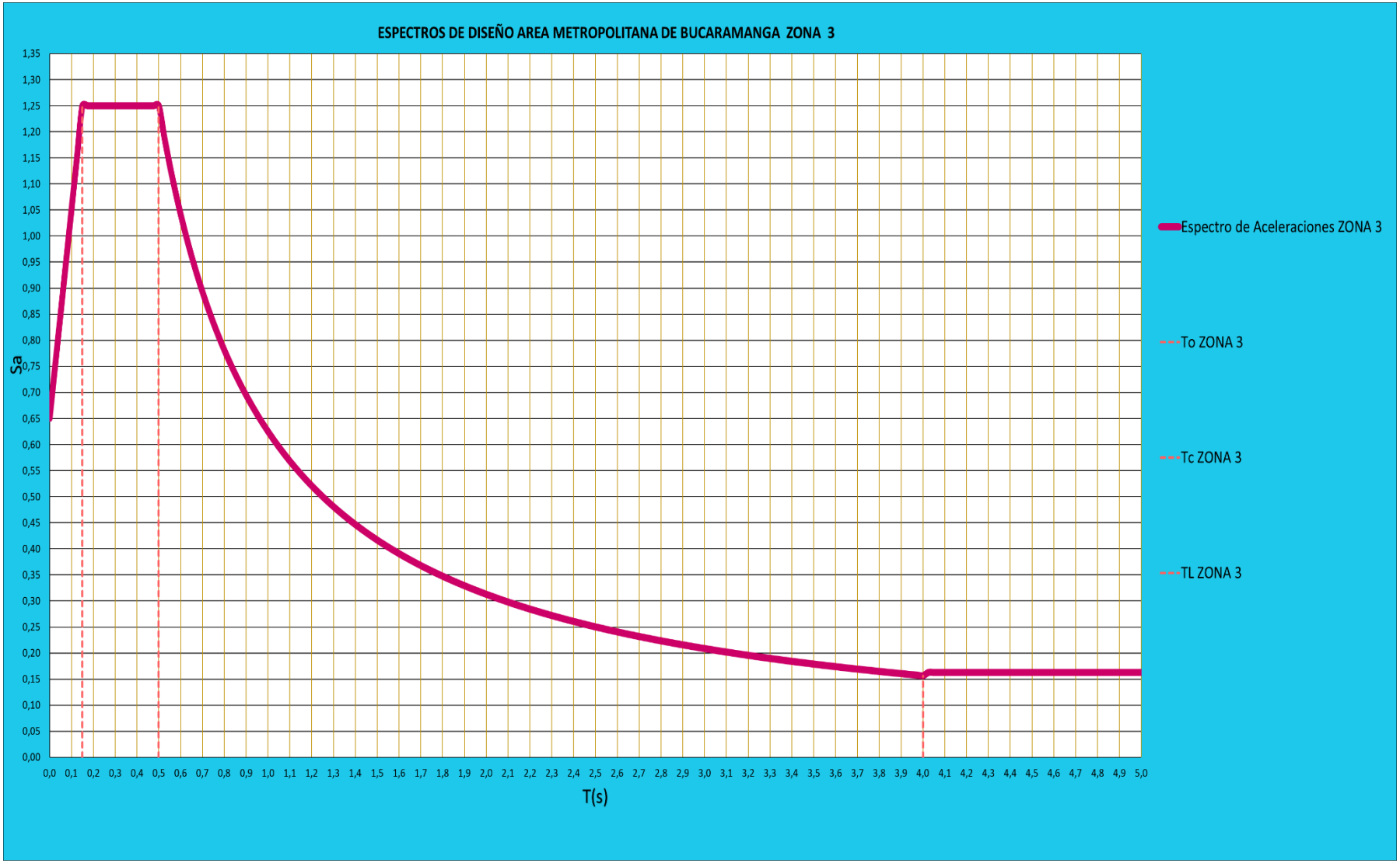


Ilustración 75 Espectro de diseño para la Zona 3 (Llenos) en el Área Metropolitana de Bucaramanga.

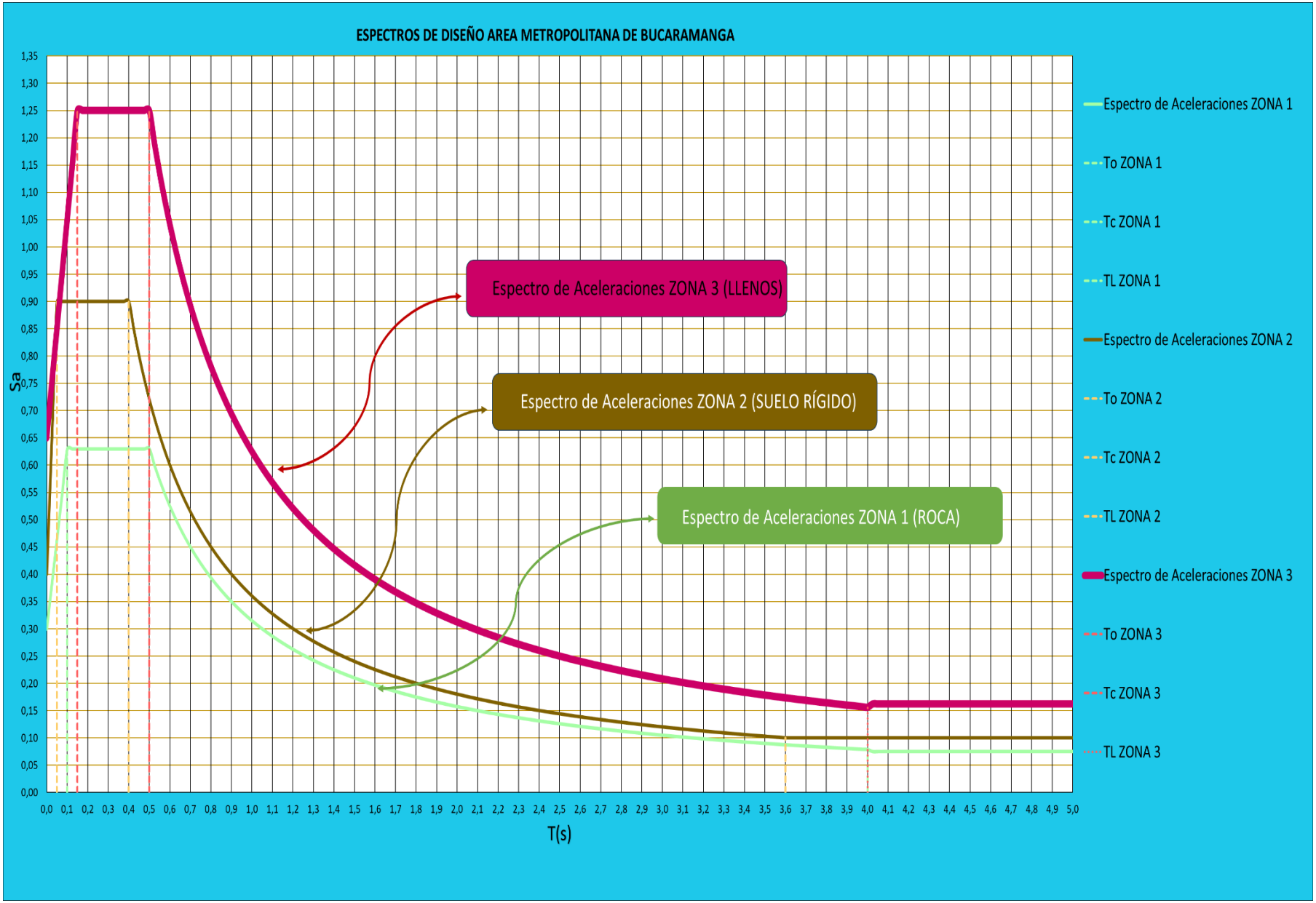


Ilustración 76 Espectro de diseño en el Área Metropolitana de Bucaramanga.

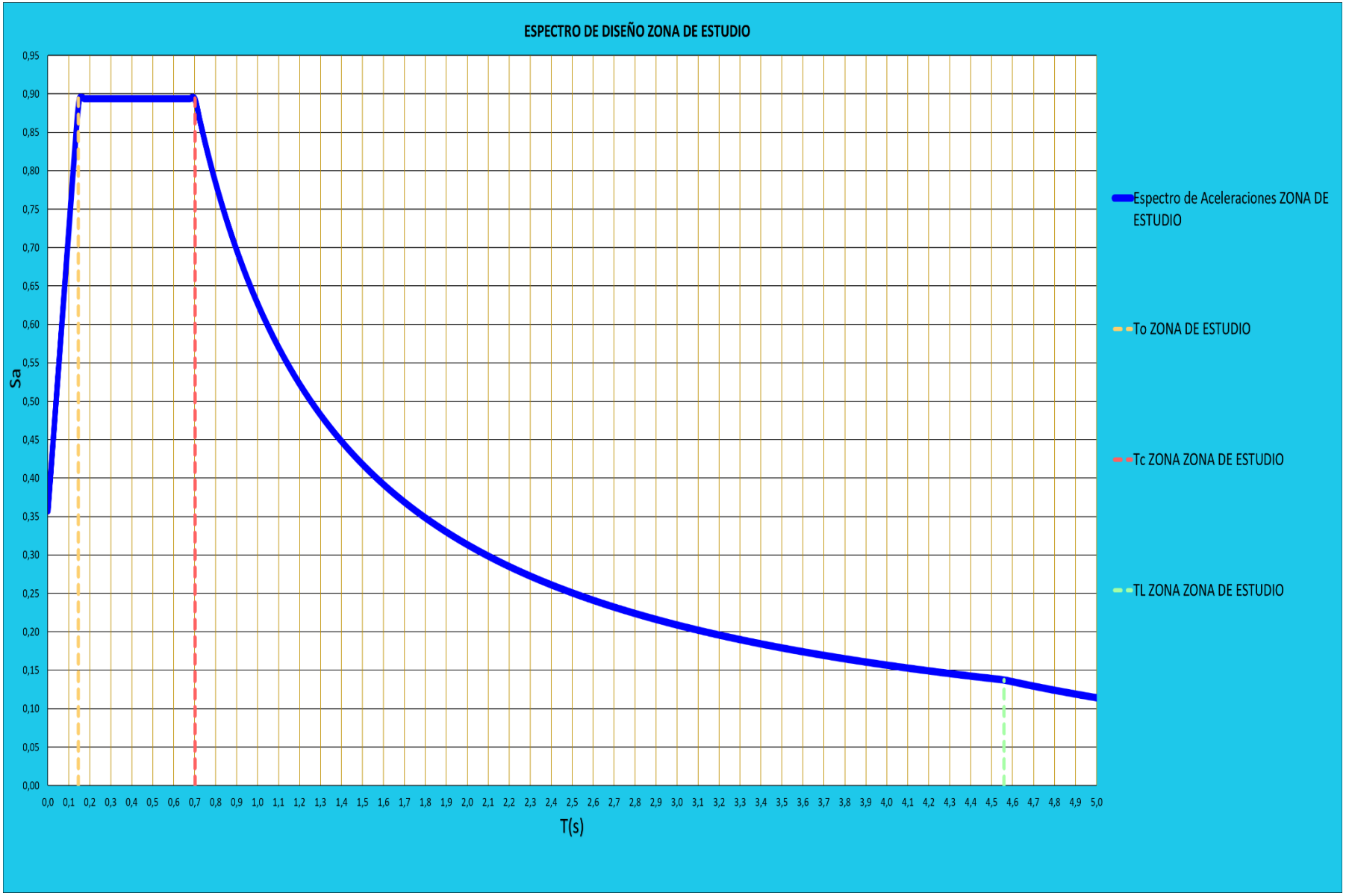


Ilustración 77 Espectro de diseño en zona de Estudio

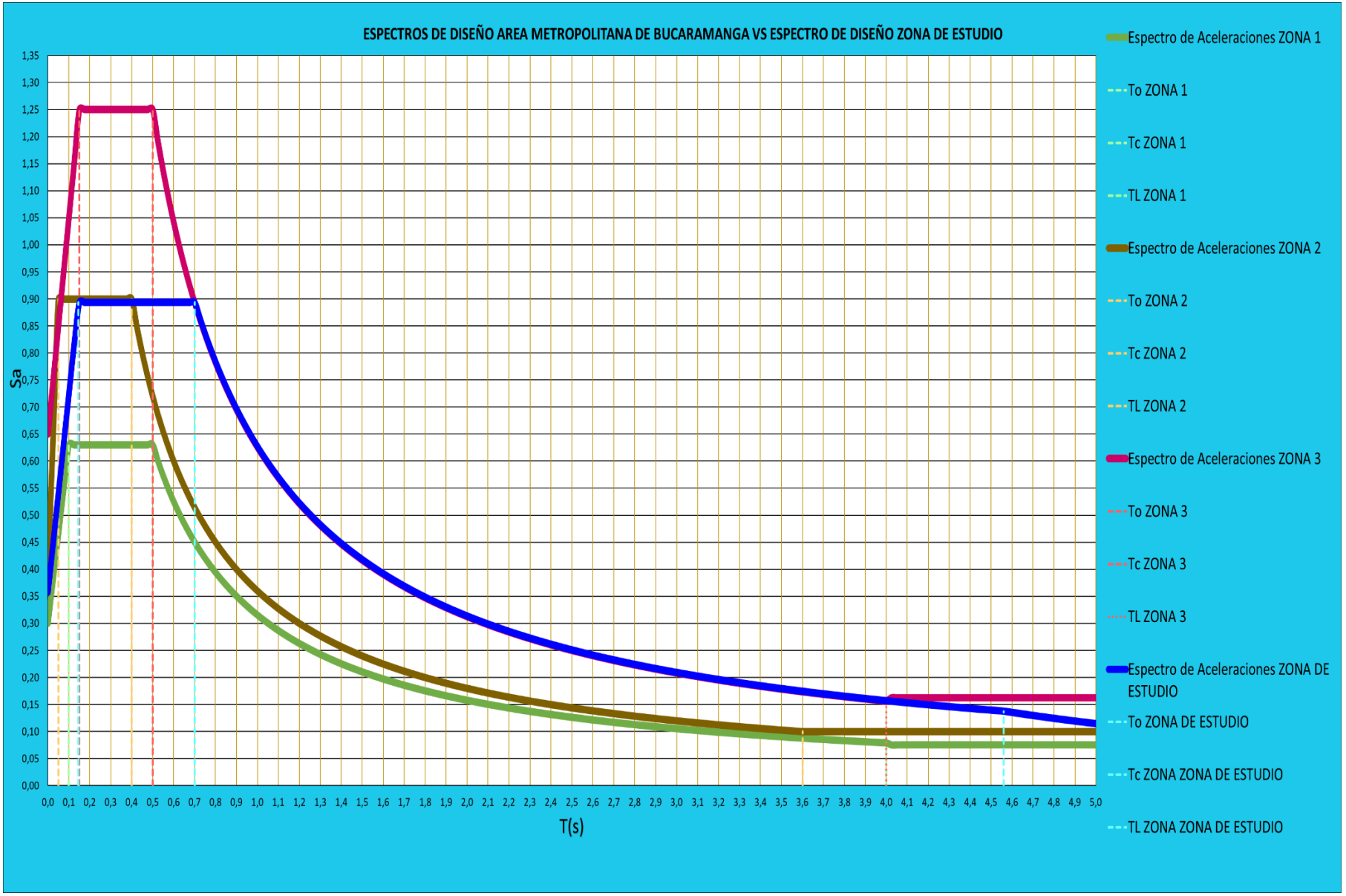


Ilustración 78 Espectro de diseño en el Área Metropolitana de Bucaramanga VS Espectro en zona de Estudio

Esta zonificación presenta un valor para el lugar de estudio de Am igual a 0,358 y según el espectro de diseño del Área metropolitana de Bucaramanga la aceleración máxima del terreno se encuentra entre 0.40g Y 0.30g ya que el sector de estudio se emplaza en el límite de la zonificación (Zona 1 y Zona 2); este último es superior al calculado según el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR10, por ende se establece el mayor para el diseño y caracterización sísmica en la zona de estudio.

9.3. Resultado de la sismología de acuerdo a la NSR-10 y la microzonificación sísmica de Bucaramanga de 2001.

De la zonificación sísmica se tienen en cuenta los siguientes valores para el sector de estudio:

MUNICIPIO	Bucaramanga
DEPARTAMENTO	Santander
Aa	0,25
Av	0,25
PERFIL DEL SUELO	D
Fa	1,3
Fv	1,9
GRUPO DE USO	II
IMPORTANCIA	1,1
ZONA DE AMENAZA SISMICA	Alta
	Mapa A.2.3-2 y A.2.3-3 (NSR-10)

Tabla 34 Resultados de análisis sismológico

9.4. Análisis y sismo de diseño para el modelo geológico geotécnico (H.5.2.5 Titulo H, NSR-10).

El sismo de diseño para el análisis Pseudoestatico en taludes se analiza de acuerdo a la aceleración sísmica máxima predominante, como se indicó anteriormente; el resultado respecto de la NSR – 10 establece un Amax de 0.4 g; por ende, se escoge este ya que es mayor al calculado (según la Zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga) con un Amax de 0.358 g.

Para establecer el sismo de diseño, según la NSR-10 para efectos del análisis y diseño de taludes, se debe emplear la aceleración máxima del terreno, amax obtenida bien sea de un espectro (aceleración del espectro de diseño para periodo cero). En caso de que el sitio objeto de análisis haga parte de un estudio de microzonificación sísmica aprobado, se utilizará la aceleración máxima superficial del terreno establecida en el espectro de diseño respectivo en lugar de lo estipulado en la sección A.2. El coeficiente sísmico de diseño para análisis pseudoestático de taludes KST tiene valor inferior o igual al de amax y se admiten los siguientes valores mínimos de KST / amax, dependiendo del tipo de material térreo (reforzado o no) y del tipo de análisis.

El Kst se define como el sismo de diseño a ingresar en el modelo geológico geotécnico y análisis pseudo-estático en los modelos de estabilidad ante movimientos en masa.

