INFORME UNIFICADO
Versión 01



Estudio Detallado De Riesgo Por Movimientos En Masa, Estudio Básico De Amenaza Por Fenómenos De Inundación Y Avenidas Torrenciales, Y Análisis De Vulnerabilidad Al Cambio Climático De La Ladera Occidental De La Ciudad De Barranquilla

Contrato No. VIL-2022-0067b de 2022
18 de octubre de 2023

Informe unificado

Versión 2

AFD AGENCE FRANÇAISE DE DÉVELOPPEMENT

ALCALDÍA DE BARRANQUILLA

AGENCIA FRANÇAISE DE DÉVELOPPEMENT

ALCALDÍA DE BARRANQUILLA

CI AMBIENTAL Ingeniería Geotécnica y Ambiental

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

"ESTUDIO DETALLADO DE RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZA POR FENÓMENOS DE INUNDACIÓN Y AVENIDAS TORRENCIALES, Y ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LA LADERA OCCIDENTAL DE LA CIUDAD DE BARRANQUILLA"

INFORME UNIFICADO

OCTUBRE DE 2023
BOGOTÁ, D.C. – COLOMBIA

Contenido

1 Generalidades 42

1.1 Alcance 42

1.2 Localización 43

2 Recopilación de información secundaria 44

2.1 Antecedentes 44

2.2 Información secundaria 46

2.2.1 Evaluación Geotécnica de las Laderas Occidentales de Barranquilla fase I. Ingeominas (1997) 46

2.2.2 Código de Laderas del Distrito de Barranquilla. Sociedad de Ingenieros de Atlántico (2007) 48

2.2.3 Exploración del Subsuelo e Instrumentación de los Cerros Noroccidentales de Barranquilla. CI Ambiental (2010) 48

2.2.4 Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa de las Laderas Occidentales de Barranquilla, Departamento del Atlántico. Ingeominas (2011) 48

2.2.5 Estudio para la Zonificación de Amenaza por Remoción en Masa a Escala 1:500 en 160 Ha en la Cuenca del Arroyo el Salao II en el Distrito de Barranquilla. CI Ambiental (2013) 49

2.2.6 Estudio para la evaluación del nivel de amenaza, vulnerabilidad y riesgo a que se encuentran expuestas las viviendas y habitantes del sector de loma roja y la propuesta de diseños de las obras de mitigación necesarias para garantizar la estabilidad – CI Ambiental (2011) 52

2.2.7 Análisis de Amenaza y Vulnerabilidad al Cambio Climático – Geoadaptive (2013) 52

2.2.8 Plan estratégico para el manejo integral del drenaje pluvial de la cuenca occidental de la ciudad de barranquilla, departamento del atlántico, Colombia – Alianza temporal estudios cuenca occidental Barranquilla - 10/2014 53

2.2.9 Estudio de amenaza, vulnerabilidad y riesgo de las viviendas del barrio ciudad jardín colindantes con el proyecto: “mejoramiento de la carrera 38 en el sitio critico denominado el rubí y la vía acceso al puerto de Barranquilla” – CI Ambiental 03/2016 53

2.2.10 Revisión de la Zonificación, Mejoramiento de Escala (1:25.000) y el Abordaje al Tema de Susceptibilidad de Amenazas y Vulnerabilidad, como Avance en el Ajuste al Plan de Ordenamiento de la Cuenca Hidrográfica (POMCA) Ciénaga de Mallorquín y los Arroyos Grande y León – Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA) – 2015 56

2.2.11 Plan de Gestión Ambiental Regional del Departamento del Atlántico 2012 - 2022 (PGAR) – Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA) – 2014 62

3 Cartografía base 64
3.1 Reconocimiento área de estudio 64
3.2 Construcción de mojones 64
3.3 Georreferenciación 64
3.3.1 Punto GPS1 65
3.3.2 Puntos CI#1, CI#2, CI#3, CI#4, CI#5 67
3.3.3 Puntos de control y chequeo 70
3.4 Levantamiento de información LiDAR 71
3.4.1 Marco conceptual y metodológico 73
3.4.2 Planificación de los Sobrevuelos 73
3.4.3 Sobrevuelo Área de Estudio 73
3.5 Productos para la Cartografía Base 74
3.5.1 Nube de puntos 74
3.5.2 Modelo digital de superficie 74
3.5.3 Modelo digital del terreno 74
3.5.4 Curvas de nivel 79
3.5.5 Ortomosaicos 79
3.5.6 Validación IGAC 79
4 Hidrología 82
4.1 Caracterización regional 82
4.2 Caracterización del clima de Barranquilla 83
4.2.1 El Sistema Hidrológico de Barranquilla 86
4.3 Estudios hidrológicos 87
4.3.1 Inventario Información Hidrogeológica 87
4.3.2 Comportamiento de la Precipitación 89
4.4 Curvas IDF existentes 92
4.5 Cálculo de IDF Mediante la Ecuación de Wenzel 95
4.6 Hietogramas de Diseño 104

5 Evaluación de amenaza por inundación 121
5.1 Modelación hidráulica 2D (RiverFlow2D) 121
5.2 Modelación hidráulica polígono norte: Miramar 122
5.2.1 Generación de la malla y determinación de elevaciones 122
5.2.2 Coeficientes de Manning 123
5.2.3 Infiltración 123
5.2.4 Lluvias Críticas 125
5.2.5 Condiciones de frontera y particularidades 125
5.2.6 Resultados de la modelación zona polígono norte 125
5.3 Modelación hidráulica polígono sur: Ladera occidental Barranquilla 127
5.3.1 Generación de la malla y determinación de elevaciones 127
5.3.2 Coeficientes de Manning 130
5.3.3 Infiltración 131
5.3.4 Lluvias Críticas 132
5.3.5 Condiciones de frontera y particularidades 132
5.3.6 Resultados de la modelación zona polígono sur 132
5.4 Zonificación de la Amenaza por Inundación 135
5.4.1 Grado de amenaza (USBR) 135
5.4.2 Resultados zona del polígono norte (Miramar) 136
5.4.3 Resultados zona del polígono sur (Ladera Occidental) 152
6 Evaluación de Amenaza por Avenidas Torrenciales 170
6.1 Historicidad 170
6.2 Aporte erosivo 170
6.3 Coberturas geológicas 171
6.4 Topografía 171
6.5 Morfometría 171
7 Geología 176
7.1 Descripción del Estudio 176

7.2 Litología Regional 176
7.2.1 Formación las Perdices (PgNgp) 177
7.2.2 Formación la Popa 178
7.2.3 Depósitos Eólicos 181
7.2.4 Depósitos Aluviales 181
7.3 Geología Estructural 181
7.3.1 Lineamiento del Mirador 183
7.3.2 Lineamiento de las Terrazas - el Rosario 184
7.3.3 Lineamiento el Salado 184
7.3.4 Lineamiento el Bosque 184
7.3.5 Lineamiento el Romano 184
7.3.6 Lineamiento Santo Domingo 184
7.4 Diaclasamientos 184
7.5 Unidades Geológicas Superficiales 185
7.6 Unidades de Roca 188
7.6.1 Roca Dura (Rd) 189
7.6.2 Roca Blanda (Rb) 190
7.6.3 Material Suelto (M) 193
7.6.4 Suelos Transportados (St) 194
7.7 Movimientos en Masa (Stmm) 197
8 Inventario de Deslizamientos 199
8.1 Clasificación del Movimiento 199
8.1.1 Deslizamientos 199
8.1.2 Caída 201
8.1.3 Flujos 201
8.1.4 Volcamiento 202
8.1.5 Reptación 202
8.2 Análisis e Indicadores Estadísticos Morfodinámicos 203

8.2.1 Distribución Espacial de los Procesos....203
8.2.2 Evolución Temporal de los Procesos Inventariados....207
8.2.3 Relación entre los Procesos Inventariados y la Unidad Geológica Superficial....208
8.2.4 Estado de los Movimientos....210
8.2.5 Mecanismos de Falla Predominantes....210
8.2.6 Relación entre los Procesos Inventariados y la Distribución....211
8.3 Descripción de Sitios Críticos....212
8.3.1 Movimiento Villa del Rosario las Terrazas....212
8.3.2 Movimiento Barrio el Silencio Carrera 26 C Calle 79 B....215
8.3.3 Movimiento Barrio Mequejo....218
8.3.4 Movimiento La Manga....221
8.3.5 Movimiento Nueva Colombia Sector Occidental....224
8.3.6 Movimiento Sector Cuchilla de Villate....230
8.3.7 Movimiento Villa Caracas entre Calle 61 y 64 y Carrera 9 y 12....233
8.3.8 Movimiento Siete de Abril....236
8.3.9 Movimiento Siete de Abril Sector Carrizal y Santo Domingo....239
8.3.10 Movimiento Carrera 43 Miramar....243
9 Geomorfología....246
9.1 Ambiente Morfogenético Estructural (S)....246
9.1.1 Plataforma Arrecifal Ondulada (Splao)....246
9.1.2 Escarpe de Plataforma en Arenisca (Sepla)....247
9.1.3 Escarpe de Plataforma en Marga (Seplm)....247
9.1.4 Escarpe de Plataforma en Arena Suelta (Sepas)....247
9.2 Ambiente Morfogenético Fluvial (F)....248
9.2.1 Planicie Aluvial (Fplal)....248
9.3 Ambiente Morfogenético Denudacional (D)....248
9.3.1 Ladera Arcillosa Erosionada (Dlaer)....248
9.3.2 Ladera Arenosa Erosionada (Dlare)....249

9.3.3 Ladera de Tolus (Dlata) 249
9.3.4 Lóbulos de Deslizamiento (Dlode) 249
9.4 Ambiente Morfogenético Antrópico (A) 250
9.4.1 Desechos y Escombros Mineros (Ademi) 250
9.4.2 Botadero de Escombros y Basura (Abeba) 250
10 Exploración y Ensayos de Laboratorio 251
10.1 Exploración Directa el Suelo 251
10.1.1 Perforación Geotécnica por Rotación 251
10.1.2 Apiques 261
10.2 Instrumentación Geotécnica 267
10.2.1 Piezómetro 267
10.2.2 Inclinómetro 268
10.3 Exploración Indirecta del Subsuelo 273
10.3.1 Ensayos de Líneas de Refracción Sísmica 273
10.4 Caracterización Geotécnica 302
10.4.1 Ensayos de laboratorio 303
11 Cobertura y Uso del Suelo 333
11.1 Metodología 333
11.2 Clasificación y Categorización 333
11.3 Estudios Anteriores 335
11.3.1 Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica de la Ciénaga de Mallorquín 336
11.3.2 Ingeominas 2011 337
11.4 Cobertura y Uso del Suelo Escala 1:5.000 339
11.5 Patrones de Cobertura 342
11.6 Especímenes Vegetales de la Zona 345
11.6.1 Alistonia 346
11.6.2 Clemón 346
11.6.3 Roble Morado 346

11.6.4 Acacia 346
11.6.5 Olivo Verde 346
11.6.6 Lluvia de Oro 346
11.6.7 Uva Playa 347
11.7 Profundidad Efectiva 347
12 Amenaza Sísmica Regional 350
12.1 Selección de Señales de Diseño 353
13 Modelo Geológico – Geotécnico 355
13.1 Arenas de la Formación Perdices 355
13.2 Arcillolitas Láminas de la Formación Perdices 355
13.3 Arcillolitas Calcáreas de la Formación la Popa 356
13.4 Suelos de Cauce y Terrazas Aluviales 356
13.5 Llenos Antrópicos de Escombros y Basuras 356
13.6 Llenos Antrópicos de Desechos de Minería y Escombros 356
13.7 Calizas Arrecifales de la Formación la Popa 357
13.8 Arcillas Expansivas 357
13.9 Areniscas Cuarzosas de la Formación la Popa 358
13.10 Movimientos en Masa 358
13.11 Perfiles Geológico – Geotécnicos 360
14 Evaluación de la Amenaza por Movimientos en Masa 379
14.1 Evaluación de la Amenaza por Movimientos en Masa 379
14.1.1 Evaluación de Amenaza 379
14.1.2 Método de Análisis 379
14.2 Modelo Geológico – Geotécnico 381
14.3 Parámetros de Resistencia 382
14.4 Agentes Detonantes 383
14.4.1 Sismo 383
14.4.2 Niveles de Aguas Freáticas 384

14.5 Escenarios de Análisis 388
14.6 Métodos Numéricos de Análisis 388
14.6.1 Modelo de Pendientes del Terreno 388
14.6.2 Uso del Método de Monte Carlo 392
14.7 Evaluación de Amenaza por Movimientos en Masa 392
14.7.1 Evaluación de Amenaza para Periodo de Exposición de 1 Año 403
14.7.2 Evaluación de Amenaza para el Periodo de Exposición de 10 Años 404
14.7.3 Evaluación de la Amenaza para Periodo de Exposición de 50 Años 405
14.7.4 Evaluación de la Amenaza por Efecto de Cambio Climático. Periodo 2035 – 2070 406
14.8 Descripción de las Zonas de Amenaza 407
14.8.1 Zona de Amenaza Baja 407
14.8.2 Zona de Amenaza Media 409
14.8.3 Zona de Amenaza Alto 410
14.8.4 Probabilidad de falla a partir de análisis bidimensionales 411
14.9 Parámetros De Intensidad por Movimientos en Masa (Mm) 413
14.10 Problemática de las Arcillas Expansivas en Barranquilla 416
15 Evaluación de la Vulnerabilidad 422
15.1 Evaluación de la Vulnerabilidad Física 422
15.1.1 Identificación, Localización y Caracterización de los Elementos Expuestos 422
15.1.2 Fragilidad 439
15.1.3 Escenarios de Vulnerabilidad por Movimientos en Masa 448
15.2 Evaluación de la Vulnerabilidad Social 460
15.2.1 Sector Por Fin 460
15.2.2 Sector La Libertad 475
15.2.3 Sector Me Quejo – Loma Roja 484
16 Evaluación del Riesgo 499
16.1 Descripción del Estudio 499
16.2 Categorización de Daños Esperados por Movimientos en Masa 499

16.2.1 Evaluación del Riesgo en Edificaciones por Movimientos en Masa....501

16.2.2 Evaluación del Riesgo en Personas por Movimientos en Masa....507

16.2.3 Evaluación de riesgo por movimientos en masa sobre líneas vitales....512

17 Propuestas de Obras de Mitigación en Sectores Críticos....517

17.1 Antecedentes....517

17.2 Sector Loma Roja – Me Quejo la Manga....519

17.3 Sector las Terrazas – Villa del Rosario....521

18 Medidas de Intervención....527

18.1 Riesgo mitigable y no mitigable....530

19 Introducción....532

20 Generalidades....532

20.1 Alcance....532

20.2 Localización....533

21 Recopilación de Información Secundaria....534

21.1 Antecedentes....534

22 Recopilación de la Informacion Pluviometrica Necesaria para la Estimacion de las Curvas de Intensidad-Duracion-Frecuencia (IDF) las Cuales Caracterizaran la Zona Bajo Estudio....536

22.1 Selección de las Estaciones Pluviométricas de la Zona de Estudio....536

22.2 Recopilación de la información de láminas máximas anuales de precipitación para duraciones de 5, 10, 15, 30, 60, 120, 180, 360, 540, 720 y 1440 minutos; en las estaciones pluviométricas seleccionadas....538

22.3 Recopilación de Curvas de IDF Estimadas por el IDEAM, en Estaciones Las Flores y Cortissoz, Utilizando Información Disponible durante el Período 1971-2010.....539

23 Ajustes de Distribuciones de Probabilidades de Eventos Extremos a las Series de Datos Diarios Maximos Anuales Registrados....541

24 Estimación de las Curvas IDF Representativas de la Zona de Estudio, para la Situacion Climatica Actual, Utilizando las Curvas Estimadas por el IDEAM....546

24.1 Cálculo de IDF Mediante la Ecuación de Wenzel....547

24.2 Hietogramas de Diseño....556

25 Estimación de las Curvas de Intensidad-Duracion-Frecuencia (IDF) Afectadas por el Cambio Climatico 581

25.1 Descripción de la Metodología de Análisis Propuesta en la Referencia Martel JL, et al. (2021), para la Estimación de las Curvas IDF Afectadas por el Cambio Climático. 581

25.1.1 Resumen del Basamento Teórico de la Metodología Propuesta 581

25.1.2 Procedimiento Aplicado para la Obtención de la Información de Temperaturas Medias Anuales y de Láminas Máximas Anuales de Precipitación Diaria, para Períodos Históricos y Futuros, Utilizando la Base de Datos de la Fase 6 del Proyecto de Intercomparación de Modelos Climáticos (CMIP6), Disponible en el Centro de Simulación Climática de la NASA. 584

25.1.3 Procedimiento Aplicado para la Obtención de la Información de Temperaturas Medias Anuales y de Láminas Máximas Anuales de Precipitación Diaria, para Períodos Históricos y Futuros, Utilizando la Base de Datos de la Fase 6 del Proyecto CMIP6, Disponible en el Centro de Simulación Climática de la NASA. 585

25.1.4 Procesamiento de las Series de Temperaturas Medias Anuales y de Láminas Máximas Anuales de Precipitación Diaria, a los Fines de Obtener el Factor que Permite la Obtención de las Curvas IDF Considerando el Clima Futuro 591

25.2 Aplicación de la Metodología Descrita Utilizando los Datos de las Estaciones Las Flores y Cortíssoz 593

25.2.1 Resultados Obtenidos para el Período Futuro 2071-2100.....595

25.2.2 Resultados Obtenidos para el Periodo Futuro 2035-2064.....595

25.3 Estimación de las Curvas IDF, Afectadas por el Cambio Climático, Durante los Periodos 2035-2064 y 2071-2100..... 595

25.4 Efecto Esperado en la Temperatura para los Periodos de 2035-2064 y 2071-2100..... 608

25.4.1 Cambio de Temperatura para el Periodo 2035-2064.....608

25.4.2 Cambio de Temperatura para el Periodo 2071-2100.....609

26 Estimación de los Hietrogramas de Diseño Asociados a Diferentes Periodos de Retorno y Consideran o No el Efecto del Cambio Climatico 612

27 Medidas de Adaptación al Cambio Climático..... 614

27.1 Diseño de Políticas de Ciudad 614

27.2 Optimización en la Disposición de Residuos 614

27.3 Invertir en Energías Renovables..... 614

27.4 Invertir en Infraestructura para Vehículos Eléctricos 615

27.5 Mejorar la Eficiencia Energética en Edificaciones..... 615

28 Conclusiones..... 616

28.1 Amenaza por inundación 616

28.2 Conclusiones AVR por movimientos en masa 620

28.3 Recomendaciones AVR por movimientos en masa 630

28.4 Conclusiones y Recomendaciones: Cambio Climático 640

29 Referencias Bibliográficas 643

FIGURAS

Figura 1.1 Zona de estudio en el marco de la ciudad de Barranquilla. Fuente: TDR AFP, 2022 43

Figura 2.1 Eventos de movimientos en masa (SIMMA, 2023). 45

Figura 2.2 Geología regional de Barranquilla (SGC, 2020) 46

Figura 2.3 Zona de estudio para la Evaluación Geotécnica de las Laderas Occidentales de Barranquilla Fase I 47

Figura 2.4 Escenario de amenaza 0 50

Figura 2.5 Escenario de amenaza 4 51

Figura 2.6 Alternativas Seleccionadas tomado y adaptado de: PMIB 2015 51

Figura 2.7 Exploración existente de la zona del polígono norte (Miramar). 54

Figura 2.8 Exploración existente de la zona del polígono sur (Ladera Occidental) 55

Figura 2.9 Cobertura del Suelo en el Área de Estudio. Extracto del Mapa de Cobertura del Pomca de la Cuenca de la Ciénaga Mallorquín 56

Figura 2.10 Uso del Suelo en el Área de Estudio. Extracto del Mapa de Uso del Pomca de la Cuenca de la Ciénaga Mallorquín 56

Figura 2.11 Cuenca y Subcuencas de Mallorquín 57

Figura 2.12 Curva IDF Cuenca Arroyo León o Arroyo Hondo (POMCA) 58

Figura 2.13 Amenaza por Erosión, Inundación, Remoción en Masa e Incendios Forestales de la Cuenca de Mallorquín (POMCA) 59

Figura 2.14 Amenaza por Sismicidad de la Cuenca de Mallorquín (POMCA) 60

Figura 2.15 Zonificación Ambiental POMCA Mallorquín 2007 61

Figura 2.16 Propuesta de ajuste a la zonificación ambiental de la cuenca de la Ciénaga de Mallorquín y los Arroyos Grande y León (2015) 62

Figura 3.1 Ubicación del punto geodésico GPS1 65

Figura 3.2 Punto GPS 1. 65

Figura 3.3 Occupation view BQLA a GPS1. 66
Figura 3.4 Observation view BQLA a GPS1. 66
Figura 3.5 Map view GPS1. 66
Figura 3.6 Occupation view de GPS1 a los puntos C#1, C#2, C#3, C#4 y C#5. 67
Figura 3.7 Observation view de GPS1 a los puntos C#1, C#2, C#3, C#4 y C#5. 68
Figura 3.8 Map View de los puntos C#1, C#2, C#3, C#4 y C#5. 68
Figura 3.9 Punto de control típico. 70
Figura 3.10 Localización general puntos de control. 70
Figura 3.11 Observation View de los puntos de control. 70
Figura 3.12 Modelo Digital de Superficie para el polígono norte (Miramar). 75
Figura 3.13 Modelo Digital de Superficie para el polígono sur. 76
Figura 3.14 Modelo Digital del Terreno para el polígono norte (Miramar). 77
Figura 3.15 Modelo Digital del Terreno para el polígono sur. 78
Figura 3.16 Ortomosaico del polígono norte (Miramar). 80
Figura 3.17 Ortomosaico del polígono sur. 81
Figura 4.1 Localización Geodésica Departamento del Atlántico (Tomado de Google Earth). 82
Figura 4.2 Atlántico - Clasificación Climática (IDEAM). 84
Figura 4.3 Atlántico – Temperatura Media Anual °C (IDEAM). 85
Figura 4.4 Atlántico – Precipitación Total Anual (mm) (IDEAM). 85
Figura 4.5 Atlántico – Número de Días con Lluvia (IDEAM). 86
Figura 4.6 Mapa de ubicación de las estaciones más cercanas a la zona de estudio 88
Figura 4.7 Totales Mensuales de precipitación Estación Las Flores. 89
Figura 4.8 Totales Mensuales de precipitación Estación Ernesto Cortissoz. 90
Figura 4.9 Máximo Mensual de precipitación en 24h Estación Las Flores. 91
Figura 4.10 Máximo Mensual de precipitación en 24h Estación Ernesto Cortissoz. 91
Figura 4.11 IDF para la estación Las Flores (UNAL, 2016). 93
Figura 4.12 IDF para la estación Aeropuerto Ernesto Cortissoz (UNAL, 2016). 94
Figura 4.13 Extrapolación de periodos de retorno para la estación Aeropuerto Ernesto Cortissoz. 97

Figura 4.14 Curvas IDF para la estación Aeropuerto Ernesto Cortissoz a partir de los parámetros de ajuste. 100

Figura 4.15 Curvas PDF para la estación Aeropuerto Ernesto Cortissoz a partir de los parámetros de ajuste. 101

Figura 4.16 Curvas IDF para la estación Las Flores a partir de los parámetros de ajuste. 102

Figura 4.17 Curvas PDF para la estación Las Flores a partir de los parámetros de ajuste. 103

Figura 4.18 Hietograma de profundidades para la estación Aeropuerto Ernesto Cortissoz. 112

Figura 4.19 Hietograma de intensidades para la estación Aeropuerto Ernesto Cortissoz. 112

Figura 4.20 Hietograma de profundidades para la estación Las Flores. 119

Figura 4.21 Hietograma de intensidades para la estación Las Flores. 119

Figura 5.1 Esquema de la malla de elementos definida para la zona del polígono de Miramar. 122

Figura 5.2 Valores de coeficiente de rugosidad de Manning para la zona del polígono norte. 123

Figura 5.3 Valores de infiltración para la zona del polígono norte. 124

Figura 5.4 Hietograma de intensidades para la estación Las Flores. 125

Figura 5.5 Profundidad máxima de la lámina de agua para el polígono norte, zona de Miramar evento de lluvia Tr=100 años. 126

Figura 5.6 Velocidad máxima del agua para el polígono norte, zona de Miramar evento de lluvia Tr=100 años. 127

Figura 5.7 Esquema de la malla de elementos definida para la zona del polígono sur. 128

Figura 5.8 Vista ampliada de la malla de elementos finitos para la zona del polígono sur en su parte superior. 129

Figura 5.9 Valores de coeficiente de rugosidad de Manning para la zona del polígono sur. 130

Figura 5.10 Valores de infiltración para la zona del polígono norte. 131

Figura 5.11 Hietograma de intensidades para la estación Aeropuerto Ernesto Cortissoz. 132

Figura 5.12 Profundidad máxima de la lámina de agua para el polígono sur, zona de laderas occidentales evento de lluvia Tr=100 años. 133

Figura 5.13 Velocidad máxima del agua para el polígono norte, zona de Miramar evento de lluvia Tr=100 años. 134

Figura 5.14 Relación Profundidad-Velocidad para determinación del grado de amenaza por la USBR para hogares. 136

Figura 5.15 Resultados de amenaza por inundación para las lluvias críticas con Tr=2años para el polígono norte. 137

Figura 5.16 Resultados de amenaza por inundación para las lluvias críticas con Tr=5años para el polígono norte. 138

Figura 5.17 Resultados de amenaza por inundación para las lluvias críticas con Tr=10años para el polígono norte. 139

Figura 5.18 Resultados de amenaza por inundación para las lluvias críticas con Tr=25años para el polígono norte. 140

Figura 5.19 Resultados de amenaza por inundación para las lluvias críticas con Tr=50años para el polígono norte. 141

Figura 5.20 Resultados de amenaza por inundación para las lluvias críticas con Tr=100años para el polígono norte. 142

Figura 5.21 Resultados de amenaza por inundación para las lluvias críticas con Tr=200años para el polígono norte. 143

Figura 5.22 Resultados de amenaza por inundación para las lluvias críticas con Tr=500años para el polígono norte. 144

Figura 5.23 Gráfico de distribución porcentual de áreas según grado de amenaza para la zona de Miramar, Tr=2 años. 145

Figura 5.24 Gráfico de distribución porcentual de áreas según grado de amenaza para la zona de Miramar, Tr=5 años. 146

Figura 5.25 Gráfico de distribución porcentual de áreas según grado de amenaza para la zona de Miramar, Tr=10 años. 146

Figura 5.26 Gráfico de distribución porcentual de áreas según grado de amenaza para la zona de Miramar, Tr=25 años. 147

Figura 5.27 Gráfico de distribución porcentual de áreas según grado de amenaza para la zona de Miramar, Tr=50 años. 147

Figura 5.28 Gráfico de distribución porcentual de áreas según grado de amenaza para la zona de Miramar, Tr=100 años. 148

Figura 5.29 Gráfico de distribución porcentual de áreas según grado de amenaza para la zona de Miramar, Tr=200 años. 148

Figura 5.30 Gráfico de distribución porcentual de áreas según grado de amenaza para la zona de Miramar, Tr=500 años. 149

Figura 5.31 Acercamiento de la zona de interés cerca al cruce con la vía circunvalar para el modelo Tr=500a. 149

Figura 5.32 Culvert que atraviesa la circunvalar con presencia de materiales sólidos 150

Figura 5.33 Zona de culvert cerca a muro de tierra. 150

Figura 5.34 Zona de encharcamiento en la zona. 151

Figura 5.35 Resultados de amenaza por inundación para las lluvias críticas con Tr=2años para el polígono sur.....152

Figura 5.36 Resultados de amenaza por inundación para las lluvias críticas con Tr=5años para el polígono sur.....153

Figura 5.37 Resultados de amenaza por inundación para las lluvias críticas con Tr=10años para el polígono sur.....154

Figura 5.38 Resultados de amenaza por inundación para las lluvias críticas con Tr=25años para el polígono sur.....155

Figura 5.39 Resultados de amenaza por inundación para las lluvias críticas con Tr=50años para el polígono sur.....156

Figura 5.40 Resultados de amenaza por inundación para las lluvias críticas con Tr=100años para el polígono sur.....157

Figura 5.41 Resultados de amenaza por inundación para las lluvias críticas con Tr=200años para el polígono sur.....158

Figura 5.42 Resultados de amenaza por inundación para las lluvias críticas con Tr=500años para el polígono sur.....159

Figura 5.43 Gráfico de distribución porcentual de áreas según grado de amenaza para la zona de Miramar, Tr=2 años.....160

Figura 5.44 Gráfico de distribución porcentual de áreas según grado de amenaza para la zona de Miramar, Tr=5 años.....160

Figura 5.45 Gráfico de distribución porcentual de áreas según grado de amenaza para la zona de Miramar, Tr=10 años.....161

Figura 5.46 Gráfico de distribución porcentual de áreas según grado de amenaza para la zona de Miramar, Tr=25 años.....161

Figura 5.47 Gráfico de distribución porcentual de áreas según grado de amenaza para la zona de Miramar, Tr=50 años.....162

Figura 5.48 Gráfico de distribución porcentual de áreas según grado de amenaza para la zona de Miramar, Tr=100 años.....162

Figura 5.49 Gráfico de distribución porcentual de áreas según grado de amenaza para la zona de Miramar, Tr=200 años.....163

Figura 5.50 Gráfico de distribución porcentual de áreas según grado de amenaza para la zona de Miramar, Tr=500 años.....163

Figura 5.51 Zona de amenaza localizada en la Cll 103 con Cra 33. 164

Figura 5.52 Zona de amenaza localizada en la Cra. 27B con Cll 81D. 165

Figura 5.53 Zonas de amenaza localizadas entre la Cra. 27B con Cll 81D y la Cll 72B con cra 22B. 165

Figura 5.54 Zona de amenaza localizada en la Cra 12A con circunvalar. 166

Figura 5.55 Zonas de amenaza localizadas entre la Cll 77 con Cra 9J1 y la diag 69 con cra 9L. 167

Figura 5.56 Zona de amenaza localizada en la Cll 93 entre las carreras 9 y 9B. 167

Figura 5.57 Zonas de amenaza localizadas entre la Cll 60A con Cra 9A y la Cll 63 con cra 9B. 168

Figura 5.58 Zonas de amenaza localizadas entre la Cll 54E con Cra 2G y en la Cll 55D con Cra 3ª. 169

Figura 6.1 Cuencas identificadas para la zona de Miramar. 172

Figura 6.2 Cuencas identificadas para la zona del polígono sur (Ladera Occidental). 173

Figura 6.3 Mapa de zonificación por amenaza a Avenidas torrenciales para la zona de estudio. 175

Figura 7.1 Columna estratigráfica generalizada del departamento del Atlántico, modificada de Reyes G. et al 178

Figura 7.2 Mapa geológico regional de la ciudad de Barranquilla, escala 1:30.000 180

Figura 7.3 Mapa Tectónico del departamento del Atlántico, elaborado por Gilberto Zapata 183

Figura 7.4 Mapa de unidades geológicas superficiales de las laderas occidentales de Barranquilla, escala 1:15.000 186

Figura 7.5 Distribución porcentual unidades geológicas superficiales de la zona de estudio 188

Figura 7.6 Vista general y detalle de los niveles de calizas arrecifales en el sector de la carrera 42F con calle 98. (Oriente Miramar) 190

Figura 7.7 Capas de arcillolitas calcáreas de la formación Popa en la parte alta de Loma Roja 192

Figura 7.8 Niveles de arcillolitas laminadas de la formación perdices con procesos de inestabilidad en el sector de Miramar 193

Figura 7.9 Capas de yeso de hasta 1 cm de espesor en niveles de arcillolitas de la formación Perdices .193

Figura 7.10 Arenas sueltas producto de la meteorización de los niveles arcillo arenosos de la Formación Perdices en el predio Villa Lorena (predio Villa Lorena Cra 26B Calle 84) 194

Figura 7.11 Depósito de talus en la zona de cambio de pendiente que marca el contacto entre las formaciones Perdices y la Popa. (Suroriente Miramar) 195

Figura 7.12 Panorámica general depósitos aluviales asociados al caño Santo Domingo 196

Figura 7.13 Panorámica general depósitos de escombros y basuras en la parte alta de Me Quejo 197

Figura 8.1 Esquemas de deslizamientos tipo traslacional y rotacional 200

Figura 8.2 Esquema general de movimientos tipo caída 201

Figura 8.3 Esquema general de flujos canalizados y no canalizados 202

Figura 8.4 Distribución espacial de los movimientos en masa identificados en el año 2023 en el área de estudio.....204

Figura 8.5 Distribución de movimientos en masa cartografiados por barrios.....207

Figura 8.6 Distribución de movimientos en masa cartografiados por Unidad geológica 209

Figura 8.7 Estado de movimientos en masa cartografiados 210

Figura 8.8 Mecanismos de falla predominantes en el área de estudio 211

Figura 8.9 Distribución de movimientos en masa inventariados en el año 2023 212

Figura 8.10 Ortofoto donde se muestra el movimiento del barrio Villa del Rosario.....213

Figura 8.11 Sector occidental del movimiento en masa desarrollado sobre arcillolitas laminadas de La Formación Las Perdices.....214

Figura 8.12 Destrucción de pisos de una de las viviendas del sector por reactivación del movimiento en el año 2022.....214

Figura 8.13 Inclinación de las viviendas por efecto del movimiento del año 2022 215

Figura 8.14 Ortofoto del movimiento que muestra el movimiento del barrio El Silencio que ha aumentado el área de afectación con relación al año 2011.....216

Figura 8.15 Ortofoto del movimiento que muestra la zona de corona en la Carrera 26 C Calle 79 B.....216

Figura 8.16 Detalle de viviendas destruidas en la calle 79B con Carrera 26 C en zona de corona.....217

Figura 8.17 Acumulación de basuras y escombros de construcción en la zona contigua a la calle 79B con Carrera 26 B.....217

Figura 8.18 Construcciones hechas en el cuerpo del deslizamiento 218

Figura 8.19 Ortofoto del movimiento del barrio Mequejo 219

Figura 8.20 Panorámica del movimiento en masa desarrollado sobre arcillas de La Formación Las Perdices 220

Figura 8.21 Panorámica y detalle de viviendas reconstruidas recientemente en el cuerpo del movimiento de Mequejo. 220

Figura 8.22 Pata del deslizamiento 221

Figura 8.23 Ortofoto del movimiento del barrio La Manga 222

Figura 8.24 Escarpes secundarios de hasta 3 m de altura dejados en la zona de corona por hundimientos diferenciales del movimiento que exponen depósitos de escombros y basuras 222

Figura 8.25 Hundimientos diferenciales dejados por el movimiento en el sector la Manga 223

Figura 8.26 Ruinas de una de las viviendas localizadas sobre la calle 78 la cual resultó destruida por los movimientos que afectaron el barrio La Manga en el año 2022 223

Figura 8.27 Panorámica del movimiento en masa desde la zona de corona en dirección SW (flecha roja) 224

Figura 8.28 Ortofoto del movimiento del barrio Nueva Colombia sector occidental 225

Figura 8.29 Destrucción de muro de contención debido al empuje generado por el movimiento en masa que afecta el barrio Nueva Colombia en el sector occidental 226

Figura 8.30 Desplazamiento de andenes, destrucción de viviendas y abombamiento del terreno por el movimiento en masa, barrio Nueva Colombia sector occidental 226

Figura 8.31 Destrucción de viviendas y vías 227

Figura 8.32 Desplazamiento de andenes, destrucción de viviendas, desplazamiento e inclinación de postes debido al movimiento del terreno 227

Figura 8.33 Ortofoto que muestra el movimiento del barrio Nueva Colombia sector orienta 228

Figura 8.34 Desplazamiento de andenes, destrucción de viviendas, vía e inclinación de postes debido al desplazamiento del terreno por el movimiento en masa, barrio Nueva Colombia sector oriental 228

Figura 8.35 Destrucción de andenes y viviendas debido al desplazamiento del terreno por el movimiento en masa, barrio Nueva Colombia sector oriental 229

Figura 8.36 Destrucción de andenes y viviendas por el movimiento en masa, barrio Nueva Colombia sector oriental 229

Figura 8.37 Ortofoto que muestra el movimiento de Cuchilla de Villate 230

Figura 8.38 Viviendas habitadas cerca de escarpe secundario dejado por el movimiento reciente de materiales de relleno 231

Figura 8.39 Escombros de la estructura en madera que sostenía las tejas de zinc y que colapso durante la visita 231

Figura 8.40 Panorámica que muestra escombros de construcciones destruidas en años anteriores.....232

Figura 8.41 Afectación del sistema de alcantarillado por el desplazamiento del terreno.....232

Figura 8.42 Vivienda reconstruida recientemente en la zona en movimiento.....233

Figura 8.43 Ortofoto que muestra el área afectada por el movimiento del sector Villa Caracas 234

Figura 8.44 Panorámica del movimiento en masa que desplaza escombros de construcción y basuras depositados en la ladera en diferentes épocas 234

Figura 8.45 Inclinación de poste y viviendas por acción del movimiento que desplaza rellenos de escombros de construcción y basuras 235

Figura 8.46 Nivelación del terreno deslizado mediante la colocación de llantas y relleno con escombros de construcción 235

Figura 8.47 Viviendas en proceso de reconstrucción en zonas que se deslizan durante la temporada de lluvias de cada año 236

Figura 8.48 Ortofoto que muestra el área afectada por el movimiento del barrio Siete de Abril.....237

Figura 8.49 Panorámica del movimiento en masa en Siete de Abril 237

Figura 8.50 Ruinas de viviendas destruidas en años anteriores por el movimiento 238

Figura 8.51 Escarpes secundarios dejados por el movimiento de tipo rotacional 238

Figura 8.52 Viviendas destruidas por el movimiento del barrio Siete de Abril.....239

Figura 8.53 Ortofoto que muestra el área afectada por el movimiento del sector Carrizal.....240

Figura 8.54 Panorámica de la corona del movimiento en el sector Carrizal donde se han destruido y desplazado ladera abajo varias viviendas 240