MATERIAL	Kst/amax	Análisis de Amplificación mínimo
Suelos, enrocados y Macizos Rocosos muy Fracturados (RQD < 50%)	0,80	Ninguno
Macizos Rocosos (RQD > 50%)	1.00	Ninguno
Todos los materiales Térreos	0,67	Amplificación de onda unidimensional en dos columnas y promediar
Todos los materiales Térreos	0,50	Amplificación de onda bidimensional

Tabla 35 Valores de KST / amax Mínimos para Análisis pseudoestático de Taludes (NSR-10)

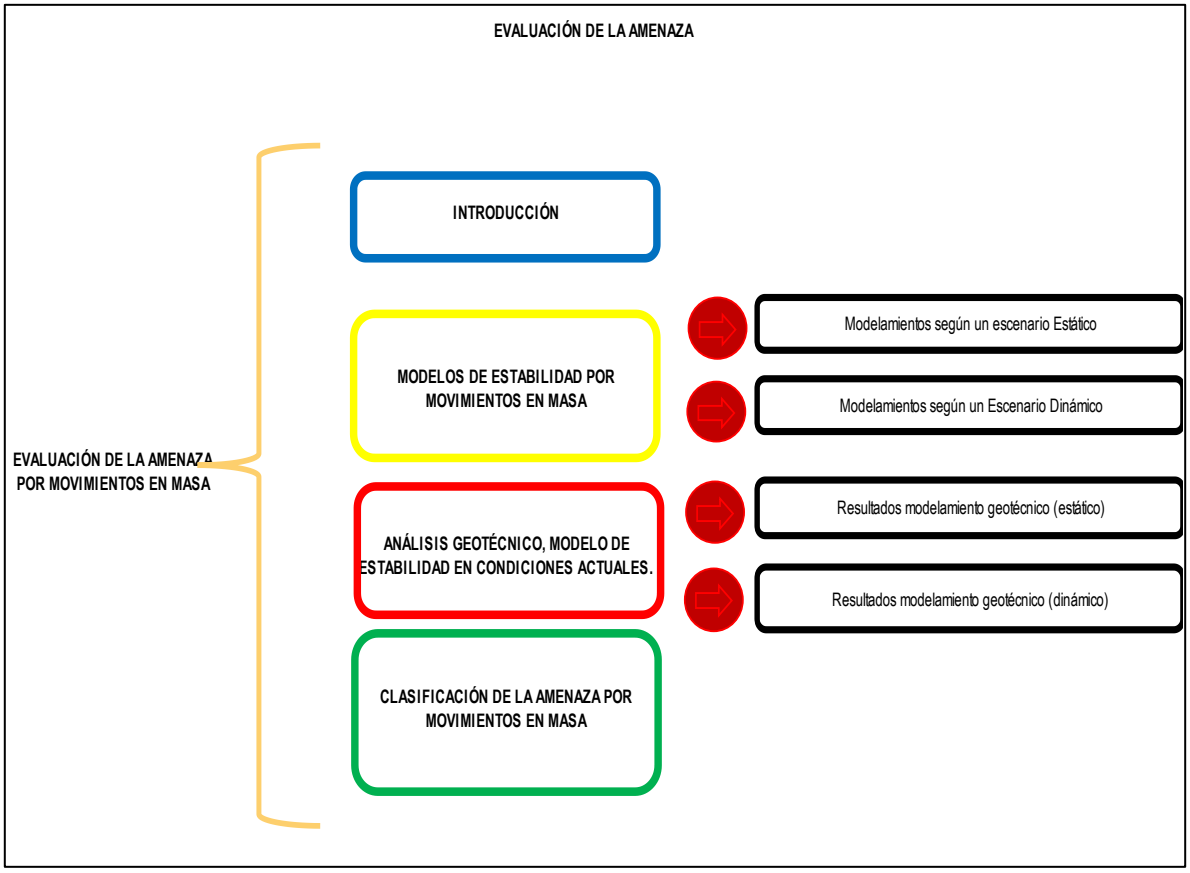
Según las tablas de Valores de KST / amax Mínimos para Análisis pseudoestático de Taludes y la de resultados de análisis sismológico, se obtuvieron los siguientes resultados:

Material	Kst/amax	Análisis de Amplificación mínimo	Kst	amax	Kst
Suelos, enrocados y Macizos Rocosos muy Fracturados (RQD < 50%)	0,8	Ninguno	0,8 * amax	0,400	0,3200
Macizos Rocosos (RQD > 50%)	1	Ninguno	1,0 * amax	0,400	0,4000
Todos los materiales Térreos	0,67	Amplificación de onda unidimensional en dos columnas y promediar	0,67 * amax	0,400	0,2680
Todos los materiales Térreos	0,5	Amplificación de onda bidimensional	0,5 * amax	0,400	0,2000

Tabla 36 Resultados sismo de diseño para el modelo geológico geotécnico

Según los resultados del análisis sismológico plasmados en el presente capitulo, los modelamientos de estabilidad ante movimientos en masa se deben ejecutar con un sismo de diseño de 0,32.

10. EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA



10.1. INTRODUCCIÓN

Para la zona de estudio, se identificó el talud crítico con el objetivo de realizar el modelamiento geotécnico, el modelo se define conforme a las Unidades Geológicas para Ingeniería (UGI presentes en el sector de análisis, estas permiten agrupar sectores con materiales que presentan comportamiento mecánico y origen geológico similares. Estas unidades constituyen el insumo principal para la evaluación del terreno, ya que facilitan distinguir entre suelos y rocas, reconocer espesores significativos de suelo residual o transportado, y establecer las condiciones estructurales y de meteorización del macizo rocoso cuando está presente. Con los datos adquiridos en los ensayos de laboratorio realizados y las secciones transversales generadas con la topografía, se establecen los perfiles a los cuales se les realizan los respectivos modelamientos geotécnicos por medio del software Geo-Slope International Ltd tanto en condiciones estáticas y dinámicas.

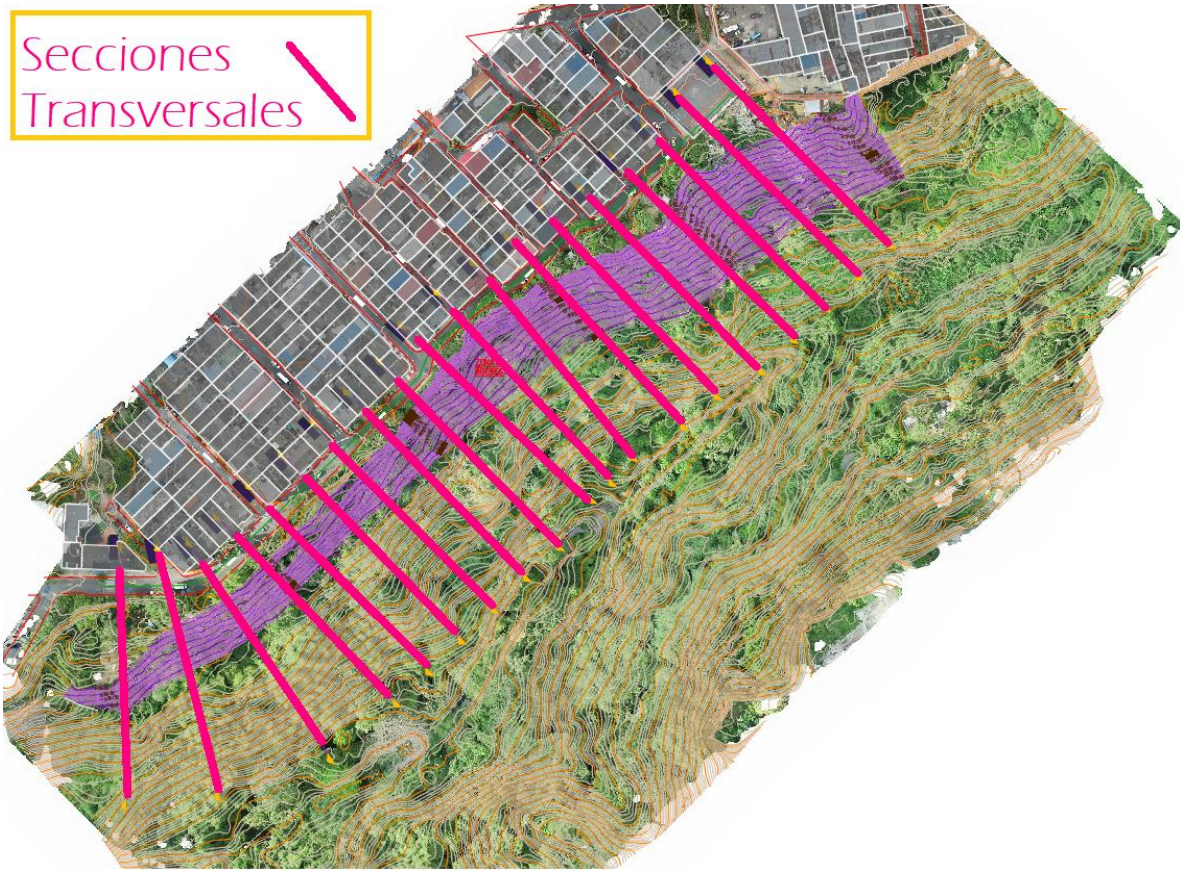


Ilustración 79 Ubicación de perfiles transversales

10.2. MODELOS DE ESTABILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA

Una vez se cargan los perfiles al software con sus respectivas propiedades mecánicas, se calculan los resultados en el análisis de estabilidad según el método seleccionado, a continuación, se enuncian los métodos de equilibrio limite utilizados en el presente estudio:

- Método de Morgenstern-Price
- Método de Janbu
- Método Ordinary (Fellenius o método de cortes ordinario)
- Método de Spencer

Una vez definido el método, se ejecutan los modelamientos tanto en condición estática como dinámica.

La realización de los modelos geotécnicos se efectúa teniendo en cuenta dos escenarios, estos corresponden a:
El talud se modela en su condición actual, sin sismo y con la carga muerta aportada por los paramentos ubicados en el eje del perfil.
El talud es modelado con un efecto pseudoestatico (sismó) con la carga muerta aportada por los paramentos ubicados en el eje del perfil.

El escenario seudo estático que se encuentra definido por la Norma sismo Resistente Colombiana NSR-10.

10.2.1. Modelamientos según un escenario Estático:

- Talud definido es su eje con las condiciones normales.
- Talud sin presencia de niveles freáticos.

10.2.2. Modelamientos según un Escenario Dinámico:

- Talud definido es su eje con las condiciones normales (carga muerta)
- Talud sin presencia de niveles freáticos.
- Modelamiento con aceleración pseudo estática de 0.32g (con base en el al análisis sísmico realizado en el análisis sismológico calculado en el presente estudio).

10.3. ANÁLISIS GEOTÉCNICO, MODELO DE ESTABILIDAD EN CONDICIONES ACTUALES.

Una vez cargados los perfiles en el software con los respetivos parámetros mecánicos para cada estrato, niveles freáticos (si a ello hubiere lugar), carga muerta aportada por viviendas, vías y demás cargas presentes en el eje longitudinal del mismo, dirección del movimiento, Ru (si el análisis lo requiere) y carga sísmica para el modelamiento dinámico; se define el método al cual el programa arrojara el factor de seguridad correspondiente (Método de Morgenstern-Price, método de Janbu, método Ordinary o método de Spencer.

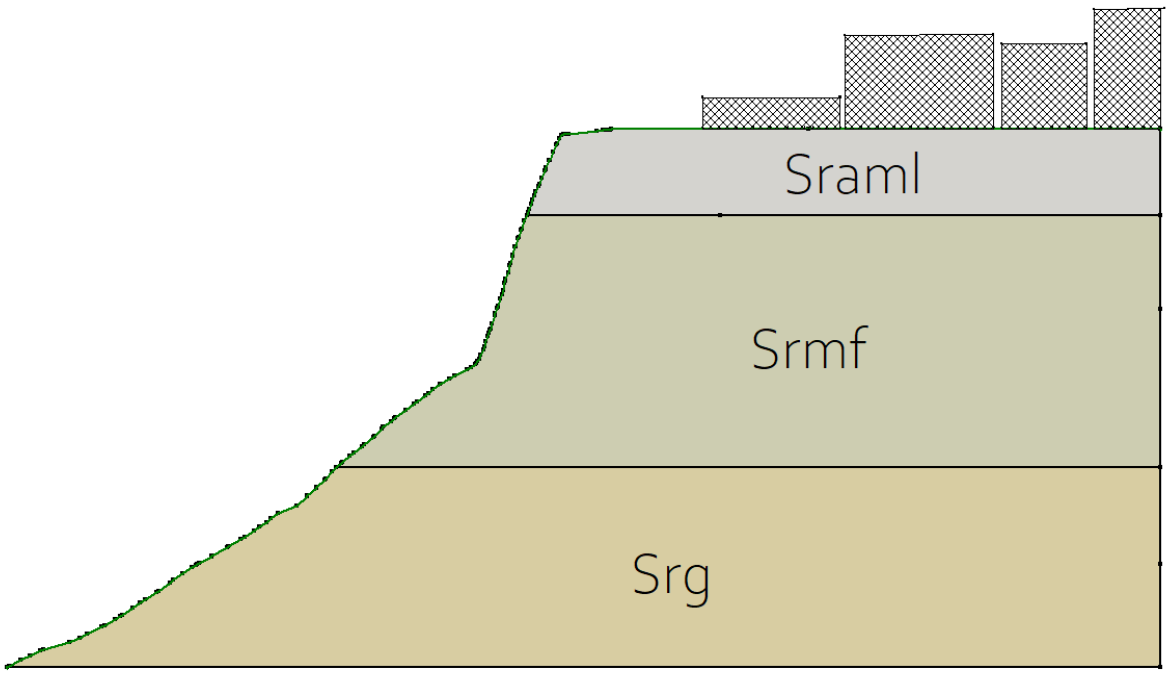
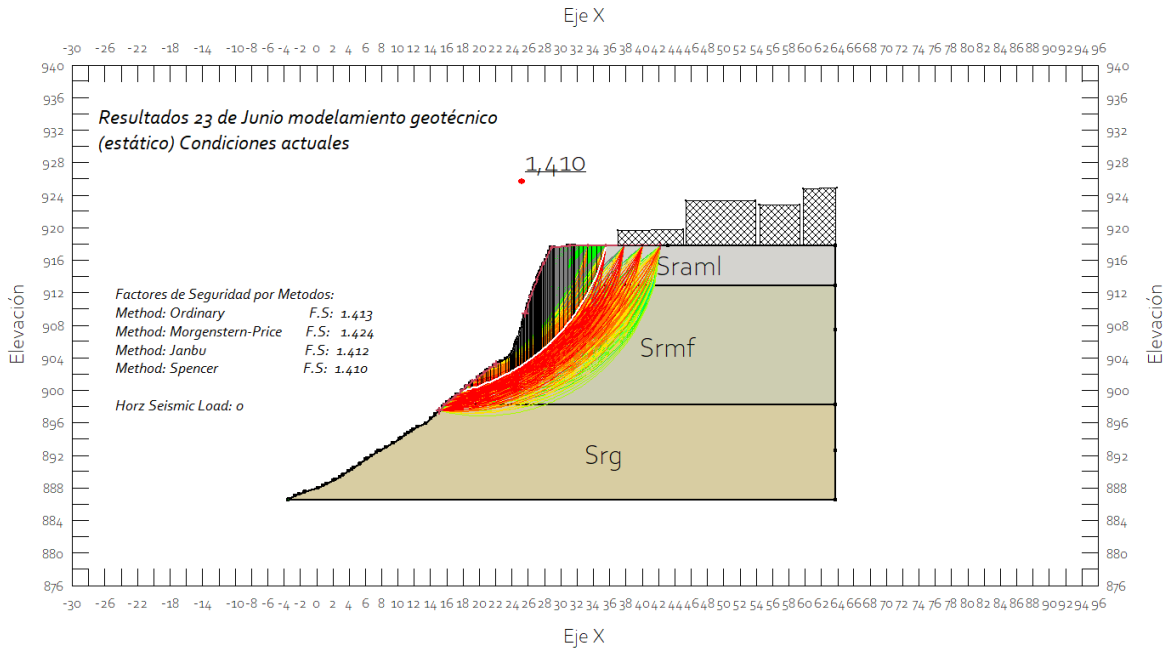


Ilustración 80 Perfil tipo establecido para mostrar los diferentes estratos en profundidad.