Figura 8.55 Desplazamiento de vivienda 241

Figura 8.56 Daños en el piso de una de las viviendas que fue reconstruida en madera (color azul) 241

Figura 8.57 Vista general de viviendas reconstruidas en madera y en primer plano acumulación de escombros de construcción dispuestos a media ladera para rellenar las grietas generadas por el movimiento 242

Figura 8.58 Ortofoto que muestra el área afectada por el movimiento del sector Villa Caracas 242

Figura 8.59 Acumulación de escombros y basuras en el sector de Santo Domingo.....243

Figura 8.60 Ortofoto que muestra el área afectada por los movimientos de la carrera 43 cerca a la circunvalar 244

Figura 8.61 Panorámica del movimiento en masa desarrollado sobre arcillas y suelos residuales de La Formación Las Perdices en uno de los taludes de la carrera 43 244

Figura 8.62 Imagen derecha Movimiento superficial que genera flujo de suelos en el talud de la carrera 43 en zona aledaña a la circunvalar 245

Figura 8.63 Zona de movimiento donde se instalaron biomantos para facilitar la recuperación ambiental de la zona deslizada 245

Figura 10.1 Beretta T46.....252

Figura 10.2 Etiqueta de muestra.....253

Figura 10.3 Perforaciones ejecutadas en barrio Miramar 255

Figura 10.4 Perforaciones ejecutadas en polígono sur Localidad Suroccidente.....256

Figura 10.5 Maquina Beretta T46 en diferentes puntos de perforación 257

Figura 10.6 Registro de perforación P-01 (continúa) 258
Figura 10.7 Registro de perforación (continúa) 259
Figura 10.8 Registro de perforación P-01 260
Figura 10.9 Condición de la muestra luego de tallar la cara superior y las caras laterales 261
Figura 10.10 Ejecución de Apique AP-04 y AP-09 262
Figura 10.11 Registro estratigráfico del apique AP-01 264
Figura 10.12 Apiques ejecutados barrio Miramar 265
Figura 10.13 Apiques ejecutados en zona norte localidad Suroccidente 266
Figura 10.14 Piezómetro Casagrande 268
Figura 10.15 Instalación del piezómetro en la perforación P-21 268
Figura 10.16 Instalación de la tubería del inclinómetro en la perforación P-14 269
Figura 10.17 Dispositivos del sistema de medición 271
Figura 10.18 Orientación y ejes de la sonda digital 271
Figura 10.19 Computador de mano: componente fundamental del equipo de monitoreo Inclinométrico 273
Figura 10.20 Ubicación general de las Líneas de Refracción barrio Miramar 275
Figura 10.21 Ubicación de Línea de Refracción sísmica localidad suroccidente 276
Figura 10.22 Esquema de funcionamiento de un equipo de refracción sísmica 277
Figura 10.23 Configuración de los geófonos para ejecución de ensayo de línea de refracción sísmica 277
Figura 10.24 Llegada de la onda (marca en rojo) para cada uno de los geófonos instalados 278
Figura 10.25 Gráfica de dromocronas para los diferentes refractores encontrados 279
Figura 10.26 Perfil de velocidad de onda P en los materiales del subsuelo 280
Figura 10.27 Equipo de Refracción Sísmica, marca MAE 281
Figura 10.28 Ejecución de labores para la línea de refracción sísmica 1 281
Figura 10.29 Ejecución de labores para la línea de refracción sísmica 2 282
Figura 10.30 Ejecución de labores para la línea de refracción sísmica 3 283
Figura 10.31 Ejecución de labores para la línea de refracción sísmica 4 284
Figura 10.32 Ejecución de labores para la línea de refracción sísmica 5 285
Figura 10.33 Ejecución de labores para la línea de refracción sísmica 6 286

Figura 10.34 Ejecución de labores para la línea de refracción sísmica 7 287
Figura 10.35 Ejecución de labores para la línea de refracción sísmica 8 288
Figura 10.36 Ejecución de labores para la línea de refracción sísmica 9 288
Figura 10.37 Ejecución de labores para la línea de refracción sísmica 10 289
Figura 10.38 Selección de tiempos de llegada para la LR-01 ondas P.....290
Figura 10.39 Generación de dromocronas para la LR-01 ondas P 290
Figura 10.40 Dromocronas elaboradas para la LR-01 ondas P.....291
Figura 10.41 Gráfico de comportamiento morfológico para la LR-01 ondas P.....291
Figura 10.42 Gráfico de comportamiento morfológico para la LR-01 ondas P.....292
Figura 10.43 Gráfico de comportamiento morfológico para la LR-01 ondas S.....292
Figura 10.44 Gráfico de comportamiento morfológico para la LR-02 ondas S.....293
Figura 10.45 Gráfico de comportamiento morfológico para la LR-02 ondas S.....293
Figura 10.46 Gráfico de comportamiento morfológico para la LR-03 ondas P.....294
Figura 10.47 Gráfico de comportamiento morfológico para la LR-03 ondas S.....294
Figura 10.48 Gráfico de comportamiento morfológico para la LR-04 ondas P.....295
Figura 10.49 Gráfico de comportamiento morfológico para la LR-04 ondas S.....295
Figura 10.50 Gráfico de comportamiento morfológico para la LR-05 ondas P.....296
Figura 10.51 Gráfico de comportamiento morfológico para la LR-05 ondas S.....296
Figura 10.52 Gráfico de comportamiento morfológico para la LR-06 ondas P.....297
Figura 10.53 Gráfico de comportamiento morfológico para la LR-06 ondas S.....297
Figura 10.54 Gráfico de comportamiento morfológico para la LR-07 ondas P.....298
Figura 10.55 Gráfico de comportamiento morfológico para la LR-07 ondas S.....298
Figura 10.56 Gráfico de comportamiento morfológico para la LR-08 ondas P.....299
Figura 10.57 Gráfico de comportamiento morfológico para la LR-08 ondas S.....299
Figura 10.58 Gráfico de comportamiento morfológico para la LR-09 ondas P.....300
Figura 10.59 Gráfico de comportamiento morfológico para la LR-09 ondas S.....300
Figura 10.60 Gráfico de comportamiento morfológico para la LR-10 ondas P.....301
Figura 10.61 Gráfico de comportamiento morfológico para la LR-10 ondas S.....301

Figura 10.62 Resultados ensayo de Humedad Natural Roca Blanda Areniscas Cuarzosas 303

Figura 10.63 Resultados ensayo de Humedad Natural Roca Blanda Arcillolitas laminadas 303

Figura 10.64 Resultados ensayo de Humedad Natural Roca Blanda Arcillolitas Calcareas 304

Figura 10.65 Resultados ensayo de Humedad Natural Roca Dura Calizas Arrecifales 304

Figura 10.66 Resultados ensayo de Humedad Natural Suelos transportados de cauces activos y terrazas aluviales.....304

Figura 10.67 Resultados ensayo de Humedad Natural Suelos transportados de llenos antrópicos de escombros y basuras.....305

Figura 10.68 Resultados ensayo de Humedad Natural Suelos transportados de llenos antrópicos de desechos de minería y escombros 305

Figura 10.69 Resultados ensayo de Humedad Natural Suelos transportados de movimientos en masa 305

Figura 10.70 Ensayo de limite plástico y líquido 306

Figura 10.71 Resultados ensayo de límites de Atterberg Roca Blanda Areniscas Cuarzosas 306

Figura 10.72 Resultados ensayo de límites de Atterberg Roca Blanda Arcillolitas laminadas.....307

Figura 10.73 Resultados ensayo de límites de Atterberg Roca Blanda Arcillolitas Calcáreas.....307

Figura 10.74 Resultados ensayo de límites de Atterberg Roca Dura Calizas Arrecifales 307

Figura 10.75 Resultados ensayo de límites de Atterberg Suelos transportados de cauces activos y terrazas aluviales.....308

Figura 10.76 Resultados ensayo de límites de Atterberg Suelos transportados de llenos antrópicos de escombros y basuras.....308

Figura 10.77 Resultados ensayo de límites de Atterberg Suelos transportados de llenos antrópicos de desechos de minería y escombros 308

Figura 10.78 Resultados ensayo de límites de Atterberg Suelos transportados de movimientos en masa 309

Figura 10.79 Curva granulométrica P27 M6 309

Figura 10.80 Diagrama cajas y bigotes Unidades Rocas 310

Figura 10.81 Diagrama de caja y bigotes Unidades Suelos.....310

Figura 10.82 Resultados lavado sobre Tamiz 200 311

Figura 10.83 Resultados ensayo de Hidrometría 312

Figura 10.84 Resultados ensayo de Peso Unitario Roca Blanda Areniscas Cuarzosas.....313

Figura 10.85 Resultados ensayo de Peso Unitario Roca Blanda Arcillolitas laminadas 313

Figura 10.86 Resultados ensayo de Peso Unitario Roca Blanda Arcillolitas Calcáreas 313

Figura 10.87 Resultados ensayo de Peso Unitario Roca Dura Calizas Arrecifales.....314

Figura 10.88 Resultados ensayo de Peso Unitario Suelos transportados de cauces activos y terrazas aluviales.....314

Figura 10.89 Resultados ensayo de Peso Unitario Suelos transportados de llenos antrópicos de escombros y basuras 314

Figura 10.90 Resultados ensayo de Peso Unitario Suelos transportados de llenos antrópicos de desechos de minería y escombros 315

Figura 10.91 Resultados ensayo de Peso Unitario Suelos transportados de movimientos en masa 315

Figura 10.92 Resultados ensayo de Peso Específico Roca Blanda Arcillolitas laminadas 316

Figura 10.93 Resultados ensayo de Peso Específico Roca Blanda Arcillolitas Calcáreas 316

Figura 10.94 Resultados ensayo de Peso Específico Suelos transportados de cauces activos y terrazas aluviales.....316

Figura 10.95 Resultados ensayo de Peso Unitario Específicos transportados de llenos antrópicos de desechos de minería y escombros 317

Figura 10.96 Resultados ensayo de Peso Específico Suelos transportados de movimientos en masa 317

Figura 10.97 Gráfico de la etapa de falla del ensayo de Compresión Inconfinada de la muestra 5 de la Perforación 5 318

Figura 10.98 Resultados ensayo de compresión inconfinada Roca Blanda Areniscas Cuarzosas.....318

Figura 10.99 Resultados ensayo de compresión inconfinada Roca Blanda Arcillolitas laminadas.....319

Figura 10.100 Resultados ensayo de compresión inconfinada Roca Blanda Arcillolitas Calcáreas 319

Figura 10.101 Resultados ensayo de compresión inconfinada Suelos transportados de movimientos en masa 319

Figura 10.102 Esfuerzo cortante máximo vs Esfuerzo vertical 320

Figura 10.103 Cohesión vs Angulo de Fricción Roca Blanda Areniscas Cuarzosas.....320

Figura 10.104 Cohesión vs Angulo de Fricción Roca Blanda Arcillolitas laminadas.....321

Figura 10.105 Cohesión vs Angulo de Fricción Roca Blanda Arcillolitas Calcáreas 321

Figura 10.106 Cohesión vs Angulo de Fricción Roca Dura Calizas Arrecifales 321

Figura 10.107 Cohesión vs Angulo de Fricción Suelos transportados de cauces activos y terrazas aluviales 322

Figura 10.108 Cohesión vs Angulo de Fricción Suelos transportados de llenos antrópicos de escombros y basuras 322

Figura 10.109 Cohesión vs Angulo de Fricción Suelos transportados de llenos antrópicos de desechos de minería y escombros 322

Figura 10.110 Cohesión vs Angulo de Fricción Suelos transportados de movimientos en masa 323

Figura 10.111 Relación de vacíos vs Esfuerzo muestra P1-M3B 324

Figura 10.112 Esfuerzo vs Tiempo de consolidación AP-03 325

Figura 10.113 Resultados compresión Inconfinada en Roca Blanda Arcillolitas laminadas 325

Figura 10.114 Resultados compresión Inconfinada en Roca Blanda Arcillolitas Calcáreas 326

Figura 10.115 Resultados compresión Inconfinada en roca de Suelos transportados de cauces activos y terrazas aluviales.....326

Figura 10.116 Resultados compresión inconfinada en roca en Suelos transportados de llenos antrópicos de escombros y basuras 326

Figura 10.117 Resultados compresión inconfinada en roca de Suelos transportados de movimientos en masa 327

Figura 11.1 Flujograma método para el levantamiento de la cobertura y usos del suelo.....333

Figura 11.2 Guía de colores para Cobertura y Uso del suelo 335

Figura 11.3 Cobertura y uso del suelo cuenca Mallorquin 2010.....336

Figura 11.4 Cobertura y uso del suelo cuenca Mallorquin 2017.....337

Figura 11.5 Cobertura y uso del suelo Laderas occidentales de Barranquilla 2011 338

Figura 11.6 Zonificación de la cobertura y usos del suelo 339

Figura 11.7 Porcentaje de área de polígono sur 340

Figura 11.8 Porcentaje de área de polígono Norte.....341

Figura 12.1 Fuentes sismogénicas que más contribuyen al nivel de amenaza sísmica de la ciudad de Barranquilla 351

Figura 12.2 Curvas de Tasa de excedencia total e individual por fuente sísmica en términos del PGA para la ciudad de Barranquilla.....352

Figura 12.3 UHS a nivel de roca, en función del periodo de retorno para la ciudad de Barranquilla.....352

Figura 12.4 Señales de diseño (acelerogramas de movimientos fuertes) utilizadas en la modelación de respuesta sísmica local.....354

Figura 13.1 Vista en planta de los perfiles del sector del polígono norte.....360

Figura 13.2 Vista en planta de los perfiles del sector del polígono sur. 361

Figura 13.3 Perfil geológico-geotécnico Ladera Sección 1-1'.....362

Figura 13.4 Perfil geológico-geotécnico Ladera Sección 2-2'.....363
Figura 13.5 Perfil geológico-geotécnico Ladera Sección 3-3'.....364
Figura 13.6 Perfil geológico-geotécnico Ladera Sección 4-4'.....365
Figura 13.7 Perfil geológico-geotécnico Ladera Sección 5-5'.....366
Figura 13.8 Perfil geológico-geotécnico Ladera Sección 6-6'.....367
Figura 13.9 Perfil geológico-geotécnico Ladera Sección 7-7'.....368
Figura 13.10 Perfil geológico-geotécnico Ladera Sección 8-8'.....369
Figura 13.11 Perfil geológico-geotécnico Ladera Sección 9-9'.....370
Figura 13.12 Perfil geológico-geotécnico Ladera Sección 10-10'.....371
Figura 13.13 Perfil geológico-geotécnico Miramar Sección 1-1'.....372
Figura 13.14 Perfil geológico-geotécnico Miramar Sección 2-2'.....373
Figura 13.15 Perfil geológico-geotécnico Miramar Sección 3-3'.....374
Figura 13.16 Perfil geológico-geotécnico Miramar Sección 4-4'.....375
Figura 13.17 Perfil geológico-geotécnico Miramar Sección 5-5'.....376
Figura 13.18 Perfil geológico-geotécnico Miramar Sección 6-6'.....377
Figura 13.19 Perfil geológico-geotécnico Miramar Sección 7-7'.....378
Figura 14.1 Esquema del Mecanismo de Falla por Talud Infinito 381
Figura 14.2 Esquema del método de cálculo de ascenso del nivel freático.....385
Figura 14.3 Pendiente del terreno ladera occidental 390
Figura 14.4 Pendiente del terreno Miramar 391
Figura 14.5 Rangos de probabilidad de falla anual e índice de confiabilidad comparados con niveles de desempeño.....393
Figura 14.6 Gráfico de comparación de probabilidad anual de falla vs pérdidas, y niveles de aceptación para diferentes tipos de proyectos 394
Figura 14.7 Amenaza por Movimientos en masa TE=1 año zona Ladera. 395
Figura 14.8 Amenaza por Movimientos en masa TE=10 años zona Ladera.....396
Figura 14.9 Amenaza por Movimientos en masa TE=50 años zona Ladera.....397
Figura 14.10 Amenaza por Movimientos en masa TE=50 años con Cambio climático zona Ladera. 398
Figura 14.11 Amenaza por Movimientos en masa TE=1 año zona Miramar. 399

Figura 14.12 Amenaza por Movimientos en masa TE=10 años zona Miramar.....400

Figura 14.13 Amenaza por Movimientos en masa TE=50 años zona Miramar.....401

Figura 14.14 Amenaza por Movimientos en masa TE=50 años con Cambio climático zona Miramar. 402

Figura 14.15 Distribución de los niveles de amenaza para periodo de exposición de un año sector Miramar 403

Figura 14.16 Distribución de los niveles de amenaza para periodo de exposición de un año sector Nor – Occidental 404

Figura 14.17 Distribución de los niveles de amenaza para periodo de exposición de 10 años sector Miramar 404

Figura 14.18 Distribución de los niveles de amenaza para periodo de exposición de 10 años sector Nor-Occidental 405

Figura 14.19 Distribución de los niveles de amenaza para periodo de exposición de 50 años sector Miramar 406

Figura 14.20 Distribución de los niveles de amenaza para periodo de exposición de 50 años sector Nor-Occidental 406

Figura 14.21 Fluctuación del nivel de amenaza baja con el periodo de exposición 407

Figura 14.22 Fluctuación de los niveles de amenaza media y alta con el periodo de exposición 410

Figura 14.23 Resultados de estabilidad global para la sección 8-8 de la zona de Ladera escenario lluvia Tr=5 años y Sismo Tr=31 años. 412

Figura 14.24 Zona de exposición de los elementos expuestos ante un deslizamiento (SGC, 2016) 414

Figura 14.25 Variables geométricas del deslizamiento para la sección Lad_Secc4-4'. 415

Figura 14.26 Resultado típico de una de las pruebas de expansión ejecutada 418

Figura 14.27 Resultados de prueba de expansión (AP03-M1) 418

Figura 14.28 Distribución de arcillas expansivas en Miramar 419

Figura 14.29 Distribución de arcillas expansivas en los cerros Nor-occidentales de Barranquilla 420

Figura 14.30 Daño progresivo por la presencia de arcillas expansivas. 421

Figura 15.1 Uso predominante de las edificaciones 423

Figura 15.2 Uso predominante de las edificaciones – Miramar 424

Figura 15.3 Número de pisos, sobre el nivel del terreno 425

Figura 15.4 Número de pisos, sobre el nivel del terreno – Miramar 425

Figura 15.5 Existencia de sótanos o niveles bajo el terreno 425

Figura 15.6 Existencia de sótanos o niveles bajo el terreno – Miramar 426
Figura 15.7 Estado de la Construcción 426
Figura 15.8 Calidad de la Construcción 427
Figura 15.9 Estado de la Construcción – Miramar 427
Figura 15.10 Calidad de la Construcción - Miramar 428
Figura 15.11 Sistema de cimentación de las edificaciones 429
Figura 15.12 Sistema de cimentación de las edificaciones – Miramar 429
Figura 15.13 Sistema Estructural de las Edificaciones 430
Figura 15.14 Sistema Estructural de las Edificaciones – Miramar 431
Figura 15.15 Sistema Entrepiso predominante de las Edificaciones 431
Figura 15.16 Sistema de Cubierta predominante de las Edificaciones 432
Figura 15.17 Tipología de la Estructura.....432
Figura 15.18 Tipología de la Estructura – Miramar.....433
Figura 15.19 Daños en elementos estructurales verticales 433
Figura 15.20 Daños en elementos estructurales verticales – Miramar 434
Figura 15.21 Daños en elementos estructurales horizontales.....434
Figura 15.22 Daños en elementos estructurales horizontales – Miramar.....435
Figura 15.23 Daños en elementos no estructurales 435
Figura 15.24 Daños en elementos no estructurales – Miramar.....436
Figura 15.25 Líneas vitales caracterizadas en la zona de estudio. 438
Figura 15.26 Fragilidad por Tipología estructural 440
Figura 15.27 Fragilidad por Tipología estructural – Miramar 440
Figura 15.28 Fragilidad por Altura de la edificación 441
Figura 15.29 Fragilidad por Altura de la edificación - Miramar 441
Figura 15.30 Estado de conservación de la edificación.....442
Figura 15.31 Fragilidad por edad 444
Figura 15.32 Fragilidad por edad - Miramar 444
Figura 15.33 Fragilidad de Personas sin contemplar la edad.....445

Figura 15.34 Fragilidad de Personas sin contemplar la edad – Miramar 445
Figura 15.35 Fragilidad de Edificaciones sin contemplar la edad 447
Figura 15.36 Fragilidad de Edificaciones sin contemplar la edad - Miramar 447
Figura 15.37 Vulnerabilidad de Edificaciones sin contemplar la edad 449
Figura 15.38 Vulnerabilidad de Edificaciones sin contemplar la edad - Miramar 449
Figura 15.39 Zonificación de la vulnerabilidad por Movimientos en Masa de edificaciones - Ladera. 450
Figura 15.40 Zonificación de la vulnerabilidad por Movimientos en Masa de edificaciones - Miramar. 451
Figura 15.41 Vulnerabilidad de personas sin contemplar la edad 452
Figura 15.42 Vulnerabilidad de personas sin contemplar la edad – Miramar 453
Figura 15.43 Zonificación de la Vulnerabilidad de personas sin contemplar la edad - Ladera 454
Figura 15.44 Zonificación de la Vulnerabilidad de personas sin contemplar la edad - Miramar 455
Figura 15.45 Vulnerabilidad de la red vial. 456
Figura 15.46 Vulnerabilidad de la red de acueducto. 457
Figura 15.47 Vulnerabilidad de la red de alcantarillado. 458
Figura 15.48 Vulnerabilidad de la red eléctrica. 459
Figura 16.1 Riesgo edificaciones por Movimiento en Masa – Ladera sur occidental 503
Figura 16.2 Riesgo edificaciones por Movimiento en Masa – Miramar 503
Figura 16.3 Riesgo edificaciones por Movimiento en Masa – Área total 503
Figura 16.4 Zonificación del riesgo de edificaciones por movimientos en masa para la ladera occidental 504
Figura 16.5 Zonificación del riesgo de edificaciones por movimientos en masa para Miramar 505
Figura 16.6 Zonificación del riesgo de edificaciones por movimientos en masa área total. 506
Figura 16.7 Riesgo Personas por Movimiento en Masa 508
Figura 16.8 Riesgo Personas por Movimiento en Masa – Miramar 508
Figura 16.9 Riesgo Personas por Movimiento en Masa – área total 508
Figura 16.10 Zonificación del riesgo de Personas por movimientos en masa para la ladera occidental. 509
Figura 16.11 Zonificación del riesgo de Personas por movimientos en masa para Miramar. 510
Figura 16.12 Zonificación del riesgo de Personas por movimientos en masa para el área total 511
Figura 16.13 Riesgo de red vial por movimientos en masa. 513

Figura 16.14 Riesgo de red de acueducto por movimientos en masa. 514

Figura 16.15 Riesgo de red de alcantarillado por movimientos en masa. 515

Figura 16.16 Riesgo de red eléctrica por movimientos en masa. 516

Figura 17.1 Secciones de análisis definidos para los sectores críticos 518

Figura 17.2 Perfil de análisis sector loma roja 520

Figura 17.3 Obras de mitigación Loma Roja 520

Figura 17.4 Perfil Loma Roja con obras de mitigación 521

Figura 17.5 Ubicación de perfil de análisis, barrio las terrazas 522

Figura 17.6 Perfil de análisis con obras de mitigación 523

Figura 17.7 Detalle de obras de mitigación 523

Figura 17.8 Detalle de micropilotes y pilotes 524

Figura 18.1 Caracterización de riesgo no mitigable y mitigable por movimientos en masa. 530

Figura 20.1 Zona de estudio en el marco de la ciudad de Barranquilla. Fuente: TDR AFP, 2022 533

Figura 22.1 Mapa de ubicación de las estaciones más cercanas a la zona de estudio 537

Figura 22.2 IDF para la estación Las Flores (UNAL, 2016). 539

Figura 22.3 IDF para la estación Aeropuerto Ernesto Cortissoz (UNAL, 2016). 540

Figura 23.1 Importación de información de precipitaciones anuales para la estación Apto. Ernesto Cortíssoz en el software HEC – SSP del periodo 1971 - 2010. 542

Figura 23.2 Ajuste de los valores máximos anuales de precipitación en 24 horas contra la probabilidad de excedencia utilizando una distribución tipo Gumbel. 543

Figura 24.1 Extrapolación de periodos de retorno para la estación Aeropuerto Ernesto Cortissoz. 549

Figura 24.2 Curvas IDF para la estación Aeropuerto Ernesto Cortissoz a partir de los parámetros de ajuste. 552

Figura 24.3 Curvas PDF para la estación Aeropuerto Ernesto Cortissoz a partir de los parámetros de ajuste. 553

Figura 24.4 Curvas IDF para la estación Las Flores a partir de los parámetros de ajuste. 554

Figura 24.5 Curvas PDF para la estación Las Flores a partir de los parámetros de ajuste. 555

Figura 24.6 Hietograma de profundidades para la estación Aeropuerto Ernesto Cortissoz. 569

Figura 24.7 Hietograma de intensidades para la estación Aeropuerto Ernesto Cortissoz. 569

Figura 24.8 Hietograma de profundidades para la estación Las Flores. 579

Figura 24.9 Hietograma de intensidades para la estación Las Flores. 579

Figura 25.1 Modelos Climáticos de la NASA 586

Figura 25.2 Modelos ssp de trayectoria para gases de efecto invernadero 586

Figura 25.3 Introducir coordenadas de las estaciones.....587

Figura 25.4 Comportamiento de los datos factor para la estación CORTISSOZ - 2071-2100 595

Figura 25.5 Curvas IDF estación Apto Ernesto Cortissoz para el periodo 2035-2064.....600

Figura 25.6 Curvas IDF estación Las Flores para el periodo 2035-2064.....601

Figura 25.7 Curvas IDF estación Ernesto Cortissoz para el periodo 2071-2100.....602

Figura 25.8 Curvas IDF estación Las Flores para el periodo 2071-2100.....603

Figura 25.9 Comparación entre las curvas IDF actuales y futuras 2035-2064 para la estación Apto. Ernesto Cortissoz. 604

Figura 25.10 Comparación entre las curvas IDF actuales y futuras 2035-2064 para la estación Las Flores. 605

Figura 25.11 Comparación entre las curvas IDF actuales y futuras 2071-2100 para la estación Apto. Ernesto Cortissoz. 606

Figura 25.12 Comparación entre las curvas IDF actuales y futuras 2071-2100 para la estación Las Flores. 607

Figura 26.1 Hietograma para la estación Apto. Ernesto Cortissoz IDF futuras 2035-2064.....612

Figura 26.2 Hietograma para la estación Las Flores IDF futuras 2035-2064.....612

Figura 26.3 Hietograma para la estación Apto. Ernesto Cortissoz IDF futuras 2071-2100.....613

Figura 26.4 Hietograma para la estación Las Flores IDF futuras 2071-2100.....613

Figura 28.1 Evolución de las zonas de amenaza alta de acuerdo con el periodo de exposición y teniendo en cuenta el efecto del cambio climático (CC).....626

Figura 28.2 Mapa de amenaza por efecto de cambio climático. Periodo de exposición 50 años 626

Figura 28.3 Presencia de arcillas expansiva en los cerros nor-occidentales (achurado amarillo) 628

TABLAS

Tabla 2.1 Precipitación promedio mensual por Subcuenca.....58

Tabla 2.2 Promedio de los máximos anuales Subcuenca Arroyo León o Arroyo Hondo (POMCA) 58

Tabla 3.1 Coordenadas puntos BQLA y GPS1.....66

Tabla 3.2 Observaciones GPS 66

Tabla 3.3 Coordenadas puntos C#1, C#2, C#3, C#4 y C#5.....67

Tabla 3.4 Observaciones GPS de GPS1 a los puntos C#1, C#2, C#3, C#4 y C#5. 67

Tabla 3.5 Coordenadas planas MAGNA SIRGAS Origen Nacional para los puntos de control.....71

Tabla 3.6 Características de cumplimiento de la cartografía del proyecto (Res. IGAC 471-20). 79

Tabla 4.1 Listado de estaciones cercanas a la zona de estudio 88

Tabla 4.2 Valores de precipitación total mensual.....89

Tabla 4.3 Valores de Precipitación Máxima Mensual en 24h. 90

Tabla 4.4 Valores de intensidad y profundidades de las IDF del IDEAM para la estación Ernesto Cortissoz. 95

Tabla 4.5 Parametrización inicial para la estación Ernesto Cortissoz. 95

Tabla 4.6 Intensidades y profundidades calculadas a partir de la parametrización inicial de la ecuación de Wenzel para la estación Aeropuerto Ernesto Cortissoz.....96

Tabla 4.7 Cálculo de valores de intensidad para periodos de retorno de 200 y 500 años para la estación Aeropuerto Ernesto Cortissoz 98

Tabla 4.8 Valores de intensidad y profundidades para la estación Ernesto Cortissoz, incluyendo valores extrapolados e interpolados de duraciones y tiempos de retorno.....98

Tabla 4.9 Parametrización definitiva para la estación Ernesto Cortissoz usando la ecuación de Wenzel..98

Tabla 4.10 Parametrización definitiva para la estación Las Flores usando la ecuación de Wenzel.....99

Tabla 4.11 Intensidades de precipitación para lluvias con duraciones incrementales de 5 minutos para la estación Ernesto Cortissoz. 104

Tabla 4.12 Profundidades de precipitación para lluvias con duraciones incrementales de 5 minutos para la estación Ernesto Cortissoz. 106

Tabla 4.13 Profundidades diferenciales de precipitación para lluvias con duraciones incrementales de 5 minutos para la estación Ernesto Cortissoz. 108

Tabla 4.14 Hietograma de profundidades por el método de bloques alternos para la estación Ernesto Cortissoz. 110

Tabla 4.15 Hietograma de intensidades por el método de bloques alternos para la estación Ernesto Cortissoz. 113

Tabla 4.16 Hietograma de profundidades por el método de bloques alternos para la estación Las Flores. 115

Tabla 4.17 Hietograma de intensidades por el método de bloques alternos para la estación Las Flores. 117

Tabla 5.1 Definición de los Grados de Amenaza por Inundación. 136

Tabla 5.2 Distribución de áreas por grado de amenaza para la zona de Miramar, T=2 años. 145

Tabla 5.3 Distribución de áreas por grado de amenaza para la zona de Miramar, T=5 años. 145

Tabla 5.4 Distribución de áreas por grado de amenaza para la zona de Miramar, T=10 años. 146

Tabla 5.5 Distribución de áreas por grado de amenaza para la zona de Miramar, T=25 años. 147

Tabla 5.6 Distribución de áreas por grado de amenaza para la zona de Miramar, T=50 años. 147

Tabla 5.7 Distribución de áreas por grado de amenaza para la zona de Miramar, T=100 años. 148

Tabla 5.8 Distribución de áreas por grado de amenaza para la zona de Miramar, T=200 años. 148

Tabla 5.9 Distribución de áreas por grado de amenaza para la zona de Miramar, T=500 años. 149

Tabla 5.10 Distribución de áreas por grado de amenaza para la zona de Ladera Occidental, Tr=2 años.160

Tabla 5.11 Distribución de áreas por grado de amenaza para la zona de Ladera Occidental, Tr=5 años.160

Tabla 5.12 Distribución de áreas por grado de amenaza para la zona de Ladera Occidental, Tr=10 años. 161

Tabla 5.13 Distribución de áreas por grado de amenaza para la zona de Ladera Occidental, Tr=25 años. 161

Tabla 5.14 Distribución de áreas por grado de amenaza para la zona de Ladera Occidental, Tr=50 años. 162

Tabla 5.15 Distribución de áreas por grado de amenaza para la zona de Ladera Occidental, Tr=100 años. 162

Tabla 5.16 Distribución de áreas por grado de amenaza para la zona de Ladera Occidental, Tr=200 años. 163

Tabla 5.17 Distribución de áreas por grado de amenaza para la zona de Ladera Occidental, Tr=500 años. 163

Tabla 6.1 Valores de índices de Melton para la Zona de Miramar 172

Tabla 6.2 Valores de índices de Melton para la zona del polígono sur (Ladera Occidental) 172

Tabla 7.1 Distribución de UGS con el porcentaje de área cartografiada en el área de estudio 187

Tabla 8.1 Inventario de Movimientos en Masa en el área de estudio.....205

Tabla 8.2 Relación de los mecanismos de los movimientos en masa cartografiados.....211

Tabla 8.3 Relación entre los procesos inventariados y la distribución 211

Tabla 10.1 Especificaciones técnicas de la Beretta T46 252
Tabla 10.2 Características generales de las perforaciones mecánicas 253
Tabla 10.3 Características generales de apiques 263
Tabla 10.4 Ubicación de Instrumentación Geotécnica 267
Tabla 10.5 Implementos del equipo inclinómetro digital 271
Tabla 10.6 Características generales de las líneas de refracción sísmica 273
Tabla 10.7 Parámetros elásticos para la LR-01 293
Tabla 10.8 Parámetros elásticos para la LR-01 294
Tabla 10.9 Parámetros elásticos para la LR-03 295
Tabla 10.10 Parámetros elásticos para la LR-04 296
Tabla 10.11 Parámetros elásticos para la LR-05 297
Tabla 10.12 Parámetros elásticos para la LR-06 298
Tabla 10.13 Parámetros elásticos para la LR-07 299
Tabla 10.14 Parámetros elásticos para la LR-08 299
Tabla 10.15 Parámetros elásticos para la LR-09 300
Tabla 10.16 Parámetros elásticos para la LR-10 301
Tabla 10.17 Promedios de tamaño de partículas....310
Tabla 10.18 Resumen de ensayos de laboratorio 328
Tabla 11.1 Coberturas y usos del suelo IDEAM....334
Tabla 11.2 Distribución del área del polígono sur....340
Tabla 11.3 Distribución del área del polígono Norte 341
Tabla 11.4 Patrones de Cobertura 342
Tabla 11.5 Especímenes vegetales de la zona....346
Tabla 11.6 Clasificación de la profundidad efectiva....347
Tabla 11.7 Profundidad efectiva según cobertura polígono sur 348
Tabla 11.8 Profundidad efectiva según cobertura polígono Norte....348
Tabla 12.1 Fuentes sismogénicas que controlan el nivel de amenaza sísmica en el municipio de Barranquilla para Tr = 1000 años 350
Tabla 12.2 Señales utilizadas compatibles con el escenario de amenaza sísmica para Barranquilla 354

Tabla 13.1 Caracterización de la Unidades Geotécnicas....358

Tabla 14.1 Valoración Incertidumbre - Coeficientes de Variación Según Eurocode....383

Tabla 14.2 Aceleraciones Pico PGA para Diferentes Periodos de Retorno....384

Tabla 14.3 Profundidad del nivel freático para lluvias críticas de diferentes periodos de retorno Ladera. 387

Tabla 14.4 Profundidad del nivel freático para lluvias críticas de diferentes periodos de retorno Miramar. 387

Tabla 14.5 Criterio para la clasificación de la amenaza por movimientos en masa en función de la probabilidad de falla 394

Tabla 14.6 Cálculo de la probabilidad combinada de falla de la sección 8-8' de la zona de Ladera....413

Tabla 14.7 Cálculo del volumen y de los ángulos para la sección Lad_Secc2-2'. 416

Tabla 14.8 Parámetros para el cálculo de distancia de deslizamiento según el tipo de mecanismo (SGC, 2016) 416

Tabla 15.1 Factores de fragilidad por tipología de estructuras 439

Tabla 15.2 Factores de fragilidad por Altura de la estructura (Salt) 440

Tabla 15.3 Factores de fragilidad por estado de conservación de la edificación (Scon) 442

Tabla 15.4 Factor de fragilidad por edad de la edificación (Sed)....443

Tabla 15.5 Vida útil en función del tipo de edificación 443

Tabla 15.6 Clasificación de la vulnerabilidad para edificaciones 448

Tabla 15.7 Clasificación de la vulnerabilidad por movimientos en masa para edificaciones 448

Tabla 15.8 Clasificación de la vulnerabilidad para personas....452

Tabla 15.9 Índice de Vulnerabilidad....464

Tabla 15.10 Relación con el predio 466

Tabla 15.11 Nacionalidad de los habitantes del sector 466

Tabla 15.12 Sexo de la Población....467

Tabla 15.13 Grupo etario 467

Tabla 15.14 Tipo de ocupación 467

Tabla 15.15 Ingresos económicos 468

Tabla 15.16 Afiliación al sistema de seguridad en salud....468

Tabla 15.17 Discapacidad de la población 468

Tabla 15.18 Reconocimiento de etnia y víctima del conflicto armada 469
Tabla 15.19 Víctima del conflicto armado....469
Tabla 15.20 Acceso a servicios públicos....469
Tabla 15.21 Participación en organizaciones 470
Tabla 15.22 Afectaciones en viviendas 471
Tabla 15.23 Preparación ante situaciones de emergencia 471
Tabla 15.24 Percepción del entorno en el que viven....472
Tabla 15.25 Resultado del índice de Vulnerabilidad Social....473
Tabla 15.26 Relación con el predio 476
Tabla 15.27 Nacionalidad de los habitantes del sector 476
Tabla 15.28 Sexo de la población....476
Tabla 15.29 Grupo etario 476
Tabla 15.30 Tipo de ocupación 477
Tabla 15.31 Ingresos económicos 477
Tabla 15.32 Afiliación al sistema de seguridad en salud....477
Tabla 15.33 Personas con discapacidad....477
Tabla 15.34 Reconocimiento de etnia....477
Tabla 15.35 víctima del conflicto armado 478
Tabla 15.36 Acceso a servicios públicos....478
Tabla 15.37 Participación en organizaciones 478
Tabla 15.38 Afectaciones en viviendas 479
Tabla 15.39 Preparación ante situaciones de emergencia 480
Tabla 15.40 Percepción del entorno en el que viven....480
Tabla 15.41 Resultado Índice de Vulnerabilidad Social 482
Tabla 15.42 Relación con el predio 484
Tabla 15.43 Nacionalidad de los habitantes del sector 484
Tabla 15.44 Sexo de la población....485
Tabla 15.45 Grupo etario 486

Tabla 15.46 Tipo de ocupación 486
Tabla 15.47 Ingresos económicos 487
Tabla 15.48 Afiliación al sistema de seguridad en salud 487
Tabla 15.49 Discapacidad de la población 488
Tabla 15.50 Reconocimiento de etnia y víctima del conflicto armado 489
Tabla 15.51 Acceso a servicios públicos 489
Tabla 15.52 Participación en organizaciones 490
Tabla 15.53 Afectaciones en viviendas 491
Tabla 15.54 Preparación ante situaciones de emergencia 492
Tabla 15.55 Percepción del entorno en el que viven 493
Tabla 15.56 Resultado Índice de Vulnerabilidad Social 496
Tabla 16.1 Categorización del riesgo de bienes físicos 499
Tabla 16.2 Categorización del riesgo para personas 500
Tabla 16.3 Categorización del riesgo para bienes físicos y personas 500
Tabla 16.4 Categorización del riesgo total 500
Tabla 17.1 Costos aproximados de las obras de mitigación 525
Tabla 18.1 Resultados de los costos de reubicación versus las medidas de mitigación. 527
Tabla 18.2 Estudio de mercado de vivienda VIS en Barranquilla. 529
Tabla 18.3 Caracterización del riesgo mitigable y no mitigable área total. 531
Tabla 22.1 Listado de estaciones cercanas a la zona de estudio 537
Tabla 22.2 Máximas precipitaciones para diferentes duraciones y tiempos de retorno para la estación Las Flores. Fuente: IDEAM, UNAL (2016). 538
Tabla 22.3 Máximas precipitaciones para diferentes duraciones y tiempos de retorno para la estación Aeropuerto Ernesto Cortíssoz. Fuente: IDEAM, UNAL (2016). 538
Tabla 23.1 Precipitación máxima anual para estación Apto. Ernesto Cortissoz desde 1961 a 2018. IDEAM. 541
Tabla 23.2 Periodo de retorno en años con su respectiva probabilidad de excedencia. 543
Tabla 23.3 Curvas de frecuencia de precipitación máxima anual para los datos de la estación Apto. Ernesto Cortíssoz en el periodo 1961-2010. 544

Tabla 23.4 Curvas de frecuencia de precipitación máxima anual para los datos de la estación Apto. Ernesto Cortíssoz en el periodo 1961-2018. 545

Tabla 24.1 Valores de intensidad y profundidades de las IDF del IDEAM para la estación Ernesto Cortissoz. 547

Tabla 24.2 Parametrización inicial para la estación Ernesto Cortissoz. 548

Tabla 24.3 Intensidades y profundidades calculadas a partir de la parametrización inicial de la ecuación de Wenzel para la estación Aeropuerto Ernesto Cortissoz. 548

Tabla 24.4 Cálculo de valores de intensidad para periodos de retorno de 200 y 500 años para la estación Aeropuerto Ernesto Cortissoz 550

Tabla 24.5 Valores de intensidad y profundidades para la estación Ernesto Cortissoz, incluyendo valores extrapolados e interpolados de duraciones y tiempos de retorno. 550

Tabla 24.6 Parametrización definitiva para la estación Ernesto Cortissoz usando la ecuación de Wenzel. 551

Tabla 24.7 Parametrización definitiva para la estación Las Flores usando la ecuación de Wenzel. 551

Tabla 24.8 Intensidades de precipitación para lluvias con duraciones incrementales de 5 minutos para la estación Ernesto Cortissoz. 556

Tabla 24.9 Profundidades de precipitación para lluvias con duraciones incrementales de 5 minutos para la estación Ernesto Cortissoz. 560

Tabla 24.10 Profundidades diferenciales de precipitación para lluvias con duraciones incrementales de 5 minutos para la estación Ernesto Cortissoz. 563

Tabla 24.11 Hietograma de profundidades por el método de bloques alternos para la estación Ernesto Cortissoz. 566

Tabla 24.12 Hietograma de intensidades por el método de bloques alternos para la estación Ernesto Cortissoz. 570

Tabla 24.13 Hietograma de profundidades por el método de bloques alternos para la estación Las Flores. 573

Tabla 24.14 Hietograma de intensidades por el método de bloques alternos para la estación Las Flores. 576

Tabla 25.1 Datos precipitación históricos y futuros para LAS FLORES – MIROC6 587

Tabla 25.2 Datos precipitación históricos y futuros para LAS FLORES – MIROC6 588

Tabla 25.3 Resultado incremento precipitación y cambio temperatura para la estación LAS FLORES 589

Tabla 25.4 Resultado incremento precipitación y cambio temperatura para la estación CORTISSOZ 590

Tabla 25.5 Resultado incremento precipitación y cambio temperatura para la estación CORTISSOZ, Periodo 2035-2064 591

Tabla 25.6 Resultado factor para el periodo de 2035 – 2064 592

Tabla 25.7 Resultado factor para el periodo de 2071 – 2100 593

Tabla 25.8 Factores estación CORTISSOZ periodo 2071-2100 ordenados de menor a mayor 594

Tabla 25.9 Resultado p-value e intervalos de confianza para CORTISSOZ 2071-2100 595

Tabla 25.10 Resultado p-value e intervalos de confianza para CORTISSOZ 2035-2064 595

Tabla 25.11 Valores de intensidad de lluvias críticas para diferentes periodos de retorno periodo 2035-2064 para la estación Apto. Ernesto Cortissoz 596

Tabla 25.12 Valores de intensidad de lluvias críticas para diferentes periodos de retorno periodo 2035-2064 para la estación Las Flores 596

Tabla 25.13 Valores de intensidad de lluvias críticas para diferentes periodos de retorno periodo 2071-2100 para la estación Apto. Ernesto Cortissoz 596

Tabla 25.14 Valores de intensidad de lluvias críticas para diferentes periodos de retorno periodo 2071-2100 para la estación Las Flores 597

Tabla 25.15 Valores de intensidad de lluvias críticas para diferentes periodos de retorno con extrapolaciones periodo 2035-2064 para la estación Apto. Ernesto Cortissoz 597

Tabla 25.16 Valores de intensidad de lluvias críticas para diferentes periodos de retorno con extrapolaciones periodo 2035-2064 para la estación Las Flores 597

Tabla 25.17 Valores de intensidad de lluvias críticas para diferentes periodos de retorno con extrapolaciones periodo 2071-2100 para la estación Apto. Ernesto Cortissoz 598

Tabla 25.18 Valores de intensidad de lluvias críticas para diferentes periodos de retorno con extrapolaciones periodo 2071-2100 para la estación Las Flores 598

Tabla 25.19 Parámetros de la ecuación de Wenzel para el periodo 2035-2064 estación Apto. Ernesto Cortissoz 598

Tabla 25.20 Parámetros de la ecuación de Wenzel para el periodo 2035-2064 estación Las Flores 598

Tabla 25.21 Parámetros de la ecuación de Wenzel para el periodo 2071-2100 estación Apto. Ernesto Cortissoz 598

Tabla 25.22 Parámetros de la ecuación de Wenzel para el periodo 2071-2100 estación Las Flores 599

Tabla 25.23 Valores considerados para el análisis de las temperaturas del periodo 2035-2064. 608

Tabla 25.24 Valores descriptivos de los resultados de cambio de temperatura para el periodo 2035-2064 609

Tabla 25.25 Valores considerados para el análisis de las temperaturas del periodo 2071-2100. 610

Tabla 25.26 Valores descriptivos de los resultados de cambio de temperatura para el periodo 2071-2100 610

ANEXOS

Anexo A .....Topografía

Anexo B .....Hidrología

Anexo C .....Resultados modelación hidráulica

Anexo D .....Zonificación de amenaza por Inundación

Anexo E ..... Zonificación de amenaza por Avenida torrencial

"ESTUDIO DETALLADO DE RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZA POR FENÓMENOS DE INUNDACIÓN Y AVENIDAS TORRENCIALES, Y ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LA LADERA OCCIDENTAL DE LA CIUDAD DE BARRANQUILLA"

Como resultado de la licitación llevada a cabo por la AGENCIA FRANÇAISE DE DÉVELOPPEMENT, por medio del proceso VIL-2022-0067 en el marco de los convenios de cooperación entre la AFD y la Alcaldía de Barranquilla, CI Ambiental S.A.S. fue seleccionada como la firma adjudicada para que ejecute las actividades asociadas al objeto del contrato: "ESTUDIO DETALLADO DE RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZA POR FENÓMENOS DE INUNDACIÓN Y AVENIDAS TORRENCIALES, Y ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LA LADERA OCCIDENTAL DE LA CIUDAD DE BARRANQUILLA".

Este documento recoge las principales particularidades del plan que CI Ambiental propone para la ejecución de las tareas que le han sido encomendadas, y recuenta las características más relevantes del equipo técnico, de la maquinaria y de las herramientas que se destinan a la consecución del objetivo.

Las actividades de campo y oficina se presentan de acuerdo con los TDR, la metodología propuesta y las condiciones particulares que la Alcaldía de Barranquilla estime necesarias para la ejecución adecuada de los trabajos.

1 GENERALIDADES

1.1 ALCANCE

Las labores que se contemplan en la ejecución de este estudio se desarrollan en un área que abarca cerca de 1914 Ha. del occidente de la capital del departamento del Atlántico, y se extiende por los barrios Miramar, Campo alegre, Carlos Meissel, Nueva Colombia, La Esmeralda, Lipaya, Cuchilla de Villate, El Bosque, La Sierrita, Las Américas, Santo Domingo de Guzmán, Carrizal, 20 de Julio, Santa María y Siete de Abril, en donde se pretende realizar:

- El Análisis, la evaluación y la zonificación de la amenaza, por movimientos en masa a escala detallada (1:2000)
- Los estudios básicos de amenaza por inundación y avenida torrencial, a escala 1:5.000
- El análisis y la evaluación de la vulnerabilidad física de los elementos expuestos
- El Análisis, la evaluación y la zonificación del riesgo por fenómenos naturales, a escala detallada, a partir de los resultados de las evaluaciones de amenaza y vulnerabilidad
- El análisis de vulnerabilidad al cambio climático de la ladera occidental de la ciudad de Barranquilla

Para estudios de revisión de los contenidos a mediano y largo plazo de los planes de ordenamiento territorial o la expedición de nuevos planes, los estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por

fenómenos naturales se seguirán los lineamientos del Decreto 1807 de 2014 (Decreto 1077 de 2015), del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.

1.2 LOCALIZACIÓN

La zona de estudio se ilustra en la Figura 1.1, y abarca un área aproximada a las 1914 hectáreas, en las que se emplazan los barrios Miramar, Campo alegre, Carlos Meissel, Nueva Colombia, La Esmeralda, Lipaya, Cuchilla de Villate, El Bosque, La Sierrita, Las Américas, Santo Domingo de Guzmán, Carrizal, 20 de Julio, Santa María y Siete de Abril.

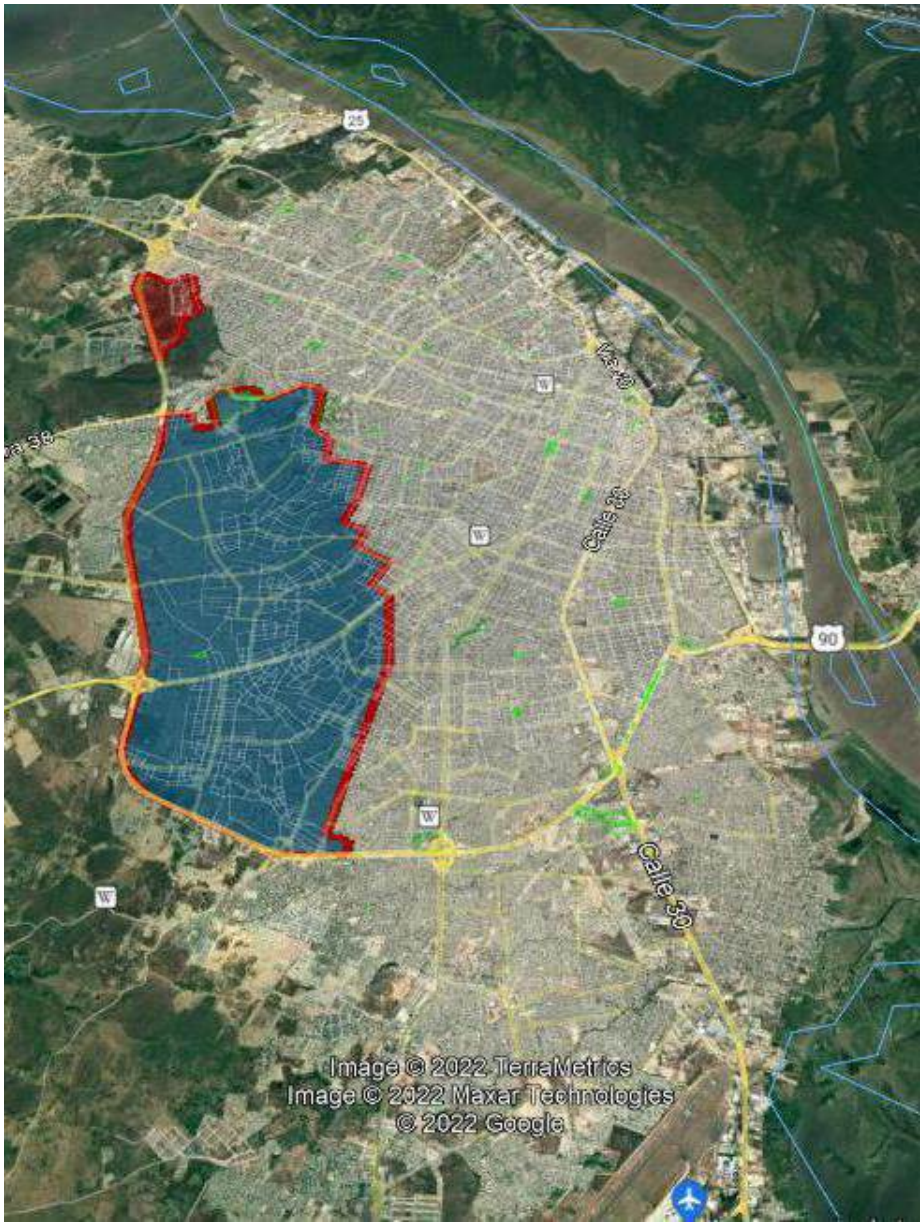


Figura 1.1 Zona de estudio en el marco de la ciudad de Barranquilla. Fuente: TDR AFP, 2022

2 RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

2.1 ANTECEDENTES

A través de los años los cerros occidentales de Barranquilla se han visto afectados por sucesos naturales de diferentes magnitudes, esto debido a la expansión urbana y demográfica de la ciudad de Barranquilla sin un debido control territorial. Es dado a estos sucesos que se ha acrecentado la necesidad de realizar estudios técnicos en los cuales se establezca la vulnerabilidad de la población a estos fenómenos, esto con el objetivo de tomar acciones preventivas. Algunos de los hechos más remarcables de los últimos años se presentan a continuación.

- **CON MAQUINARIA AMARILLA BUSCAN CONTENER DESLIZAMIENTO EN BARRANQUILLA - REVISTA SEMANA 10/11/2022**

Este artículo habla de los afectados en noviembre de 2022 debido a la temporada de lluvias que se presentó en el departamento de Atlántico. Como consecuencia de la amenaza por deslizamiento, en barrios como El Silencio o Campo Alegre, tuvieron que ser evacuados algunos de los habitantes de las zonas. Otros barrios que se vieron afectados por la ola invernal fueron Nueva Colombia, Carlos Meisel, Siete de Abril, Me Quejo, Loma Roja y La Manga.

Todos estos barrios están ubicados en la zona occidental de Barranquilla y pertenecientes a la zona de estudio del presente informe. Es importante tener en cuenta que estos fenómenos fueron generados por la ola invernal del año 2022 en Barranquilla.

- **AFECTADOS POR DESLIZAMIENTOS EN BARRIO LA MANGA ESTO HA SIDO ALGO DOLOROSO – EL HERALDO 16/09/2022**

Este reportaje menciona de manera más detallada los sucesos de septiembre de 2022 en el barrio La Manga, donde parte de los habitantes perdieron sus viviendas debido a un movimiento en masa. El artículo destaca que las casas eran de infraestructura limitada. Se presentan relatos de los habitantes y sus experiencias, y se puede concluir que se trata de un deslizamiento rotacional, esto como consecuencia de las velocidades de desplazamiento relativamente altas y teniendo en cuenta que refieren el suelo como un material arenoso.

Adicionalmente, se resalta la intervención del entonces coordinador de la oficina distrital de gestión del riesgo, quien comenta que en años anteriores se les había solicitado a los habitantes del barrio evacuar la zona y desistir de la construcción de viviendas en el sector. También menciona el hecho de que la zona presenta acumulación de desechos antrópicos como escombro.

- **REVIVA LA HISTORIA DEL CASO DE CAMPO ALEGRE – EL HERALDO 23/08/2016**

El caso de Campo Alegre el fenómeno se presentó en el 2004 donde viviendas ubicadas en la calle 83 comenzaron a presentar grietas, se reportó que la causa era un fenómeno en remoción en masa de la ladera. Estas urbanizaciones tuvieron que ser intervenidas por la alcaldía de Barranquilla. Entre las acciones de prevención y contención se realizaron canales para evacuación y drenaje de aguas, se puede prever que parte de los efectos de remoción en masa es por mal manejo de aguas subterráneas y superficiales. Este caso fue altamente mediático y a pesar de que no está en la zona de estudio de este

informe técnico, puede ser un diagnóstico preliminar para el resto de la zona occidental de las laderas de Barranquilla.

- **MOVIMIENTOS EN MASA REGISTRADOS**

El Servicio Geológico Colombiano pone a disposición de entidades públicas y privadas la herramienta de búsqueda SIMMA (Sistema de información de movimientos en masa). En esta herramienta se registran eventos de movimiento en masa como lo son: caídas, volcamientos, deslizamientos, deslizamientos rotacionales, deslizamientos por licuación, flujos, avalanchas, propagaciones laterales, reptaciones, deformaciones gravitacionales profundas, etc.

Usando esta herramienta se puede apreciar que Barranquilla sólo registra uno de estos eventos en las zonas separadas a las del polígono de estudio, ubicado en la zona de Riomar. Dentro de lo que más destaca en estas zonas son los deslizamientos rotacionales, las caídas, las reptaciones y los flujos (Figura 2.1). Los eventos se enlistan de la siguiente manera:

- Deslizamientos rotacionales: 38 eventos
- Caídas: 8 eventos
- Reptaciones: 7 eventos
- Flujos: 7 eventos
- Deslizamientos: 1 evento

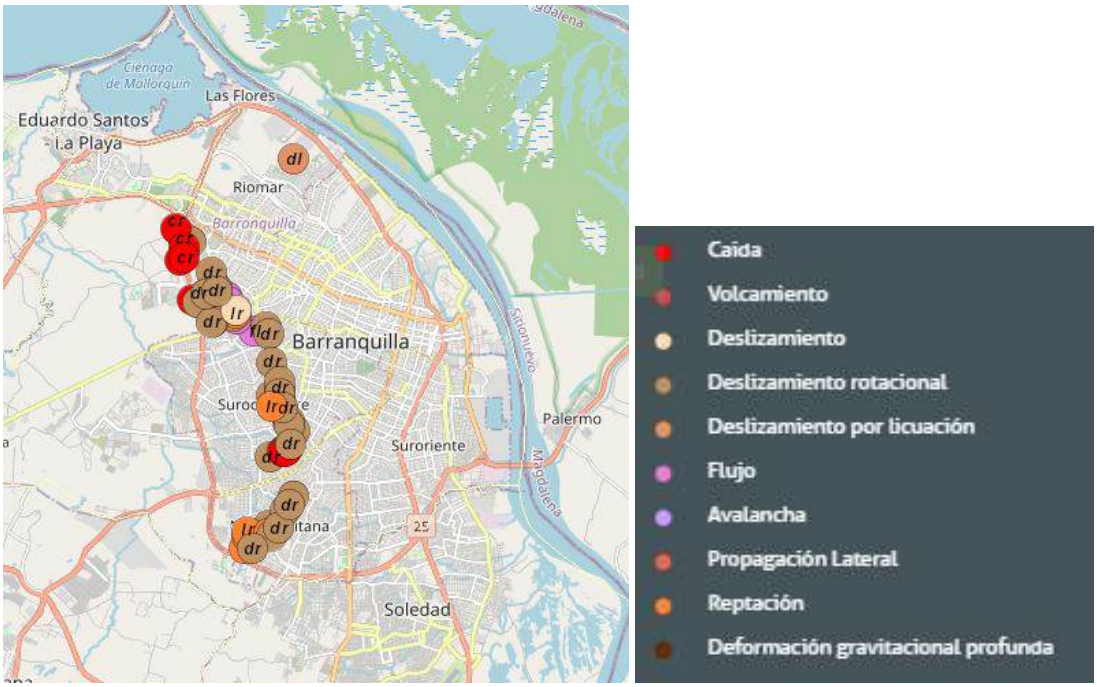


Figura 2.1 Eventos de movimientos en masa (SIMMA, 2023).

Adicionalmente todos estos eventos obedecen al contacto que hacen las dos unidades geológicas más importantes en la ciudad de Barranquilla (Figura 2.2), el Servicio Geológico 2020 las describe de la siguiente manera: la formación Hibacharo, que es caracterizada como “Arenitas líticas y feldespáticas de grano fino a grueso con glauconita, y shales calcáreos intercalados con lodolitas”, y la otra unidad

geológica como "Calizas arrecifales y terrígenas, y arenas calcáreas de grano fino a grueso. Depósitos de gravas intercaladas con arenas gravosas y niveles de lodos."



Figura 2.2 Geología regional de Barranquilla (SGC, 2020)

2.2 INFORMACIÓN SECUNDARIA

Dados los antecedentes históricos de la zona, las entidades nacionales, departamentales y municipales han realizado estudios específicos para evitar percances. A continuación, se describen los más importantes que tienen como objetivo determinar la amenaza de la zona y que son insumo para desarrollar proyectos que disminuyan la vulnerabilidad de personas y objetos.

2.2.1 Evaluación Geotécnica de las Laderas Occidentales de Barranquilla fase I. Ingeominas (1997)

Esta evaluación surge por la susceptibilidad de una zona que presentó ocupación acelerada de la ladera sin un control urbano adecuado. Este estudio tiene una cobertura de 26 km^2 con una escala de estudio semidetallada 1:10.000 (visible en la Figura 2.3). La zona de estudio es muy similar a la del presente proyecto.

Las conclusiones que más se destacan son:

- ✓ "Se logró establecer una relación directa entre el grado de actividad antrópica y la presencia masiva de deslizamientos, la parte central desde el barrio Me quejo hasta la cuchilla de Villate es la zona más afectada por fenómenos de remoción en masa, siendo este sector, donde se inició la colonización de la ladera" Pág. 118

- ✓ "Gran parte de los cauces naturales han sido completamente rellenados con escombros y tierra, con el fin de desarrollar áreas para la construcción de viviendas, sin que se haya construido un sistema de drenaje sustitutivo" Pág. 119
- ✓ "Los factores que mayor inciden en los procesos de inestabilidad del área del proyecto son:
  - Alto grado de erodabilidad de las rocas presentes en la zona escarpada
  - Expansividad alta de las arcillas, particularmente comunes en ladera
  - Carcavamiento intenso retrogresivo que afecta la base del escarpe donde localmente afloran las areniscas friables
  - Disposición local de las discontinuidades estructurales en favor de la pendiente
  - Localmente la sobrecarga generada por la acumulación de escombros y basuras en la parte alta del escarpe.
  - Filtraciones y abundancia de manantiales en la parte alta del talud en algunos sectores
  - Pendientes del orden de 16 a 25 grados o mayores
  - Colonización masiva de la ladera, sin control ni planificación
  - Existencia de canteras antiguas de calizas y arenas en la parte alta del escarpe, cuyos materiales estériles o de desechos se lanzaron ladera abajo. Adicionalmente el proceso de explotación pudo haber generado un mayor fracturamiento del terreno
  - Desestabilidad de la base de la ladera por efecto de la profundización natural de los canales de los arroyos principales
  - La precipitación intensa que afecta el área del proyecto. Pág. 120



Figura 2.3 Zona de estudio para la Evaluación Geotécnica de las Laderas Occidentales de Barranquilla Fase I

Fuente: Tomado y adaptado de Ingeominas (1997)

Se realizó una visita técnica por parte del INGEOMINAS en 2006 para evaluar el estado de las laderas de acuerdo al documento realizado en 1997, en este se muestra un incremento en la actividad antrópica en la zona con lo que aumentan rellenos y botadores. Esta problemática se acrecentó teniendo en cuenta que fueron pocas las obras que se realizaron para mejorar el drenaje y evitar fenómenos de remoción en masa en épocas de lluvias.

2.2.2 Código de Laderas del Distrito de Barranquilla. Sociedad de Ingenieros de Atlántico (2007)

Este código se realiza como complemento a la norma sismorresistente vigente en la época (NSR-98), el objetivo de este era disminuir la vulnerabilidad de las viviendas ubicadas en las zonas de laderas de la ciudad de Barranquilla. En este documento se solicitan aspectos mínimos para los proyectos que deben ser realizados por las personas interesadas en construir y que no se solicitaban en la NSR-98. Para esto se clasificaban los proyectos de acuerdo al tamaño, riesgo, susceptibilidad, amenaza geotécnica, y categoría geotécnica. De acuerdo a esta información se solicitaban estudios geológicos detallados, estudio geomorfológico, estudio sismológico y estudio geotécnico. Además de esto solicitaba soluciones técnicas para agua de escorrentía y aguas subterráneas.

2.2.3 Exploración del Subsuelo e Instrumentación de los Cerros Noroccidentales de Barranquilla. CI Ambiental (2010)

Debido al deslizamiento que se presenta en la carrera 38 (Sector Campo Alegre) surge la necesidad de evaluar el estado de las laderas de Barranquilla. Es por esto que el fondo para la prevención y atención de emergencias, calamidades y desastres del distrito de Barranquilla contrató a CI Ambiental para realizar este estudio. Este se dividió en Geología y geomorfología, Exploración directa por medio de perforación, exploración indirecta por medio de geo-eléctrica e instrumentación instalada.

De entre lo que más destaca son los materiales encontrados que tienden a tener comportamiento desfavorable al estar en contacto con el agua. Adicionalmente establecen que el nivel freático se detecta entre los 4 m y los 8 m de profundidad.

2.2.4 Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa de las Laderas Occidentales de Barranquilla, Departamento del Atlántico. Ingeominas (2011)

Dada la continua presencia de fenómenos de remoción, el Ingeominas desarrolló una zonificación a escala detallada 1:5.000 para un área de 3.041 Ha. Para este proyecto se realizó un inventario de movimientos en masa, estudio de climatología e hidrología, hidrogeología, sismología, exploración del subsuelo y estudio de cobertura de suelos. Algunas de las conclusiones más relevantes del estudio fueron:

- ✓ “La implementación de obras de mitigación para las actuales condiciones del terreno, es muy difícil debido principalmente a que el material al saturarse se comporta como un flujo.” Pág. 384
- ✓ “En las rocas blandas y muy blandas se observan problemas de expansión de arcillas en presencia de agua, generando fracturamiento en pisos y paredes de las viviendas construidas sobre estos materiales.” Pág. 380
- ✓ “El material suelto de arenas se encuentra intercalado con las rocas blandas generando niveles o bolsas de acumulación de agua, que lavan el terreno y por diferencia de densidad con los materiales suprayacentes generan fenómenos de licuación.” Pág. 380

- ✓ "El régimen de las lluvias en la zona del proyecto es bimodal con mayo y junio como los meses de mayor precipitación durante el primer semestre del año y septiembre y octubre en el segundo. La mayor pluviosidad en el año se registra en el mes de octubre. La estación que registra mayor precipitación mensual es La Pintada, principalmente en los meses de septiembre y octubre con 207 mm y 205 mm, respectivamente, acorde con su precipitación medial anual que es la más alta de la totalidad de estaciones analizadas." Pág. 380
- ✓ "El cambio de uso más significativo fue de 49,63 (22,61% del área que había en vegetación) hectáreas de vegetación a construcciones urbanas y la "evolución" o que al 2010 se encontró más vegetación de arbustales, es decir vegetación de mayor porte y más "desarrollada". Las comillas se colocan porque en el periodo 2000-2010 (10 años) no se puede hablar de crecimiento o evolución hacia un estado sucesional de la vegetación, dado las dinámicas de actividades como las canteras."
- ✓ "Es importante destacar el hecho que, en algunos sectores de amenaza baja, se detectó la presencia de agrietamientos, los cuales están relacionados con la expansibilidad del subsuelo. Este fenómeno se presentó en un área importante del área de estudio." Pág. 391

Este informe técnico nos muestra la problemática de las laderas, Hay materiales que prestan poca estabilidad y que son muy susceptibles a las épocas de lluvias. A esto se suma el crecimiento demográfico y la disminución de zonas de vegetación, que en el mejor de los casos aportan a la sostenibilidad a las laderas. Es también visible que los fenómenos se presentan en la época de lluvias más fuerte, donde los suelos están saturados y no tienen estructuras de alivio.

2.2.5 Estudio para la Zonificación de Amenaza por Remoción en Masa a Escala 1:500 en 160 Ha en la Cuenca del Arroyo el Salao II en el Distrito de Barranquilla. CI Ambiental (2013)

El objetivo de este estudio era realizar una zonificación de amenaza de la cuenca del Salao II en Barranquilla. Para este informe se realizaron las siguientes actividades: Recopilación de información, levantamiento topográfico, geología y geomorfología, hidrología, exploración y ensayos y por último análisis de estabilidad. De este informe se destacan las siguientes conclusiones.

- ✓ "A partir de la exploración del subsuelo y ensayos de refracción sísmica, se obtiene que el espesor del material en probabilidad de desplazarse (suelos arcillo-arenosos), presentan un espesor que fluctúa ente los 10 y 15 metros." Pág. 114
- ✓ "El material presente en la zona se caracteriza por sus pobres característica geomecánicas, ya que, si bien en verano presenta alta resistencia, en invierno sufre una pérdida repentina de resistencia una vez se satura. Esto implica que es imprescindible un adecuado manejo del agua de escorrentía." Pág. 114
- ✓ "Debido a que el material se encuentra muy agrietado, la infiltración del agua superficial es muy fácil, generándose de esta manera problemas de inestabilidad locales." Pág. 114

Con las conclusiones de este estudio se confirman las problemáticas de las que se venían hablando con anterioridad y se establece de manera cuantitativa, la amenaza de movimientos en masa.

Por último, CI Ambiental recomienda que para la segunda parte del estudio se complemente y se realice el estudio de vulnerabilidad y riesgo en la zona. Haciendo caso a la recomendación, la alcaldía de

Barranquilla en alianza con el Banco Interamericano de Desarrollo contrató a CI Ambiental para que desarrollara y completara el estudio con vulnerabilidad y riesgo.

Este estudio evaluó la amenaza de la zona en el momento sin ningún tipo de obra, como se muestra en la Figura 2.4, y adicionalmente evaluó la amenaza realizando obras de diferentes magnitudes en cada una de las zonas, como se muestra en la Figura 2.5. Los escenarios fueron los siguientes:

- ✓ Escenario 0. No realizar ninguna Intervención.
- ✓ Escenario 1. Realizar obras de drenaje Superficiales.
- ✓ Escenario 2. Realización de obras de drenaje Superficiales y profundas.
- ✓ Escenario 3. Realización de obras de contención y obras de drenaje – Alternativa 1.
- ✓ Escenario 4. Realización de obras de contención y estabilización, Alternativa 2.

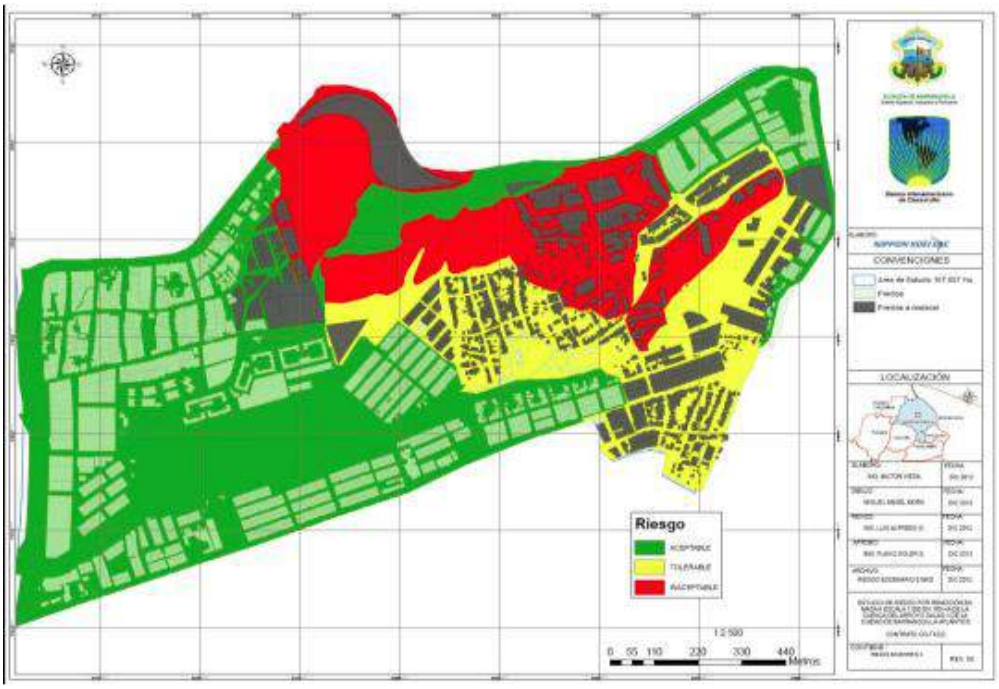


Figura 2.4 Escenario de amenaza 0

Fuente: CI Ambiental (2013)

La alternativa 4 proponía obras de contención y estabilización robustas en toda la zona, se puede apreciar que las zonas de riesgo tolerable se vuelven en zonas de riesgo aceptable y muchas de las zonas inaceptables también se vuelven aceptables, pero a pesar de estas obras robustas no se logra reducir el riesgo en la zona colindante a la carrera 38 (Figura 2.6). Esto nos expone la difícil situación en el sector. Esta zona fue catalogada por la consultoría como una zona de riesgo no mitigable por los grandes problemas de remoción. A pesar de esto se recomendó realizar las obras de mitigación y realizar un viaducto para trasladar la vía con el objetivo de disminuir el riesgo, estas obras fueron realizadas, pero no se realizó el viaducto para trasladar la vía.

En el informe entregado por el PMIB en marzo de 2015 se puede ver que como alternativa seleccionada se eligió realizar un nuevo trazado de la carrera 38 para evitar la zona de riesgo no mitigable. Realizando

un viaducto por en medio del sector Rubí, esta obra estaba presupuestada para que comenzara en el 2020.