10.3.1. Resultados modelamiento geotécnico (estático)



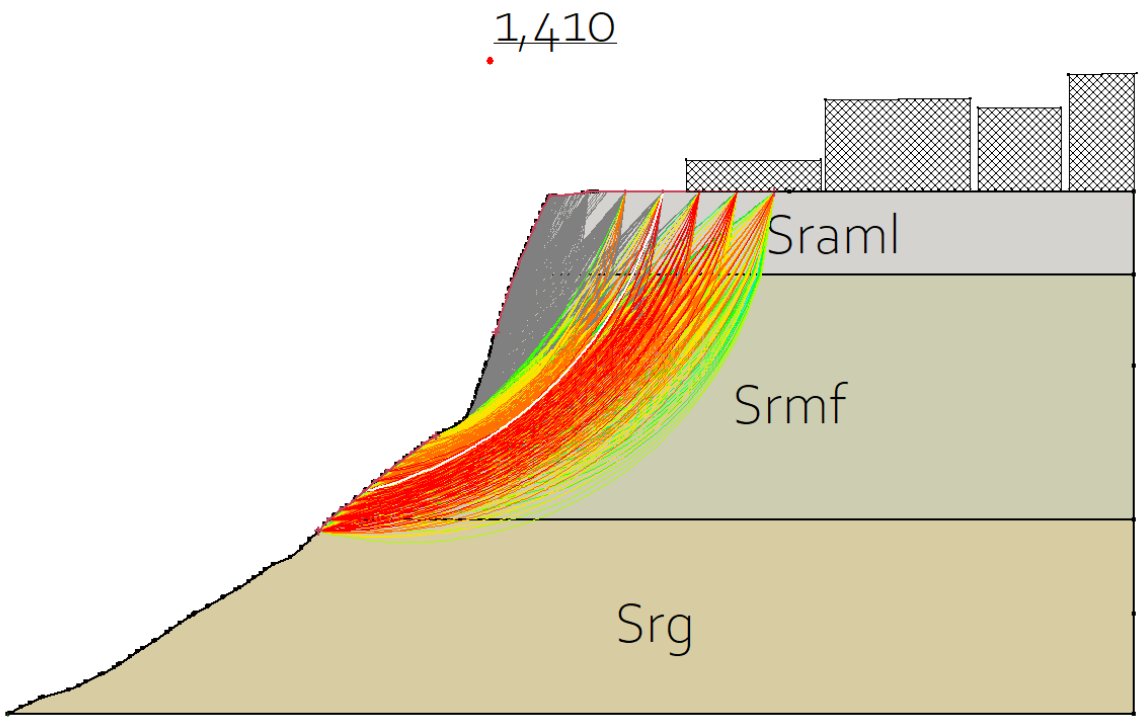


Ilustración 81 Modelamiento geotécnico en condiciones estáticas

10.3.2. Resultados modelamiento geotécnico (dinámico)

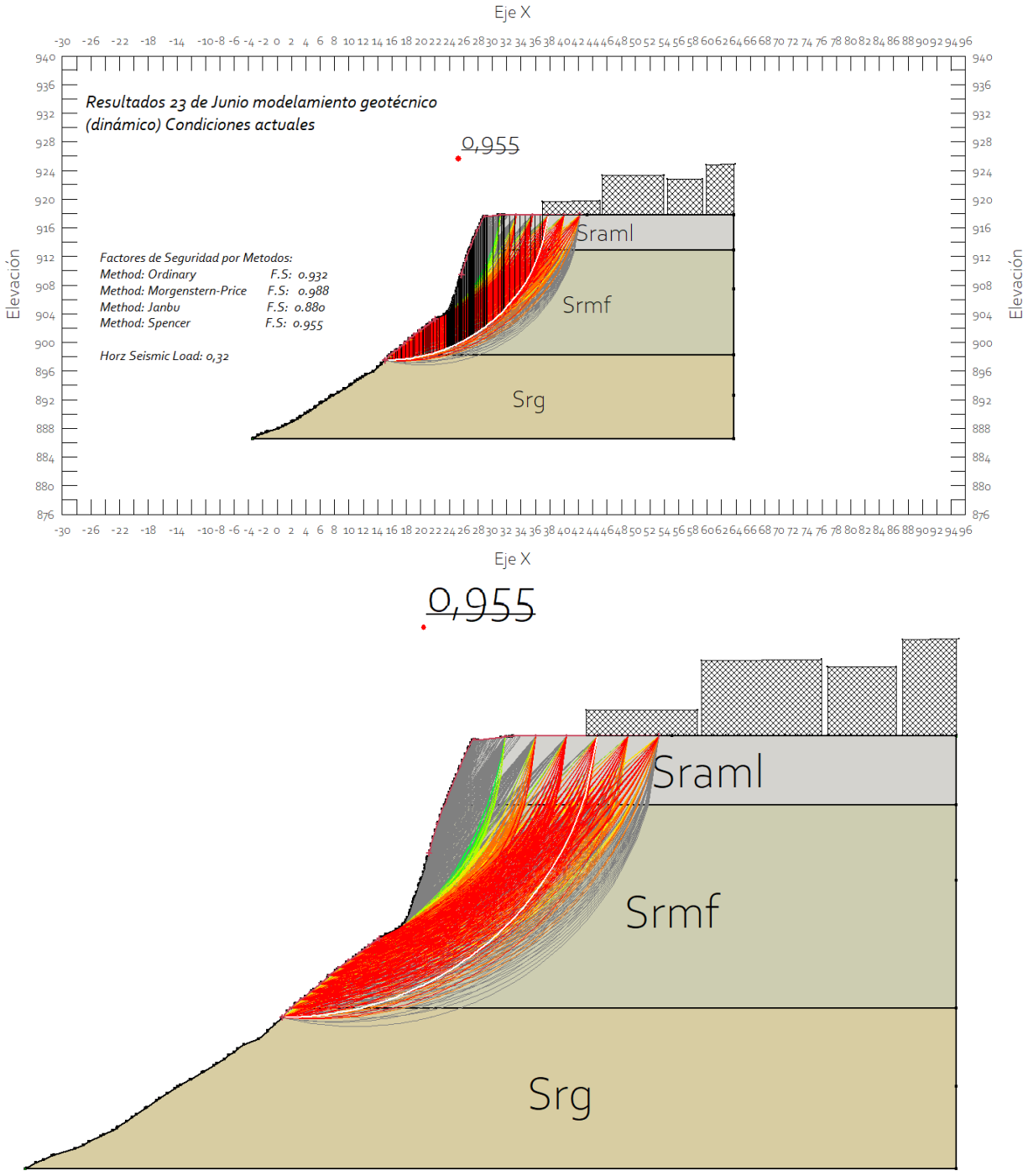


Ilustración 82 Modelamiento geotécnico en condiciones dinámicas.

11. CLASIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA

Según las normas geotécnicas locales establecidos por la Corporación Autónoma Regional para la defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), la amenaza ante movimientos en masa se clasifica según su valor y de acuerdo a las siguientes ilustraciones:

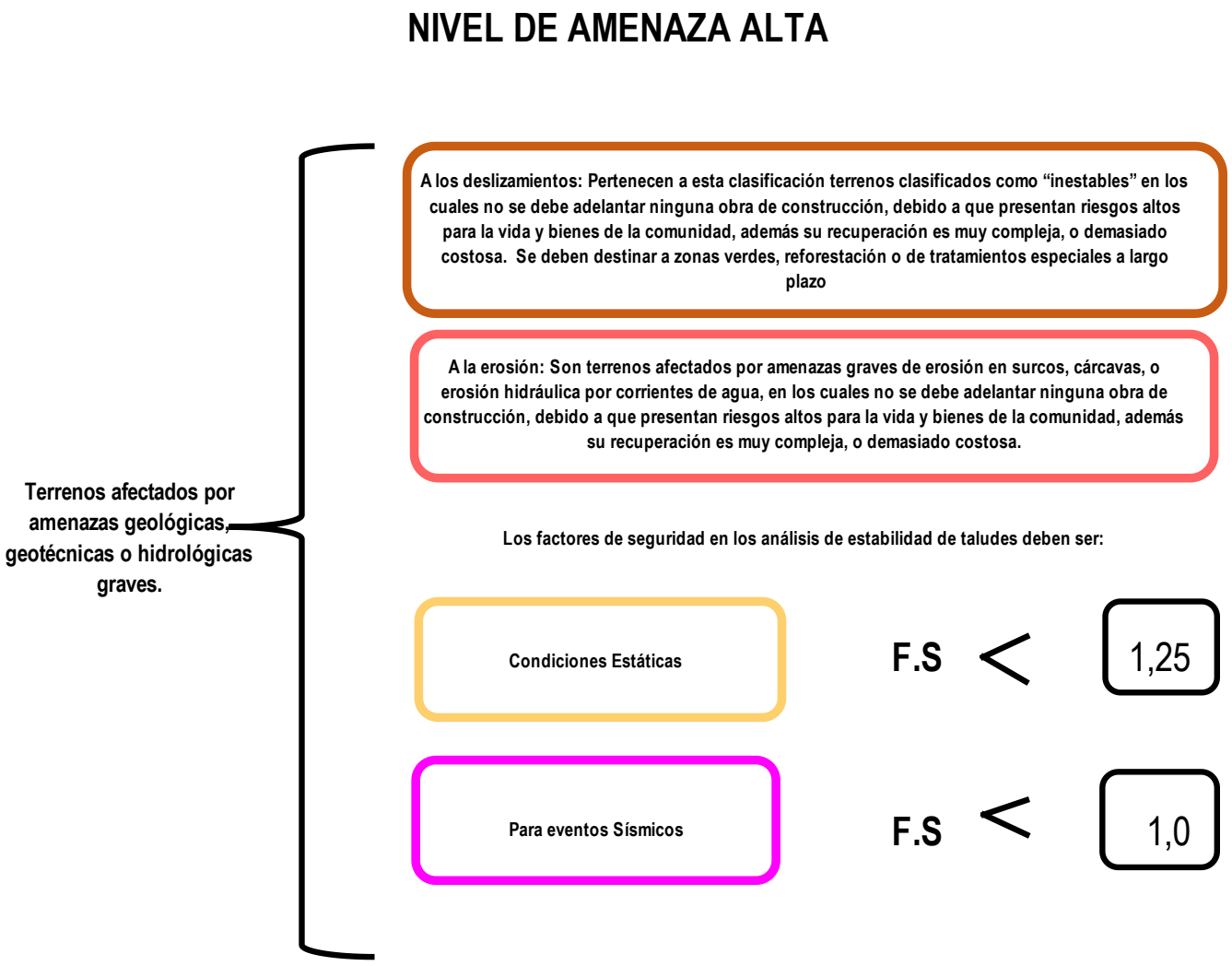


Ilustración 83 Clasificación Alta ante movimientos en masa según la resolución 1294 de 2009, Normas Geotécnicas, CDMB.

NIVEL DE AMENAZA MEDIA

Terrenos afectados por amenazas, las cuales se pueden estabilizar totalmente mediante la construcción de obras de ingeniería.

A los deslizamientos: clasificados geológicamente como "relativamente inestables", en los cuales para adelantar la construcción de obras es necesario la ejecución previa de trabajos que preserven su estabilidad o se establecen condicionantes para el manejo del terreno, orientados a conservar o mejorar su estabilidad natural.

A la erosión: Son terrenos afectados por amenazas medianas de erosión en surcos, cárcavas, o erosión hidráulica por corrientes de agua, y para adelantar la construcción de obras es necesario la ejecución previa de trabajos que preserven su estabilidad o se establecen condicionantes para el manejo del terreno, orientados a conservar o mejorar su estabilidad natural.

Los factores de seguridad en los análisis de estabilidad de taludes deben ser:

Condiciones Estáticas	**F.S**	≥	1,5
	F.S	≥	1,25
Para eventos Sísmicos	**F.S**	≥	1,2
	F.S	≥	1,0

Ilustración 84 Clasificación Media ante movimientos en masa según la resolución 1294 de 2009, Normas Geotécnicas, CDMB.

NIVEL DE AMENAZA BAJA

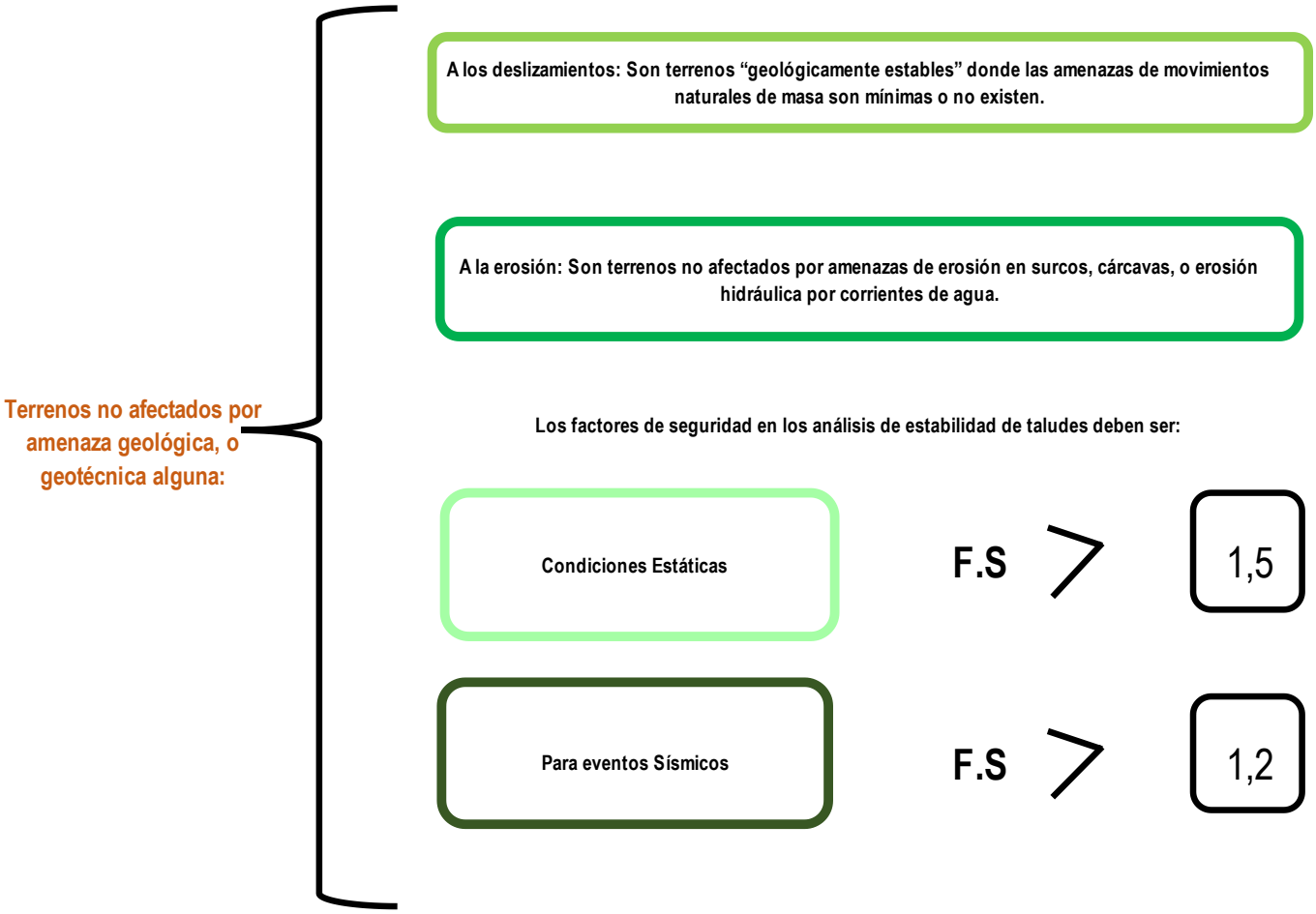


Ilustración 85 Clasificación Baja ante movimientos en masa según la resolución 1294 de 2009, Normas Geotécnicas, CDMB.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos tras el modelamiento geotécnico para los diferentes métodos con su respectivo perfil o sección.

FACTORES DE SEGURIDAD (ANÁLISIS GEOTÉCNICO, MODELO DE ESTABILIDAD EN CONDICIONES ACTUALES)

		Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 7
AMENAZA ALTA Method: Ordinary	Static	1,427	1,425	1,417	1,413	1,419	1,421	1,424
	With Horz Seismic Load	0,940	0,939	0,934	0,932	0,935	0,936	0,938
AMENAZA ALTA Method: Morgenstern-Price	Static	1,440	1,438	1,428	1,424	1,431	1,433	1,437
	With Horz Seismic Load	0,994	0,992	0,989	0,988	0,991	0,993	0,994
AMENAZA ALTA Method: Janbu	Static	1,427	1,423	1,415	1,412	1,419	1,422	1,423
	With Horz Seismic Load	0,887	0,885	0,882	0,880	0,884	0,884	0,886
AMENAZA ALTA Method: Spencer	Static	1,422	1,419	1,412	1,410	1,414	1,417	1,418
	With Horz Seismic Load	0,965	0,962	0,958	0,955	0,960	0,961	0,963

Ilustración 86 Resultados Factores de Seguridad una vez se modelaron las secciones trasversales definidas previamente

12. MEDIDAS GEOTÉCNICAS DE MITIGACIÓN ANTE MOVIMIENTOS EN MASA.

Según el análisis efectuado en el anterior capitulo, el talud objeto del presente estudio se encuentra en amenaza alta por movimientos en masa (se define como todo desplazamiento de material litológico y o de escombros hacia abajo vertical o en dirección del pie de una ladera debido a la gravedad).

Los movimientos en masa, comúnmente se conocen como deslizamientos, derrumbes y movimientos de terreno entre otros. La ocurrencia de un movimiento en masa desarrolla varios rasgos geomorfológicos y morfométricos característicos. Los elementos morfológicos pueden asociarse a la masa desplazada o al terreno intacto circundante.

El talud objeto del presente estudio requiere intervención de manera inmediata, debido a que en la ecuación de estabilidad las fuerzas resistentes son inferiores a las fuerzas actuantes en el mismo; lo cual indica que en un escenario en que llegase a presentarse un sismo y el talud se encuentre saturado o tenga un incremento en la presión de poros tiene alta probabilidad de falla y por ende se generaría un movimiento en masa. La presión de poros (Ru) corresponde a una relación adimensional que estima la presión del agua intersticial (la presión del agua atrapada en los poros del suelo o roca) y su impacto en la estabilidad del talud analizado. Este valor es una forma simplificada de representar la carga adicional de agua que reduce la resistencia del suelo al cortante.

Si bien es cierto el talud actualmente se encuentra en reposo manteniendo así un gradiente de carga que no permite que se genere un movimiento en masa, sin embargo, si sus condiciones presentan variaciones en lo que corresponde a cargas (pseduestáticas y de Ru) o a algún foco erosivo con apertura abierta ante la infiltración de aguas superficiales, estos detonantes críticos descritos desencadenarían un evento de movimiento en masa.

De acuerdo a lo anterior y dado que el talud estudiado requiere ser intervenido para minimizar la amenaza geotécnica y garantizar que la masa de suelo no se vea afectada; se requieren medidas

correctivas para mitigar la amenaza ante movimientos en masa con el objetivo de mejorar sus condiciones de estabilidad y disminuir directamente el riesgo.