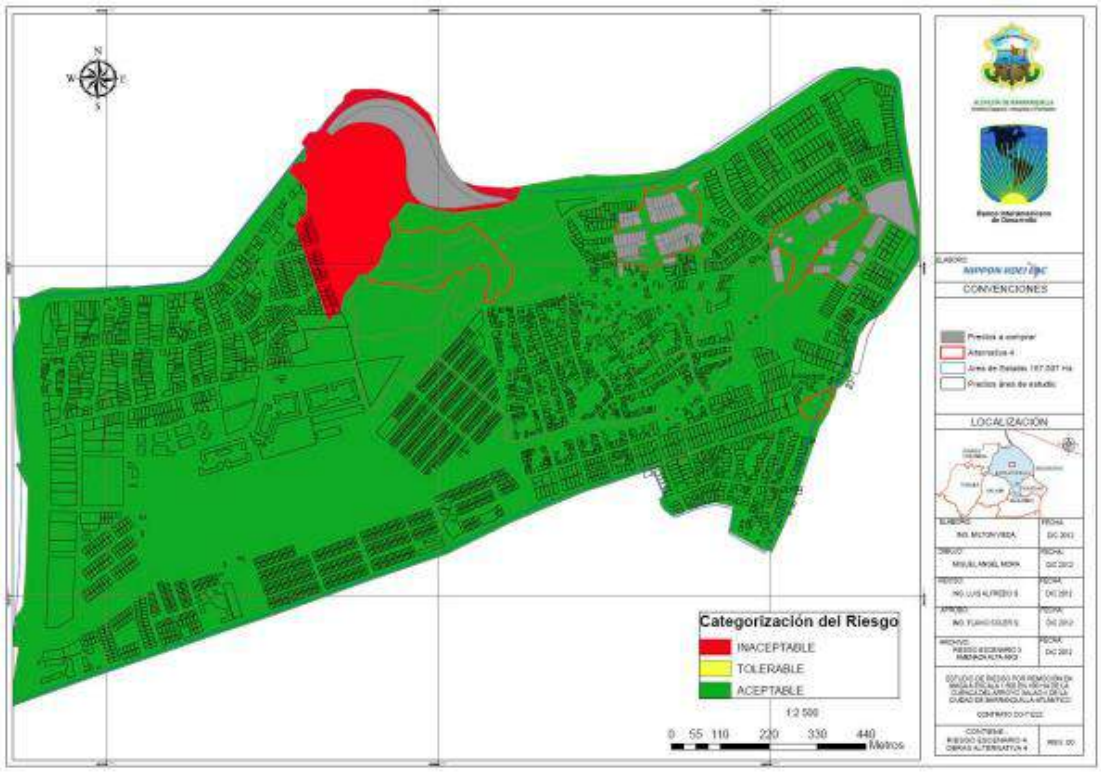


Figura 2.5 Escenario de amenaza 4

Fuente: CI Ambiental (2013)

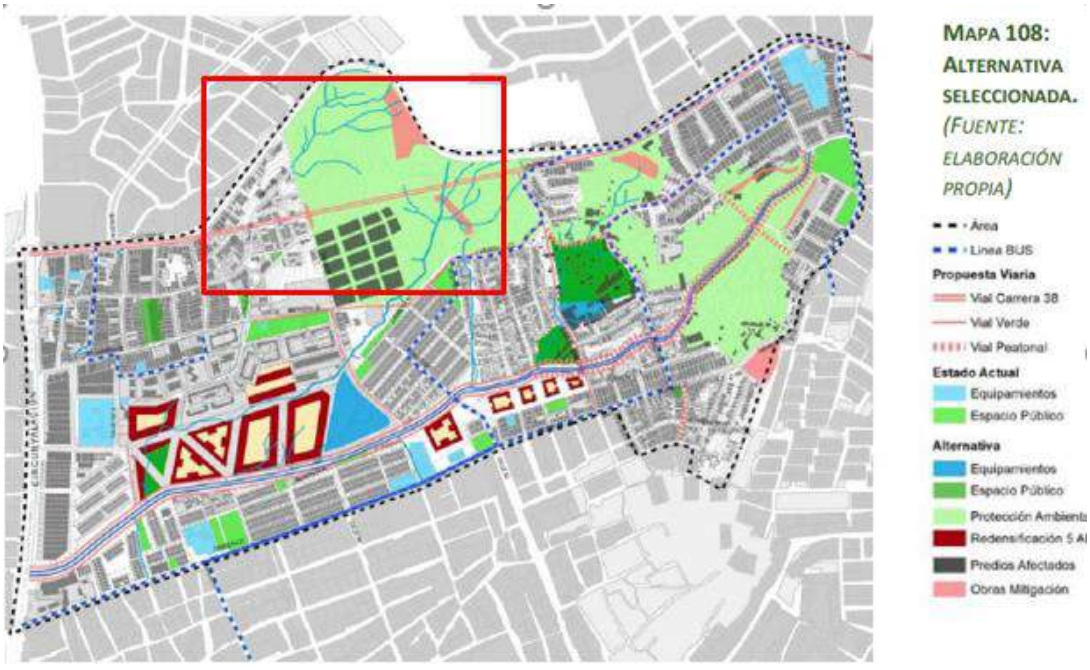


Figura 2.6 Alternativas Seleccionadas tomado y adaptado de: PMIB 2015

2.2.6 Estudio para la evaluación del nivel de amenaza, vulnerabilidad y riesgo a que se encuentran expuestas las viviendas y habitantes del sector de loma roja y la propuesta de diseños de las obras de mitigación necesarias para garantizar la estabilidad – CI Ambiental (2011)

Este contrato celebrado entre CI Ambiental y fondo para la prevención y atención de emergencias, calamidades y desastres del distrito de Barranquilla busca realizar un AVR del sector Loma Roja, En este estudio se realizaron las siguientes actividades: recopilación de información secundaria, levantamiento fotogramétrico y topográfico, cobertura y uso de suelo, geomorfología y geología, análisis hidrológico e hidráulico, exploración y ensayos, análisis de estabilidad y zonificación de amenazas, vulnerabilidad social, vulnerabilidad estructural, asignación de riesgo asociado a fenómeno de remoción en masa e implementación de medidas de mitigación. Algunas conclusiones importantes del estudio son:

- ✓ "El principal agente detonante corresponde a las fuertes lluvias que se han presentado en el sector (dos últimos años), así como, el escaso o inadecuado drenaje existe en el sector, el cual facilita la infiltración de las aguas lluvias, como las aguas negras provenientes del rompimiento de las tuberías, afectando a numerosas viviendas, algunas de las cuales fueron totalmente destruidas por el deslizamiento, especialmente las ubicadas en la pata del deslizamiento."

- ✓ "Es importante destacar por otro lado, que el material presente en la zona se caracteriza por sus pobres características de resistencia, lo cual lo hace muy susceptible a fenómenos de remoción en masa. Durante la fase de campo se pudo verificar que el deslizamiento en la parte intermedia y superior se encuentra muy agrietado, lo cual facilita la infiltración de las aguas lluvias y aguas negras, acelerándose de esta manera los desplazamientos del terreno."

Nuevamente se presentan las mismas problemáticas en otro sector diferente al de la cuenca del Salao II, estableciendo que esta es la problemática es general en gran parte del polígono de estudio.

2.2.7 Análisis de Amenaza y Vulnerabilidad al Cambio Climático – Geoadaptive (2013)

Este informe realizado por Geoadaptive y contratado por el BID tiene como objetivo realizar un análisis AVR al cambio climático en la ciudad de Barranquilla, para esto dividieron el informe en 3 partes, Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero, análisis de amenaza y vulnerabilidad al cambio climático y análisis histórico del uso del suelo y futura huella urbana. Para el primer tomo se concluye que el mayor productor de gases de efecto invernadero son las fuentes móviles las cuales producen especialmente los gases como CO_2 y NOx.

En el segundo tomo dividen en 4 las amenazas de Barranquilla: Remoción en masa, inundación de arroyos, inundación del magdalena e inundación costera. Respecto a la remoción en masa recomiendan prohibir la construcción en las zonas de laderas inestables y controlar de manera apropiada la disposición de desechos. También hacen énfasis en realizar obras de mitigación. Para las inundaciones de arroyos recomienda establecer un balance en la cobertura de suelos dando prioridad a zonas de rebose para los cuerpos aluviales. Para inundaciones del rio magdalena y de la zona costera recomienda que el POT establezca zonas de reserva en los que no se construya para minimizar riesgos en épocas de desborde de aguas.

Para el tercer y último tomo hace recomendaciones para el control territorial de la ciudad con el objetivo de disminuir la huella urbana y evitar posibles invasiones. Adicionalmente explica que la expansión de la

huella territorial es costosa para la alcaldía dado a que tiene que realizar nuevos trazados viales, nuevos estudios técnicos y más acompañamiento.

2.2.8 Plan estratégico para el manejo integral del drenaje pluvial de la cuenca occidental de la ciudad de barranquilla, departamento del atlántico, Colombia – Alianza temporal estudios cuenca occidental Barranquilla - 10/2014

Este estudio establece las amenazas por inundación en la cuenca occidental de Barranquilla y establece obras de mitigación para evitar inundaciones en la misma cuenca que puedan resultan en afectaciones mayores. La principal recomendación para evitar las inundaciones es crear un embalse o laguna de amortiguación de caudales que recomiendan ubicar en la zona occidental de la ciudad de Barranquilla. Adicionalmente recomienda un debido control del crecimiento territorial.

2.2.9 Estudio de amenaza, vulnerabilidad y riesgo de las viviendas del barrio ciudad jardín colindantes con el proyecto: "mejoramiento de la carrera 38 en el sitio critico denominado el rubí y la vía acceso al puerto de Barranquilla" – CI Ambiental 03/2016

Este estudio contratado por el consorcio CC-Sofán-Dumar y elaborado por CI Ambiental en el 2016 consta de los siguientes capítulos recopilación y análisis de la información, elaboración de cartografía, geología, geomorfología, exploración de campo y ensayos de laboratorio, Inventario de movimientos en masa, sismicidad, evaluación de amenaza y vulnerabilidad, riesgos de deslizamiento. Este estudio recomienda obras de estabilización para disminuir el riesgo de los terrenos ubicados en la zona de estudio. Demuestra que implementando las obras de mitigación indicadas con obras de drenaje apropiadas, se disminuye el riesgo y pueden ser zonas habitables.

Todos estos informes aportan información valiosa para la realización del presente estudio, desde columnas estratigráficas para los estudios que realizaron ensayos directos en indirectos del suelo, como clasificación y caracterización del suelo para las muestras a las cuales se le realizaron ensayos. Adicionalmente se utilizan los insumos de esos informes como puntos comparativos para entender si el manejo de las laderas occidentales en Barranquilla ha mejorado. Se puede determinar si hay nuevas problemáticas en el contexto de la zona y establecer nuevas recomendaciones y alternativas de mitigación.

En este sentido se consolidó la información de exploración ejecutada para la zona de estudio, a partir de los proyectos suministrados por la Alcaldía de Barranquilla y adicionalmente algunos proyectos ejecutados por CI Ambiental S.A.S., a partir de los cuales se obtiene un vistazo preliminar de zonas exploradas, y que permitiría comparar información con los productos que se generen a raíz de la ejecución del presente proyecto.

Las figuras de la exploración se presentan sobre la geología para el proyecto en la Figura 2.7 y Figura 2.8. Se resalta que cada color de símbolo de perforación corresponde con un proyecto diferente. En total se encontró una base de datos de 401 exploraciones individuales diferentes en un total de 43 proyectos diferentes.

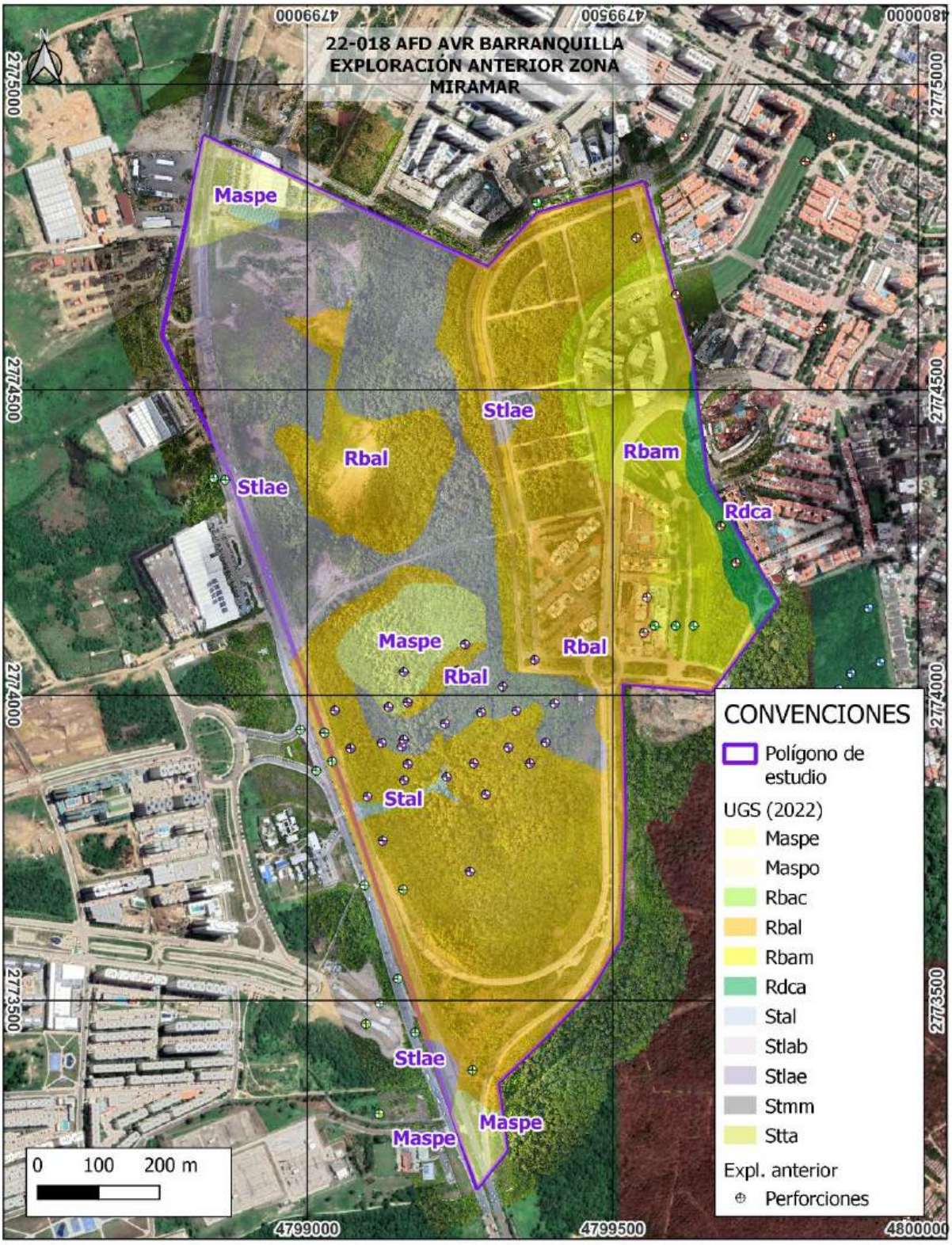


Figura 2.7 Exploración existente de la zona del polígono norte (Miramar).

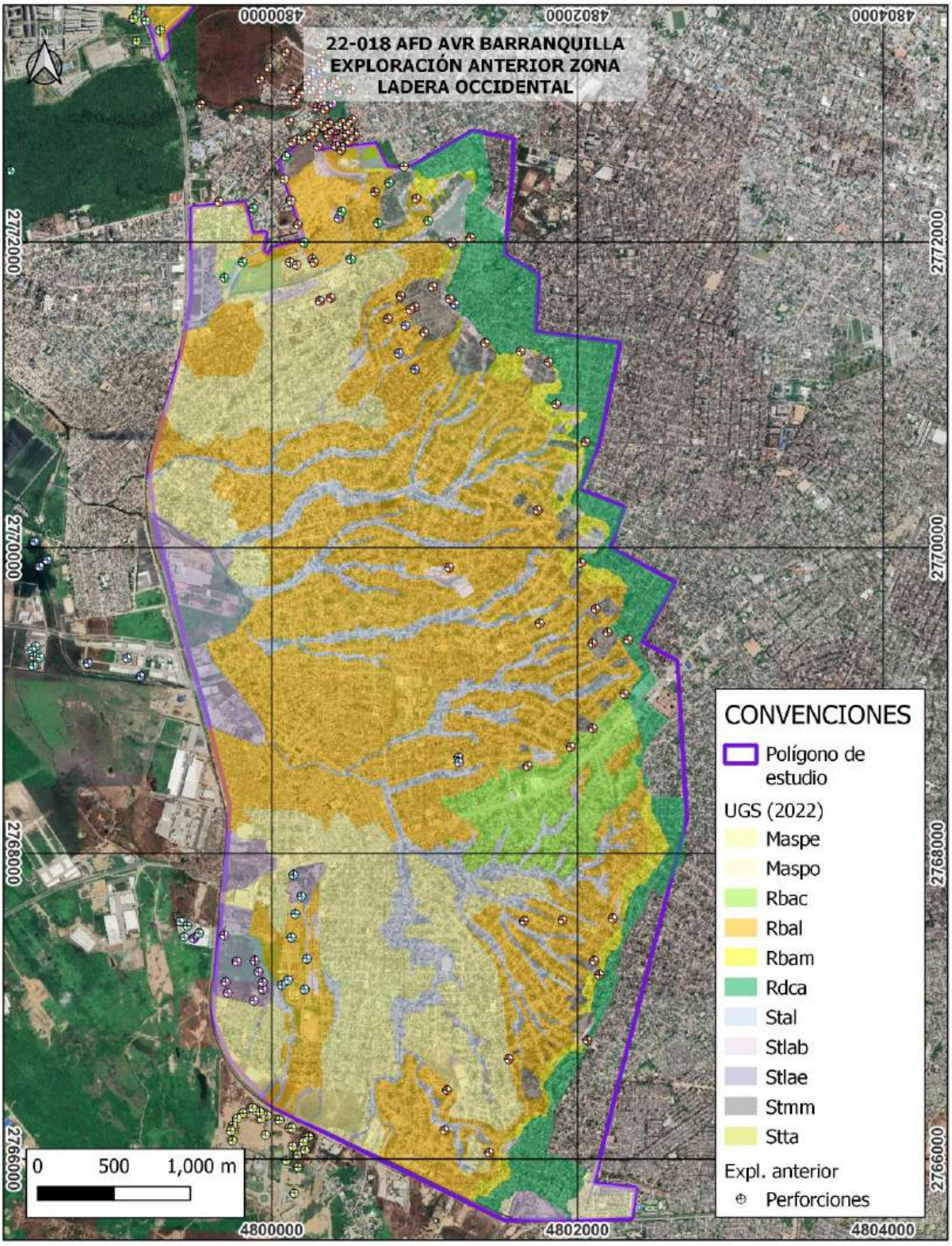


Figura 2.8 Exploración existente de la zona del polígono sur (Ladera Occidental)

2.2.10 Revisión de la Zonificación, Mejoramiento de Escala (1:25.000) y el Abordaje al Tema de Susceptibilidad de Amenazas y Vulnerabilidad, como Avance en el Ajuste al Plan de Ordenamiento de la Cuenca Hidrográfica (POMCA) Ciénaga de Mallorquín y los Arroyos Grande y León – Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA) – 2015

El Pomca de la cuenca especifica que el Departamento del Atlántico está en el norte de Colombia, en la región Caribe, y tiene tres vertientes: el mar Caribe, el río Magdalena y el canal del Dique. Estas vertientes se dividen en 4 subcuencas con iguales nombres a sus vertientes, excepto la vertiente del Caribe que tiene la subcuenca del Caribe y la subcuenca de la Ciénaga de Mallorquín y los arroyos Grande y León, que ocupa una superficie de 300 Km2 y está formada por estos arroyos.

El plan de ordenamiento de la cuenca reconoce la cobertura del área con la predominancia de territorios artificializados, de tejido urbano continuo (111) y pocas zonas industriales o comerciales (121), que coexisten con bosques y áreas seminaturales: pastos enmalezados (233), vegetación secundaria baja (3232) y tierras desnudas y degradadas (333). Véase la Figura 2.9. Por otra parte, el uso de la zona está definido primordialmente por zonas destinadas a la vivienda, con pequeños espacios de protección, conservación y aprovechamiento; de industria o comercio; ocupados por ganadería con pastoreo extensivo, semiintensivo o intensivo; y algún área sin uso o en recuperación. Esto puede verse en la Figura 2.10.



Figura 2.9 Cobertura del Suelo en el Área de Estudio. Extracto del Mapa de Cobertura del Pomca de la Cuenca de la Ciénaga Mallorquín

Fuente: Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA, 2015)

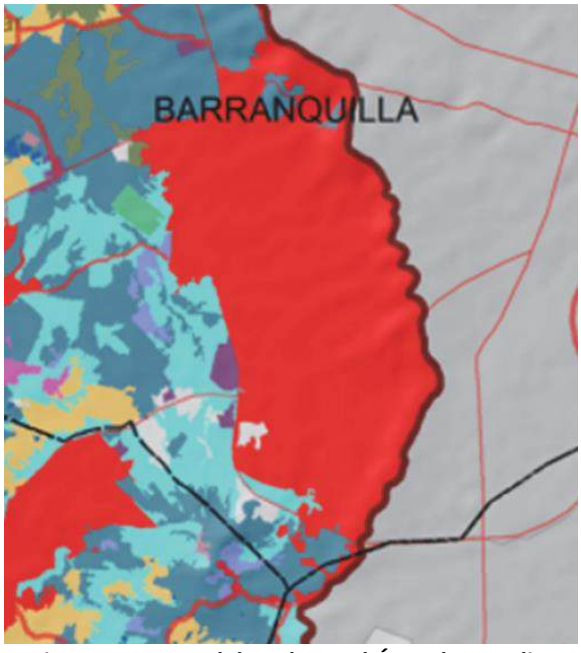


Figura 2.10 Uso del Suelo en el Área de Estudio. Extracto del Mapa de Uso del Pomca de la Cuenca de la Ciénaga Mallorquín

Fuente: Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA, 2015)

La cuenca de Mallorquín se divide en seis (6) subcuencas: San Luis o Arroyo Granda, Oriental - C. Pan de Azúcar o Arroyo Grande, Arroyo Hondo o Arroyo León, Cisne, Perdida Cantera y Plano Costero o Cuenca

Baja. La subcuenca Arroyo Hondo o Arroyo León se extiende por 100 km2 y contiene una porción importante del área metropolitana de Barranquilla, que incluye las laderas occidentales que nos ocupan.

En lo que a la red de drenaje respecta, el Pomca expone que el drenaje urbano del occidente de Barranquilla desemboca en el arroyo Santo Domingo, y tiene algunos canales revestidos en concreto o piedra, mientras que otros carecen de él. Además, se menciona que no hay un plan de manejo para las redes de drenaje pluvial en la zona urbana que desemboca en este arroyo, pues los trabajos en la red de drenaje se hacen de manera aislada en respuesta a las necesidades de las comunidades locales.

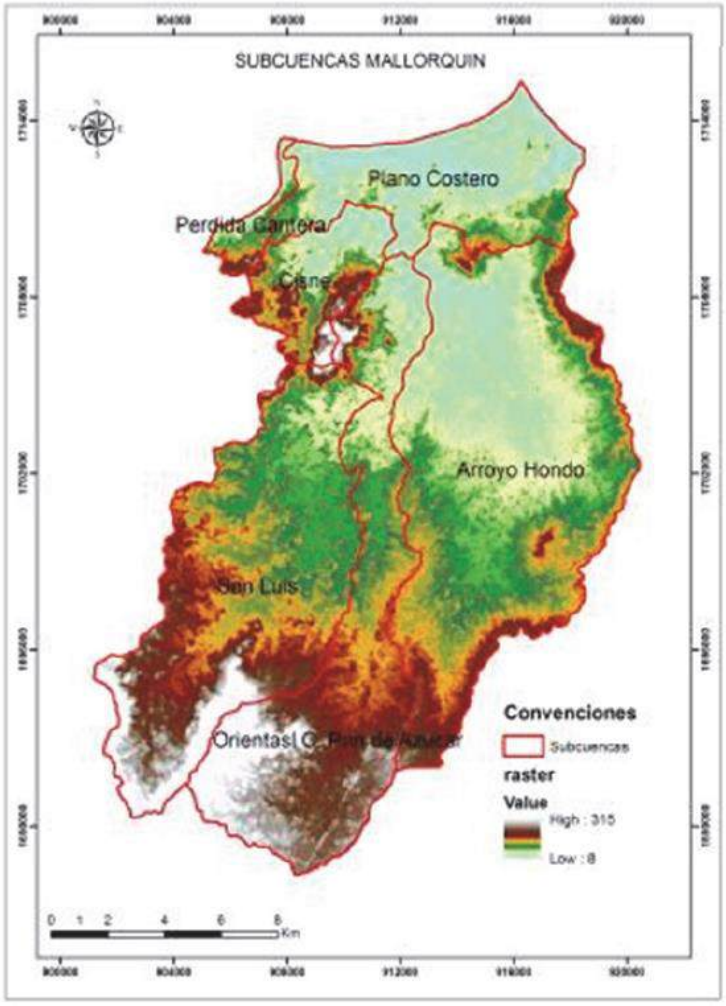


Figura 2.11 Cuenca y Subcuencas de Mallorquín
Fuente: Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA, 2015)

Para la cuenca, y por ende para la subcuenca de Arroyo Hondo, la precipitación tiene dos periodos claramente definidos: uno seco de enero a marzo y otro húmedo de abril a diciembre. En uso de los datos mensuales de precipitación de seis (6) estaciones del IDEAM que tienen representación en la distribución espacial de la precipitación sobre la cuenca Mallorquín (Las Flores, Aeropuerto Ernesto Cortissoz, Polonuevo, Usiacurí, Juan de Acosta y Puerto Colombia) y con su ponderación efectuada mediante polígonos de Thiessen, se obtiene el comportamiento mensual de la precipitación en cada subcuenca, que es el visible en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Precipitación promedio mensual por Subcuenca

	SUBCUENCA					
MES	SAN LUIS	ORIENTAL C. PAN DE AZÚCAR	ARROYO HONDO	CISNE	P CANTERA	PLANO COSTERO
Enero	0.5	3.76	0.81	0.21	0.23	0.21
Febrero	0.62	1.55	0.63	0.5	0.5	0.55
Marzo	1.75	6.2	1.68	1.34	1.37	1.03
Abril	23	43.22	23.27	13.1	13.08	13.24
Mayo	87.06	111.66	107.4	84.05	83.07	94.04
Junio	88.73	101.52	78.04	66.16	65.44	73.44
Julio	73.5	96.79	74.52	55.61	55.58	55.96
Agosto	174.76	180.69	158.65	164.85	165.7	156.17
Septiembre	147.55	151.04	149.33	138.85	138.43	143.15
Octubre	189.15	193.31	176.75	182.43	183.31	173.59
Noviembre	122.66	124.94	112.9	113.63	112.59	124.2
Diciembre	35.82	37.28	37.93	33.35	32.79	38.99

Tabla 2.2 Promedio de los máximos anuales Subcuenca Arroyo León o Arroyo Hondo (POMCA)

	AEROPUERTO	LAS FLORES	POLO NUEVO	PTO. COLOMBIA
Porcentaje Thiessen (A)	40.5	47.3	3.2	9
Promedio máximos anuales (B)	83.1	79.7	93.1	100.6
A*B	33.7	37.7	3.0	9.1
Prom Ponderado Σ A*B				83.4

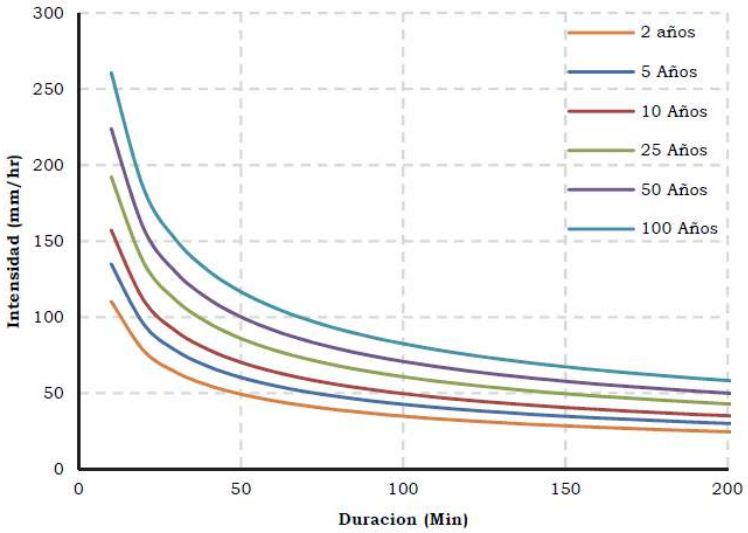


Figura 2.12 Curva IDF Cuenca Arroyo León o Arroyo Hondo (POMCA)
Fuente: Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA, 2015)

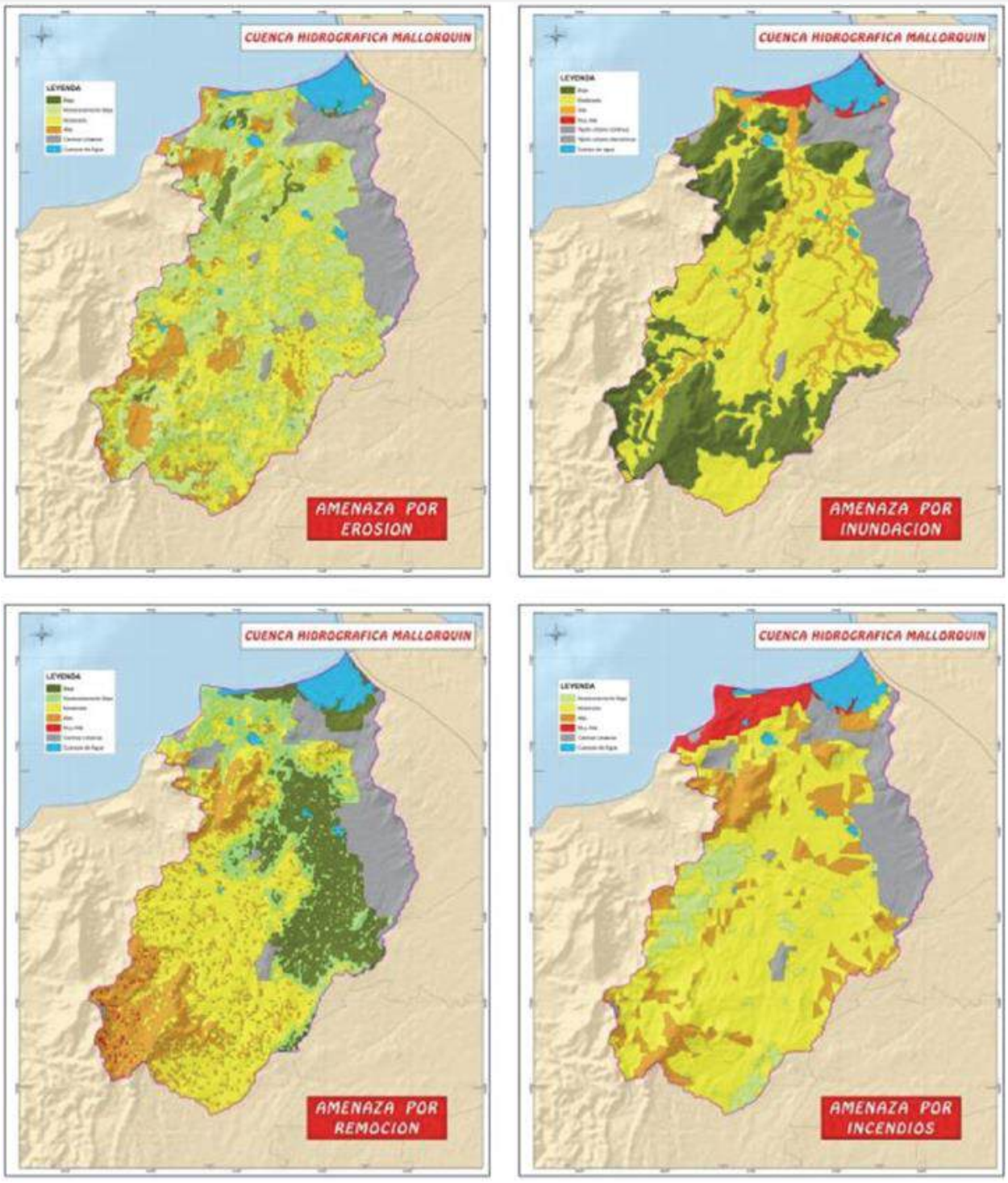


Figura 2.13 Amenaza por Erosión, Inundación, Remoción en Masa e Incendios Forestales de la Cuenca de Mallorquín (POMCA)

Fuente: Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA, 2015)

Durante el periodo de lluvias, hay una importante contribución de caudales superficiales en la cuenca de Mallorquín, que para el caso de la subcuenca Arroyo Hondo puede llegar a alcanzar la confluencia de

caudales máximos diarios del orden de los 50 m3/s, pero no son aprovechables debido a su carácter instantáneo y a la capacidad de almacenamiento limitada de la cuenca. Aunque hay disponibilidad de agua durante los eventos de lluvia, ésta no se puede utilizar para actividades productivas ya que todo el volumen de escurrimiento fluye hacia la ciénaga de Mallorquín y finalmente al mar Caribe.

La fuente usa los datos de las estaciones IDEAM Aeropuerto, Las Flores, Polo Nuevo y Puerto Colombia entre 1980 y 2011 para construir las curvas IDF de la subcuenca Arroyo Hondo, para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años, basadas en el promedio ponderado de la precipitación máxima anual en 24 horas a nivel mensual multianual. Véase la Tabla 2.2 y la Figura 2.12.

Por otra parte, el plan entrega las zonificaciones de amenazas por erosión, por inundación, por remoción en masa, por incendios forestales y por sismicidad, logradas con la "modelación de susceptibilidad", de la que no se especifica el método implementado ni comentario alguno, y para las que solo se entregan las figuras que se incluyen en este documento, pero de las que es imposible efectuar mayor conclusión o sacar provecho significativo, dadas la escala de presentación, la baja resolución y la ilegibilidad de las leyendas (véase la Figura 2.13). Sin embargo, se puede resaltar que la mayor parte del área urbana en la subcuenca de Arroyo Hondo (en la que se posiciona nuestra área de estudio), se demarca en un color gris, que podría sugerir que este espacio no se incluye en la zonificación de las amenazas.

De la zonificación de amenaza por sismicidad se puede mencionar que toda el área de las laderas occidentales de Barranquilla hace parte de la zona en la que la amenaza se cataloga como moderadamente baja.

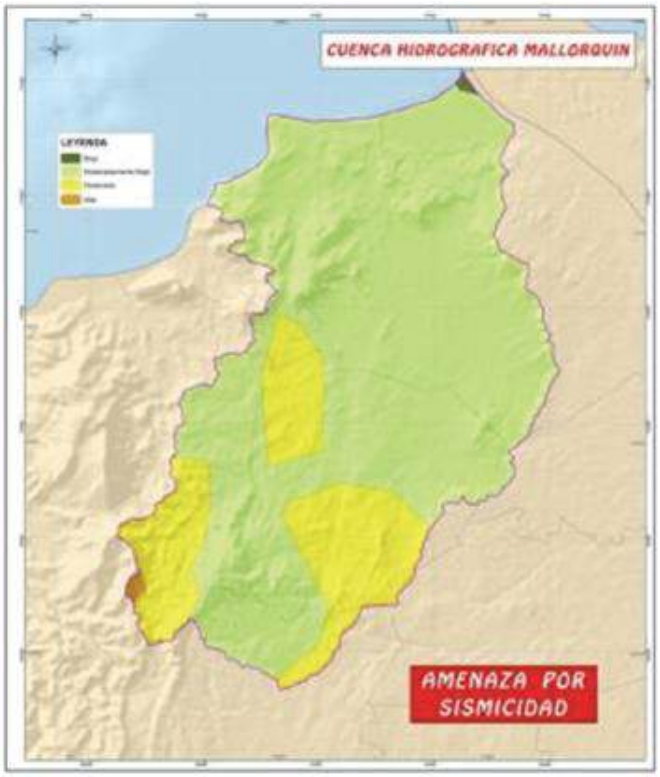


Figura 2.14 Amenaza por Sismicidad de la Cuenca de Mallorquín (POMCA)
Fuente: Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA, 2015)

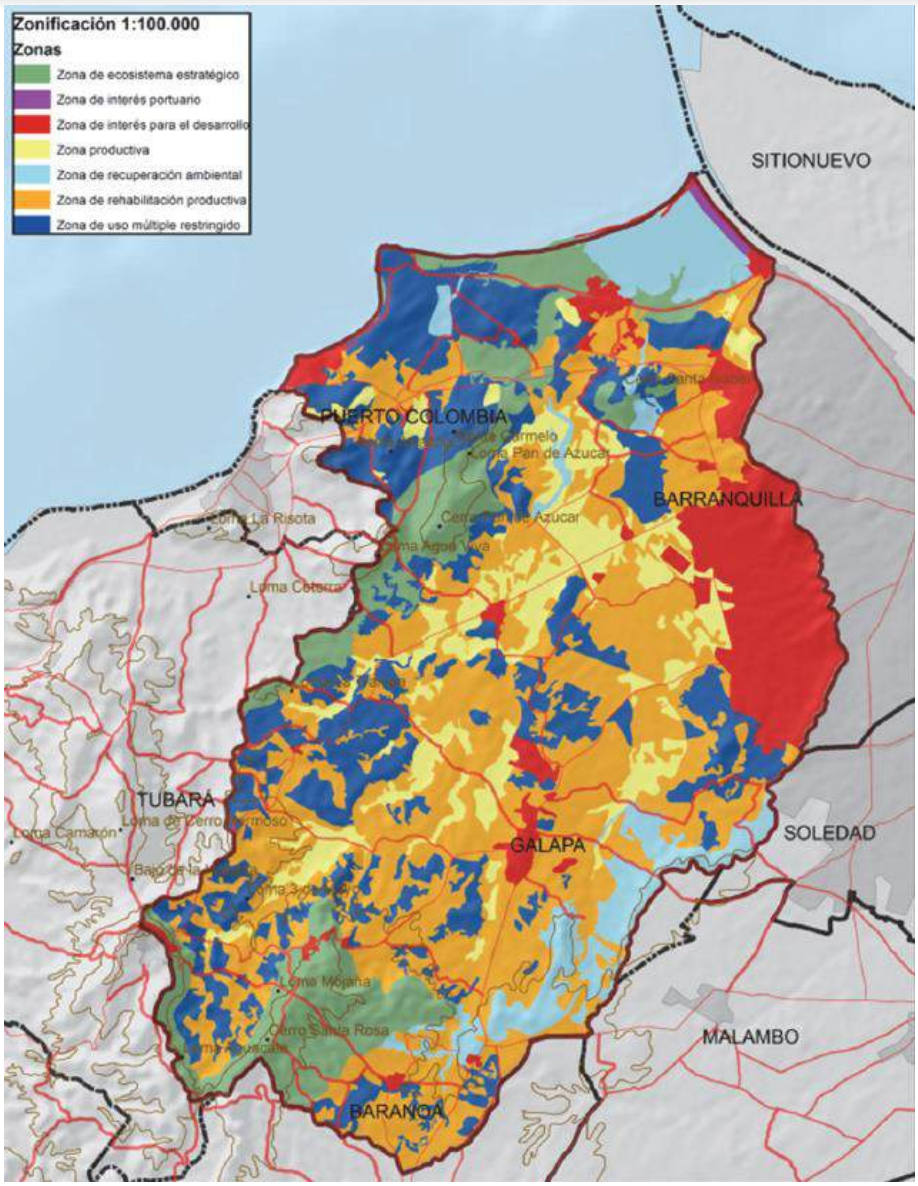


Figura 2.15 Zonificación Ambiental POMCA Mallorquín 2007
Fuente: Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA, 2015)

El proceso de zonificación ambiental que expone el POMCA tiene como objetivo garantizar un ordenamiento territorial enfocado en el desarrollo sostenible. Para ello, es necesario considerar la dinámica territorial del área y la caracterización de sus componentes físico, biótico, social, económico y de vulnerabilidad, y representarlos en unidades homogéneas de uso y manejo. La estructura ambiental de la cuenca es fundamental para su desarrollo económico y social, por lo que la zonificación (realizada a escala 1:100.000) debe tener un enfoque ecosistémico, interrelacionando los sistemas espaciales, estructurales y funcionales para mantener el equilibrio ambiental en el territorio.

El Plan entrega la zonificación ambiental para los años 2007 y 2015, de las que en la primera, visible en la Figura 2.15, se reconoce la existencia tanto de zonas de interés para el desarrollo en la mayor parte de las laderas occidentales de Barranquilla, como la coexistencia de algunas y más limitadas zonas productivas,

de rehabilitación productiva y de uso múltiple restringido; mientras la segunda, representa el plan adoptado y por medio del que, en el área de estudio que nos ocupa y hacia el occidente, se plantea la consolidación y ampliación de los suelos urbanos y de expansión urbana (véase la Figura 2.16).

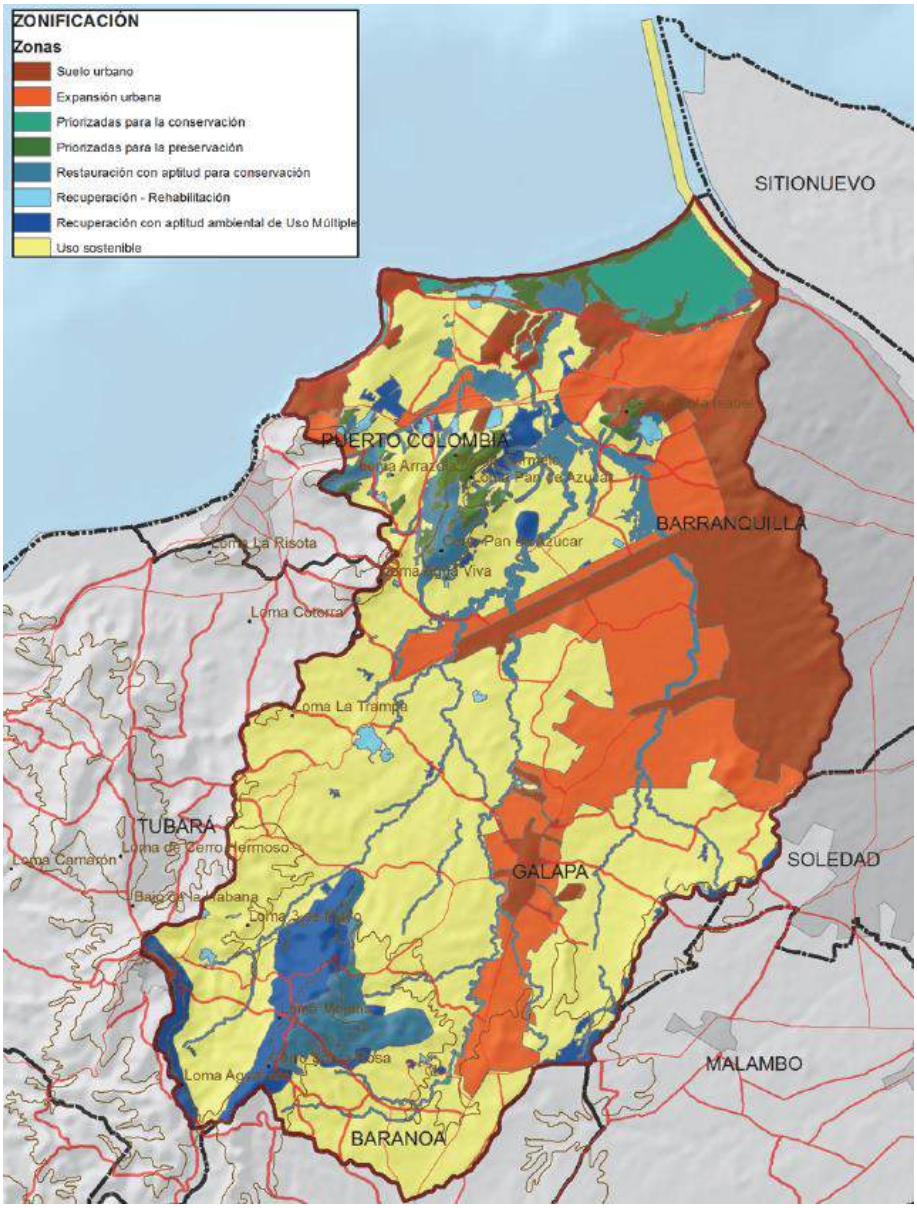


Figura 2.16 Propuesta de ajuste a la zonificación ambiental de la cuenca de la Ciénaga de Mallorquín y los Arroyos Grande y León (2015)
Fuente: Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA, 2015)

2.2.11 Plan de Gestión Ambiental Regional del Departamento del Atlántico 2012 - 2022 (PGAR) – Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA) – 2014

Para iniciar el análisis es conveniente mencionar que la vigencia del PGAR no es del todo clara en el documento, pues en diferentes apartes se mencionan tres periodos diferentes: 2012-2022, 2013-2023 y

2014-2024. Es un plan que encabeza la Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA), para el área de su jurisdicción, pero en su formulación participan otros actores territoriales, y los representantes de diferentes sectores sociales y económicos. El Plan contiene un diagnóstico ambiental del que puede resaltarse que si bien se considera que el departamento cuenta con una ventaja natural por la potencial capacidad para satisfacer de manera sostenible el requerimiento de agua potable que demandará la población proyectada, se evidencia la desecación de algunos cuerpos de agua y el desabastecimiento en algunos espacios durante la temporada seca.

La CRA reconoce 3 subzonas hidrográficas y un nivel subsiguiente: Canal del Dique, Complejo de Humedales de la Vertiente Occidental del Río Magdalena, y Arroyos directos al mar; y el nivel subsiguiente de La Ciénaga de Mallorquín, de la que hacen parte las laderas occidentales de Barranquilla. Del drenaje urbano de Barranquilla se menciona que drena hacia algunos canales que descargan en los arroyos Santo Domingo y Hondo. En este mismo espacio, a diferencia de lo que ocurre en el resto de la subcuenca, se han incorporado algunas redes diseñadas para la conducción del drenaje pluvial.

Por último, la CRA formula las líneas estratégicas del PGAR con las que se pretende establecer el camino hacia la visión de 2024, y menciona que los mecanismos de seguimiento y evaluación del plan de gestión ambiental implican esfuerzos continuos que se retroalimentan para trabajar en las debilidades en el cumplimiento de las líneas estratégicas con las que se busca la gestión sostenible del departamento.

3 CARTOGRAFÍA BASE

Para la generación de la cartografía base se realizó el levantamiento topográfico mediante uso de sensor LiDAR, el cual fue desplegado mediante el uso de naves pequeñas a control remoto no tripuladas (tipo dron). La información levantada mediante este proceso permitió obtener de forma simultánea la siguiente información:

- Modelo digital de Superficie (MDS o DSM)
- Modelo digital del terreno (MDT o DTM)
- Ortomosaico de la zona de estudio

Con el fin de obtener la anterior información se llevaron a cabo varias actividades, las cuales se relatan a continuación.

3.1 RECONOCIMIENTO ÁREA DE ESTUDIO

Teniendo en cuenta el polígono del área de estudio, mediante aplicación Google Earth se determina la localización aproximada de los puntos en los siguientes barrios: C#1 en bario Por fin, C#2 en barrio Ciudad Modesto, C#3 en barrio El Bosque, C#4 en barrio Santo Domingo de Guzmán, C#5 en barrio Siete de Abril, se coordina y ejecuta visita al área de estudio para determinar la localización exacta de los puntos teniendo en cuenta las condiciones de los distintos sectores.

3.2 CONSTRUCCIÓN DE MOJONES

Con paladraga se procede a excavar sobre el sitio seleccionado, se introduce un niple de 4 pulgadas de diámetro, este es empotrado con concreto y se fija en cada uno de los mojones placa en aluminio con inscripción que identifica el nombre del punto.

3.3 GEORREFERENCIACIÓN

Se utiliza como base la estación permanente del IGAC GNSS BQLA de la red activa MAGNA ECO. Para la georreferenciación se utiliza un equipo GNSS marca TOPCON, modelo HIPER V, de precisión submétrica, doble frecuencia, este es posicionado sobre el punto denominado GPS1, materializado sobre bordillo de la calle 100, sector Miramar, Barranquilla Atlántico. Los tiempos de posicionamiento se establecieron con base a las condiciones climáticas, ubicación geométrica de los satélites y longitud aproximada del vector formado entre la Base BQLA del IGAC y el punto GPS1 localizado en el área del proyecto, garantizando tiempos de rastreo suficientes para solucionar ambigüedades y un correcto posicionamiento.

Para el amarre geodésico de los puntos CI#1, CI#2, CI#3, CI#4, CI#5, se utiliza como punto base el punto GPS1 (véase la Figura 3.1) y se aplica el procedimiento descrito para el amarre del GPS1.



Figura 3.1 Ubicación del punto geodésico GPS1

3.3.1 Punto GPS1



Figura 3.2 Punto GPS 1.

Nombre de proyecto **DRON LIDAR MIRAMAR Y SUR-OCCIDENTE (Oct_18_2022)**
Carpeta de proyecto: **D:\APJ Topografía S.A.S\DRON LIDAR MIRAMAR Y SUR- OCCIDENTE (Oct_18_2022)**
Fecha de Creación: **24/10/2022 2:57:52 p. m.**
Comentario:
Unidad lineal: **Metros**
Unidades angulares: **DMS Proyección: Magna S_Origen Unico Datum: WGS84**
Geoide: **Geocol2004**
Huso Horario: **(UTC-05:00) Bogotá, Lima, Quito, Rio Branco**

Tabla 3.1 Coordenadas puntos BQLA y GPS1

Puntos			
Nombre	**Coord Norte (m)**	**Coord Este (m)**	**Elevación (m)**
BQLA	2776344.374	4797999.457	55.755
GPS1	2774440.302	4799318.871	61.867

Tabla 3.2 Observaciones GPS

Observaciones GPS					
Nombre	**dN (m)**	**dE (m)**	**dHt (m)**	**EMC Horiz**	**Vert EMC**
BQLA á GPS1	-1904.073	1319.413	6.224	0.012	0.018

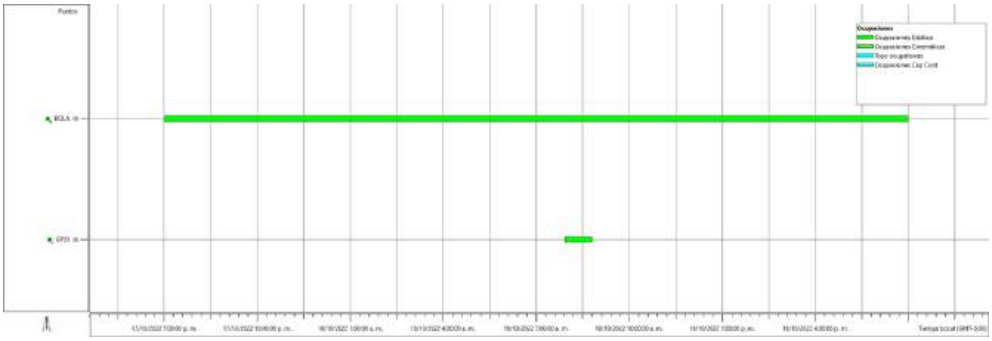


Figura 3.3 Occupation view BQLA a GPS1.



Figura 3.4 Observation view BQLA a GPS1.



Figura 3.5 Map view GPS1.

3.3.2 Puntos CI#1, CI#2, CI#3, CI#4, CI#5

Nombre de proyecto **DRON LIDAR MIRAMAR Y SUR-OCCIDENTE MOJONES (Oct_18_2022)**
Carpeta de proyecto: **D:\APJ Topografia S.A.S\DRON LIDAR MIRAMAR Y SUR- OCCIDENTE (Oct_18_2022)**
Fecha de Creación: **24/10/2022 4:37:00 p. m.**
Creado por: **AP**
Comentario:
Unidad lineal: **Metros**
Unidades angulares: **DMS**
Proyección: **Magna Origen Único Nacional.**
Datum: **WGS84**
Geoide:
Huso Horario: **(UTC-05:00) Bogotá, Lima, Quito, Rio Branco**

Tabla 3.3 Coordenadas puntos C#1, C#2, C#3, C#4 y C#5.

Puntos			
Nombre	**Coord Norte (m)**	**Coord Este (m)**	**Elevación (m)**
GPS1	2774440.302	4799318.871	61.867
C#1	2771388.146	4800486.768	44.861
C#2	2770286.726	4800903.408	39.697
C#3	2768993.862	4801272.021	41.889
C#4	2767524.275	4801131.173	41.228
C#5	2766469.465	4801300.282	61.048

Tabla 3.4 Observaciones GPS de GPS1 a los puntos C#1, C#2, C#3, C#4 y C#5.

Observaciones GPS					
Nombre	**dN (m)**	**dE (m)**	**dHt (m)**	**EMC Horiz**	**Vert EMC**
GPS1 á C#1	-3052.156	1167.897	-17.006	0.002	0.005
GPS1 á C#2	-4153.576	1584.537	-22.170	0.005	0.010
GPS1 á C#3	-5446.439	1953.150	-19.978	0.007	0.019
GPS1 á C#4	-6916.027	1812.302	-20.639	0.007	0.011
GPS1 á C#5	-7970.837	1981.411	-0.819	0.003	0.006

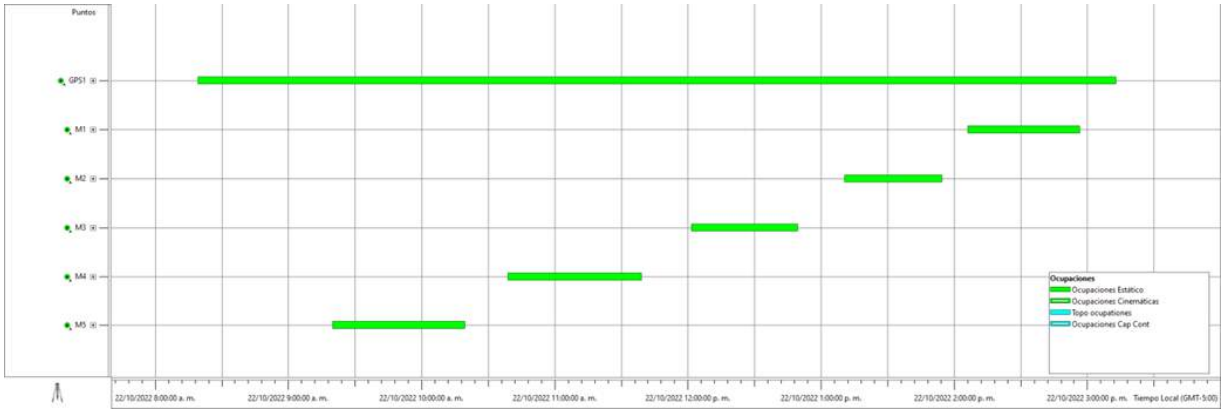


Figura 3.6 Occupation view de GPS1 a los puntos C#1, C#2, C#3, C#4 y C#5.



Figura 3.7 Observation view de GPS1 a los puntos C#1, C#2, C#3, C#4 y C#5.

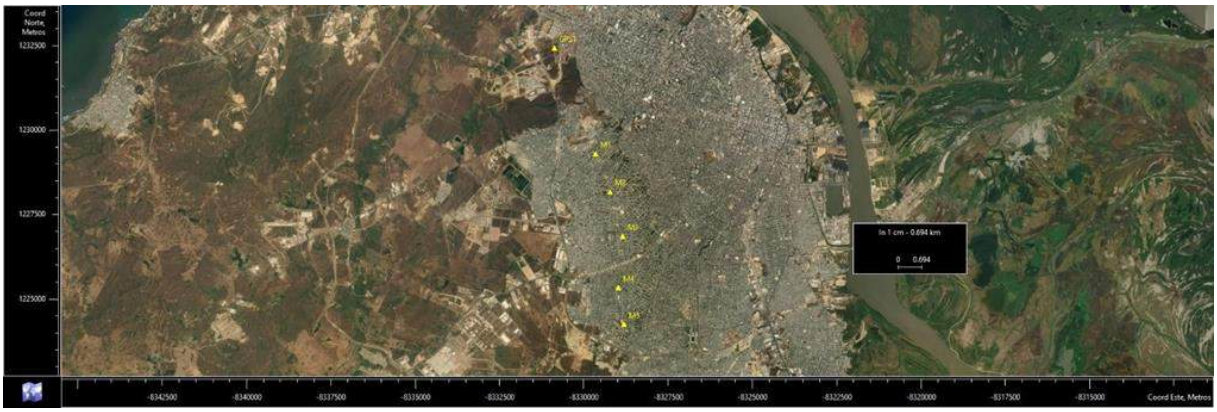


Figura 3.8 Map View de los puntos C#1, C#2, C#3, C#4 y C#5.

3.3.2.1 Mojón C#1

Localizado en la intersección de la calle 84 con carrera 23a, barrio Por Fin.



3.3.2.2 Mojón C#2

Localizado en la intersección de la calle 84 con carrera 13, barrio Ciudad Modesto.



3.3.2.3 Mojón C#3

Localizado en la intersección de la calle 74 con carrera 8c, barrio El Bosque.



3.3.2.4 Mojón C#4

Localizado sobre la calle 74, entre carreras 3c y 4a, barrio Santo Domingo De Guzmán.



3.3.3 Puntos de control y chequeo

Se determinan en el área de estudio puntos coordenados para ser utilizados como puntos de control y de chequeo, estos son materializados en sitios estratégicos, equidistantes entre sí.



Figura 3.9 Punto de control típico.

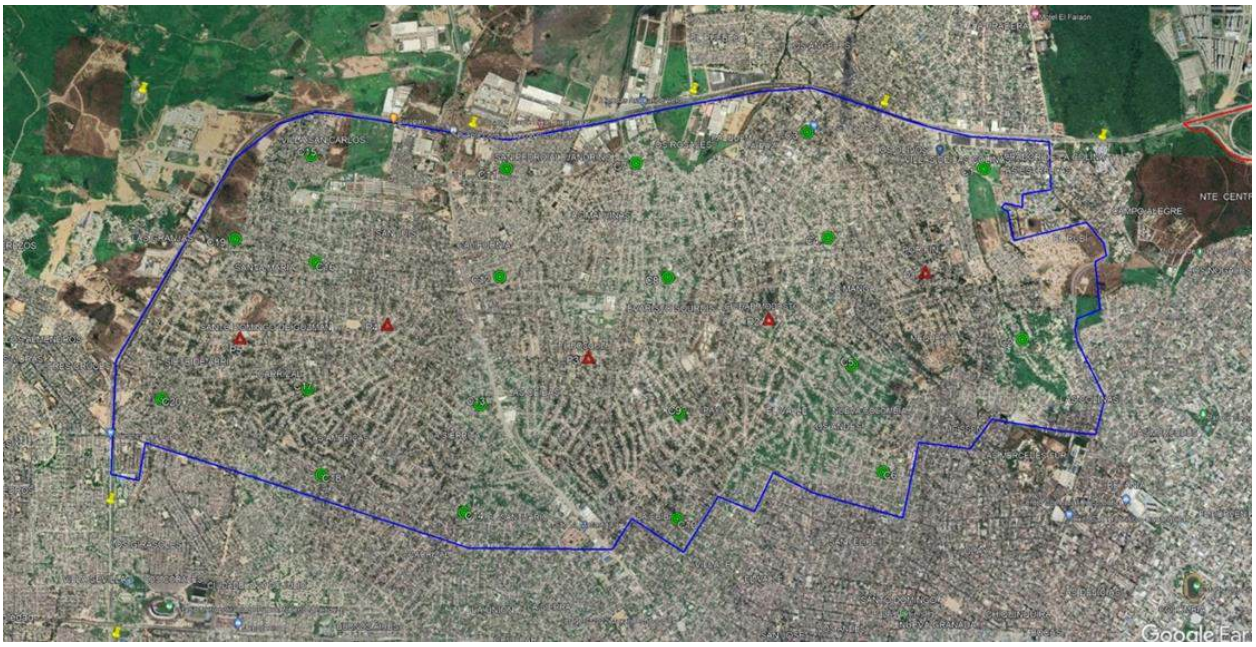


Figura 3.10 Localización general puntos de control.

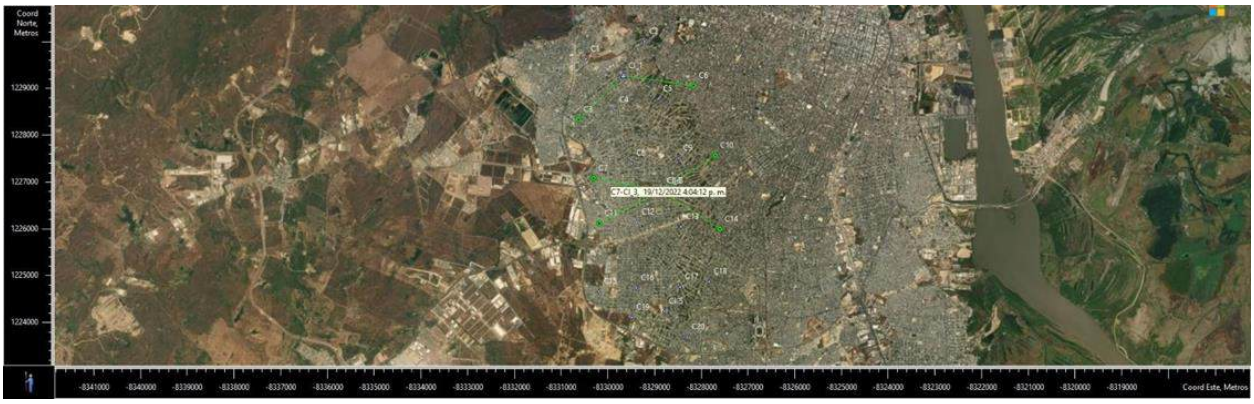


Figura 3.11 Observation View de los puntos de control.

Para determinar las coordenadas de cada uno de los puntos de control se utiliza el equipo TOPCON GNSS HIPER V, se posiciona la base sobre los mojones georreferenciados anteriormente, se utiliza el método RTK (Real Time Kinematic) navegación cinética satelital en tiempo real, para los puntos donde la señal nos permite obtener sus coordenadas, y para los que no se utiliza el método estático, con tiempo de rastreo necesario para su postproceso.

Tabla 3.5 Coordenadas planas MAGNA SIRGAS Origen Nacional para los puntos de control

CUADRO DE COODENADAS			
Magna Sirgas Origen Único Nacional			
Nombre	**Norte**	**Este**	**Elevación**
C1	2771747.713	4799694.593	34.527
C2	2772102.392	4800927.744	70.329
C3	2770475.337	4799529.950	27.066
C4	2770676.645	4800285.394	34.345
C5	2770903.564	4801202.490	50.936
C6	2771168.663	4801962.607	89.800
C7	2769248.608	4799835.956	30.967
C8	2769557.452	4800635.170	37.911
C9	2769664.926	4801618.337	49.007
C10	2769720.233	4802398.680	76.699
C11	2768319.393	4799958.725	32.668
C12	2768337.515	4800732.397	35.473
C13	2768240.999	4801670.604	55.273
C14	2768182.953	4802481.197	58.958
C15	2766903.884	4799932.858	48.165
C16	2766971.253	4800717.005	45.887
C17	2766985.863	4801642.698	48.812
C18	2767090.922	4802247.475	75.145
C19	2766359.409	4800609.685	49.689
C20	2765945.739	4801777.001	79.035

3.4 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN LIDAR

LIDAR (Light Detection and Ranging), es un sistema láser que permite medir la distancia exacta entre el punto de emisión del láser y un objeto o superficie. El tiempo que tarda ese láser en llegar a su objetivo y volver del mismo, definirá la posición y distancia entre los dos puntos, dando como resultado un mapa en 3D de alta resolución.

Los componentes del Lidar son:

ALS: Escáner Láser Aerotransportado. Emite pulsos de luz infrarroja que sirven para determinar la distancia entre el sensor y el terreno.

GPS Diferencial: Mediante el uso de un receptor en el avión y uno o varios en estaciones de control terrestres (en puntos de coordenadas conocidas), se obtiene la posición y altura del avión.

INS: Sistema Inercial de Navegación. Nos informa de los giros y de la trayectoria del avión.

Medio Aéreo: Puede ser un avión o un helicóptero. Cuando se quiere primar la productividad y el área es grande se utiliza el avión, y cuando se quiere mayor densidad de puntos se usa el helicóptero, debido a que éste puede volar más lento y bajo.

En topografía, la medición de distancias con láser para aplicaciones de mapas a gran escala está revolucionando la toma de datos digitales relativos a la elevación de terrenos. Esta técnica es una alternativa a otras fuentes de toma de datos como el Modelo Digital del Terreno (MDT). Se puede usar como una fuente de datos para los procesos de contorno y generación de curvas de nivel para ortofotos digitales.

Un sistema Lidar emite pulsos de luz que se reflejan en el terreno y otros objetos de cierta altura. Los fotones de los pulsos reflejados son transformados en impulsos eléctricos e interpretados por un registrador de datos de alta velocidad. Puesto que la fórmula para la velocidad de la luz es bien conocida, los intervalos de tiempo entre la emisión y la recepción se pueden calcular fácilmente. Estos intervalos son transformados en distancia ayudados por la información posicional obtenida de los receptores GPS del avión/terreno y de la unidad de medición inercial de a bordo (IMU), la cual registra, constantemente, la altitud de la aeronave.

Los sistemas lídares registran datos de posición (x,y) y de elevación (z) en intervalos predefinidos. Los datos resultantes dan lugar a una red de puntos muy densa, típicamente a intervalos de 1 a 3 metros. Los sistemas más sofisticados proporcionan datos no solo del primer retorno sino también de los siguientes, que proporcionan alturas tanto del terreno como de su vegetación. Las alturas de la vegetación pueden proporcionar la base de partida para el análisis de aplicaciones de diferentes tipos de vegetación o de separación de altura.

Una ventaja significativa de esta tecnología, con respecto a otras, es que los datos pueden ser adquiridos en condiciones atmosféricas en las que la fotografía aérea convencional no puede hacerlo. Por ejemplo, la toma de datos puede hacerse desde un avión en vuelo nocturno o en condiciones de visibilidad reducida, como las que se dan con tiempo brumoso o nublado.

Los productos estándar fotogramétricos derivados de los datos Lidar incluyen modelos de contorno y elevación para ortofotos. Para la obtención de contornos precisos se requiere un post procesamiento de los datos iniciales. Puesto que los datos Lidar son obtenidos sobre los objetos elevados (por ejemplo edificios), se usan sofisticados algoritmos para eliminar los puntos relativos a estos objetos. Debido a la gran densidad de puntos se requieren muy pocas líneas de quiebre, si acaso, para representar con precisión el terreno. No obstante, la presencia del sistema Lidar y el uso de software de post procesamiento, los procedimientos de validación deberán ser incorporados en el proceso para asegurarse de que los contornos finales sean representativos del terreno. El usuario final también deberá considerar que los contornos derivados de Lidar tendrán una apariencia diferente a aquellos compilados mediante técnicas fotogramétricas convencionales. Debido a la densidad de puntos obtenida, los contornos derivados de LIdar, aunque altamente precisos, tenderán a tener una apariencia más quebrada.

El post procesamiento y la verificación en 3D también son recomendables cuando se hace uso de datos Lidar para la generación de ortofotos digitales. Aunque los requerimientos de precisión vertical para la generación de una ortofoto son menos estrictos que para la generación de contornos, los datos deberán ser verificados para detectar errores de bulto. No se requiere necesariamente que los puntos en edificios

sean eliminados. De hecho, los edificios modelados con datos Lidar serán rectificados en su verdadera posición (ortofoto verdadera) y las distorsiones radiales eliminadas causadas por inclinación de los edificios. Esta mejoría es de alguna manera afectada por el hecho de que los bordes de edificios pueden tender a verse redondeados; dependiendo esto de la localización de los puntos relativos al borde del edificio.

Con el post procesamiento se pueden obtener los siguientes datos:

- ✓ Extracción de cota suelo
- ✓ Extracción de edificios
- ✓ Extracción de árboles y masas forestales
- ✓ Herramientas de depuración del terreno
- ✓ Herramienta de cuadratura de edificios
- ✓ Recorte de imágenes

3.4.1 Marco conceptual y metodológico

El levantamiento de la topografía del área localizada en BARRANQUILLA fue realizado con Dron (DJI 600 PRO) provisto de tecnología LIDAR (Explorer R), lo cual garantiza precisiones de 2 cm en el eje z y milimétrica en el eje xy.

El levantamiento topográfico se realizó a escala 1:1.000 y curvas de nivel cada veinte (20) centímetros. Este levantamiento está amarrado al sistema de coordenadas geográficas oficiales del IGAC MAGNA-SIRGAS (Marco Geocéntrico Nacional de Referencia, densificación del Sistema de Referencia Geocéntrico para la Américas).

3.4.2 Planificación de los Sobrevuelos

Se delimitó geográficamente el área de impacto del proyecto y se definieron polígonos de trabajo. A partir de dichos polígonos se definieron las líneas de vuelo requeridas para el cubrimiento total del área. Así mismo, se hizo uso del punto geodésico de la red IGAC para localizar la antena de corrección de vuelo.

Con las líneas de vuelo definidas y que garanticen el cubrimiento del área, se revisaron las alturas de sobrevuelo para cada vértice del polígono a sobrevolar, garantizando una altura de 100 mt sobre el nivel del área volada.

3.4.3 Sobrevuelo Área de Estudio

Se localizó la antena doble frecuencia en un punto geodésico IGAC conocido y se realizaron los sobrevuelos según el plan de vuelo definido por el grupo de topografía.

Inicialmente se realizó el sobrevuelo sobre el área de la zona de Miramar. Siendo un polígono aislado de menor tamaño al polígono sur, y ubicado en una zona relativamente segura, permitió una realización pronta de los sobrevuelos sobre este polígono y a su vez obtener productos de esta zona de forma más expedita.

En cuanto al polígono sur, al corresponder a una zona mucho más amplia y que abarca muchos más sectores de la ciudad implicó un desafío mayor al momento de realizar los levantamientos. Por lo anterior, fue necesario el acompañamiento de las autoridades en esta y además se requirió dar aviso a la dirección de la cárcel Penitenciaria de El Bosque, con el fin de que el dron para el levantamiento no fuera motivo de preocupación al momento de sobrevolar el espacio aéreo de las instalaciones carcelarias.

3.5 PRODUCTOS PARA LA CARTOGRAFÍA BASE

3.5.1 Nube de puntos

A partir de los sobrevuelos se obtienen las nubes de puntos crudas con toda la información LiDAR recopilada. Cada punto recopilado defina una posición x, y, z propia y la cual está amarrada al sistema de información Magna Sirgas.

Las nubes de puntos corresponden a archivos de información de gran tamaño, por lo cual las mismas se presentan sólo como parte del anexo.

3.5.2 Modelo digital de superficie

Luego de haber obtenido las nubes de puntos, se procede a realizar el procesamiento de la información. A partir de la información de puntos en zonas más altas, correspondientes a copas de árboles, tejados, cubiertas, vehículos, etc., se procede a definir archivos ráster de las superficies, con lo cual se define para el proyecto el modelo de elevaciones de las superficies, DSM o MDS.

Este modelo de elevaciones por lo tanto considera los elementos más altos por encima del terreno y en los cuales exista una superficie para todas las áreas del proyecto. En caso de no existir una superficie por encima del terreno, la altura de superficie será coincidente con el terreno existente.

Los archivos ráster de los MDS se presentan en los anexos y como mapa. Así las cosas, se presenta a continuación a manera ilustrativa imágenes de los ráster de los modelos digitales de superficie para los polígonos de estudio.

3.5.3 Modelo digital del terreno

Adicional a la generación del modelo digital de superficie, el método con sensor LiDAR permite obtener el modelo digital del terreno. El modelo digital del terreno asigna a cada pixel del ráster la altura del suelo o elemento justo sobre el suelo (concreto, asfalto, entablado, etc.) y obvia los elementos con superficies superiores y que se presentaban en el MDS.

Este proceso se hace mediante procesamiento de los puntos de la nube de puntos, puesto que el alcance del sensor LiDAR permite obtener la elevación por debajo de algunas superficies, como la vegetación. Adicional a esto es posible obtener la altura de terreno a partir de interpolación de zonas que se identifican como elementos que no son parte del terreno, como sería el caso de los edificios, vehículos, entre otros.

En la Figura 3.14 y en la Figura 3.15 se presentan los modelos digital del terreno para los polígonos de la zona de estudio.

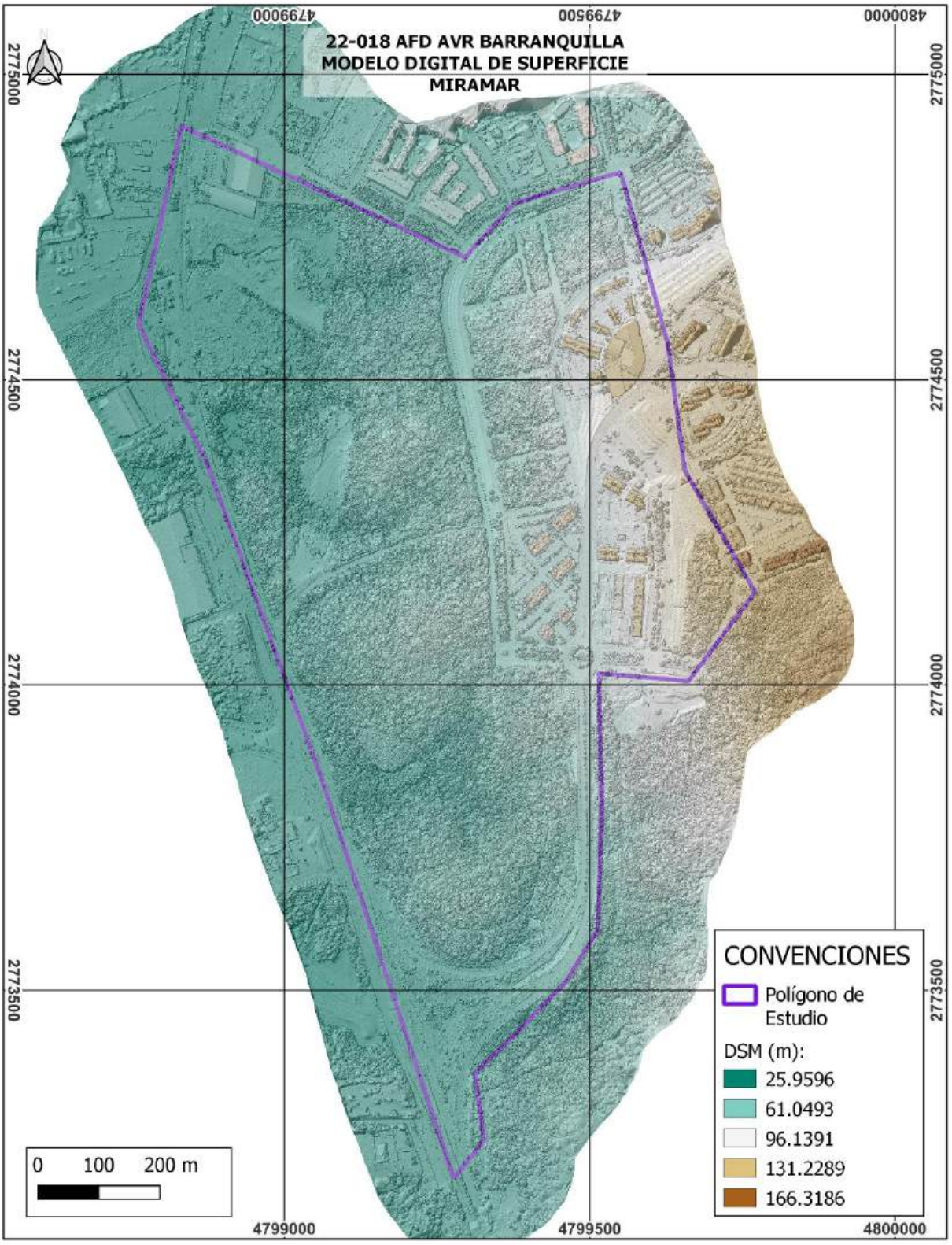


Figura 3.12 Modelo Digital de Superficie para el polígono norte (Miramar).

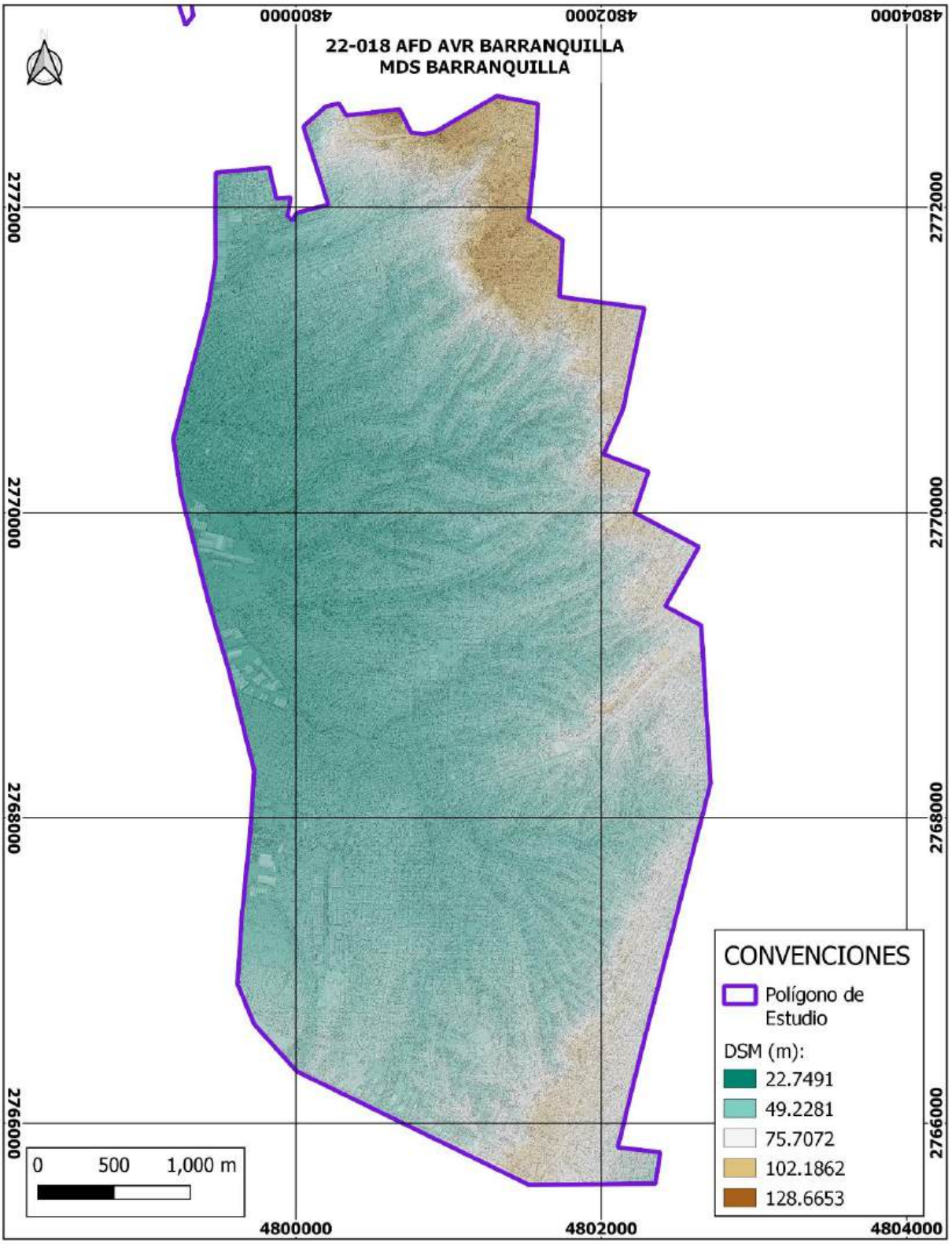


Figura 3.13 Modelo Digital de Superficie para el polígono sur.