A continuación, se especifican las obras necesarias para mitigar la amenaza y se detalla cada componente:

Las medidas correctivas estarán incluidas dentro de una alta gama de obras de ingeniería:

- Construcción de anclajes activos de 30 toneladas
- Cada anclaje debe contar con un apoyo o zapata.
- La cara del talud intervenido debe ser recubierta con concreto lanzado, al cual previamente le será instalada una malla de protección.
- Una vez sean instalados los anclajes, se procede con su respectivo tensionamiento con la carga especificada en el presente estudio.
- Se deben construir obras de control de drenajes superficiales debido a que corresponde al principal factor de disminución de la resistencia del talud y es necesario anular dichas presiones y efectos perjudiciales.

PANTALLA ANCLADA:

El principal propósito de un sistema anclado es el de proporcionarle a la masa de suelo, una estabilidad interna, de tal forma que sea resistente a superficies de falla que varían en profundidad. Por esta razón, se plantea la construcción de una pantalla anclada en el sector crítico ubicado en el talud analizado en el presente estudio.

Este tipo de obra constituye un medio esencial para garantizar la estabilidad de sectores críticos con pendientes significativas, logrando utilizar soporte mediante anclajes que introducen estados de tensiones, esfuerzos y deformaciones adicionales a la masa de suelo, mejorando la estabilidad general ya que una vez instalados se pretensan hasta alcanzar una carga admisible, con lo cual se comprime el terreno entre la zona del anclaje y el apoyo superficial de la pantalla.

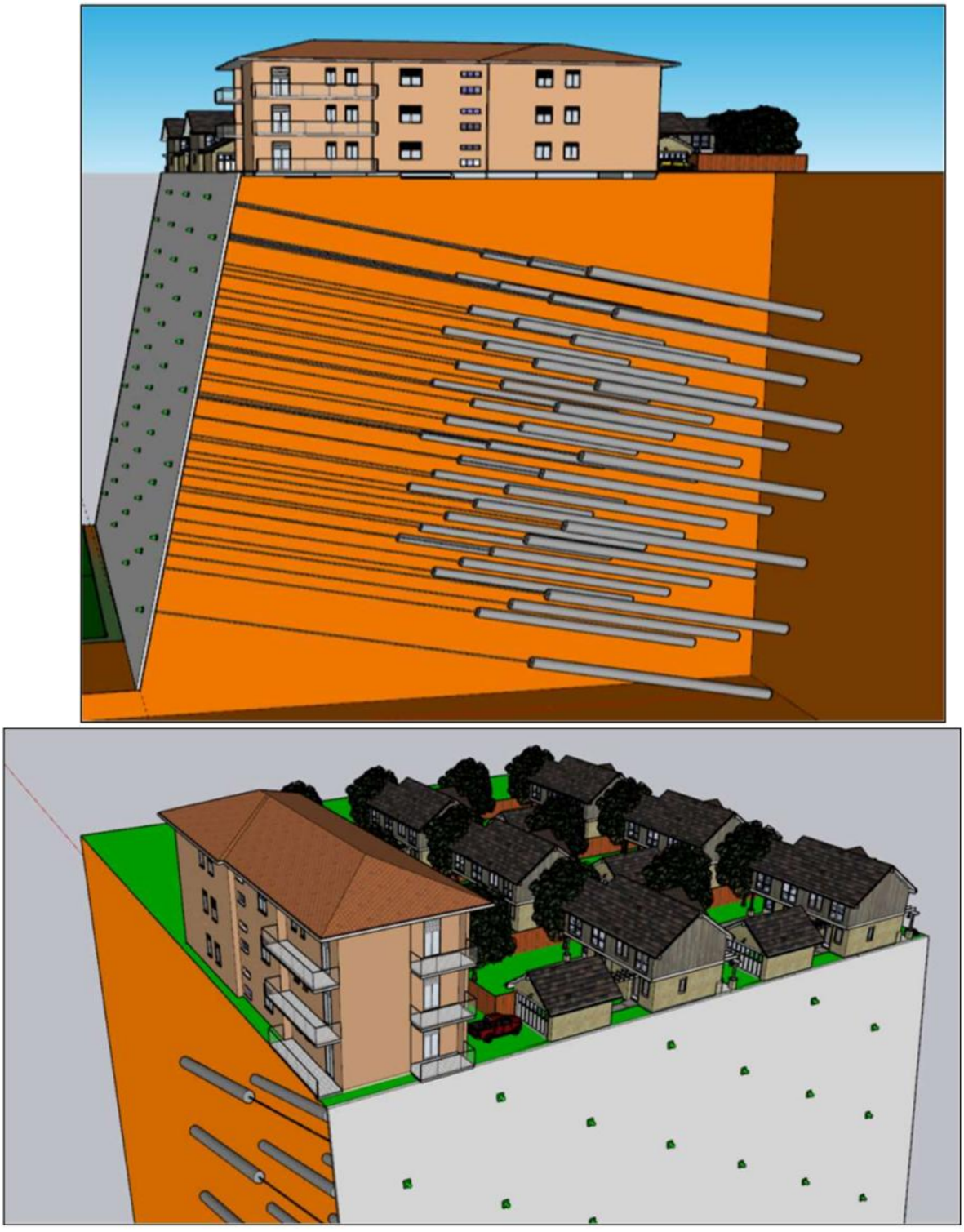


Ilustración 87 Esquematización de una pantalla anclada

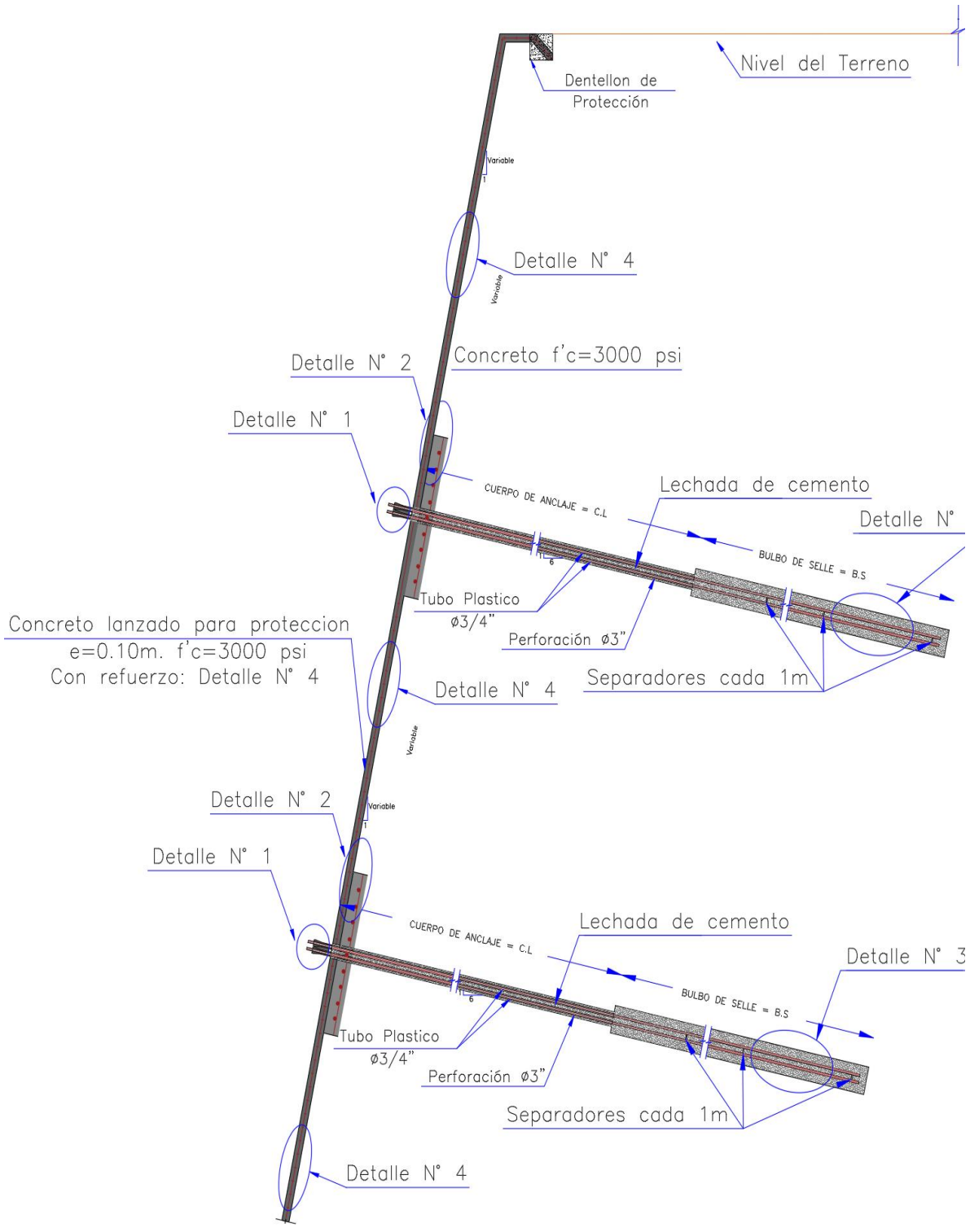


Ilustración 88 Esquema de una pantalla anclada (corte transversal)

La determinación de la carga máxima que se le debe colocar a los anclajes, depende de las cargas producidas por el suelo, el agua y las cargas externas. Los anclajes, cumplen la función de transmitir las cargas aplicadas a un estrato de suelo que no se encuentre dentro de la zona activa falla, de tal forma que se le brinde la estabilidad necesaria al sistema.

La resistencia necesaria de cada uno de los anclajes se calcula según las condiciones particulares de cada sector a intervenir, para este sector son necesarios anclajes con resistencia de 300KN, sin embargo, es necesario que, en cada caso en particular se realicen pruebas de carga con el fin de determinar la resistencia máxima de los anclajes, los cuales deberán quedar embebidos en un material denso, verificando de esta manera que las cargas de trabajo sean acordes a las utilizadas en los análisis geotécnicos.

La estructura consiste básicamente de una placa de concreto con un espesor determinado, a la cual van adheridos al anclaje, con separaciones variables en dirección horizontal y una inclinación perpendicular a la cara del talud intervenido; la diferencia de longitudes, depende de la superficie de falla que se presente, ya que en las partes altas del talud, se pueden necesitar anclajes un poco más cortos, ya que la superficie se presenta cercana a la superficie, mientras que en la parte media del talud, donde las superficies de falla presentan profundidades mayores, es necesario, utilizar anclajes más largos.

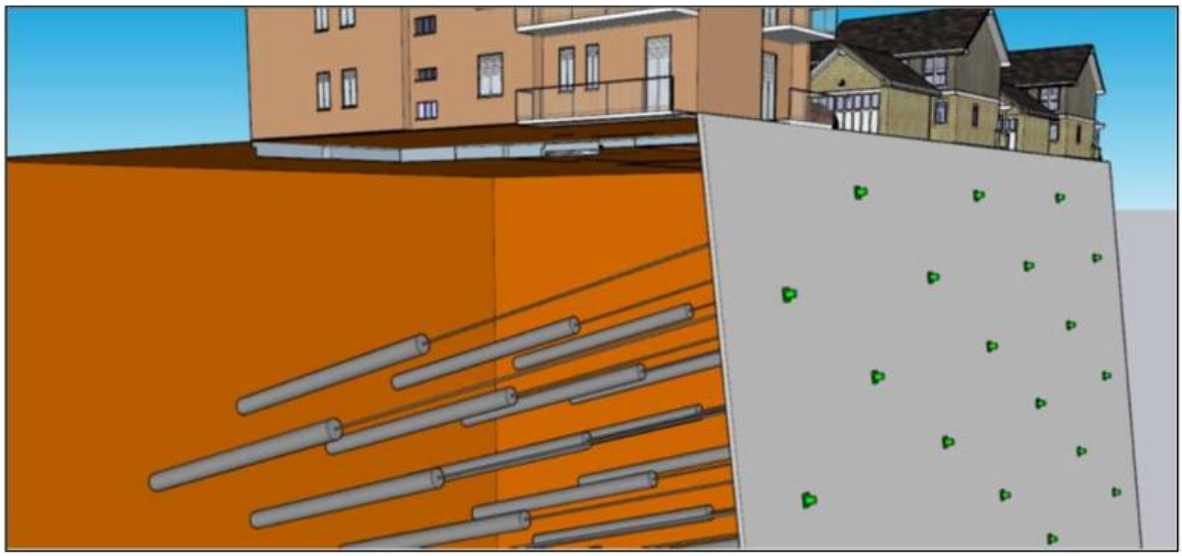


Ilustración 89 Esquema de una pantalla anclada.

Terminología:

Perfil de suelo: Son los diferentes estratos de suelo existente debajo del sitio del proyecto.

Presión activa: Es la presión lateral ejercida por el suelo detrás de la estructura cuando esta se mueve suficientemente hacia fuera para alcanzar un valor mínimo.

Presión admisible del terreno: Presión máxima admisible por un terreno de cimentación que proporciona la seguridad necesaria para evitar la ruptura de la masa de terreno o el movimiento de los cimientos.

Presión pasiva: Es la presión lateral ejercida sobre la pared cuando la estructura se mueve suficientemente hacia el suelo hasta que la presión alcanza un valor máximo.

Superficie de falla: Superficie o zona delgada a lo largo de la cual un lado se ha desplazado con respecto al otro, en una dirección paralela a la superficie o zona.

Nivel freático: Altura que alcanza la capa acuífera subterránea más superficial.

Factor de seguridad: Es la relación que existe entre la suma de las fuerzas resistentes y la suma de las fuerzas que estimulan el deslizamiento.

Deslizamiento: Movimientos hacia afuera o cuesta abajo de materiales que forman laderas (rocas naturales y tierra). Son desencadenados por lluvias torrenciales, la erosión de los suelos y temblores de tierra.

Anclaje: Medio que se emplea para sujetar elementos estructurales al bloque de cimentación en la que se apoya.

Lechada de cemento: Se define como una pasta muy fluida de cemento, agua, y eventualmente adiciones, utilizada principalmente para inyecciones de terrenos, cimientos, túneles, etc.

Bulbo: El bulbo es la longitud de varilla del anclaje que es cementada para transmitir la carga de tensión al suelo.

Concreto reforzado: Material constituido por concreto que tiene un refuerzo consistente en barras de acero corrugado, estribos transversales o mallas electrosoldada, colocadas principalmente en las zonas de tracción.

Pantalla anclada: Se define una pantalla como un tipo de estructura de contención flexible de tierras utilizada para estabilizar taludes.

Estructura de Contención: Estructura diseñada para contener los empujes de tierras que pueden afectar a una determinada obra. Puede ser una única obra con un único proyecto (como es el caso de la construcción de un muro de contención con el fin de obtener parcelas de superficie horizontal), o puede ser parte de un proyecto más grande, (como, por ejemplo, un muro para contener el empuje de tierras próximo a una carretera, o pantallas para la construcción de los sótanos de un edificio).

Clasificación de las estructuras de contención: viene determinada por dos grandes familias:

a) Estructuras de contención rígidas: aquellas cuyos movimientos son de sólido rígido sin presentar movimientos en el interior de la estructura o si existen son prácticamente despreciables.

b) Estructuras de contención flexibles: aquellas en las que se producen movimientos de sólido rígido y de flexión.

Clasificación de los Anclajes: Los anclajes se pueden clasificar ya sea por su forma de trabajar o por el tiempo de servicio para el cual estén diseñados; según su forma de trabajar se pueden distinguir tres tipos de anclajes:

a) Anclajes Pasivos: Son aquellos que entran en acción por sí solo, al parecer la fuerza exterior y gracias a la cabeza del mismo se opone al movimiento del terreno o la estructura. Este tipo de anclaje

debe ser muy rígido si se quiere limitar la magnitud del movimiento, llegando en casos extremos, a ejecutar verdaderos pilotes a tracción. Su orientación debe establecerse en función del movimiento relativo que pueda esperarse entre la cabeza y la zona de anclaje para evitar la aparición de esfuerzos anormales.

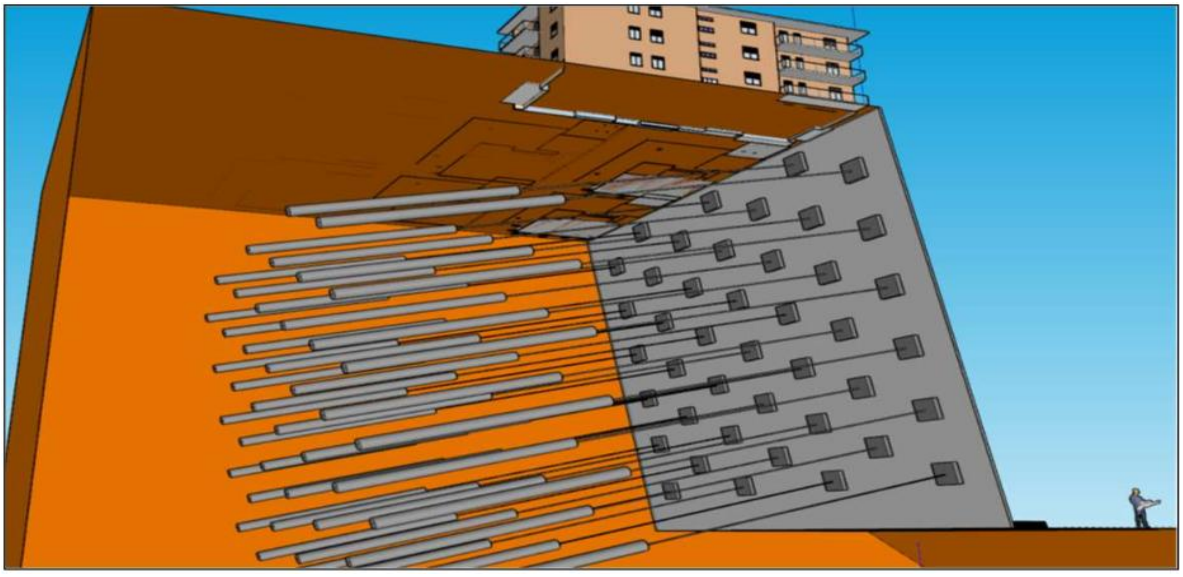
b) Anclaje Activo: Es aquel que una vez instalado se pretensa la armadura hasta llegar a su carga admisible, comprimiendo el terreno comprendido entre la zona de anclaje y la estructura o placa de apoyo de la cabeza. Cuando actúa la carga exterior, se produce la descompresión del terreno pero apenas se mueve la cabeza del anclaje en tanto no se rebase el esfuerzo de pretensado, por lo que no varía sensiblemente la tensión en el tirante.

c) Anclajes Mixtos: Es un intermedio entre las dos situaciones anteriores, la armadura se pretensa con una carga inferior a la admisible, quedando una parte de su capacidad resistente en reserva para hacer frente a posibles movimientos aleatorios del terreno.

Según su tiempo de servicio los anclajes se pueden clasificar en

a) Anclajes Provisionales: Tienen el carácter de medios auxiliares y proporcionan las condiciones de estabilidad a la estructura durante el tiempo necesario para disponer de otros elementos resistentes que los sustituyan.

b) Los anclajes Permanentes: Estos se dimensionan evidentemente, con mayores coeficientes de seguridad, pero, fundamentalmente deben estar proyectados y ejecutados para hacer frente a los peligros de la corrosión.



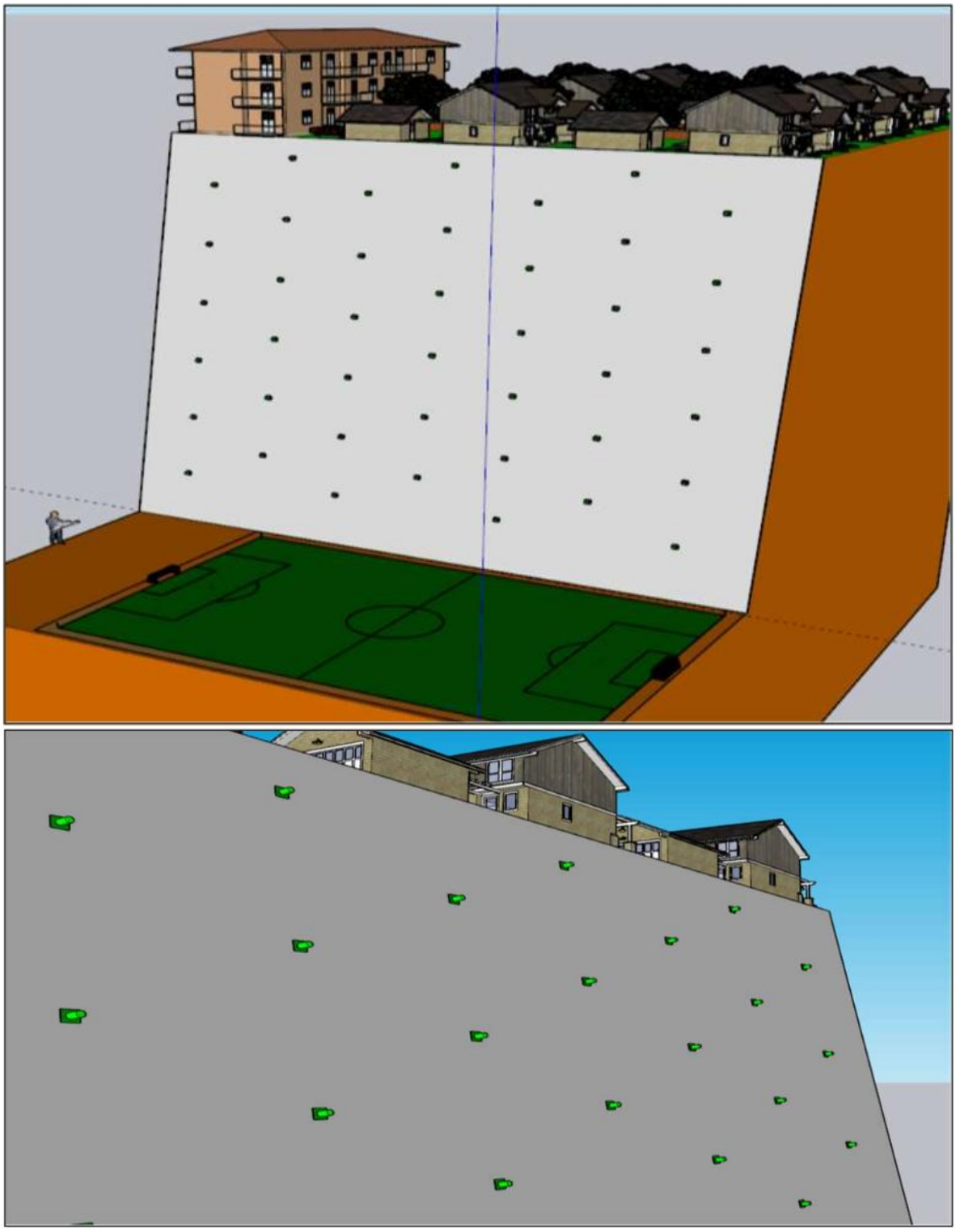


Ilustración 90 Esquema de una pantalla anclada (vista frontal y lateral)

Los anclajes diseñados cumplen la función de transmitir las cargas aplicadas a un estrato de suelo que no se encuentre dentro de la zona activa de falla, de tal forma que se le brinde la estabilidad necesaria al sistema.

El procedimiento de diseño de los anclajes, básicamente cubre los siguientes pasos:

- Caracterización del suelo presente en la zona
- Determinación de las cargas producidas por el suelo sobre las pantallas.
- Cálculos de los esfuerzos generados sobre el muro debido a las presiones del suelo y las presiones laterales.
- Inclusión de anclajes en el sistema.
- Evaluación de las cargas necesarias para brindarle la estabilidad al sistema.
- Modelamiento geotécnico para corroborar los factores de seguridad.
- El proceso brevemente explicado, se convertirá en un sistema iterativo respecto a la inclusión de los anclajes, ya que la ubicación, cantidad, diámetro, entre otros, de dichos anclajes influirá directamente en la determinación de las cargas permisibles para cada anclaje.

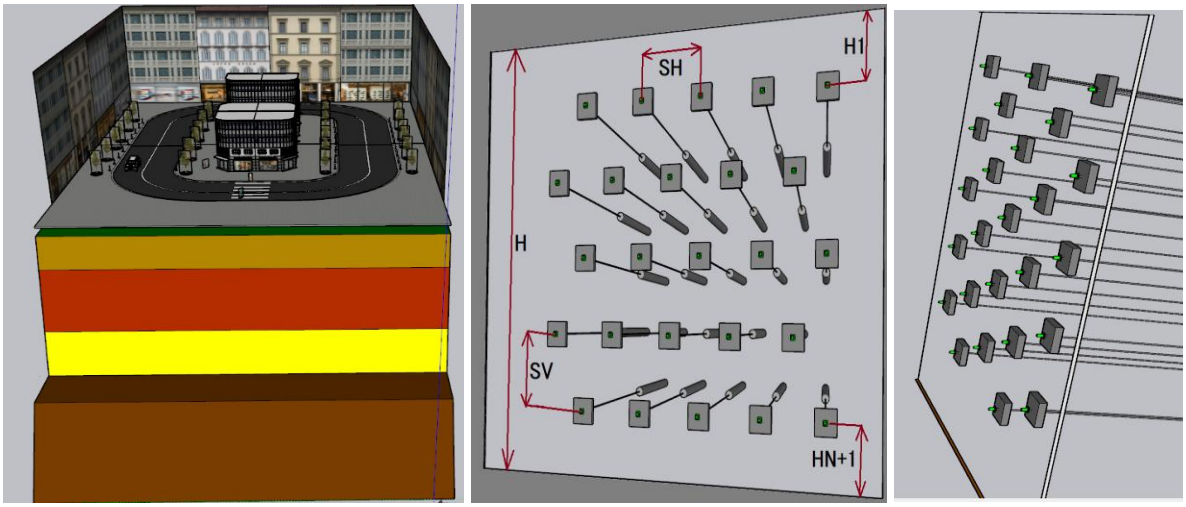


Ilustración 91 Esquema a) Definición de estratos y sus propiedades, b) Predimensionamiento, c) Vista lateral de los anclajes)

Un anclaje pretensado es un elemento estructural instalado en suelo o roca, utilizado para transmitir cargas de tensión al terreno.

El elemento estructural es complementado por un bulbo de concreto, un tendón de acero, platina de acero, cabeza del anclaje; estos y otros componentes hacen parte del sistema de anclaje. A continuación, se realiza una descripción de las diferentes partes del anclaje:

- Zona de bulbo

Es la parte del anclaje solidaria al terreno en profundidad, encargada de transferir los esfuerzos al mismo y se encuentra ubicada detrás de la línea de falla del terreno.

- Zona libre

Es la parte del anclaje en la que la armadura se encuentra aislada del terreno que la rodea y se encuentra por delante de la línea de falla del terreno.

- Cabeza y placa de apoyo

Es la unión de la armadura con la estructura de apoyo y sobre ella se ejerce la acción exterior.

- Torón

Cable o cables que transmiten la tensión del punto de apoyo (muro o pantalla) hasta el suelo o roca. Se utiliza torón de 1/2 " diámetro. Al hacer el pedido de los cables debe tenerse en cuenta que se requiere una longitud adicional (puntos) de por lo menos 1 metro, para poder efectuar el tensionamiento.

- Separadores

Elemento metálico o de caucho que permiten mantener alineados los torones y separan la tubería de PVC del cable, permitiendo el flujo de lechada alrededor de éstos.

- Sello Impermeable

El anclaje está compuesto por una zona de bulbo y una longitud libre, el sello impermeable aísla las dos zonas. El sello se hace con lechada o con producto SIKA o similar.

- Protección del cabezal del anclaje

Es un protector en acero o plástico que se utiliza para proteger el cabezal del anclaje y partes de acero de la corrosión y daños físicos.

- Encamisado de protección

Corresponde a una tubería de PVC o acero, que sirve para proteger la base de la platina y la zona de transición entre el cabezal del anclaje y la longitud libre del tendón.

- Componente retardante de corrosión

Estos componentes protegen las partes de acero del anclaje y la longitud libre del tendón. Este compuesto no debe presentar problemas de endurecimientos con el tiempo que los haga frágiles. Dentro de estos componentes se incluyen las grasas y las ceras.

- Lechada

La lechada protege el acero pretensado en la zona libre y en la zona del bulbo, y puede ser cemento o resina en poliéster. La lechada también es utilizada para rellenar las cubiertas.

- Seaths

Son tubos de plástico liso o corrugado, utilizadas para proteger el acero pretensado en longitud libre del anclaje.

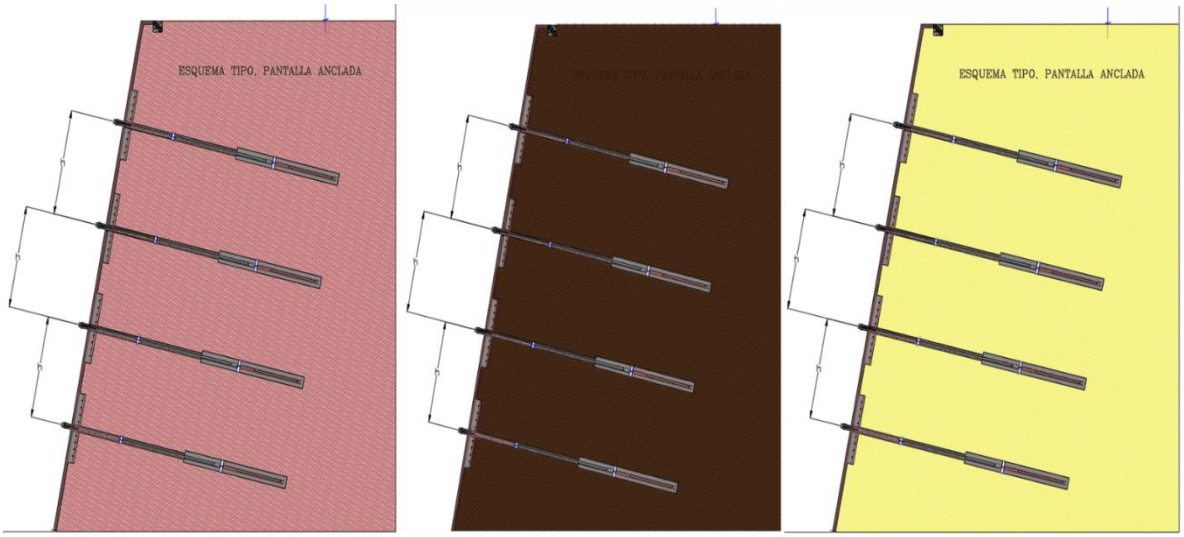


Ilustración 92 Esquema de una pantalla anclada (emplazada en el talud)

- Zapata:

Es la estructura de apoyo y sobre la cual se distribuye la acción exterior, su geometría normalmente es cuadrada y de espesor constante. La zapata se construye en concreto de f'c=3000 psi con malla de refuerzo en acero de Ø3/4", fy=60.000 psi.

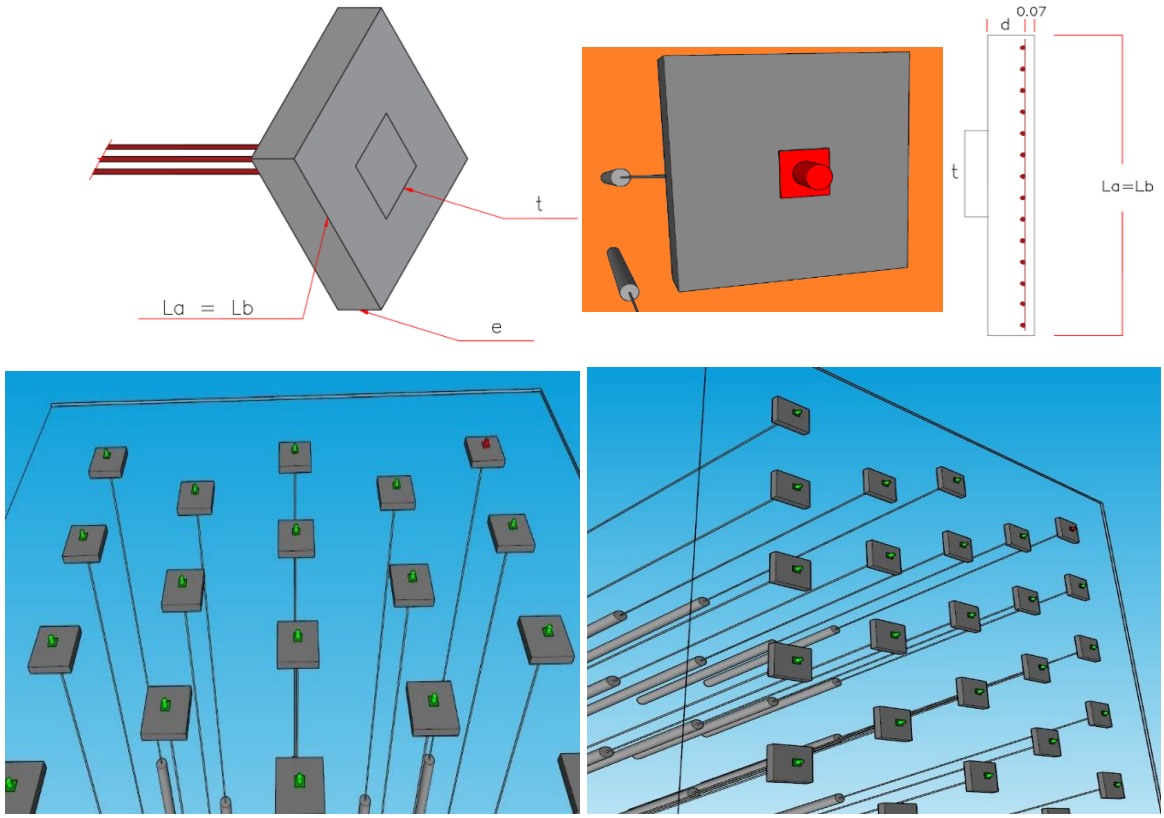


Ilustración 93 Esquema de una pantalla anclada (emplazada en el talud)

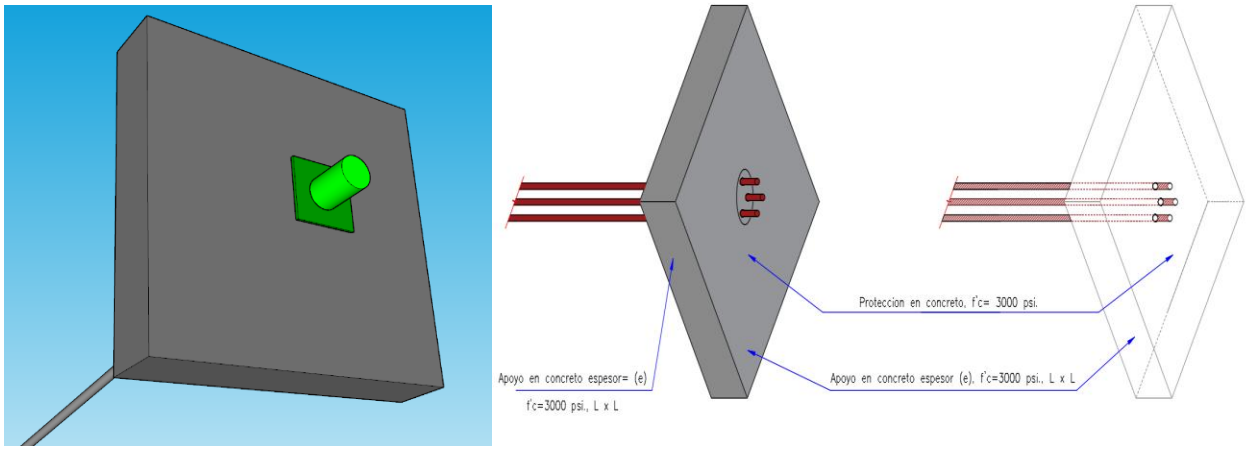


Ilustración 94 Esquema de una zapata.