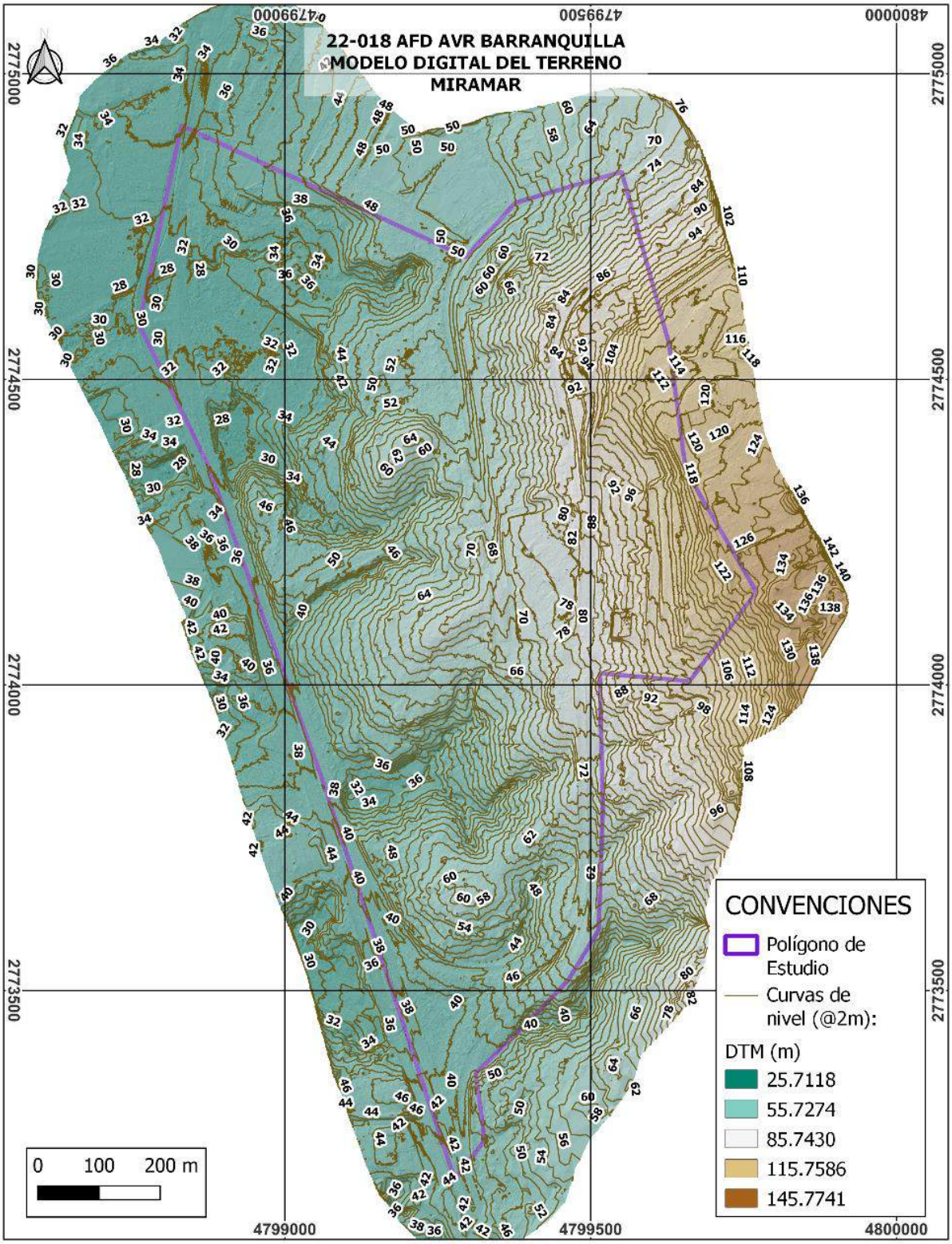


Figura 3.14 Modelo Digital del Terreno para el polígono norte (Miramar).

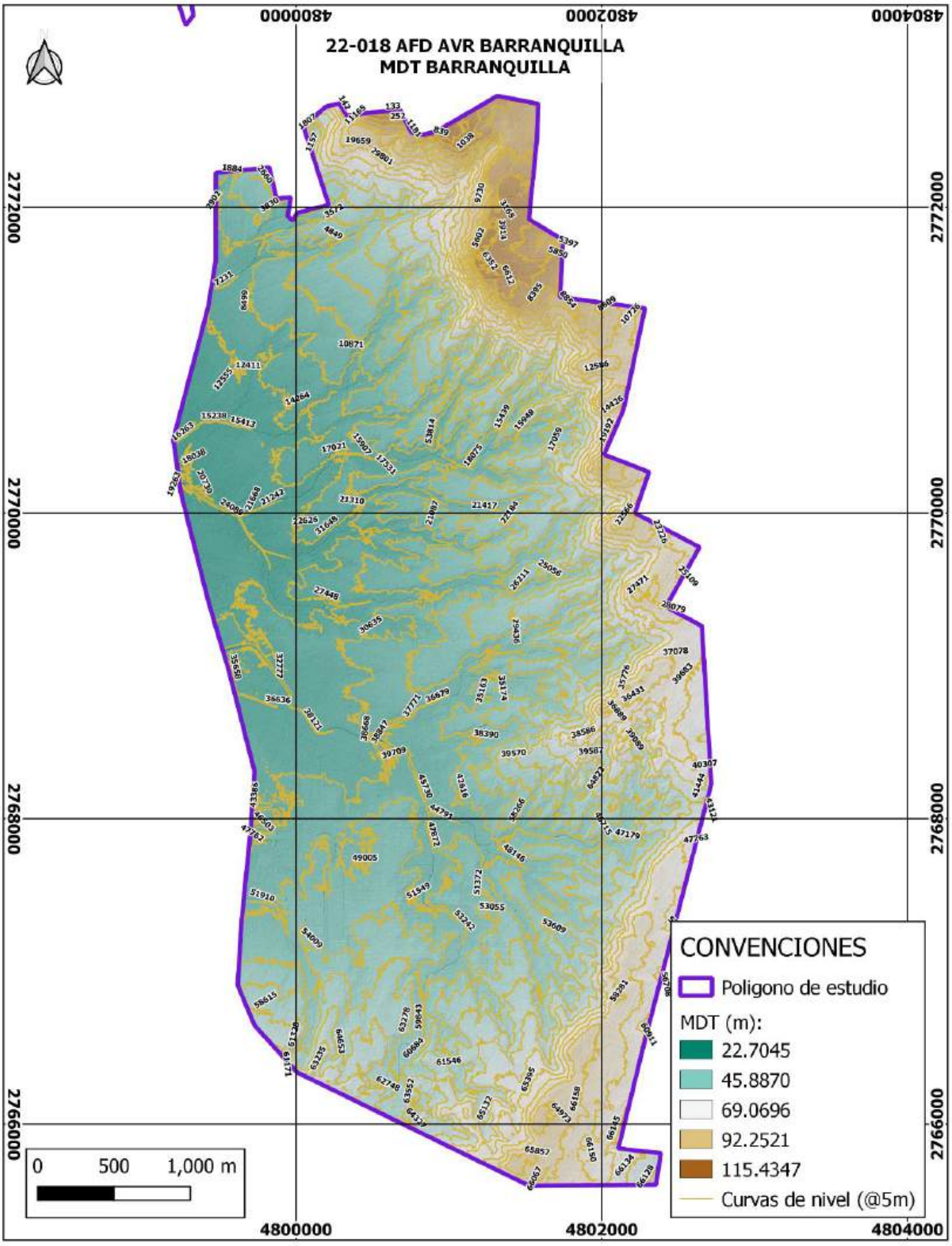


Figura 3.15 Modelo Digital del Terreno para el polígono sur.

Como se puede apreciar el MDT genera un ráster más "liso" que el MDS, al retirar las superficies por encima del nivel de terreno.

3.5.4 Curvas de nivel

A partir del MDT es posible obtener curvas de nivel del terreno. Las curvas de nivel se obtienen creando un modelo de superficie triangular a partir del cual mediante interpolación de la red triangular se pueden obtener polilíneas de igual elevación, es decir, las curvas de nivel o líneas de contorno.

Las curvas de nivel cada 5m se presentaron sobre las imágenes del MDT, sin embargo, debido a la resolución del ráster del MDT, obteniendo curvas de nivel acordes a la escala del proyecto. Puesto que estas poco visibles en una imagen se presentan en los anexos.

3.5.5 Ortomosaicos

Durante los sobrevuelos para la captura de información LiDAR, adicionalmente se realizó la toma de fotografías mediante el uso de una cámara adherida al dron. A partir de las fotografías tomadas, cada una cubriendo una porción pequeña del área total, se procede a realizar un mosaico que incorpore las fotografías tomadas en un único archivo, el cual aparte de georreferenciar la totalidad de la información, considera los traslapos y genera una imagen continua.

De forma similar al MDT y al MDS, se generaron ortomosaicos para cada polígono del área de estudio, los cuales se presentan en la Figura 3.16 y en la Figura 3.17.

3.5.6 Validación IGAC

La totalidad de los productos cartográficos aquí presentados fueron generados cumpliendo con los requerimientos de la resolución IGAC 471 de 2020, para las escalas requeridas. En particular siendo que la totalidad del área de estudio se levantó a escala 1:2.000, los parámetros que se deben cumplir corresponden a los presentados en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6 Características de cumplimiento de la cartografía del proyecto (Res. IGAC 471-20).

Tabla 2. Productos y nivel de detalle

Denominación de producto	Base de datos cartográfica (vectorial) Escala	Denominación de producto	Ortoimágenes GSD (cm)	Denominación de producto	Modelos digitales de terreno Grilla/Malla (m)
Carto1000	1:1000	Orto10	10	MDT1	1
Carto2000	1: 2000	Orto20	20	MDT2	2
Carto5000	1: 5000	Orto50	50	MDT5	5
Carto10000	1:10000	Orto100	100	MDT10	10
Carto25000	1:25000	Orto250	250	MDT25	25

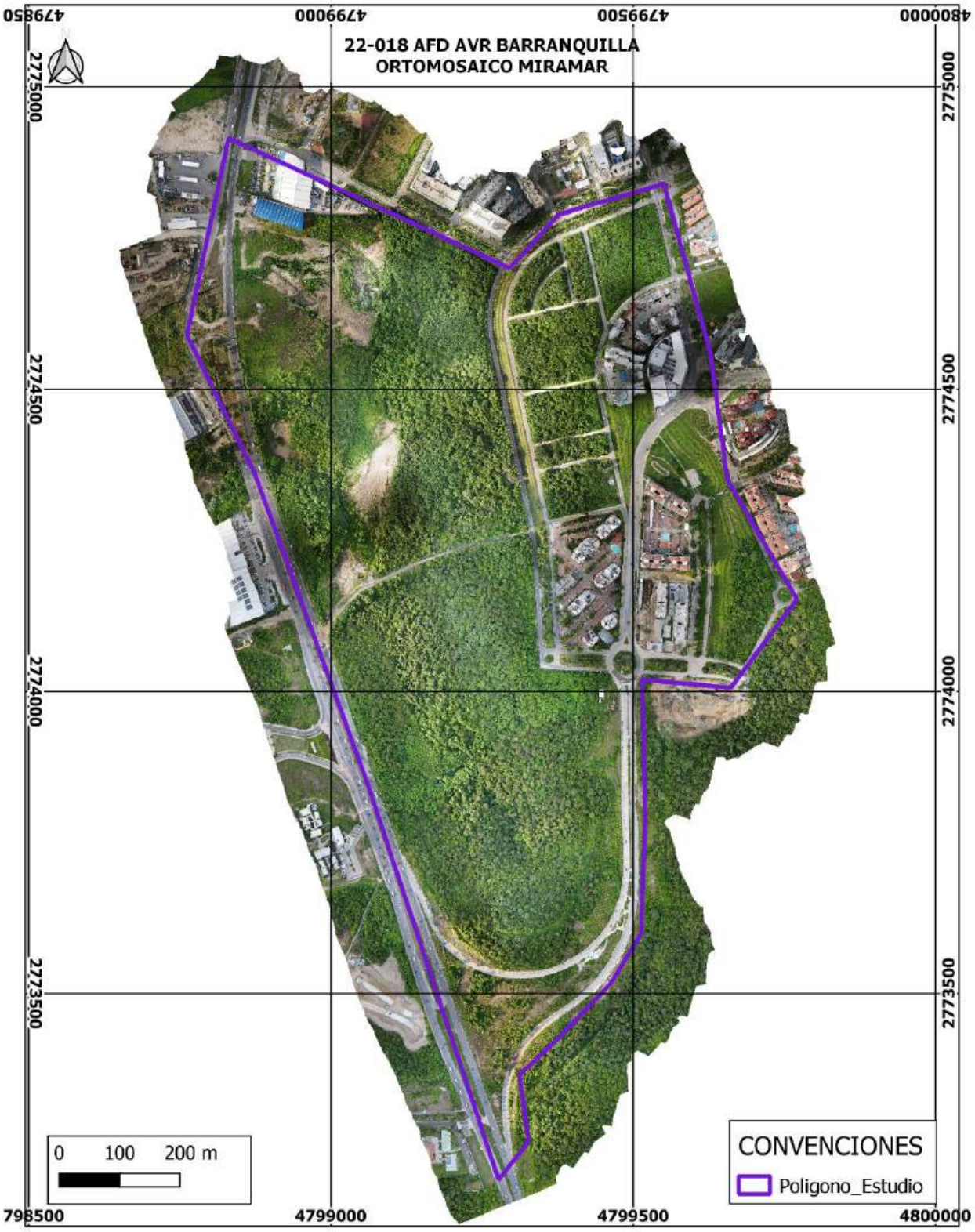


Figura 3.16 Ortomosaico del polígono norte (Miramar).

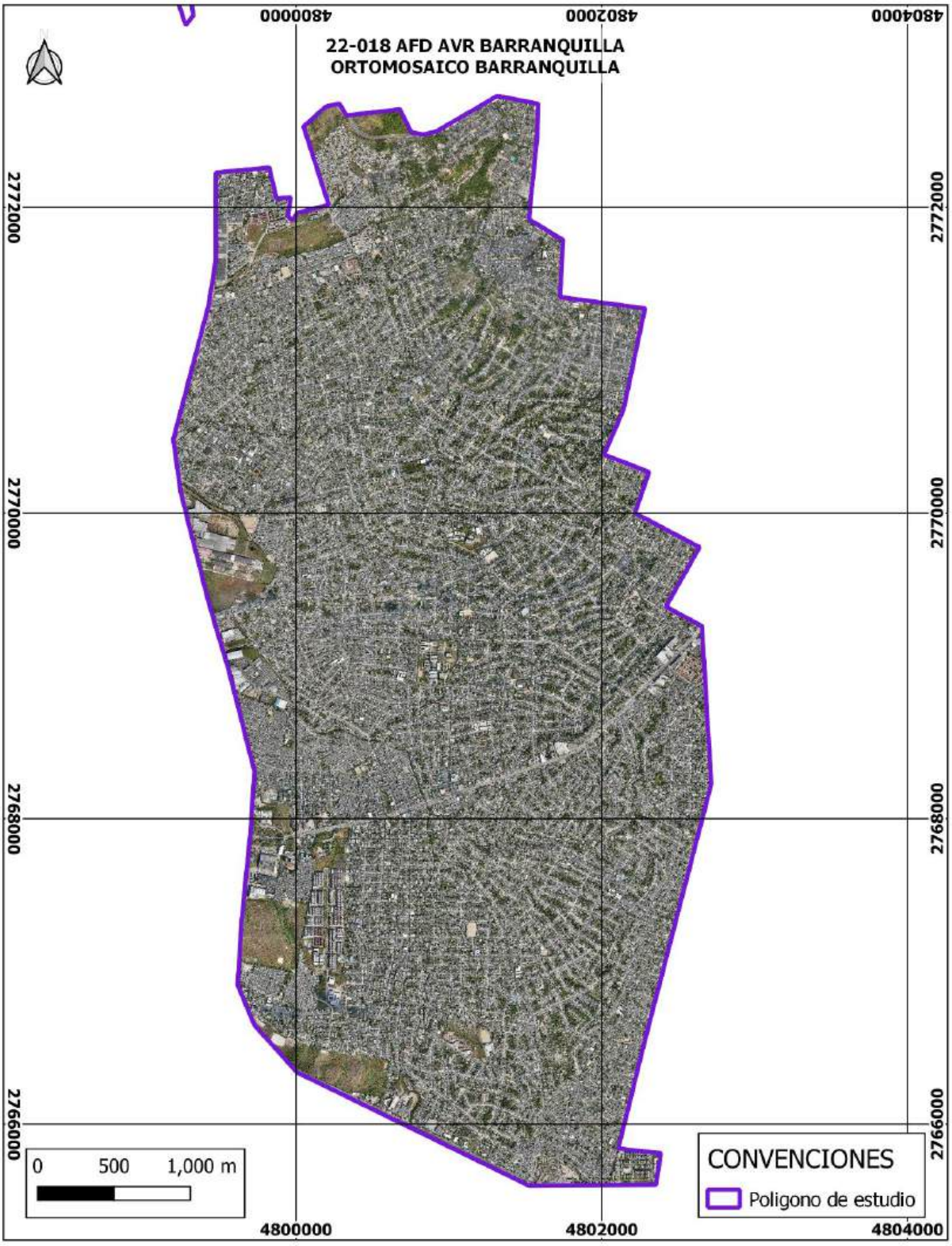


Figura 3.17 Ortomosaico del polígono sur.

4 HIDROLOGÍA

Con el fin de caracterizar las condiciones hidrológicas de la zona de estudio, se evaluó el régimen de lluvias del sector, tendiente a caracterizar uno de los agentes detonantes para los fenómenos de inundaciones y fenómenos de movimientos en masa; con el fin de incorporar esta información para modelar el nivel de amenazas a que se encuentra expuesto el lote en estudio.

Para tal fin se ha recolectado la información hidrológica de las estaciones pluviométricas cercanas a la zona de estudio, y se ha procesado. A partir de esta información en capítulos posteriores se realiza la estimación de los frentes de saturación del suelo previsibles, y la determinación de los caudales de aguas de escorrentía, con el fin de estimar la participación del agua subsuperficial y superficial en la gestación de los fenómenos de remoción en masa e inundación.

4.1 CARACTERIZACIÓN REGIONAL

El Departamento de Atlántico cuenta con una privilegiada posición geográfica no sólo por su localización sobre la Costa Caribe al norte de Colombia, sino que además se encuentra bordeado al oriente por el río Magdalena, principal río del país, hasta la desembocadura del mismo en el sector denominado Bocas de Ceniza. Esta ubicación estratégica le permite al departamento contar con una muy importante red hídrica compuesta no solo por el río Magdalena, sino que a él se une el canal del Dique, que se ubica en el extremo sur y que sirve de frontera natural con el departamento de Bolívar, y la gran costa sobre el mar Caribe.



Figura 4.1 Localización Geodésica Departamento del Atlántico (Tomado de Google Earth).

El departamento del Atlántico está situado al norte del territorio nacional, enmarcado dentro de las siguientes coordenadas: Latitud norte 10° 15' 36'' (Sur de San Pedrito) y 11° 06' 37'' (Bocas de Ceniza). Longitud oeste de Greenwich 74° 42' 47'' (margen izquierda del río Magdalena) y 75° 16' 34'' (intersección Santa Catalina y Arroyo Grande) (véase Figura 4.1).

Respecto al clima, el departamento presenta un CLIMA TROPICAL DE TIPO ESTEPA Y SABANA de carácter árido en la desembocadura del río Magdalena y en los alrededores de Barranquilla; semiárido en las fajas aledañas al litoral y al río Magdalena, y semihúmedo desde el municipio de Sabanalarga hacia el sur.

La humedad del aire, según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), se ubica entre un máximo de 85.3% y un mínimo de 48.3%, y es mayor en el sur que en el norte del

departamento debido a la evaporación de agua de las ciénagas y el embalse del Guájaro y a la dirección e intensidad de los vientos.

El régimen anual de lluvias es bimodal, con dos períodos de lluvia (mayo-junio y agosto-noviembre) alternados con dos períodos secos (diciembre-abril y junio-julio); el nivel de precipitaciones aumenta de norte a sur. En general, todas las tierras del departamento se encuentran en el piso térmico cálido. La temperatura media anual es de 27°C, con máximas que sobrepasan los 33.3°C y mínimas por encima de los 21° C.

Finalmente, es de anotar que en el territorio del Atlántico existen dos tipos de paisaje: uno montañoso con serranías y colinas de poca altura, que ocupa cerca del 45% del área departamental, y un paisaje plano de terrazas, llanuras aluviales y ciénagas, que conforman las tierras vecinas del canal del Dique, el río Magdalena y su desembocadura en el mar Caribe. En estos dos paisajes se distinguen cuatro subregiones:

1. La primera está localizada en proximidades del río Magdalena, y es de origen aluvial y tierras bajas e inundables.
2. La segunda, localizada al sur del departamento, comprende un área cenagosa, parcialmente aprovechada en agricultura.
3. La tercera, aledaña al mar Caribe, es de origen sedimentario (fluvial y marítimo) y conforma el litoral y la costa.
4. La cuarta, relativamente montañosa, está situada en el centro y en el oeste del departamento y comprende alturas inferiores a los 500 m sobre el nivel del mar.

Este relieve, que es una prolongación de la serranía de San Jerónimo, puede considerarse como la última ramificación de la cordillera Occidental. En este conjunto orográfico se destacan las serranías de Luruaco, Capiro, El Pajal de la Piedra, Oropapia, Piojó y Santa Rosa.

El litoral no tiene accidentes notables, pero se pueden mencionar el cabo Barro y las puntas Astilleros, Castillejo, Los Manzanillos, Morro Hermoso, Morro Pelado, Piedra y Sabanilla, así como las ensenadas Rincón Hondo y El Puente.

4.2 CARACTERIZACIÓN DEL CLIMA DE BARRANQUILLA

Dado que el clima es incidente en el comportamiento del suelo y en su conjunto el mismo es una combinación de diversos factores, a continuación, se describen de forma general los parámetros del clima registrados por estaciones pertenecientes al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, como la autoridad en este tema (véase de la Figura 4.2 a la Figura 4.5).

- Radiación Solar: Por las razones antes expuestas, Barranquilla recibe alta radiación durante todo el año, aproximadamente unas 600 cal/cm².
- Brillo Solar: Los valores promedios mayores de brillo solar se presentan en los meses de diciembre y enero con 225.5 y 280.0 horas/mes. Respectivamente. Los meses con menos brillo solar son septiembre y octubre con 164.2 y 163.9 horas/mes; el resto del año oscila entre 183.8 y 245.5 horas/mes.
- Vientos: En Barranquilla predominan dos flujos con direcciones noreste (42.7%) y norte (25%), con predominio de vientos moderados cuyas velocidades medias oscilan entre 3.4 y 7.9 m/s.

También se presentan frecuencias relativas al Este, Sudeste y Sur, con 5.8%, 6.1% y 6.1% de observaciones, respectivamente.

- Humedad relativa: Al igual que la temperatura, es muy constante, por lo tanto, la media anual varía entre el 77% y el 82%; en forma general se aprecia que la humedad relativa no baja del 72% ni supera el 87% a lo largo del año.
- Evaporación: El mes de mayor evaporación en el año es el mes de junio, con un promedio de 304.1 mm; los meses con más baja evaporación son Septiembre, Octubre y Noviembre, siendo Octubre el de menor evaporación con 122.7 mm.
- Temperatura: Las temperaturas máximas superan siempre los 33.3 °C, mientras las mínimas están por encima de los 21.4 °C hasta los 22.6 °C. El tipo de clima es seco, con gran déficit de agua, y cálido.
- Precipitaciones: El período de lluvias es muy definido y va del mes de mayo al de noviembre, con precipitaciones que oscilan entre los 60 y los 173 mm/mes, constituyéndose este último como el de más altos índices de pluviosidad. El período seco transcurre entre los meses de diciembre hasta abril, con promedios entre los 1.0 y los 22.0 mm/mes. Así mismo, el número de días con precipitación oscila a lo largo del año entre 0.0 y 14.0 días, mientras que la precipitación máxima en 24 horas durante el año presenta valores entre 1.0 y 47.8 mm.

La duración de los eventos es en general de 90 minutos, con eventos extraordinarios de duración superior a 120 minutos. Las tormentas son de corta duración, pero de gran intensidad. La hora de iniciación de los eventos está en general, entre las 11:00 a.m. y las 4:00 p.m.

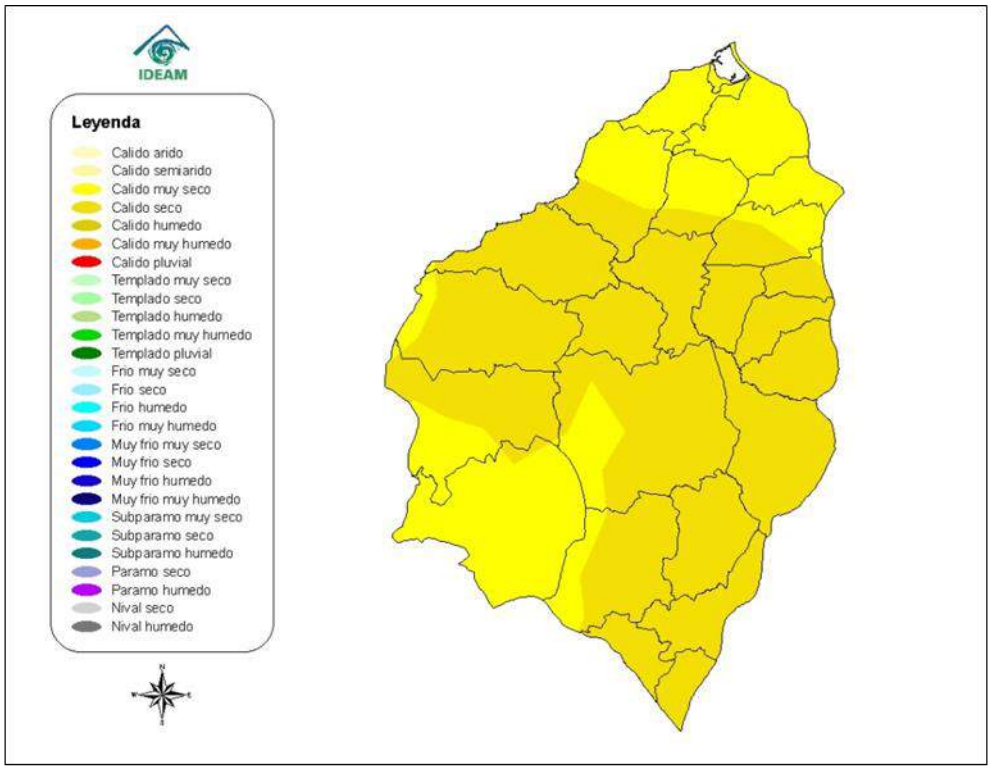


Figura 4.2 Atlántico - Clasificación Climática (IDEAM).

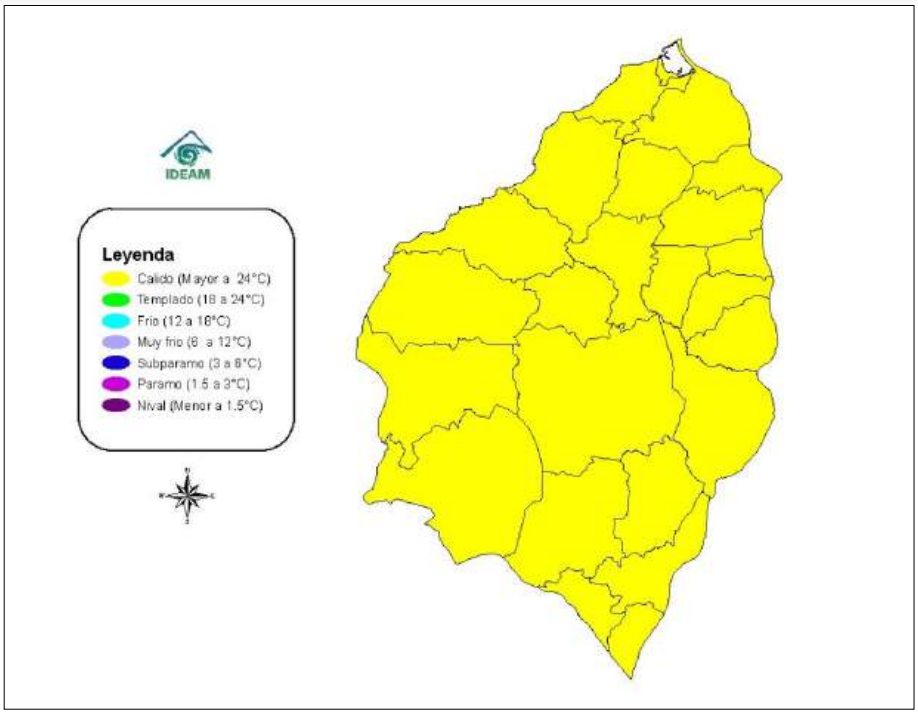


Figura 4.3 Atlántico – Temperatura Media Anual °C (IDEAM).

Durante el período de precipitaciones de mayor intensidad el sistema vial de la ciudad transforma sus componentes (calles) en "canales" de drenaje por donde algunas de los cuales se evacúan las aguas lluvias, cuyos efectos restrictivos sobre la circulación vehicular son particularmente notorios.

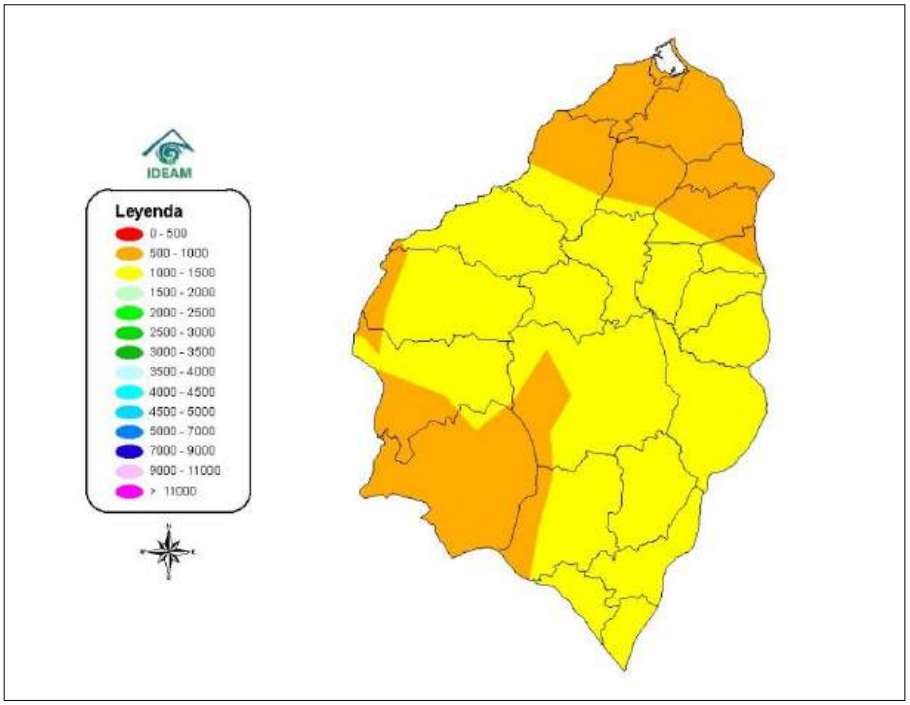


Figura 4.4 Atlántico – Precipitación Total Anual (mm) (IDEAM).

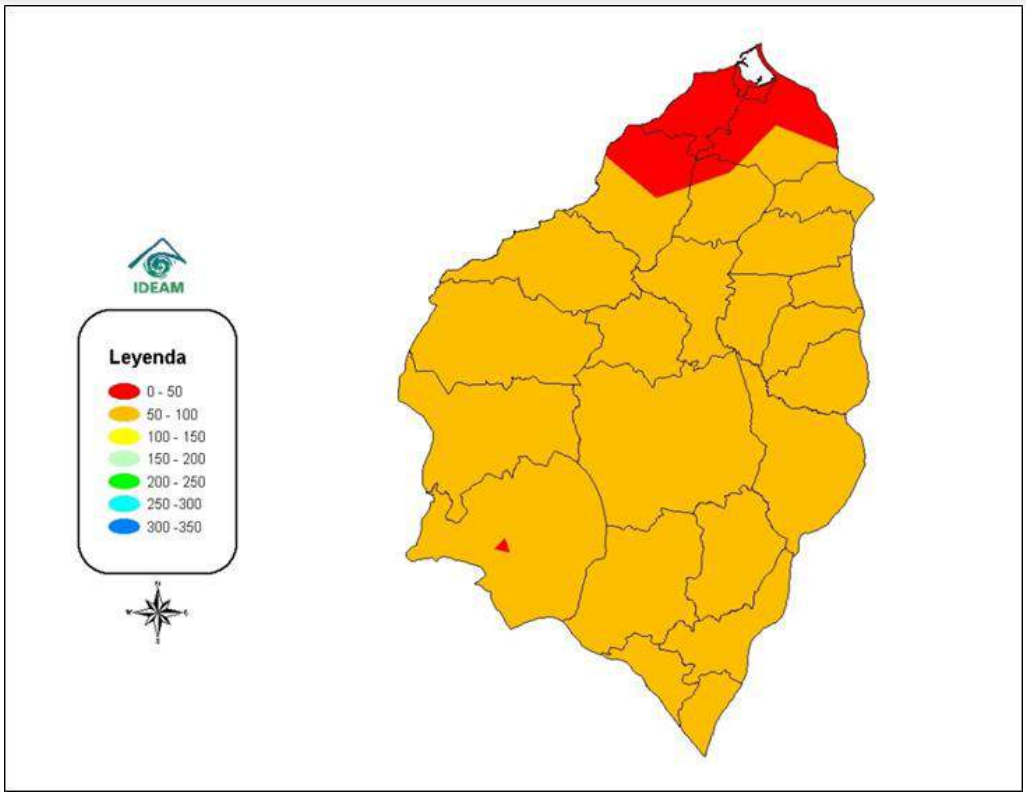


Figura 4.5 Atlántico – Número de Días con Lluvia (IDEAM).

Durante estos cortos, pero intensos períodos de lluvia, las actividades urbanas se paralizan totalmente. Adicionalmente, el depósito de basuras en los arroyos urbanos para que sean arrastradas por la corriente da lugar a taponamientos que incrementan el volumen de agua y ocasionan inundaciones en determinados sectores, como también, luego de bajar el nivel de las aguas, estas se esparcen sobre las vías por efecto de la pérdida de la capacidad de arrastre de las aguas, propiciando suciedad y deterioro ambiental de la ciudad.

- Humedad: La cercanía al mar, la ubicación a orillas del río Magdalena, la zona del Parque Natural Nacional Isla Salamanca, los humedales del delta de la desembocadura del río Magdalena, hace que esta zona tenga bastante humedad; sin embargo, ésta es modificada por los vientos secantes que la empujan hacia el interior de la región para producir abundantes lluvias en las estribaciones de los Andes.

  Mayores niveles de humedad se registran en octubre, el mes más lluvioso con 84%, le siguen septiembre y noviembre con 82%, agosto con 81% y mayo, junio y julio con 80%. Los meses de humedad son febrero y marzo con 77%.

4.2.1 El Sistema Hidrológico de Barranquilla

El sistema hidrológico del Distrito de Barranquilla se direcciona hacia la parte más baja de la Ciudad y en este caso hacia el río Magdalena y está compuesto por una serie de caños que lo alimentan. Entre ellos se tiene: La Ahuyama, Arriba, Los Tramposos y Las Compañías; así como numerosos arroyos los cuales se encuentran en su gran mayoría en la parte urbana y son: Platanal, El Salado, Don Juan, Carreras 8,15 y 19,

Rebolo, Hospital, La Paz, Bolívar, Carrera 51, Carrera 53, Felicidad, Carrera 65, Coltabaco, Carrera 58, Carrera 71, Country, Siape, Calle 92, Santo Domingo, Del Bosque y El Salado 2.

El sistema de caños en la zona central de la ciudad presenta severos procesos de deterioro ambiental motivados por años de abandono, tratamientos urbanos inadecuados, vertimientos de residuos sólidos, escasa recirculación del agua, entre otros.

Hacia el occidente de la ciudad existen dos cuerpos principales de agua, denominados arroyo Grande y arroyo León. Estos cursos de agua son intermitentes, dado que solo transportan agua en los períodos lluviosos. En particular, sobre el arroyo León se tiene que su cuenca es de 247 km², la longitud de la corriente principal desde la divisoria de aguas hasta su desembocadura es de 37 km y se parte de la vertiente de la costa, limita con los Cerros de Barranquilla al este y el Cerro Pan de Azúcar al oeste, al norte con un cordón de Dunas y al sur con la terraza de Galapa.