- Anclaje:

Elemento estructural utilizado para efectuar cargas de tensión y esfuerzos a la masa del suelo posterior a su instalación. La resistencia para cada uno de los anclajes es de 300 KN.

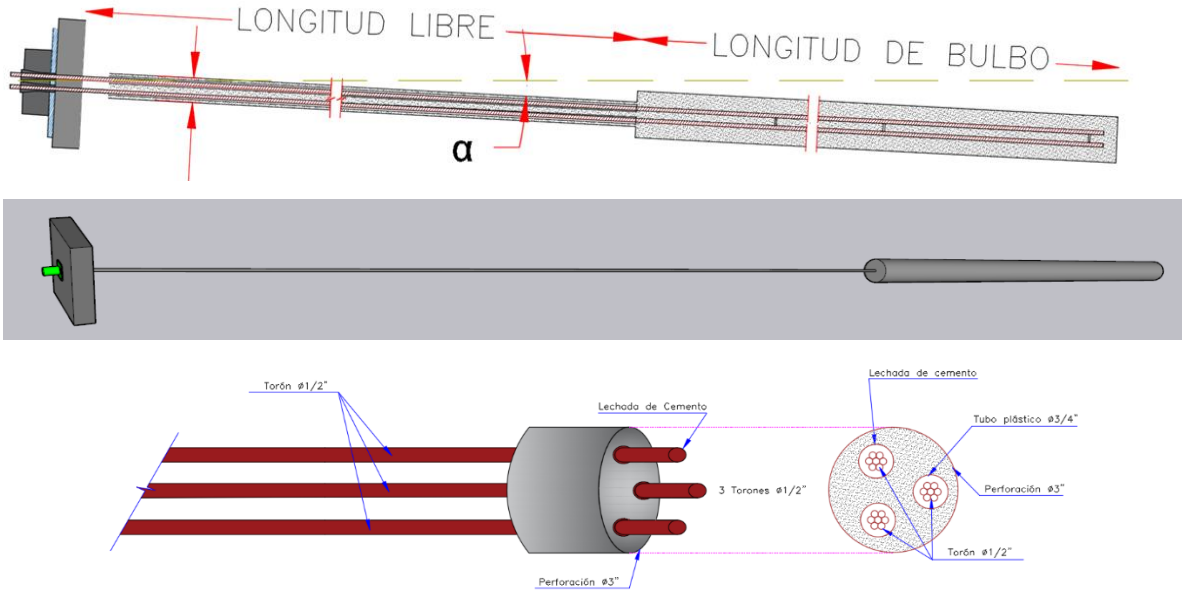
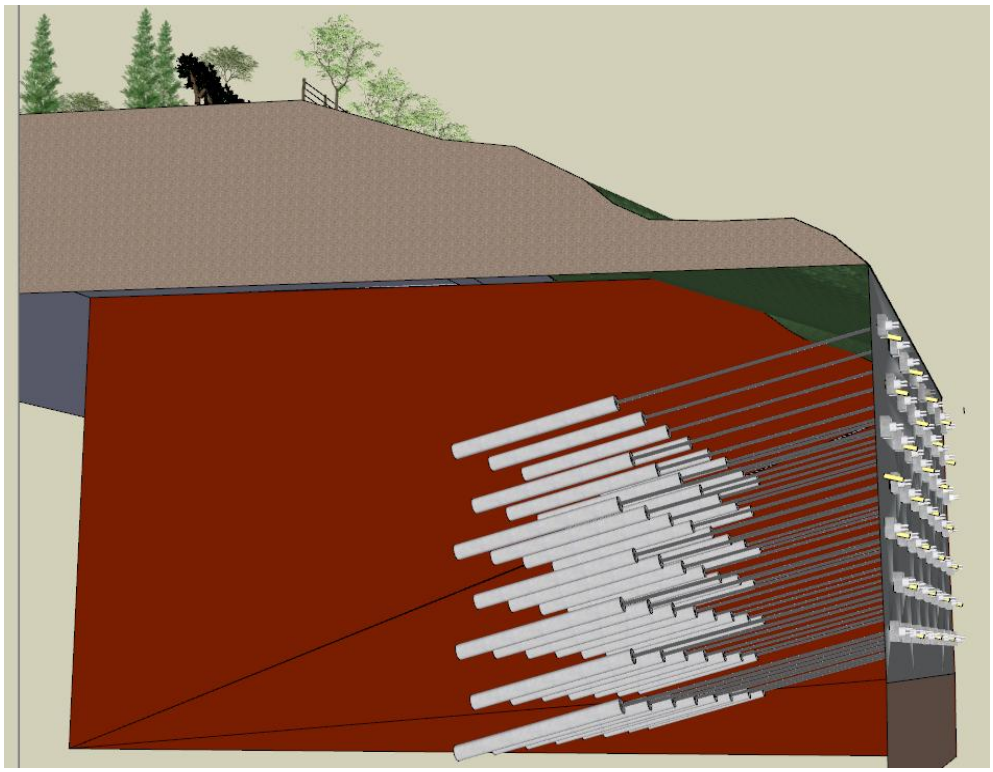
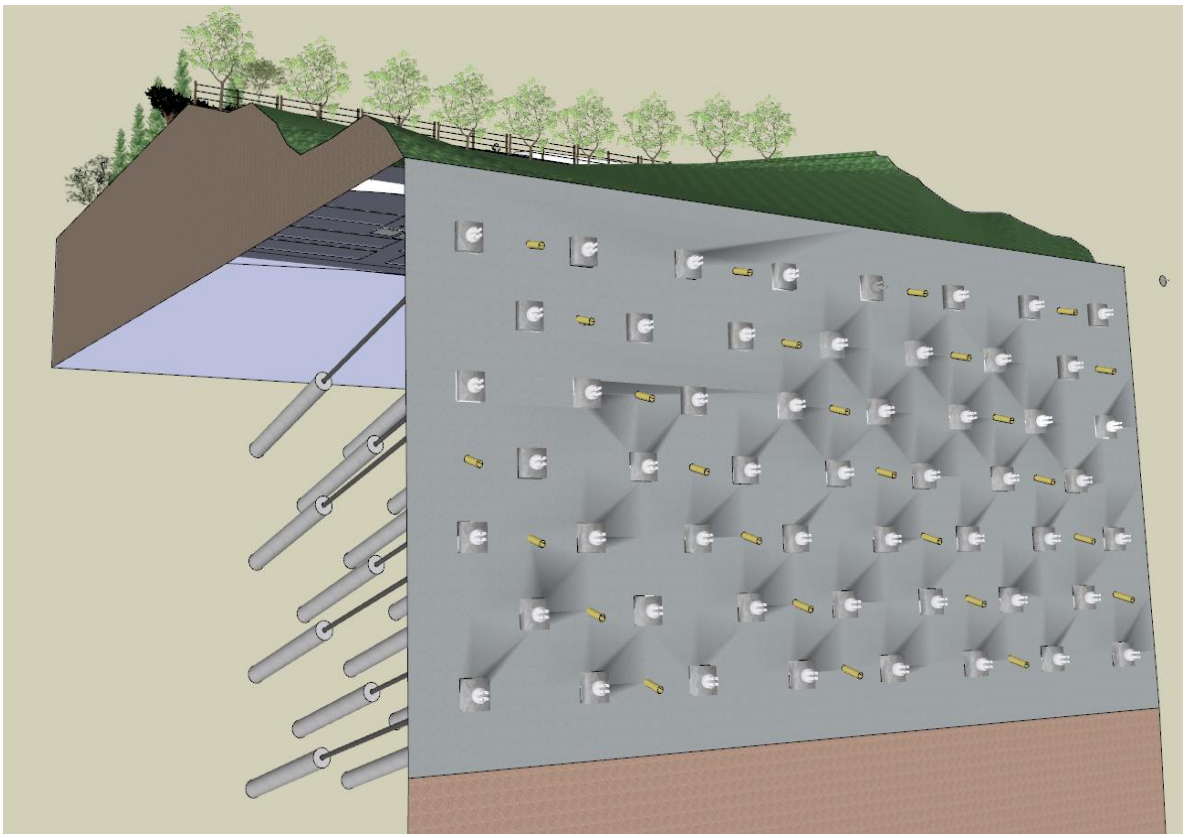


Ilustración 95 Detalles, anclaje.





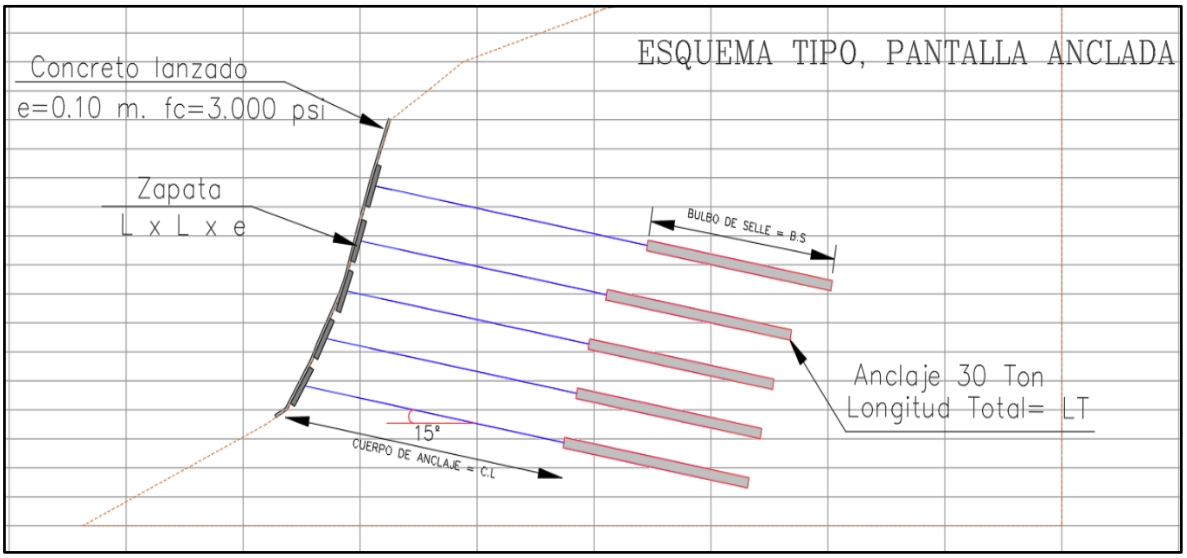
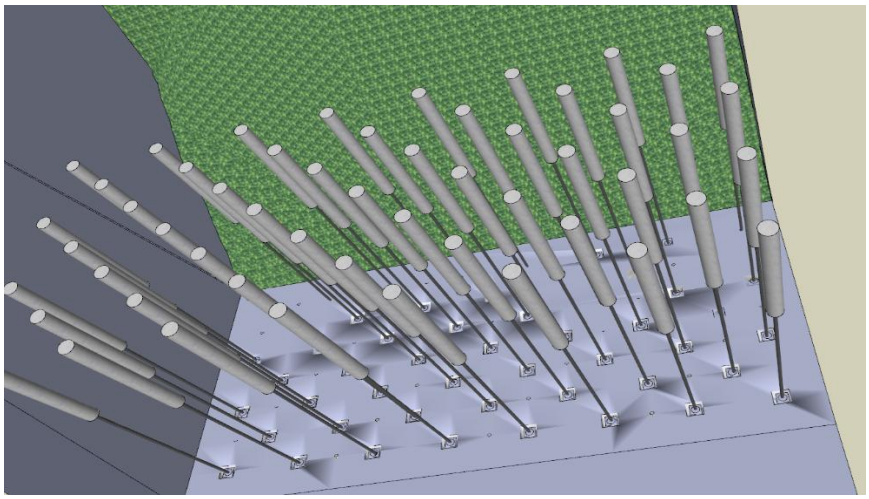
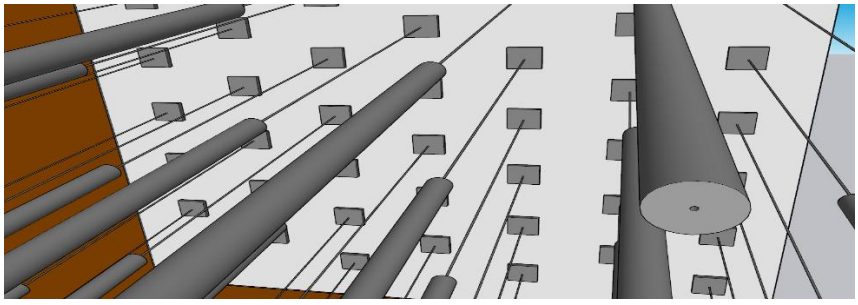


Ilustración 96 Corte transversal, pantalla anclada

- Bulbo:

El bulbo es el encargado de transmitir esfuerzos en el sistema, debe ubicarse por detrás de la superficie de falla del terreno.





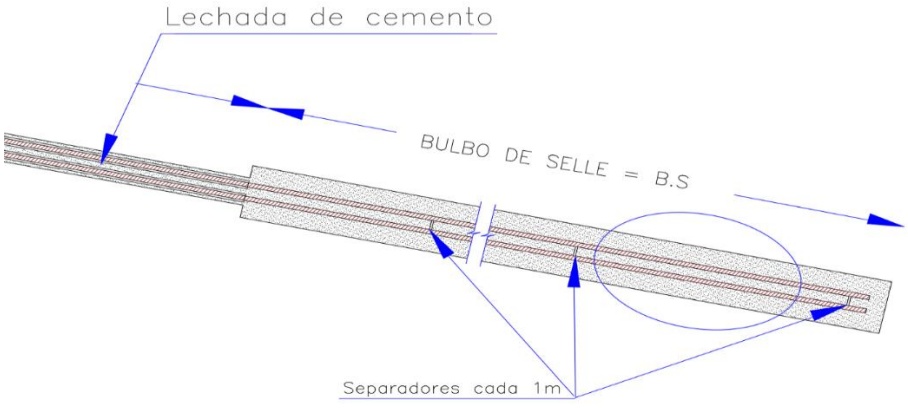
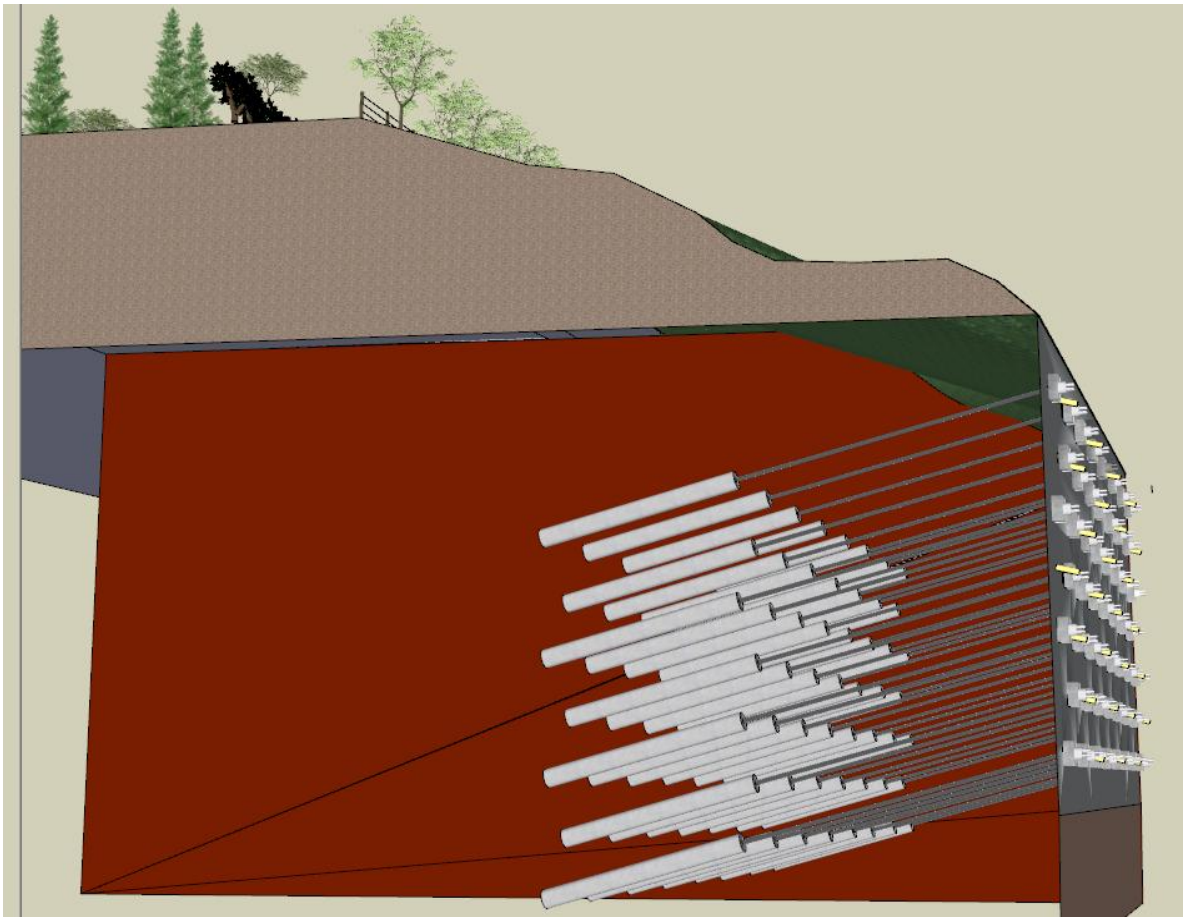


Ilustración 97 Detalles, Bulbo y lechada

La resistencia de la zona de anclaje se establece por la adherencia entre la lechada con el acero y la adherencia del bulbo del anclaje con el terreno que lo rodea.

- Lechada de cemento:

Generalmente compuesto a base de relaciones de cemento-agua, en algunos casos mortero de cemento, cuyo objetivo es el de proteger el acero en la zona libre y en la zona del bulbo.