Parte esencial del sistema es el Río Magdalena, que como se mencionó anteriormente, es la principal cuenca hidrográfica del país. Bordea la ciudad de Barranquilla en una longitud aproximada de 19.5 km, presenta pendientes de 0.39 a 0.40%. Así mismo su velocidad promedio está entre 0.4 y 2.2 m/s Sus profundidades (según registros en Calamar 1971 — 1993) presentan el siguiente comportamiento: octubre, noviembre y diciembre muestran los mayores niveles con 636, 718 y 695 cm. respectivamente mientras que los menores se dan en febrero y marzo con valores de 336 y 312 cm., respectivamente.

Otro de los ecosistemas destacados en el territorio está constituido por la Ciénaga de Mallorquín, estructura natural construida durante miles de millones de años que está permanentemente sometida a intervención, consciente o inconscientemente, por la ejecución de planes y proyectos de desarrollo regional que causan su degeneración, empobrecimiento y hasta su desaparición en el transcurso de muy pocos años. La Ciénaga de Mallorquín actualmente es un cuerpo de agua somera de 1200 Ha. aproximadamente, comunicada con el mar esporádicamente en períodos en que natural o artificialmente abren una o varias bocas sobre la barra que la separa del mar.

Con la construcción del Tajamar Occidental en Bocas de Ceniza en 1925 – 1935, la ciénaga adquiere su actual configuración dado que anteriormente se trataba de un estuario-deltaico que reunía un sistema comprendido por las ciénagas de Cantagallo, Mallorquín, La Playa, Manatíes con varias bocas. Las obras de bocas de ceniza trajeron como consecuencia un retroceso de la línea de playa al oeste de tajamar occidental.

La profundidad de la Ciénaga no supera el metro, la salinidad varía según se presente o no la apertura de la boca. En su condición serrada la salinidad supera los 75 ppm, después de un largo período de evaporación. En condiciones abiertas varía de 16 a 35 ppm, sufriendo una fuerte dilución cuando se presentan las lluvias.

4.3 ESTUDIOS HIDROLÓGICOS

4.3.1 Inventario Información Hidrogeológica

Para el estudio de la zona de interés fueron consultadas las fuentes oficiales de información. Para tal efecto se realizó la búsqueda y se relacionaron las estaciones más próximas a la zona de estudio, siendo

la fuente oficial el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – Ideam (véanse la Tabla 4.1 y la Figura 4.6).

De las anteriores estaciones, las dos más cercanas a la zona de estudio y que además cuentan con un registro importante de información, corresponden a las estaciones de Las Flores y Aeropuerto Ernesto Cortissoz, con registros de información mayores a los 30 años.

Tabla 4.1 Listado de estaciones cercanas a la zona de estudio

ESTACIONES HIDROMETEOROLOGICOS BARRANQUILLA										
N°	CODIGO	CATEGORIA	NOMBRE	LONG	LATITUD	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	ESTADO	INSTALACION	SUSPENSIÓN
1	**29045120**	**Climatica Principal**	**FLORES LAS**	**-74.82**	**11.04**	**Atlantico**	**Barranquilla**	**Activa**	**Abril 15, 1971**	
2	29045180	Climatica Principal	LAS FLORES - AUT	-74.82	11.04	Atlantico	Barranquilla	Suspendida	Agosto 30, 2006	Agosto 23, 2019
3	29047020	Limnigrafica	FLORES LAS	-74.82	11.03	Atlantico	Barranquilla	Activa	Agosto 15, 1940	
4	2904000177	Pluviometrica	UNIAUTONOMA - AUT	-74.82	11	Atlantico	Barranquilla	Activa	Diciembre 10, 2021	
5	29040050	Pluviometrica	UNIV DEL ATLANTICO	-74.8	11	Atlantico	Barranquilla	Suspendida	Abril 15, 1954	Diciembre 15, 1954
6	29040450	Pluviometrica	BARRANQUILLA SEDE	-74.8	11	Atlantico	Barranquilla	Activa	Noviembre 1, 2007	
7	29004520	Climatica Principal	ESCUELA NAVAL BARRANQUILLA - AUT	-74.78	11.01	Atlantico	Barranquilla	En Mantenimiento	Junio 10, 2016	
8	29045140	Climatica Ordinaria	COL BIFFI	-74.78	11	Atlantico	Barranquilla	Activa	Enero 15, 1981	
9	29047080	Limnigrafica	DARCENA BARRANQUIL	-74.76	10.97	Atlantico	Barranquilla	Suspendida	Septiembre 2, 2006	Octubre 15, 2021
10	29041001	Mareografica	S.P.R.B.S.A	-74.76	10.97	Atlantico	Barranquilla	Activa	Marzo 17, 2016	
11	29045040	Climatica Ordinaria	EXPERI AGRICO GJA	-74.77	10.97	Atlantico	Barranquilla	Suspendida	Noviembre 15, 1931	Octubre 15, 1949
12	29047000	Limnigrafica	TEBSA BQUILLA	-74.76	10.94	Atlantico	Soledad	Activa	Mayo 5, 2013	
13	**29045190**	**Sinoptica Principal**	**AEROPUERTO DE CORTISSOZ - AUT**	**-74.78**	**10.92**	**Atlantico**	**Soledad**	**Activa**	Marzo 15, 1941	
14	29045130	Climatica Ordinaria	VERANILLO	-74.77	10.88	Atlantico	Barranquilla	Suspendida	Marzo 15, 1941	Diciembre 15, 1941
15	2904500130	Radio Sonda	RADIO SONDA BARRANQUILLA - AUT	-74.78	10.88	Atlantico	Soledad	Activa	Abril 4, 2016	
16	29040340	Pluviometrica	SCADTA-BQUILLA	-74.78	10.88	Atlantico	Barranquilla	Suspendida	Mayo 15, 1932	Diciembre 15, 1933
17	29040230	Pluviometrica	PUERTO COLOMBIA	-74.97	10.99	Atlantico	Puerto Colombia	Activa	Abril 15, 1974	
18	17047030	Mareografica	PUERTO COLOMBIA	-74.97	11	Atlantico	Puerto Colombia	Suspendida	Enero 4, 2018	Enero 16, 2018
19	29040440	Pluviometrica	PTO COLOMBIA	-74.95	11	Atlantico	Puerto Colombia	Suspendida	Julio 15, 1934	Noviembre 15, 1946
20	29040010	Pluviometrica	SUP GRAL DE NAVEC	-74.78	11	Atlantico	Barranquilla	Suspendida	Enero 15, 1929	Diciembre 15, 1937

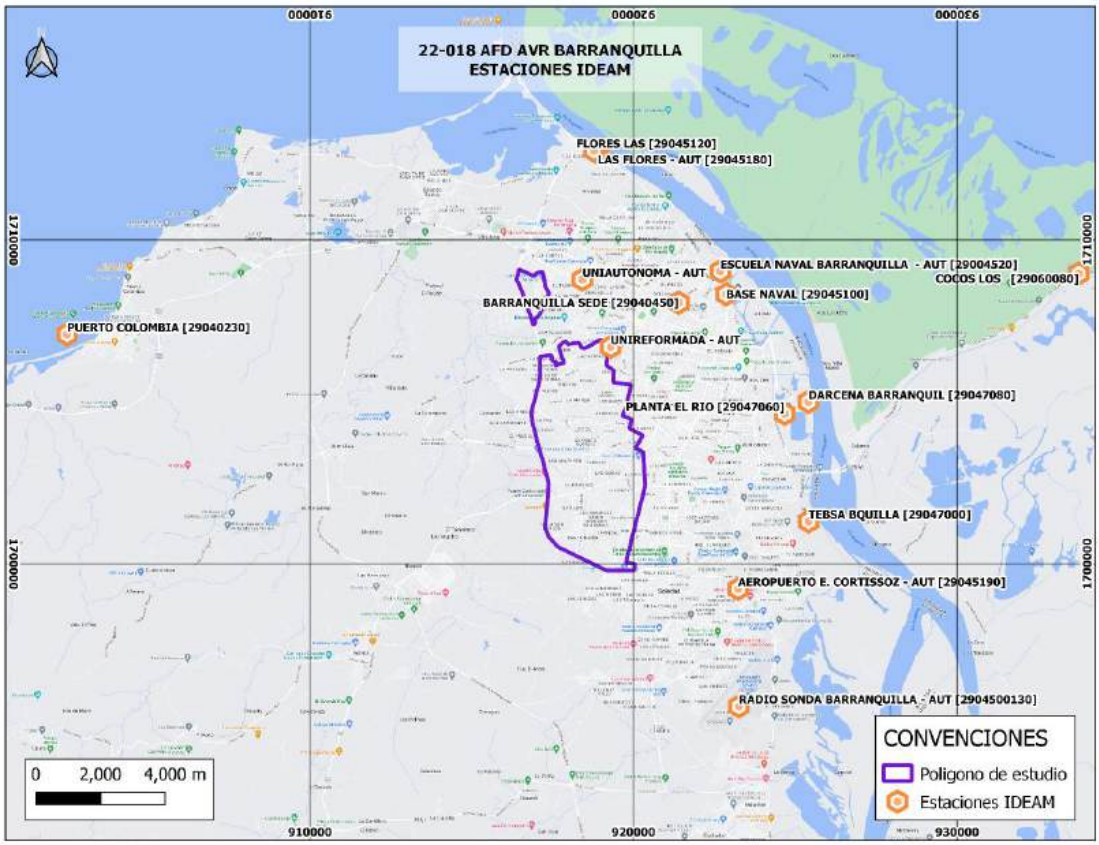


Figura 4.6 Mapa de ubicación de las estaciones más cercanas a la zona de estudio

4.3.2 Comportamiento de la Precipitación

Mediante el procesamiento y análisis de la información adquirida de precipitación total y precipitación máxima en 24 horas, se obtuvieron los resultados presentados en la Tabla 4.2, donde se identifica claramente el comportamiento unimodal de las precipitaciones en el sector, con valores máximos desde el mes de mayo a noviembre.

Con relación a las precipitaciones totales anuales, es claro el régimen unimodal de las lluvias en las dos estaciones, sus hietogramas se presentan en la Figura 3.9 a la Figura 3.11.

Tabla 4.2 Valores de precipitación total mensual.

Totales mensuales de precipitación
Estación Las Flores

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual	
Mín	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Mín.	**0.00**
Promedio	0.00	0.31	1.15	8.47	69.61	56.54	42.19	67.51	121.87	124.36	65.06	24.15	Suma	**581.23**
Máx	0.00	4.90	20.20	90.70	226.60	198.60	372.30	275.80	402.20	395.30	375.00	176.50	Máx	**402.20**

Estación Aeropuerto Ernesto Cortissoz

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual	
Mín	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Mín.	**0.00**
Promedio	2.91	1.03	0.91	23.51	98.40	87.22	67.29	95.62	147.13	159.72	83.77	20.64	Suma	**788.16**
Máx	133.10	41.40	14.60	142.90	320.80	271.40	359.70	309.90	299.50	363.80	394.50	214.10	Máx	**394.50**

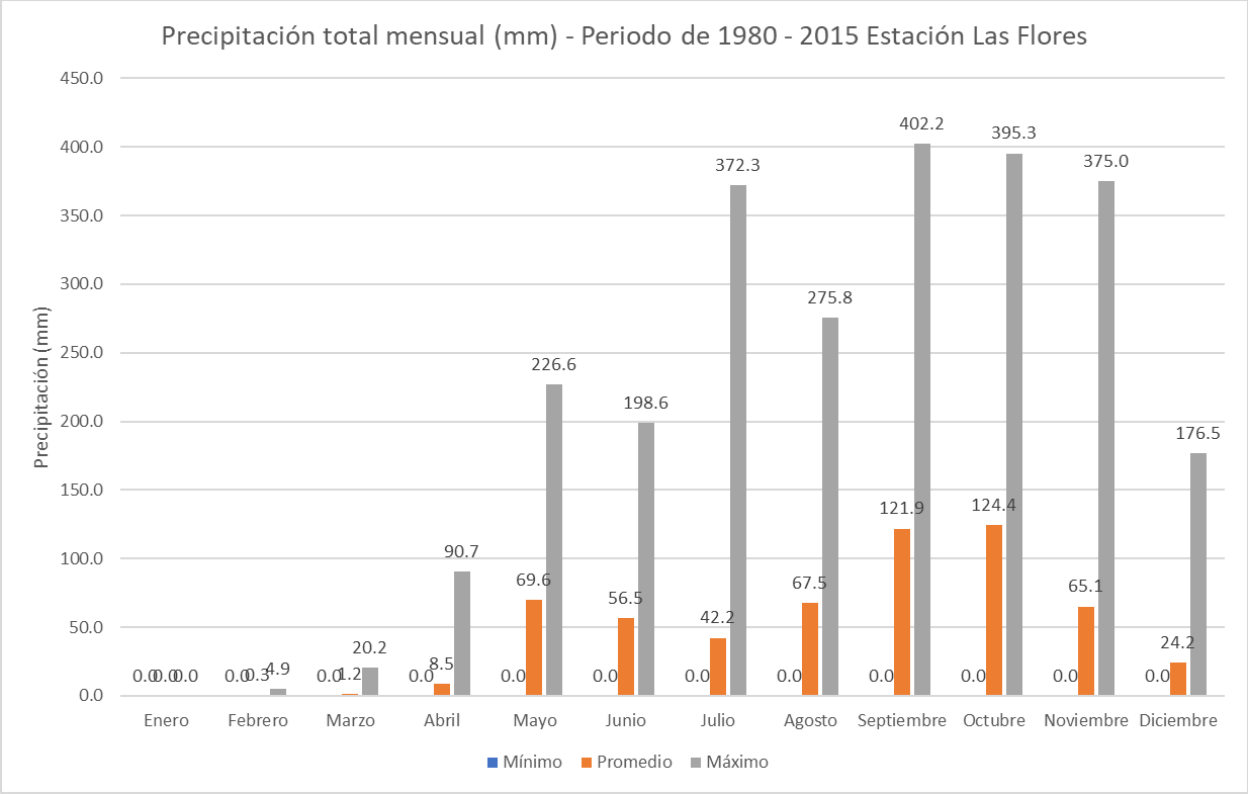


Figura 4.7 Totales Mensuales de precipitación Estación Las Flores

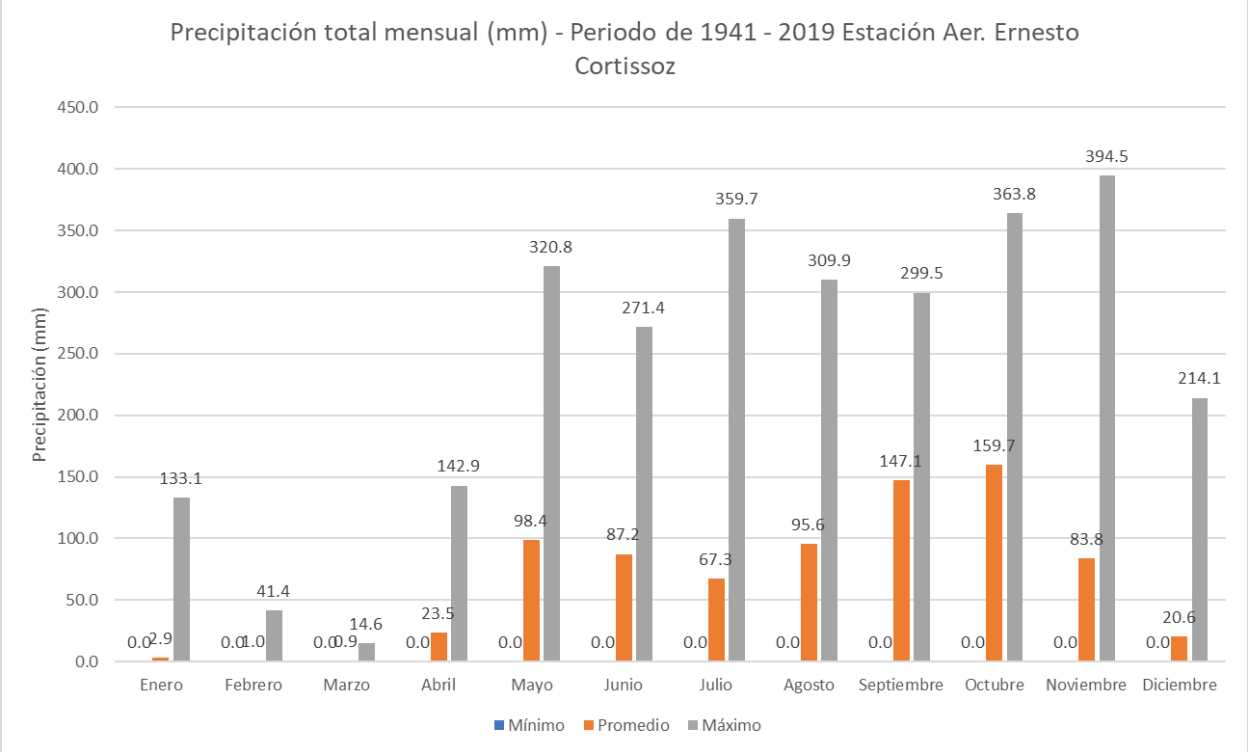


Figura 4.8 Totales Mensuales de precipitación Estación Ernesto Cortissoz.

El mes de octubre correspondió al mes de mayor precipitación total mensual promedio para ambas estaciones. No obstante, lo anterior, se observa que los valores máximos de lluvia se mantienen en valores similares durante todo el periodo lluvioso (véase Tabla 4.2).

La precipitación media en la estación Ernesto Cortissoz es mayor que la precipitación de las estaciones Las Flores en la mayoría de meses. La precipitación en la zona de estudio podría considerarse por cercanía geográfica, considerando que el polígono norte está más cercano a la estación Las Flores y el polígono sur está más cercano a la estación Aeropuerto Ernesto Cortissoz.

Tabla 4.3 Valores de Precipitación Máxima Mensual en 24h.

Valores máximo mensuales de precipitación en 24h
Estación Las Flores

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual	
Mín	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	7.40	7.90	8.50	0.00	0.00	Mín.	**0.00**
Promedio	0.00	0.40	0.78	6.21	43.37	31.10	24.85	44.83	56.97	53.72	34.26	22.94	Media	**26.62**
Máx	0.00	4.90	13.30	42.00	112.40	79.50	116.80	87.80	124.80	132.80	58.70	99.50	Máx	**132.80**

Estación Aeropuerto Ernesto Cortissoz

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual	
Mín	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	0.10	1.00	9.90	5.00	1.00	0.00	Mín.	**0.00**
Promedio	1.95	1.02	0.79	14.69	38.45	35.18	29.92	39.62	47.17	51.32	35.03	14.88	Media	**25.84**
Máx	62.50	41.40	11.50	56.90	119.20	104.10	100.60	131.70	107.10	123.00	140.70	118.40	Máx	**140.70**

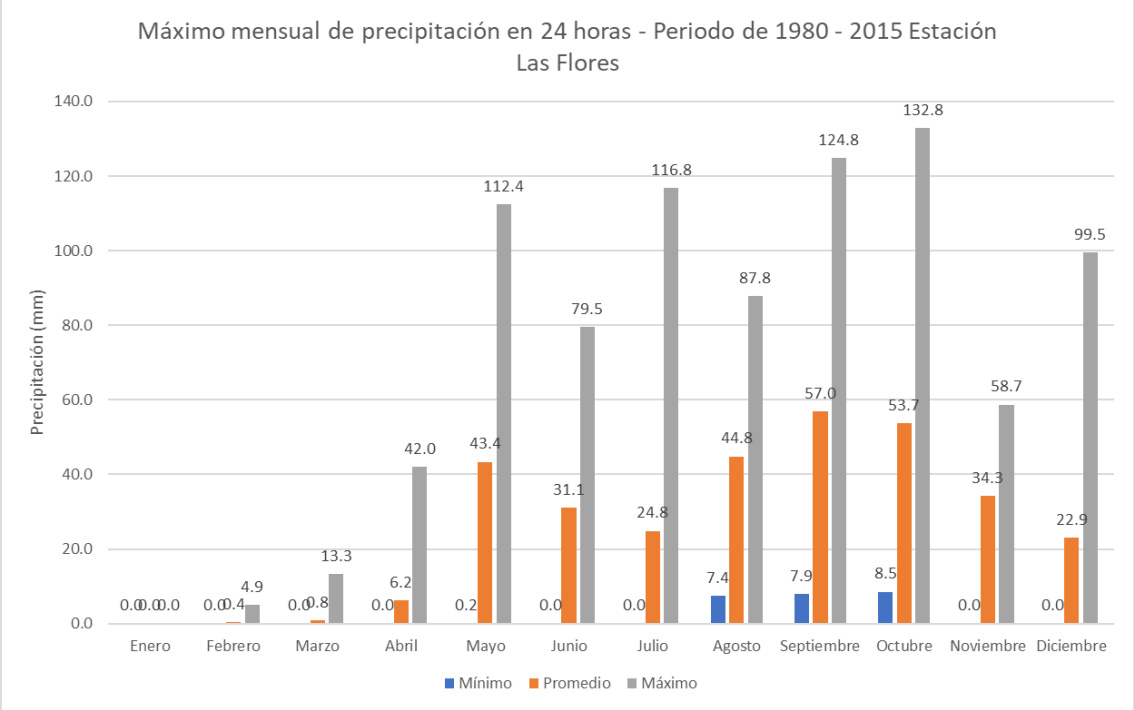


Figura 4.9 Máximo Mensual de precipitación en 24h Estación Las Flores.

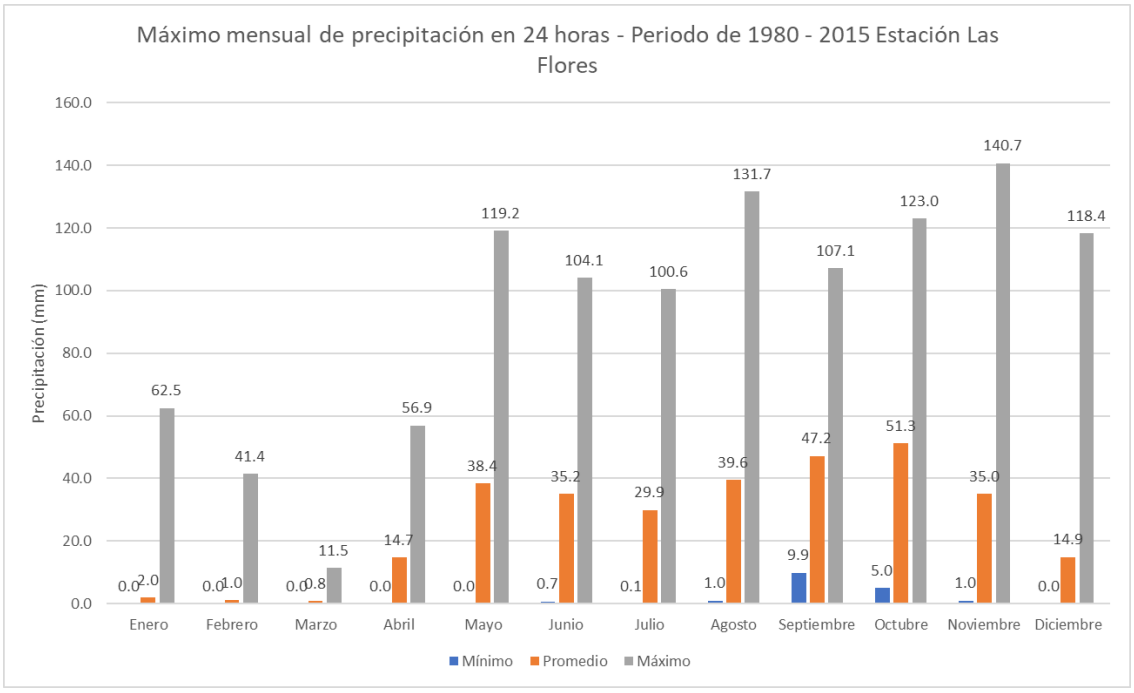


Figura 4.10 Máximo Mensual de precipitación en 24h Estación Ernesto Cortissoz.

Finalmente se puede destacar que para la estación Las Flores la precipitación mensual mínima corresponde a 0 mm (meses de sequía total), la precipitación máxima mensual registrada es de 402.2 mm, y la media anual de precipitación es de 581.23 mm. Para la estación Aeropuerto Ernesto Cortissoz, la

precipitación mensual mínima corresponde a 0 mm (meses de sequía total), la precipitación máxima mensual registrada es de 394.5mm, y la media anual de precipitación es de 788.16 mm.

Para la estación Las Flores los valores promedio de precipitación máxima en 24 horas para los meses de mayo a diciembre se encuentran entre 22.94 y 56.97 mm para un valor promedio de 26.62mm, mientras que los máximos alcanzan valores entre 58.70 y 132.80 mm. Para la estación Aeropuerto Ernesto Cortissoz los valores promedio de precipitación máxima en 24 horas para los meses de mayo a diciembre se encuentran entre 14.88 y 51.32 mm para un valor promedio de 25.84 mm, mientras que los máximos alcanzan valores entre 100.6 y 140.70 mm.

Comparativamente puede decirse que las precipitaciones máximas en 24 horas han llegado a tener magnitudes altas de incluso casi una cuarta a sexta parte de la lluvia total anual, es decir pueden ser de alta magnitud. Así mismo, en magnitud pueden representar entre una tercera parte y la mitad del valor máximo mensual registrado (véase Tabla 4.3).Los valores de máxima precipitación en 24h, se ilustran de la Figura 4.9 y la Figura 4.10.

4.4 CURVAS IDF EXISTENTES

Generalmente las lluvias se consideran uno de los aspectos más influyentes en la estabilidad de las laderas al punto de definirlas como factor detonante, bien sea por causa de un 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, debilitándolos de forma casi instantánea y contribuyendo así con su falla.

Por otro lado las precipitaciones inciden en la generación de aguas de escorrentía, cuando las mismas no logran infiltrarse lo suficientemente rápido en los niveles del suelo, con lo que se generan arroyos, quebradas, etc., que transmiten sus aguas por gravedad hacia los puntos más bajos, concentrándose en caudales de cierta importancia, que a su vez pueden generar afectaciones por inundación de zonas cercanas a cuerpos de agua cuyos niveles se ven aumentados por los aportes del agua de escorrentía, en particular para eventos de corta duración.

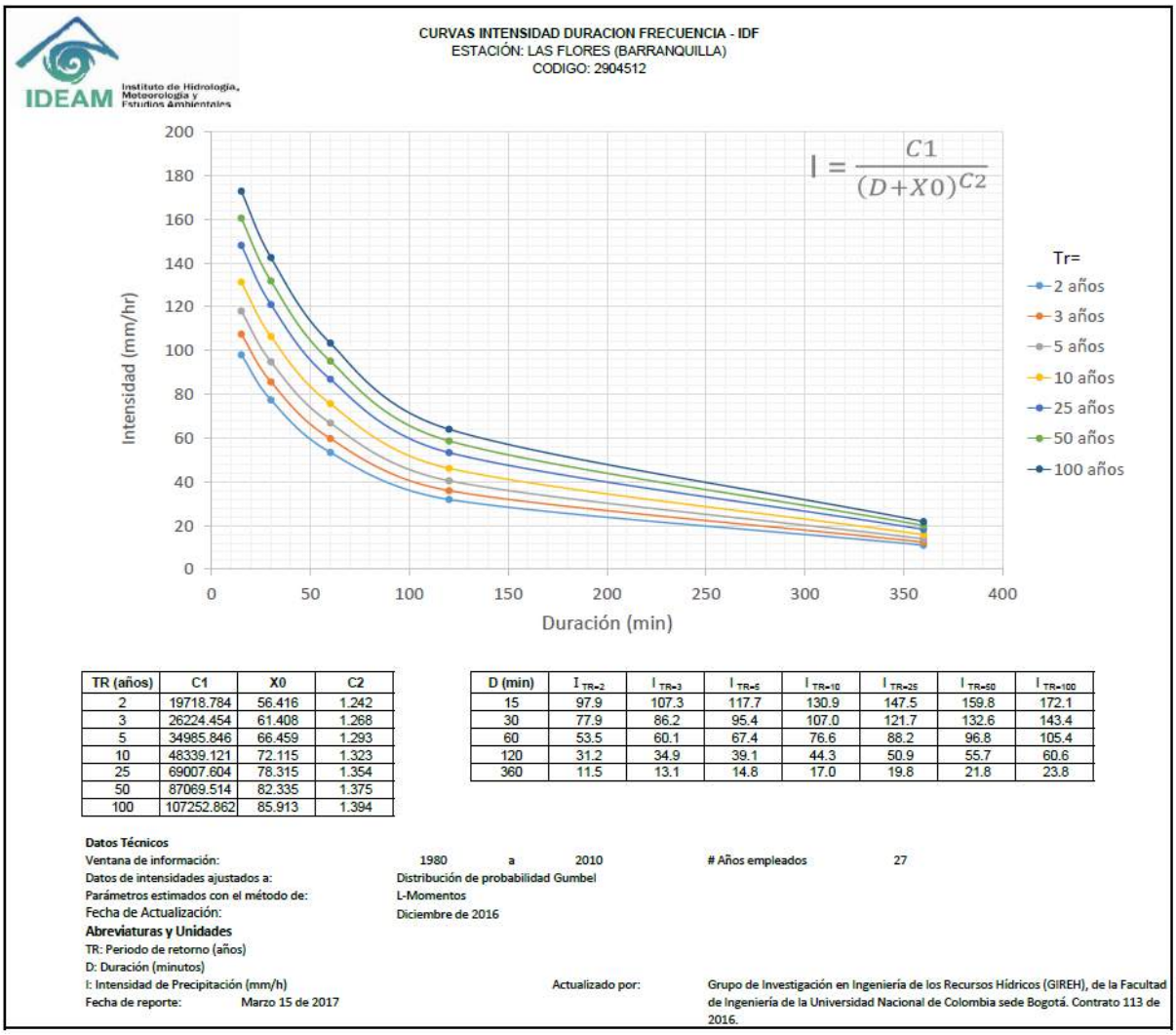
Para el análisis de las lluvias de corta duración se debe recurrir a la obtención de las denominadas Curvas IDF (Intensidad – Duración – Frecuencia), las cuales son de uso fundamental en los diseños de obras hidráulicas. Teniendo en cuenta los estudios elaborados por la universidad Nacional para el IDEAM en 2016, se tienen las curvas IDF para el Aeropuerto Ernesto Cortissoz y la Estación Las Flores, las cuales se muestran en la Figura 4.11 y en la Figura 4.12.

La información utilizada por el Ideam para ambas estaciones correspondió a los periodos de 1980 a 2010 para la estación Las Flores y de 1971 a 2010 para la estación Ernesto Cortissoz. Sin embargo, teniendo en cuenta que:

- La información se presenta para tiempos de 15, 30, 60, 120 y 360 minutos, y a partir de esto se define una ecuación para la intensidad de cada tiempo de retorno mediante la ecuación $I =$

$\frac{C_1}{(D+X_0)^{C_2}}$, donde D es la duración de la lluvia en minutos y C_1, X_0, C_2 corresponden a parámetros de la ecuación de ajuste. Un análisis exhaustivo de las ecuaciones para valores de lluvias de duraciones hasta las 6 horas, demostró que el cálculo de la tabla de profundidad-duración-frecuencia (PDF) para tiempos de lluvias tenía una tendencia decreciente a medida que las lluvias tenían valores superiores a las 4 horas. Por lo anterior se encontraba por ejemplo que una lluvia de duración de 5.5 horas tenía un valor precipitado total superior a la lluvia de 6.0 horas.

- Los hietogramas de lluvias para el proyecto se pretendían discretizar a bloques de 5 minutos, para lo cual obtener intensidades de duraciones de 5 y 10 minutos corresponderían a una extrapolación mediante la ecuación de ajuste, la cual no es tan estable para extrapolar.
- Adicional a los periodos de retorno presentados en las IDF, puesto que este estudio está direccionado a la verificación de la vulnerabilidad al cambio climático, se encuentra necesario el evaluar escenarios de periodo de frecuencia mayor a los 100 años, por lo cual se debe realizar una extrapolación de los valores de intensidad para así determinar ecuaciones para tiempos de retorno de 200 y 500 años. Así las cosas era necesario realizar análisis de IDF adicionales.

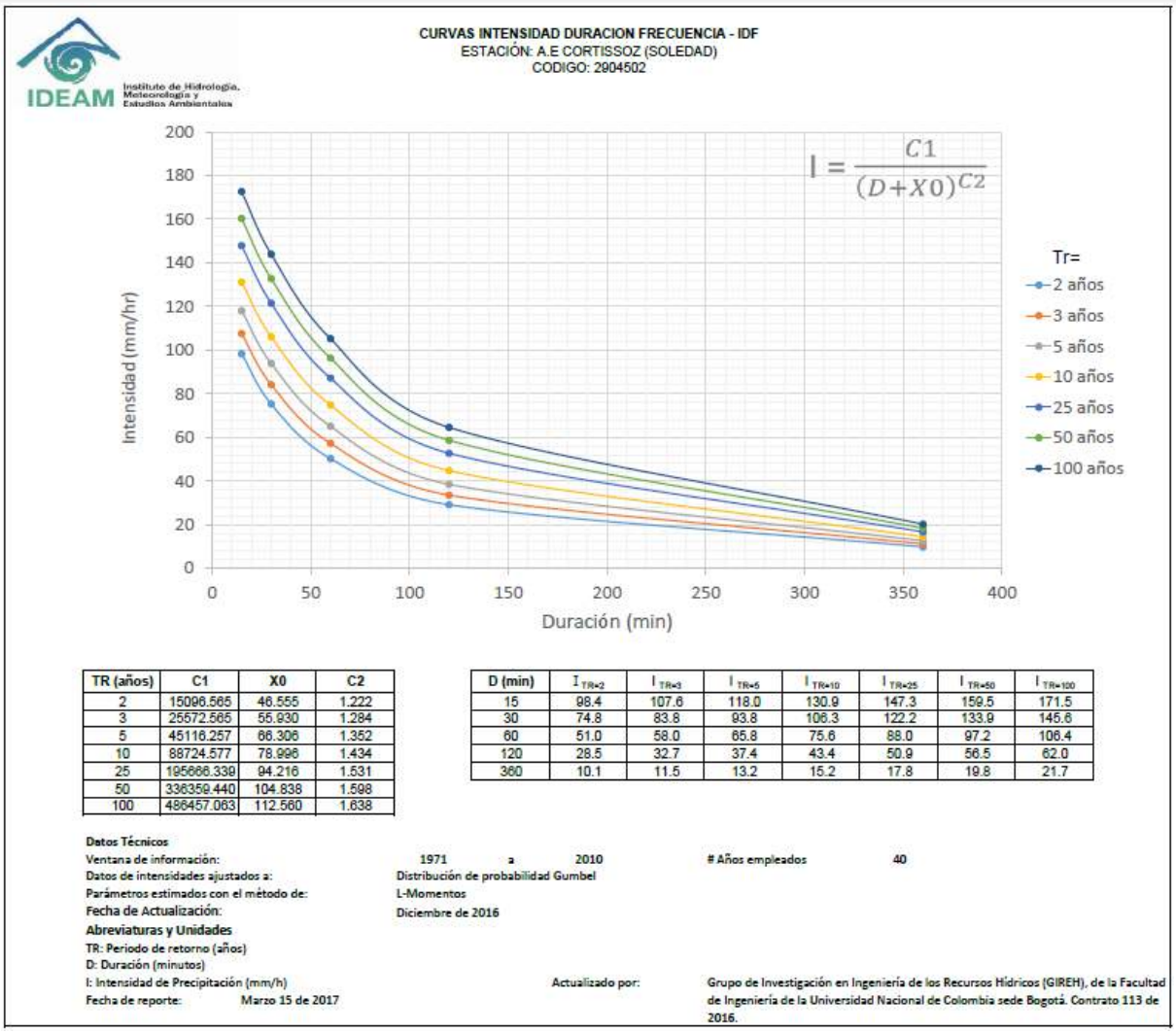


TR (años)	C1	X0	C2
2	19718.784	56.416	1.242
3	26224.454	61.408	1.268
5	34985.846	66.459	1.293
10	48339.121	72.115	1.323
25	69007.604	78.315	1.354
50	87069.514	82.335	1.375
100	107252.862	85.913	1.394

D (min)	$I_{TR=2}$	$I_{TR=3}$	$I_{TR=5}$	$I_{TR=10}$	$I_{TR=25}$	$I_{TR=50}$	$I_{TR=100}$
15	97.9	107.3	117.7	130.9	147.5	159.8	172.1
30	77.9	86.2	95.4	107.0	121.7	132.6	143.4
60	53.5	60.1	67.4	76.6	88.2	96.8	105.4
120	31.2	34.9	39.1	44.3	50.9	55.7	60.6
360	11.5	13.1	14.8	17.0	19.8	21.8	23.8

Datos Técnicos
Ventana de información: 1980 a 2010 # Años empleados 27
Datos de intensidades ajustados a: Distribución de probabilidad Gumbel
Parámetros estimados con el método de: L-Momentos
Fecha de Actualización: Diciembre de 2016
Abreviaturas y Unidades
TR: Periodo de retorno (años)
D: Duración (minutos)
I: Intensidad de Precipitación (mm/h)
Fecha de reporte: Marzo 15 de 2017
Actualizado por: Grupo de Investigación en Ingeniería de los Recursos Hídricos (GIREH), de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Contrato 113 de 2016.

Figura 4.11 IDF para la estación Las Flores (UNAL, 2016).