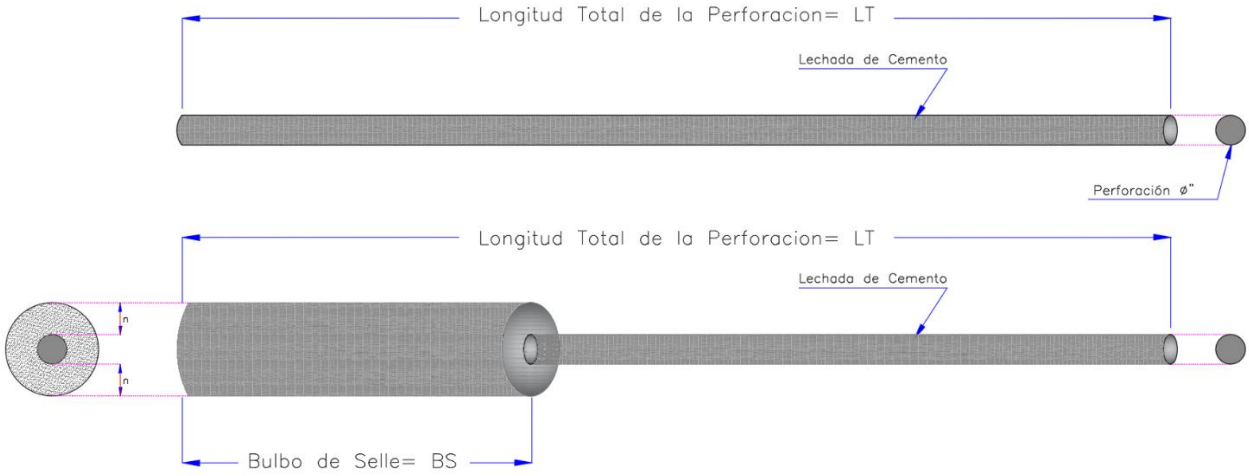


Ilustración 98 Detalles, Bulbo de selle y lechada de cemento

- Torón:

Es un tensor, barra o cordón de acero, el cual transmite la tensión desde el punto de apoyo hasta el suelo.

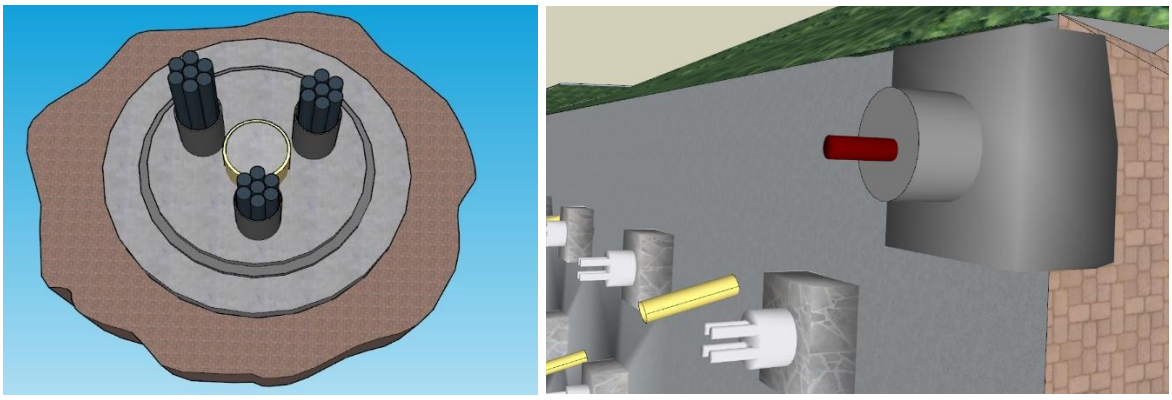


Ilustración 99 Detalles, Torones

- Malla de refuerzo:

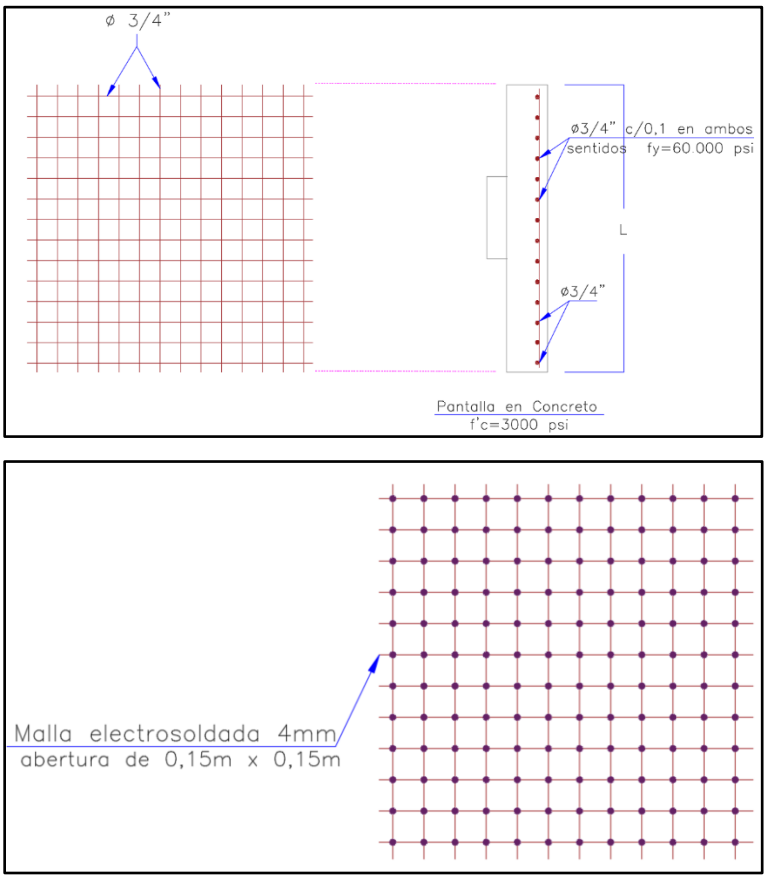


Ilustración 100 Malla de refuerzo

OBRAS HIDRAULICAS:

Manejo de Aguas Superficiales

Para el control de aguas superficiales se plantean canaletas perimetrales a la obra principal (Pantalla Anclada), estos detalles se encuentran en el anexo “Planos”.

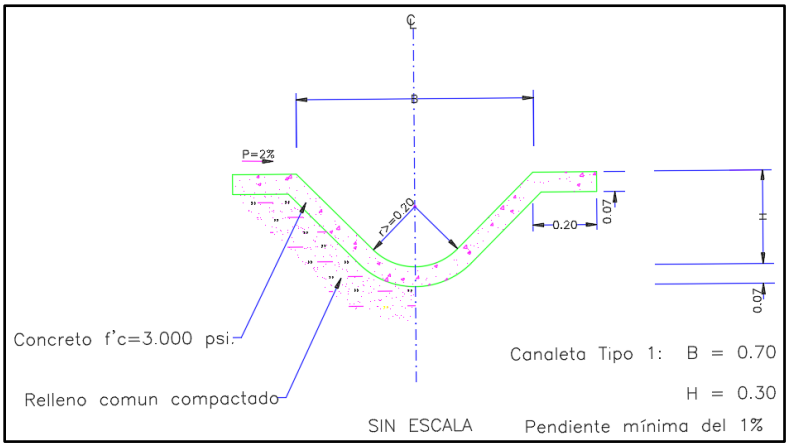


Ilustración 101 *Detalle de canaleta.*

En resumen, las obras Geotécnicas propuestas para mitigar la amenaza ante movimientos en masa en el sector estudiado son:

- Desmonte y Limpieza
- Retiro de Basuras y escombros del talud
- Perfilado a mano descolgado de talud
- Excavación en material granular
- Excavación en roca
- Excavación a mano con acarreo libre descolgado para zapata
- Distribución y conformación de material de corte insitu,
- Ejecución de perforaciones horizontales para anclajes activos
- Instalación de anclajes, Jacket de respaldo para revestimiento de perforación horizontal en anclajes.
- Instalación de acero para zapatas
- Instalación de malla electrosoldada,

- Llenado de inyección con lechada cementicia para anclajes
- Colocación de concreto para zapatas
- Concreto lanzado
- Instalación de platina, popora y cuña para anclajes
- Tensionamiento de los anclajes previamente instalados,
- Construcción de canaletas perimetrales,
- Instalación del sistema de abatimiento para líneas hidráulicas de infiltración interna y protección del trasdós de la estructura estabilizadora
- Cerramiento del sector para garantizar aislamientos

13. CLASIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA CON OBRAS GEOTÉCNICAS DE MITIGACIÓN.

Según las normas geotécnicas locales establecidos por la Corporación Autónoma Regional para la defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), la amenaza ante movimientos en masa con la implementación de obras geotecnias descritas en el capítulo anterior se clasifica según su valor y de acuerdo a las siguientes ilustraciones:

NIVEL DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA CON OBRAS GEOTÉCNICAS DE MITIGACIÓN.

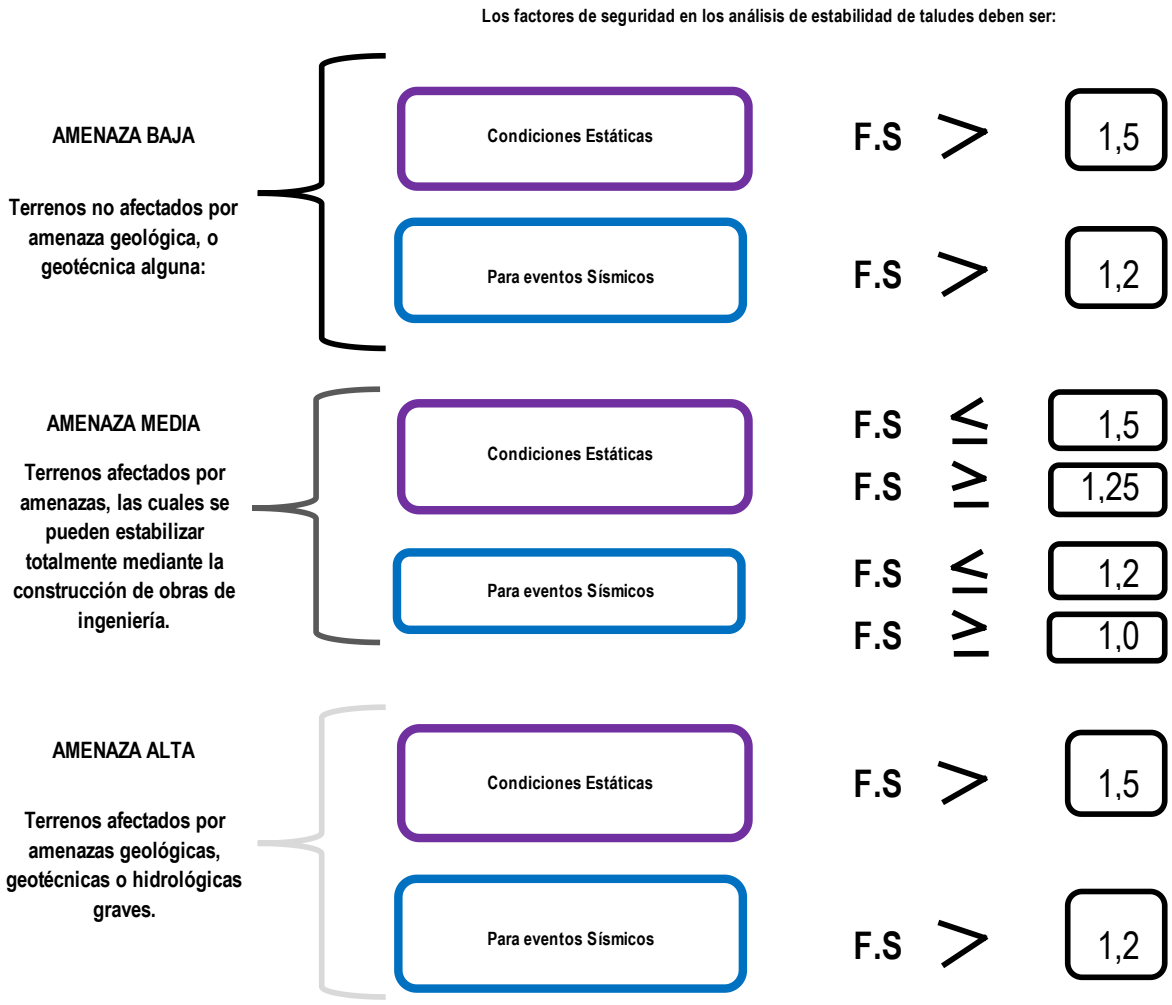
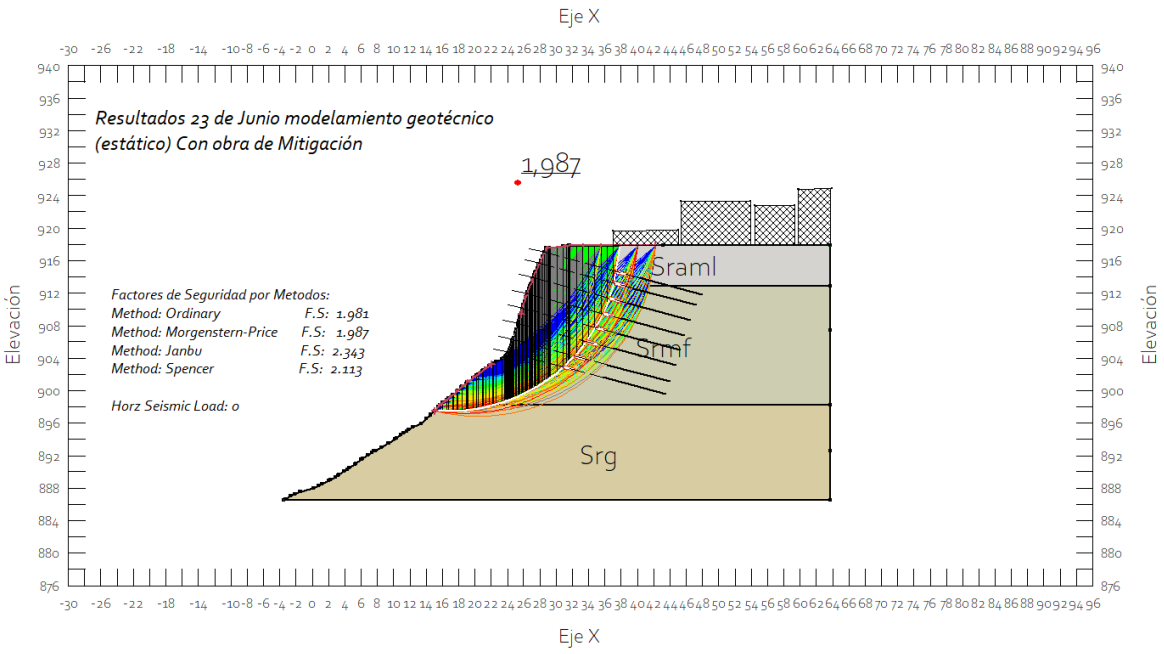
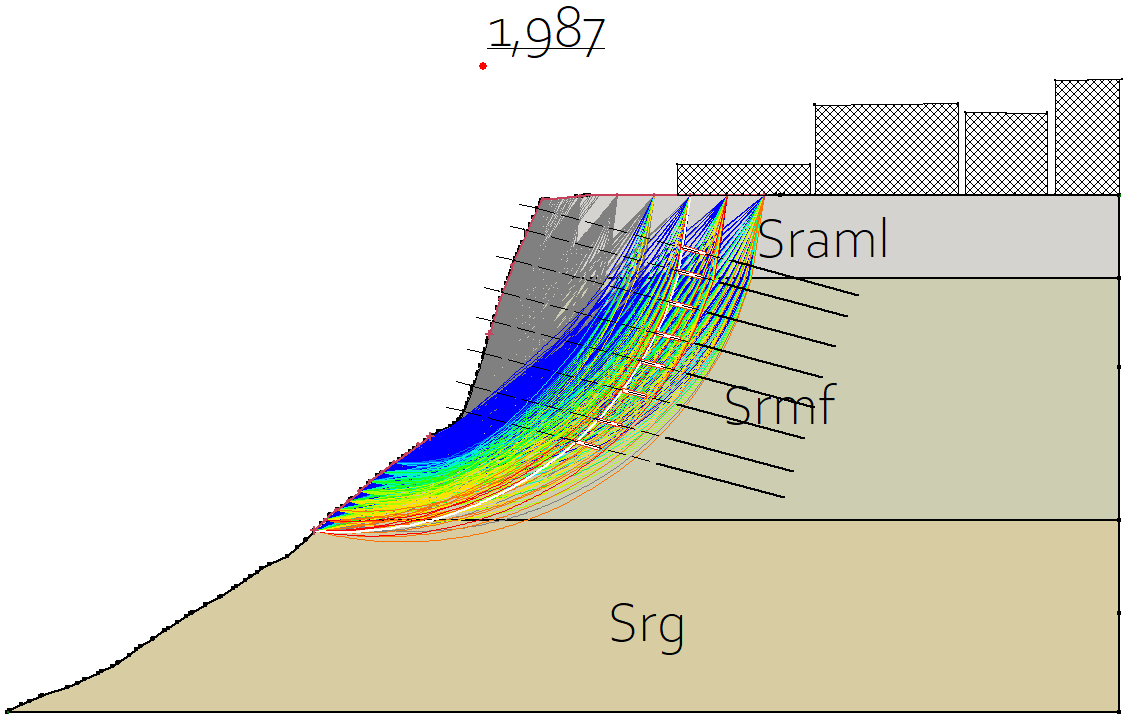


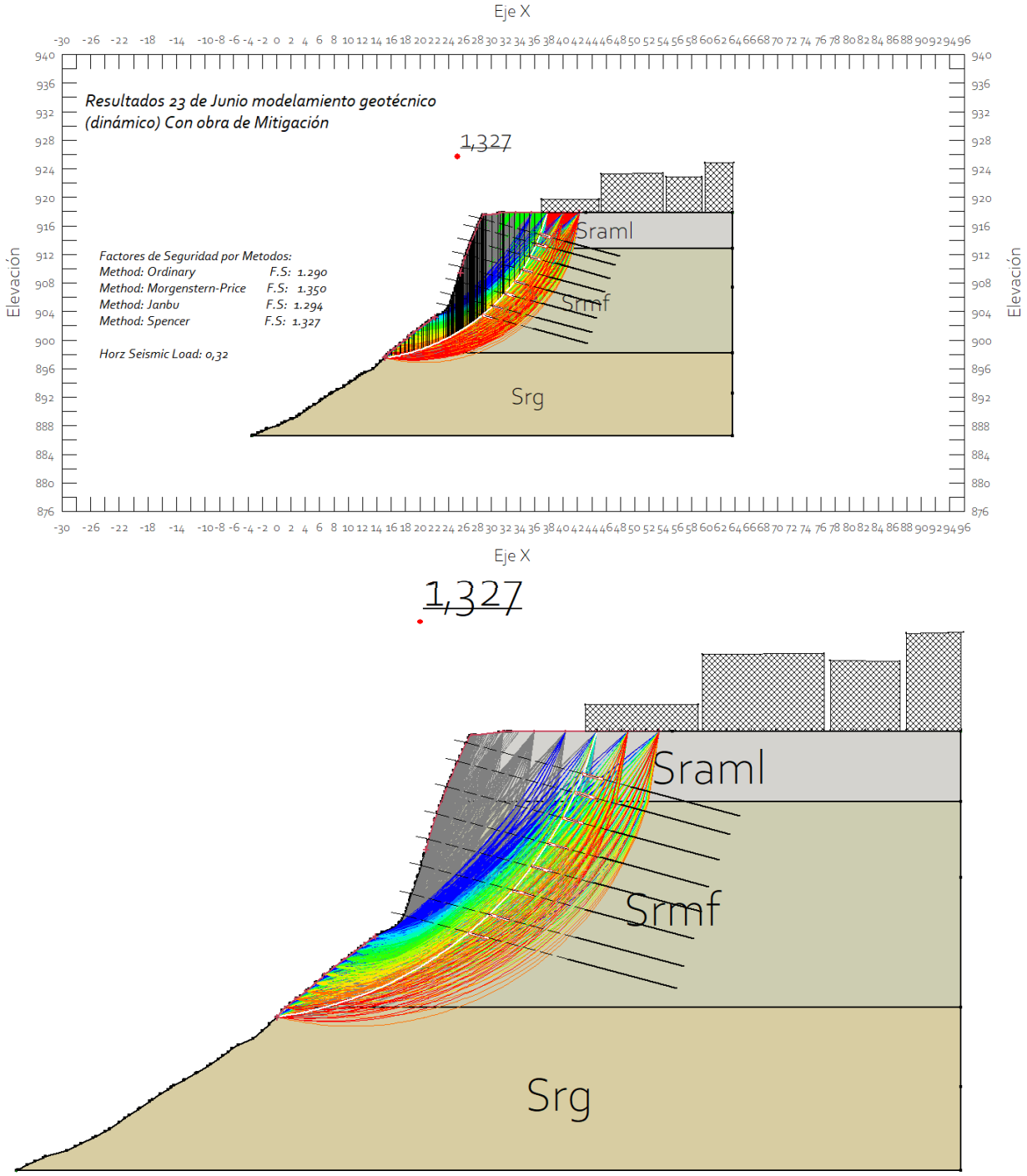
Ilustración 102 Detalle de canaleta.

13.1. Resultados modelamiento geotécnico (estático) con obra geotécnica de mitigación:





13.2. Resultados modelamiento geotécnico (dinámico) con obra geotécnica de mitigación:



A continuación, se muestran los resultados obtenidos tras el modelamiento geotécnico con la inclusión de obras geotécnicas de mitigación ante movimientos en masa para los diferentes métodos con su respectivo perfil o sección.

FACTORES DE SEGURIDAD (ANÁLISIS GEOTÉCNICO, MODELO DE ESTABILIDAD CON OBRA GEOTÉCNICA DE MITIGACIÓN)

		Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 7
AMENAZA BAJA Method: Ordinary	Static	1,995	1,992	1,985	1,981	1,987	1,988	1,990
	With Horz Seismic Load	1,299	1,297	1,293	1,290	1,295	1,297	1,298
AMENAZA BAJA Method: Morgenstern-Price	Static	2,004	1,998	1,992	1,987	1,994	1,995	1,997
	With Horz Seismic Load	1,362	1,359	1,353	1,350	1,356	1,358	1,359
AMENAZA BAJA Method: Janbu	Static	2,359	2,355	2,348	2,343	2,349	2,352	2,353
	With Horz Seismic Load	1,304	1,301	1,296	1,294	1,298	1,299	1,301
AMENAZA BAJA Method: Spencer	Static	2,132	2,127	2,119	2,113	2,121	1,124	2,126
	With Horz Seismic Load	1,339	1,336	1,330	1,327	1,331	1,333	1,334

Tabla 37 Resultados Factores de Seguridad, con obras de mitigación

14. CONCLUSIONES

El sector 23 de Junio está dominado por suelos residuales, representan aproximadamente 80 % del área, destacándose el suelo residual gravoso como la unidad predominante con cerca del 38 %, seguido por el suelo residual fino con el 24 % del área total y el suelo residual del miembro limos rojos 19 %, los suelos aluviales de cauce activo ocupan alrededor del 15 %, concentrándose en el fondo de la ladera y asociados a procesos de socavación y transporte de sedimentos. Los suelos coluviales recientes, aunque representan solo cerca del 5 % del área, corresponden a la.s zonas de mayor susceptibilidad a inestabilidad por su baja compactación y alta heterogeneidad

El sector 23 de Junio presenta un relieve claramente dominado por laderas denudacionales, las cuales en conjunto representan aproximadamente 62 % del área total, destacándose la ladera denudacional abrupta como la geoforma predominante con cerca del 33 %, seguida por la ladera denudacional muy abrupta con alrededor del 15 % y las laderas denudacionales inclinadas con un 7 %. Esta configuración confirma un entorno de ladera activa, donde la pendiente es el principal condicionante geomorfológico.

Las geoformas de origen fluvial ocupan cerca del 18 % del área, distribuidas entre el cauce aluvial activo (9 %) y las terrazas de cauce aluvial activo (9 %). Estas unidades concentran la dinámica hidrológica del sector y actúan como receptores del material movilizado desde las laderas, evidenciando una interacción directa entre procesos denudacionales y fluviales.

Desde el punto de vista de cobertura del suelo, el sector está dominado por bosque abierto, que ocupa aproximadamente 74 % del área, aportando una protección parcial frente a la erosión superficial. El tejido urbano continuo de viviendas representa cerca del 11 %, concentrado en la parte alta del sector, mientras que la red vial cubre alrededor del 4 %, actuando como elemento lineal que canaliza escorrentías. El canal de cauce activo ocupa aproximadamente 9 %, siendo el principal eje de drenaje. Las áreas deportivas y las tierras degradadas en conjunto no superan el 2 %, pero introducen puntos localizados de mayor intervención y potencial inestabilidad.

Previamente identificado el sector crítico, se establecieron medidas para eliminar la amenaza y garantizar la estabilidad del talud que en el caso de que se llegasen a presentar condiciones de lluvias fuertes acompañadas de un evento sísmico el talud permanezca estable debido a que en la ecuación de estabilidad las fuerzas resistentes sean superiores a las fuerzas actuantes en el mismo.

Se advierte que las obras planteadas en el presente estudio se diseñaron sobre las condiciones actuales en cada uno de los sectores (Topografía, cortes, rellenos e intervención antrópica).

Las obras Geotécnicas propuestas para mitigar la amenaza ante movimientos en masa en el sector estudiado son:

- Desmonte y Limpieza
- Retiro de Basuras y escombros del talud
- Perfilado a mano descolgado de talud
- Excavación en material granular
- Excavación en roca
- Excavación a mano con acarreo libre descolgado para zapata
- Distribución y conformación de material de corte insitu,
- Ejecución de perforaciones horizontales para anclajes activos
- Instalación de anclajes, Jacket de respaldo para revestimiento de perforación horizontal en anclajes.
- Instalación de acero para zapatas
- Instalación de malla electrosoldada,
- Llenado de inyección con lechada cementicia para anclajes
- Colocación de concreto para zapatas
- Concreto lanzado
- Instalación de platina, popora y cuña para anclajes
- Tensionamiento de los anclajes previamente instalados
- Construcción de canaletas perimetrales

- Instalación del sistema de abatimiento para líneas hidráulicas de infiltración interna y protección del trasdós de la estructura estabilizadora
- Cerramiento del sector para garantizar aislamientos

Esta obra mejora las condiciones de estabilidad ya que la condición de amenaza media y alta pasan a ser de amenaza baja por movimientos en masa implementada las obras diseñadas, tanto en condiciones estáticas como dinámicas.

Con las medidas anteriores se obtienen factores de seguridad superiores a 1.2 para la condición con sismo y superiores a 1,5 en condiciones estáticas.

Se recomienda canalizar las aguas superficiales provenientes de las vías del sector y de los techos de las viviendas mediante la construcción de canales colectores de aguas lluvias, para evitar la infiltración y dispersión de la matriz de los materiales blandos.

Se debe informar a la comunidad en general de la importancia de no arrojar basuras sobre los escarpes, ya que esto permite la concentración de humedad y contribuye a la inestabilidad del terreno.

Se recomienda la total implementación de las obras de mitigación propuestas en el presente estudio con el fin de reducir la amenaza ante movimientos en masa para mejorar las condiciones de vida de la población del sector.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BLOOM, A. Geomorphology: A systematic analysis of Late Cenozoic landforms. Waveland Pr Inc, Third edition, 482 p. 2004.

BONACHEA, JAIME Desarrollo, aplicación y validación de procedimientos y modelos para la evaluación de amenazas, vulnerabilidad y riesgo debidos a procesos geomorfológicos, PhD, tesis. 2006.

BOWLES, Joseph E. Foundation Analysis and Design. Fourth Edition. McGraw-Hill Book Company. Singapore, 1988.

BUENO y SOLARTE, Geología, geotecnia y comportamiento erosivo de las áreas de reserva forestal de Bucaramanga. Proyecto de grado (inédito). UIS, Escuela de Geología. Bucaramanga, Santander. Vol. 1, 140 Págs. 1994.

CARREÑO, M.L., CARDONA, O.D., Y BARBAT, A.H. Metodología para evaluación del desempeño de la gestión del riesgo. Monografías de Ingeniería Sísmica. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, CIMNE, Barcelona. 2004

CASTRO, E., VALENCIA, A., OJEDA, J., MUÑOZ, F. Y FONCESA, S. Evaluación de riesgos por fenómenos de remoción en masa, Guía metodológica, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Colombia. 2001

CEDIEL, F. El Grupo Girón una molasa mesozoica de la Cordillera Oriental: Servicio Geológico Nacional (Colombia), Bol, Geológico, v. XVI, p. 5-96. 1968.

CHOW, V., T., MAYS, L., W., MAIDMENT, D., R., “Hidrología Aplicada”, McGraw-Hill, Santafé de Bogotá. 1994.

Decreto 1523 de 24 de abril 2012 por el cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones.

DE PORTA, J., La terraza de Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander (Colombia), Bol de Geología, N°3, p. 3-13. 1959.

DELGADO VARGAS, Manuel. Ingeniería de Fundaciones. Primera Edición. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 1996.

Departamento Nacional de Estadística (DANE), Censo general 2018, disponible en: https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018

DIEDERIX, H., TORRES, E., HERNÁNDEZ, C. Y BOTERO, P. Modelo de evolución morfotectónica cuaternaria basado en evidencias estructurales, neotectónicas, y paleosismológicas de los principales sistemas de falla en la región de Bucaramanga. INGEOMINAS, 84 p. 2008

ETAYO,. ET AL., Mapa de terrenos geológicos de Colombia. Publicaciones geológicas especiales INGEOMINAS, (14-I): 235 p. 1983.

GLADE, T.,. Vulnerability assessment in landslide risk analysis. Die Erde 134, 121- 138. 2003

GOMEZ, I. MALDONADO, E. CHIO, G. "Simulación de funciones de vulnerabilidad y matrices de probabilidad de daño sísmico para edificaciones de hormigón armado en sistema pórtico". 2008.

GONZALEZ DE VALLEJO, Luis et al. Ingeniería Geológica. Madrid. PEARSON Prentice Hall, 744 p. 2002

Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. 2015.

HERMELÍN, M. Bases de Geología Ambiental. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 1987.

INGEOMINAS, Microzonificación Sísmica del Área Metropolitana de Bucaramanga. Fase I. Bucaramanga. (Hoy Servicio Geológico Colombiano). 1997.

INGEOMINAS. Geología del departamento de Santander. (Hoy Servicio Geológico Colombiano) 1999.

INGEOMINAS. Zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga. (Hoy Servicio Geológico Colombiano) 2001.

INGEOMINAS. Mapa geológico de Colombia. Escala 1:1'000.000. Bogotá. (Hoy Servicio Geológico Colombiano). 2007.

INGEOMINAS. Zonificación de amenaza por movimientos en masa de algunas laderas de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta. (Hoy Servicio Geológico Colombiano). 2009.

JIMÉNEZ, G., SPERANZA, F., FACCENA, C., BAYONA, G. Y MORA, A. Magnetic stratigraphy of the Bucaramanga alluvial Fan: Evidence for a < 3mm/yr slip rate for the Bucaramanga-Santa Marta Fault, Colombia. Journal of South American Sciences, In Press. 2014.

JUAREZ BADILLO, Eulalio y RICO RODRIGUEZ, Alfonso. Mecánica de suelos Tomo II. Teoría y aplicaciones de la mecánica de suelos. Editorial Limusa. México, 1991.

JULIVERT, M. Morfoestructura de la Zona de la Mesas al SW de Bucaramanga (Colombia S.A.). p. 9-41. 1958.

LANGENHEIM, R. L., JR. Preliminary report on the stratigraphy of Giron formation in Santander and Boyacá: Inst. Geol. Nal. (Colombia), Informe 1011, 20 p. 1954.

LEONE, F., ASTE, J.P., LEROI, E., Vulnerability assessment of elements exposed to mass-moving: working toward a better risk perception. In: Senneset, K. (Ed.), Landslides. Balkema, Rotterdam, pp. 263– 269. 1996

FELL, R. Landslide risk assessment and acceptable risk. Canadian Geotechnical Journal 31, 261–272. 1994

MACCAFERRI, Página web principal. Canalización. http://www.maccaferri-arg.com.ar/soluciones/soluciones-hidraulicas/canalizacion-retangular-y-trapezodial/16198-2.html. 2014.

MESCHEDE, M. Y FRISCH, W. A plate-tectonic model for the Mesozoicand Early Cenozoic history of the Caribbean plate. Tectonophysic 296, p. 269-291. 1998.

Minero-Ambiental y Nuclear INGEOMINAS. Ministerio de Minas y Energía. República de Colombia. p. 92.

Ministerio de Minas y Energía, Servicio Geológico Colombiano SGC, Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa,182 páginas. 2015

Monsalve, G.,"Hidrología en la Ingeniería", Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá D.C. 1999.

Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo-Resistente NSR-10. 2010.

NORMAS GEOTECNICA para el control y para la realización de estudios geológicos, geotécnicos e hidrológicos en el área de jurisdicción de la CDMB, Litografía Editar Impresores 2009.

PECK, Ralph, HANSON, Walter E. THORNBURN, Thomas H. Ingeniería de cimentaciones. Talleres de imprenta técnica de Azafrán. México, Enero de 1982.

PMA: GCA. Formato para el inventario de Movimientos en Masa, Versión 1.1. Proyecto Multinacional Andino. 2005.

ROYERO J. & CLAVIJO J. Mapa geológico generalizado. Departamento de Santander. Escala 1:400.000 Memoria explicativa. Instituto de Investigación e información geo científica, 2001.

Servicio Geológico Colombiano (SGC), Documento Metodológico De la Zonificación de Susceptibilidad y Amenaza por Movimientos en Masa escala 1:100.000. Versión No 2. 2013.

Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC), Coberturas de la tierra. Concepto. https://www.siac.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=471&conID=1447. 2014.

SUÁREZ, JAIME. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos. Publicaciones UIS. 1998.

SUAREZ, JAIME. Deslizamientos, Análisis geotécnico, Volumen 1. División de Publicaciones UIS, Bucaramanga, 588 pag. 2009.

SUAREZ, JAIME Deslizamientos, Técnicas de remediación, Volumen 2. División de Publicaciones UIS, Bucaramanga, 417 pag. 2009.

Verstappen, H. & Van Zuidan, R. 1975. ITC System of Geomorphological Survey. ITC, Amsterdan, 52 p.

TERZAGHI, Karl; PECK Ralph B. Mecánica de suelos en la Ingeniería práctica. Segunda edición. Cuarta reimpresión. Editorial El Ateneo S.A. España, 1980.

U. S. ARMY CORPS ENGINEERS. “Hydrologic Modeling System HEC-HMS” Technical Reference Manual, Hydrologic Engineering Center, Massachuusetts. 2000.

VARGAS, R., M. DÍAZ-GRANADOS. “Curvas Sintéticas Regionalizadas de Intensidad-Duración-Frecuencia para Colombia,” XIII Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología, Cali. 1998

Vulnerabilidad (2004), Oficina de las Naciones Unidas para la prevención y atención de desastres, Disponible en: http://www.unisdr.org/2004/campaign/booklet-spa/page8-spa.pdf.

WARD, D. Y GOLDSMITH, R. Geología de los cuadrangulos H-12: Bucaramanga y H-13: Pamplona, Departamento de Santander. Memoria explicativa. Boletín geológico, Vol. XXI, N°1-3, p. 1-131. 1973.

WARD, D.E. et al. Mapa Geológico de la Plancha 109 Rionegro. INGEOMINAS, 1977. Versión Digital 2010.

ZAFIRI, Z., HAVSOK, J. Y HANYGA. An insight into the Bucaramanga nest. Tectonophysics 443, p. 93-105. 2007