TR (años)	C1	X0	C2
2	15096.565	46.555	1.222
3	25572.565	55.930	1.284
5	45116.257	66.306	1.352
10	88724.577	78.996	1.434
25	195666.339	94.216	1.531
50	336359.440	104.838	1.598
100	486457.063	112.560	1.638

D (min)	$I_{TR=2}$	$I_{TR=3}$	$I_{TR=5}$	$I_{TR=10}$	$I_{TR=25}$	$I_{TR=50}$	$I_{TR=100}$
15	98.4	107.6	118.0	130.9	147.3	159.5	171.5
30	74.8	83.8	93.8	106.3	122.2	133.9	145.6
60	51.0	58.0	65.8	75.6	88.0	97.2	106.4
120	28.5	32.7	37.4	43.4	50.9	56.5	62.0
360	10.1	11.5	13.2	15.2	17.8	19.8	21.7

Datos Técnicos
Ventana de información: 1971 a 2010 # Años empleados 40
Datos de intensidades ajustados a: Distribución de probabilidad Gumbel
Parámetros estimados con el método de: L-Momentos
Fecha de Actualización: Diciembre de 2016
Abreviaturas y Unidades
TR: Periodo de retorno (años)
D: Duración (minutos)
I: Intensidad de Precipitación (mm/h)
Fecha de reporte: Marzo 15 de 2017
Actualizado por: Grupo de Investigación en Ingeniería de los Recursos Hídricos (GIREH), de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Contrato 113 de 2016.

Figura 4.12 IDF para la estación Aeropuerto Ernesto Cortissoz (UNAL, 2016).

Se procede entonces a realizar el análisis de IDF a partir de las tablas de valores, utilizando una ecuación diferente correspondiente a la ecuación de Wenzel:

$$i = \frac{c}{T_d^e + f}$$

Donde,

i, es la intensidad de precipitación en mm/hr.

T_d, es la duración de la lluvia en minutos.

c, e, f, son los parámetros de la ecuación de ajuste.

El análisis se presenta para los datos de la Estación Aeropuerto Ernesto Cortissoz, sin embargo, el procedimiento se llevó a cabo para los datos de ambas estaciones, y los resultados de ambas se presentan al final.

4.5 CÁLCULO DE IDF MEDIANTE LA ECUACIÓN DE WENZEL

Inicialmente se toman los valores de la tabla del Ideam para los tiempos de retorno existentes en las IDF presentadas. Se calcula utilizando el método de mínimos cuadrados los valores de parametrización de la ecuación de Wenzel, con restricciones de precipitación tal que no se presenten lluvias críticas de mayor duración con menor intensidad.

La Tabla 4.4 presenta los valores de intensidad y precipitación iniciales:

Tabla 4.4 Valores de intensidad y profundidades de las IDF del IDEAM para la estación Ernesto Cortissoz.

Intensidad (mm/hr)							
D (min)\Tr (años)	**2**	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
15	98.4	107.6	118.0	130.9	147.3	159.5	171.5
30	74.8	83.8	93.8	106.3	122.2	133.9	145.6
60	51.0	58.0	65.8	75.6	88.0	97.2	106.4
120	28.5	32.7	37.4	43.4	50.9	56.5	62.0
360	10.1	11.5	13.2	15.2	17.8	19.8	21.7

Profundidad (mm)							
D (min)\Tr (años)	**2**	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
15	24.6	26.9	29.5	32.7	36.8	39.9	42.9
30	37.4	41.9	46.9	53.2	61.1	67.0	72.8
60	51.0	58.0	65.8	75.6	88.0	97.2	106.4
120	57.0	65.4	74.8	86.8	101.8	113.0	124.0
360	60.6	69.0	79.2	91.2	106.8	118.8	130.2

La profundidad corresponde al total precipitado de cada lluvia crítica, calculado a partir de la intensidad y la duración de la misma. Se realiza un primer acercamiento a los valores de parametrización de las IDF por la ecuación de Wenzel para la estación Aeropuerto Ernesto Cortissoz, lo cual puede verificarse en la Tabla 4.5:

Tabla 4.5 Parametrización inicial para la estación Ernesto Cortissoz.

Parámetro\Tr (años	**2**	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
c	6512.356	7680.106	9242.288	11029.587	13463.309	15448.454	17273.460
e	1.08625	1.09148	1.09853	1.10385	1.11004	1.11468	1.11767
f	46.66230	51.01391	57.23281	62.21711	68.33360	73.15316	76.37518
15	0.76408456	2.66103254	3.83607257	6.99398508	10.4299441	11.9740269	14.6690267
30	0.03979167	0.1178374	0.42161552	1.23850271	2.52127554	3.17164684	4.27243488
60	11.0069486	17.9566562	20.0698325	27.7844393	34.1318865	36.1988992	41.4390562
120	0.04644088	0.78210585	0.95555668	4.28579801	6.75171319	7.16367398	8.88486748
360	1.8687E-15	5.5464E-16	2.413E-17	3.4237E-11	4.8314E-16	8.6188E-13	4.6672E-11
Sum.Dif.Cuad	11.8572657	21.517632	25.2830773	40.3027251	53.8348193	58.5082469	69.2653852

Los valores de sumas de diferencias cuadradas indican valores que podrían ser más bajos, los cuales se presentan particularmente cuando el ajuste permite valores incongruentes de precipitación. Las

restricciones del ajuste si bien arrojan valores más altos de suma de diferencias cuadradas, garantizan un comportamiento más adecuado de la ecuación para precipitaciones mayores, lo que no se presentaba en los valores originales de las IDF del IDEAM. Los valores de intensidad y profundidad de lámina calculados a partir de esta parametrización se presentan en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6 Intensidades y profundidades calculadas a partir de la parametrización inicial de la ecuación de Wenzel para la estación Aeropuerto Ernesto Cortissoz.

Intensidad calculada (interpolación y extrapolación de duraciones de lluvia) mm/hr							
D(min)\Tr (años)	**2**	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
5	124.3	135.2	146.5	161.9	181.2	195.1	209.6
10	110.6	121.2	132.4	147.2	165.8	179.3	193.0
15	99.3	109.4	120.3	134.4	152.1	165.0	178.1
30	74.9	83.5	93.2	105.1	120.3	131.5	142.6
60	49.3	55.5	62.9	71.6	82.9	91.4	99.6
120	28.6	32.4	37.0	42.5	49.6	55.0	60.2
180	19.8	22.6	25.9	29.7	34.8	38.7	42.3
240	15.1	17.2	19.7	22.7	26.6	29.5	32.4
300	12.1	13.8	15.8	18.2	21.4	23.8	26.0
360	10.1	11.5	13.2	15.2	17.8	19.8	21.7

Profundidad calculada (interpolación y extrapolación de duraciones de lluvia) mm							
D(min)\Tr (años)	**2**	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
5	10.4	11.3	12.2	13.5	15.1	16.3	17.5
10	18.4	20.2	22.1	24.5	27.6	29.9	32.2
15	24.8	27.3	30.1	33.6	38.0	41.3	44.5
30	37.5	41.8	46.6	52.6	60.1	65.8	71.3
60	49.3	55.5	62.9	71.6	82.9	91.4	99.6
120	57.1	64.8	74.1	85.0	99.2	110.0	120.3
180	59.5	67.7	77.6	89.2	104.3	116.0	127.0
240	60.3	68.7	78.8	90.7	106.2	118.1	129.4
300	60.6	69.0	79.2	91.2	106.8	118.8	130.2
360	60.6	69.0	79.2	91.2	106.8	118.8	130.2

Como se puede ver en la Tabla 4.6, las restricciones generaron que los valores de precipitación total para las lluvias de 5 horas (300 min.) y 6 horas (300 min.) fueran iguales. Sin las restricciones los valores de precipitación para la lluvia crítica de 5 horas eran superiores a los de las 6 horas.

Con la información anterior se procede a generar la extrapolación de valores para obtener las intensidades de lluvias para periodos de 200 y 500 años de retorno. Para cada uno de las duraciones que se calcularon mediante la ecuación se grafican las intensidades contra el periodo de retorno (en escala logarítmica) y se realizó la regresión logarítmica [y=ln(x)+b] para cada duración, obteniendo ajustes muy buenos con valores de $r^2 \geq 0.999$ en todos los casos.

La gráfica de presentación de los valores de intensidad vs. Periodo de retorno para cada duración de lluvia se presenta en la Figura 4.13.

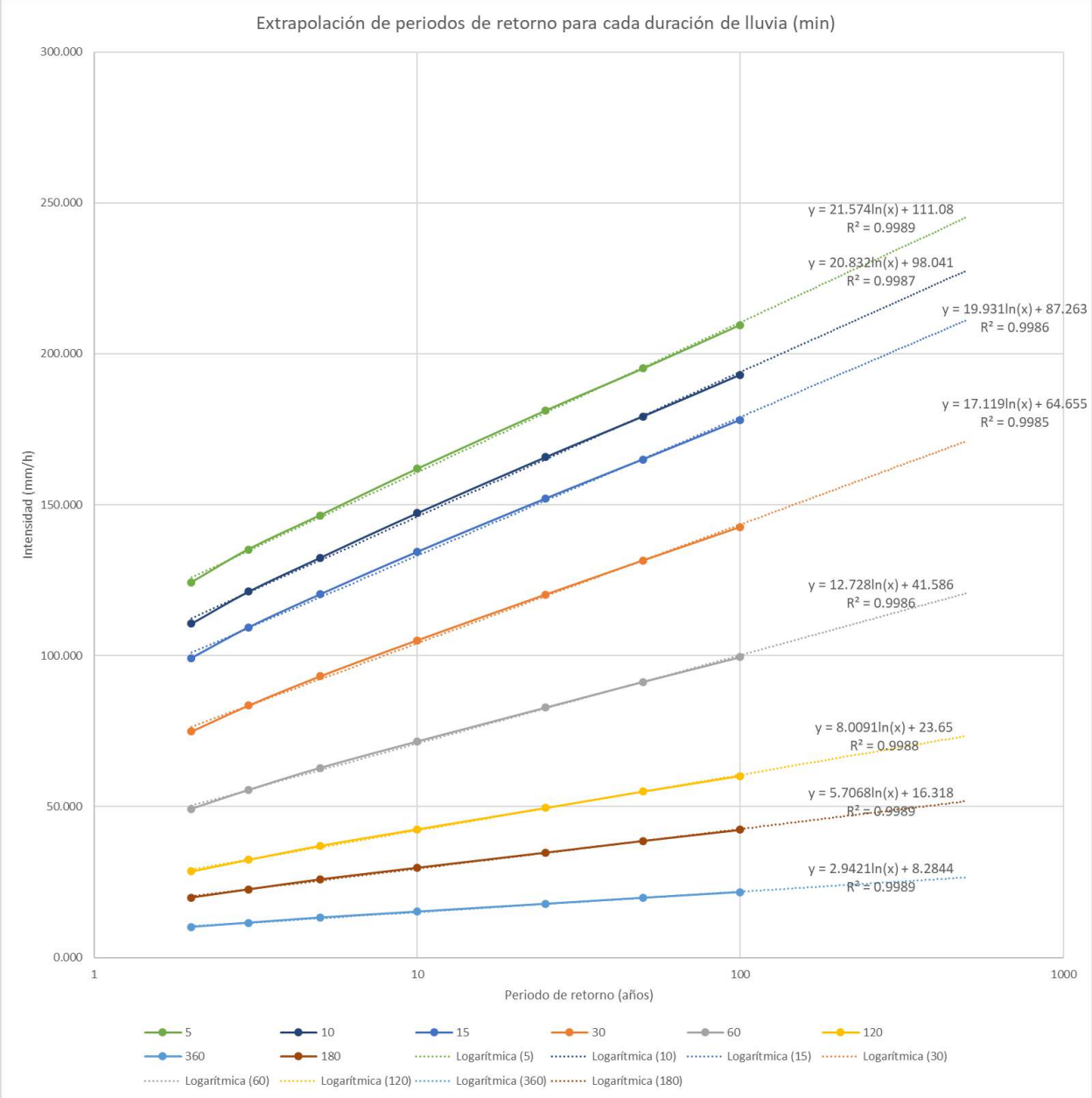


Figura 4.13 Extrapolación de periodos de retorno para la estación Aeropuerto Ernesto Cortissoz.

Los valores de extrapolación obtenidos a partir de las regresiones logarítmicas anteriores, se presentan en la Tabla 4.7.

A partir de estos valores, en la Tabla 4.8 se exhiben nuevamente los valores de intensidad y duración para la estación, incluyendo ahora duraciones extrapoladas e interpoladas y los tiempos de retorno interpolados adicionales.

Nuevamente se aplica el ajuste a la ecuación de Wenzel mediante mínimos cuadrados, y aplicando restricciones a las profundidades con el objetivo que los ajustes den ecuaciones a todas luces congruentes con las lluvias.

El resultado final y los valores de parametrización que se usarán para el proyecto se presentan en la Tabla 4.9.

Tabla 4.7 Cálculo de valores de intensidad para periodos de retorno de 200 y 500 años para la estación Aeropuerto Ernesto Cortissoz

Tr (años)\D (min)	5	10	15	30	60	120	180	360
2	124.265	110.643	99.260	74.949	49.308	28.561	19.832	10.100
3	135.196	121.216	109.355	83.512	55.542	32.411	22.557	11.500
5	146.489	132.450	120.311	93.191	62.852	37.034	25.854	13.200
10	161.898	147.221	134.362	105.117	71.615	42.502	29.739	15.200
25	181.196	165.769	152.057	120.260	82.859	49.577	34.781	17.800
50	195.138	179.268	165.019	131.515	91.352	54.988	38.653	19.800
100	209.584	193.027	178.068	142.590	99.551	60.152	42.336	21.700
200	225.379	208.415	192.864	155.356	109.023	66.084	46.554	23.872
500	245.147	227.503	211.127	171.042	120.686	73.423	51.783	26.568

Tabla 4.8 Valores de intensidad y profundidades para la estación Ernesto Cortissoz, incluyendo valores extrapolados e interpolados de duraciones y tiempos de retorno.

Intensidad con extrapolación de periodos de retorno (mm/hr)									
Tr (años)\D (min)	2	3	5	10	25	50	100	200	500
5	124.3	135.2	146.5	161.9	181.2	195.1	209.6	225.4	245.1
10	110.6	121.2	132.4	147.2	165.8	179.3	193.0	208.4	227.5
15	99.3	109.4	120.3	134.4	152.1	165.0	178.1	192.9	211.1
30	74.9	83.5	93.2	105.1	120.3	131.5	142.6	155.4	171.0
60	49.3	55.5	62.9	71.6	82.9	91.4	99.6	109.0	120.7
120	28.6	32.4	37.0	42.5	49.6	55.0	60.2	66.1	73.4
180	19.8	22.6	25.9	29.7	34.8	38.7	42.3	46.6	51.8
360	10.1	11.5	13.2	15.2	17.8	19.8	21.7	23.9	26.6

Profundidad con extrapolación de periodos de retorno (mm)									
Tr (años)\D (min)	2	3	5	10	25	50	100	200	500
5	10.4	11.3	12.2	13.5	15.1	16.3	17.5	18.8	20.4
10	18.4	20.2	22.1	24.5	27.6	29.9	32.2	34.7	37.9
15	24.8	27.3	30.1	33.6	38.0	41.3	44.5	48.2	52.8
30	37.5	41.8	46.6	52.6	60.1	65.8	71.3	77.7	85.5
60	49.3	55.5	62.9	71.6	82.9	91.4	99.6	109.0	120.7
120	57.1	64.8	74.1	85.0	99.2	110.0	120.3	132.2	146.8
180	59.5	67.7	77.6	89.2	104.3	116.0	127.0	139.7	155.4
360	60.6	69.0	79.2	91.2	106.8	118.8	130.2	143.2	159.4

Tabla 4.9 Parametrización definitiva para la estación Ernesto Cortissoz usando la ecuación de Wenzel.

Parámetro\Tr	2	3	5	10	25	50	100	200	500
c	6241.207	7339.804	8799.271	10470.506	12737.517	14578.204	16273.304	18257.112	20746.991
e	1.07914	1.08390	1.09031	1.09515	1.10077	1.10497	1.10769	1.11059	1.11367
f	44.35715	48.35756	54.04577	58.58177	64.12198	68.46830	71.36498	74.54322	78.01958

5	0.1420198	0.1501392	0.16069017	0.16837621	0.17700425	0.18322445	0.18713413	0.36872511	0.52272618
10	0.00876091	0.0107453	0.01365758	0.01602235	0.01892874	0.02119555	0.0226961	0.03208644	0.04039963
15	0.01061438	0.00930755	0.00762508	0.00643441	0.00515591	0.00428513	0.00376388	0.01531221	0.02592769
30	0.17562123	0.18100956	0.18704884	0.19074499	0.19416562	0.19617605	0.19723232	0.37519847	0.52041105
60	0.33847877	0.36392862	0.39753034	0.42231837	0.4503815	0.47085942	0.48380449	0.73061747	0.92606809
120	0.25670136	0.28318395	0.32002158	0.34866173	0.3827163	0.40872443	0.42570789	0.53264863	0.61816602
180	0.1312949	0.14626411	0.16746228	0.18424058	0.20452593	0.22025944	0.23064635	0.26450059	0.29313041
360	3.4716E-18	1.1234E-18	9.5752E-19	3.713E-18	1.1369E-17	2.2898E-18	3.9421E-19	3.6615E-13	8.6931E-20

Sum.Dif.Cuad	1.06349135	1.1445783	1.25403587	1.33679864	1.43287825	1.50472448	1.55098516	2.31908892	2.94682907

Aplicando un proceso similar a los valores de la estación Las Flores, se obtienen los siguientes parámetros de ajuste (tabla):

Tabla 4.10 Parametrización definitiva para la estación Las Flores usando la ecuación de Wenzel.

Parámetro\Tr	2	3	5	10	25	50	100	200	500
c	7798.480	8696.017	10061.917	11497.397	13313.988	14832.883	16466.456	18128.135	20293.290
e	1.09188	1.08749	1.09081	1.08919	1.08745	1.08903	1.09148	1.09149	1.09266
f	59.87746	61.33144	65.48012	67.75147	70.06989	72.41516	75.04594	76.73020	78.96071
5	2.9308E-07	7.0606E-06	2.8617E-07	2.1478E-05	4.2413E-07	1.9737E-07	0.00012622	0.00024259	0.00066421
10	5.6028E-07	1.1571E-06	5.7527E-07	7.5959E-06	3.2402E-07	1.679E-06	6.6755E-05	2.3442E-06	4.3042E-06
15	2.7795E-06	7.6301E-09	2.8657E-06	1.7778E-06	2.5021E-07	3.6426E-06	3.3278E-05	7.251E-05	0.00021424
30	1.0142E-05	4.559E-06	1.0729E-05	1.6955E-06	1.2211E-07	8.6153E-06	1.1205E-06	0.00033815	0.00093149
60	1.549E-05	1.1853E-05	1.6943E-05	1.0468E-05	3.5005E-08	1.1725E-05	8.5343E-06	3.739E-05	8.4188E-05
120	1.1113E-05	1.0449E-05	1.2532E-05	1.163E-05	4.0117E-09	8.2294E-06	1.7975E-05	0.00021337	0.00065113
180	5.6166E-06	5.6476E-06	6.4216E-06	6.7377E-06	4.617E-10	4.159E-06	1.2055E-05	0.00025378	0.00073542
360	2.783E-24	2.0777E-16	1.2311E-18	1.8002E-17	6.708E-19	4.786E-20	1.773E-16	0.00021889	0.00068928
Sum.Dif.Cuad	4.5995E-05	4.0734E-05	5.0352E-05	6.1383E-05	1.1599E-06	3.8248E-05	0.00026594	0.00137902	0.00397427

A partir de los parámetros de ajuste es posible determinar curvas IDF y PDF para ambas estaciones, como se muestra de la Figura 4.14 a la Figura 4.17.

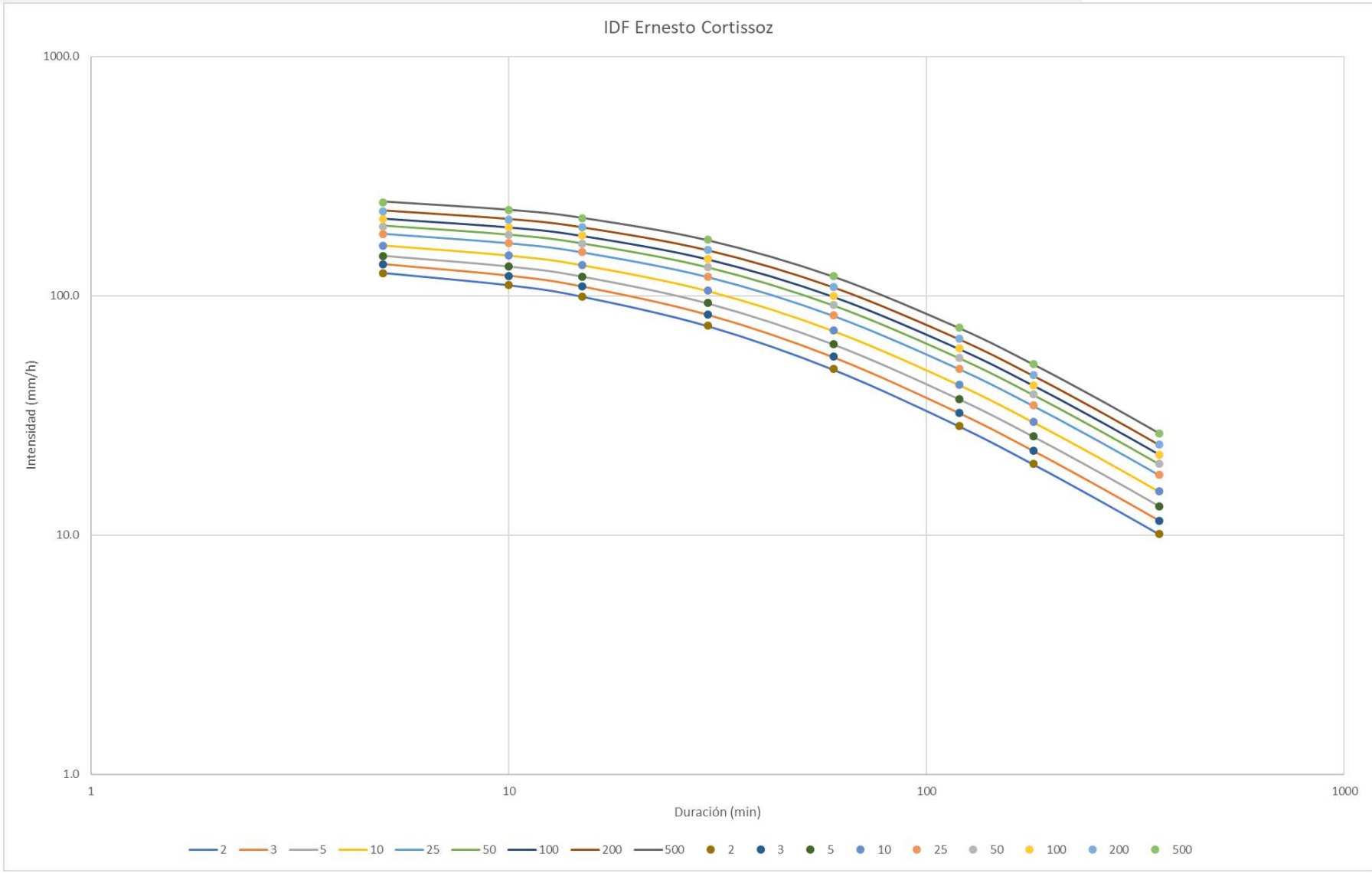


Figura 4.14 Curvas IDF para la estación Aeropuerto Ernesto Cortissoz a partir de los parámetros de ajuste.

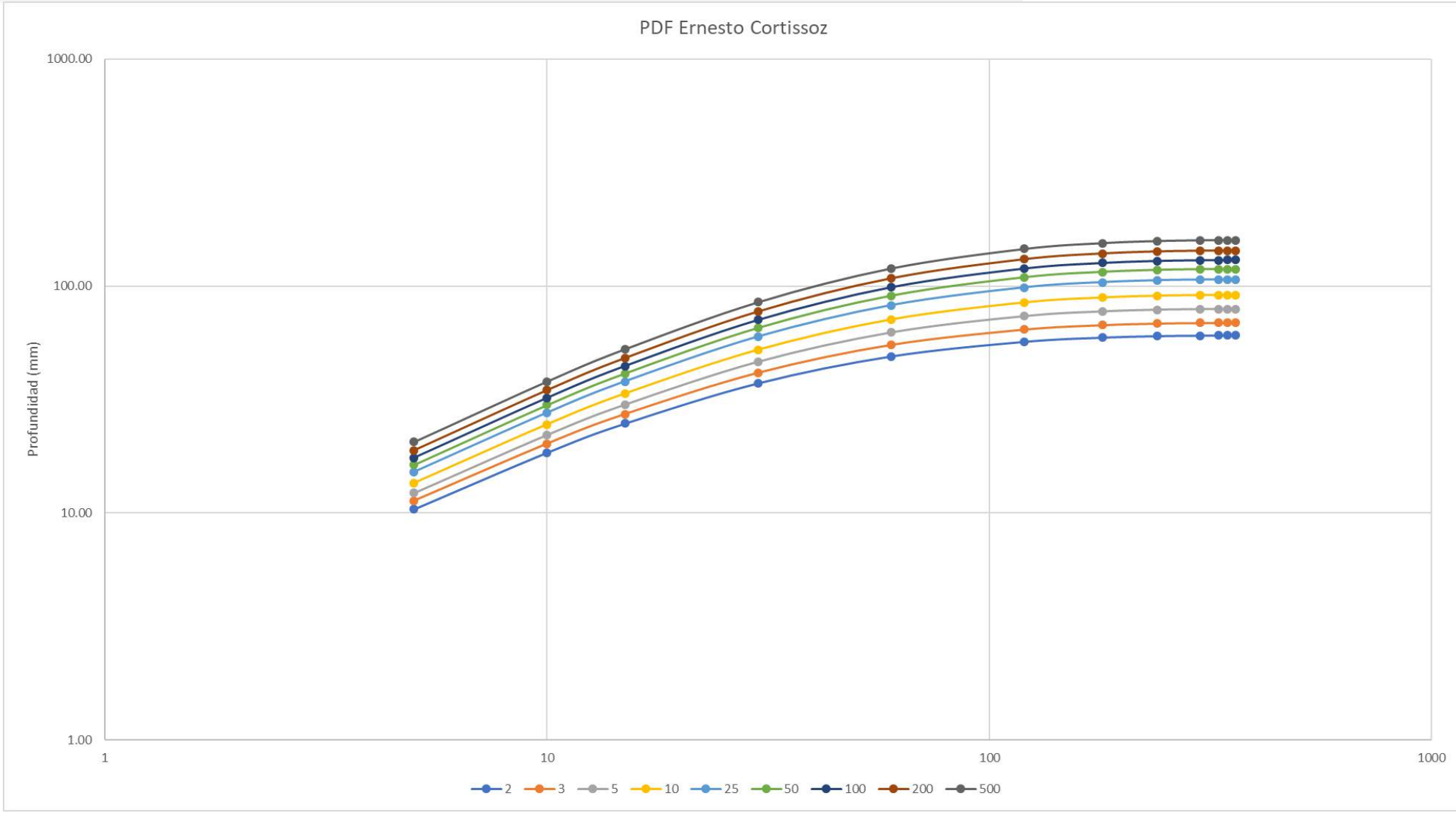


Figura 4.15 Curvas PDF para la estación Aeropuerto Ernesto Cortissoz a partir de los parámetros de ajuste.

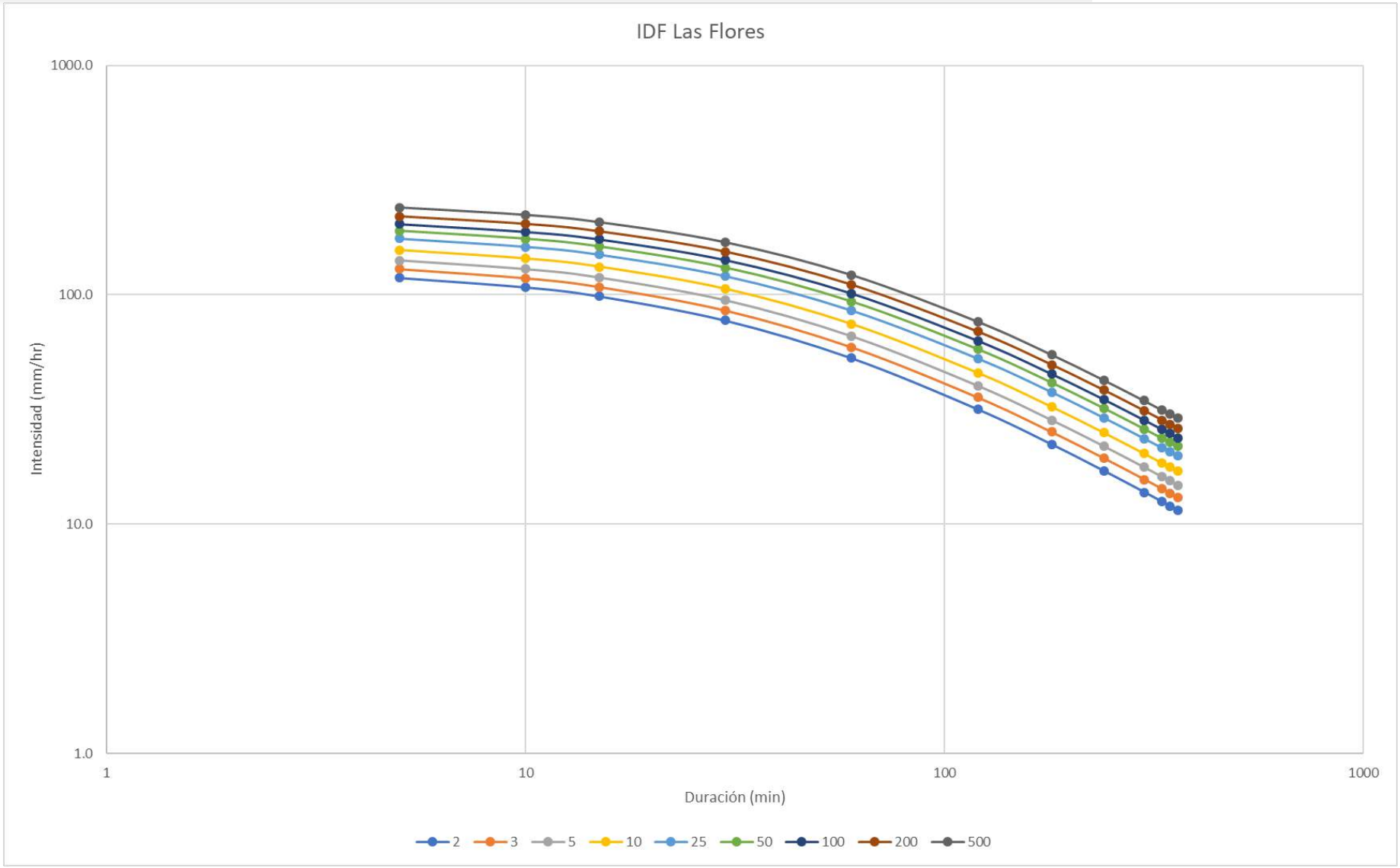


Figura 4.16 Curvas IDF para la estación Las Flores a partir de los parámetros de ajuste.

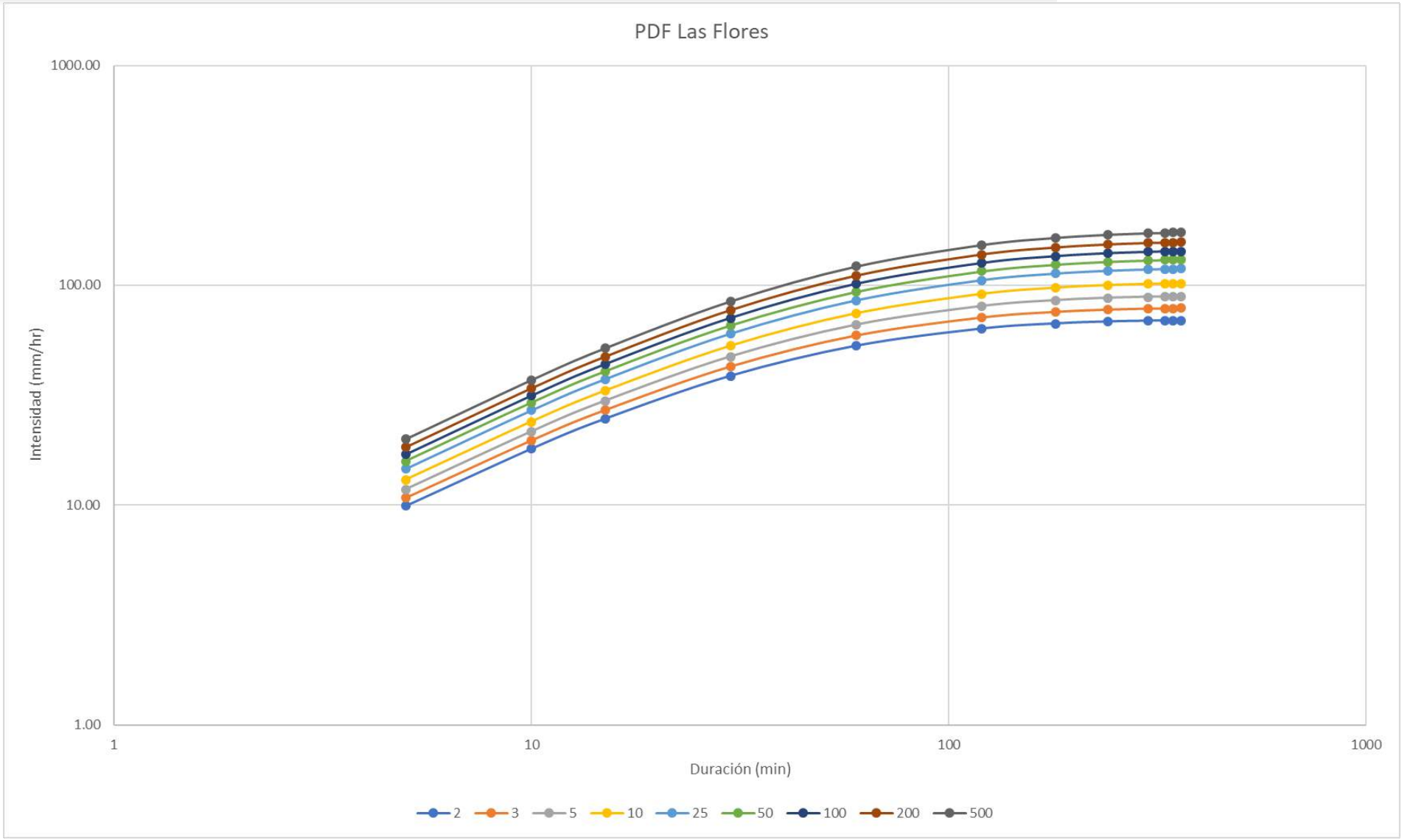


Figura 4.17 Curvas PDF para la estación Las Flores a partir de los parámetros de ajuste.

4.6 HIETOGRAMAS DE DISEÑO

Con la parametrización definitiva para las estaciones se procede a diseñar los hietogramas de diseño. Para esto se utilizará no sólo la información de IDFs calculadas, sino que además se hará uso del método de los Bloques Alternos (Chow et al., 1994). Este método establece un procedimiento mediante el cual es posible generar un hietograma de una tormenta de diseño que permita incorporar lluvias críticas de múltiples duraciones para un periodo de retorno dado.

Inicialmente es necesario definir la duración máxima de lluvia y la duración de cada bloque de lluvia. Se estima que, al ser una cuenca urbana, un tamaño de bloque adecuado sería de 5 minutos, que podría ser suficiente para que se generen lluvias críticas capaces de inundar cuencas de periodos de concentración pequeños, y por otro una duración de hietograma de 6 horas, el cual también es recomendado para una zona de tejido urbano. Las intensidades calculadas para la estación Ernesto Cortissoz se presentan en la Tabla 4.11.

Tabla 4.11 Intensidades de precipitación para lluvias con duraciones incrementales de 5 minutos para la estación Ernesto Cortissoz.

Intensidades lluvias críticas (mm/hr)									
D (min)	**i-(2años)**	**i-(3años)**	**i-(5años)**	**i-(10años)**	**i-(25años)**	**i-(50años)**	**i-(100años)**	**i-(200años)**	**i-(500años)**
5	124.73	135.72	147.08	162.56	181.96	195.97	210.49	226.75	246.92
10	110.75	121.34	132.60	147.41	166.00	179.53	193.32	208.79	227.96
15	99.16	109.25	120.21	134.25	151.95	164.91	177.96	192.63	210.79
20	89.53	99.09	109.64	122.93	139.71	152.08	164.41	178.29	195.48
25	81.47	90.49	100.59	113.15	129.05	140.83	152.48	165.62	181.89
30	74.64	83.16	92.79	104.66	119.73	130.93	141.96	154.40	169.81
35	68.79	76.84	86.02	97.25	111.54	122.20	132.64	144.44	159.04
40	63.74	71.35	80.10	90.73	104.29	114.44	124.34	135.55	149.41
45	59.34	66.55	74.88	84.97	97.86	107.53	116.93	127.58	140.77
50	55.48	62.32	70.26	79.85	92.11	101.34	110.28	120.42	132.98
55	52.06	58.56	66.15	75.27	86.95	95.76	104.29	113.96	125.93
60	49.02	55.21	62.46	71.15	82.30	90.73	98.86	108.09	119.52
65	46.30	52.20	59.13	67.43	78.09	86.15	93.93	102.75	113.69
70	43.85	49.48	56.12	64.06	74.26	81.99	89.43	97.88	108.35
75	41.63	47.02	53.39	60.99	70.76	78.18	85.31	93.41	103.46
80	39.62	44.78	50.90	58.18	67.56	74.69	81.53	89.31	98.95
85	37.79	42.74	48.61	55.61	64.62	71.47	78.04	85.53	94.79
90	36.11	40.86	46.52	53.24	61.91	68.50	74.83	82.03	90.95
95	34.56	39.13	44.58	51.05	59.40	65.76	71.85	78.78	87.38
100	33.14	37.54	42.79	49.03	57.07	63.21	69.08	75.77	84.06
105	31.83	36.07	41.14	47.15	54.92	60.84	66.51	72.97	80.97
110	30.61	34.70	39.60	45.40	52.90	58.63	64.11	70.35	78.08
115	29.47	33.43	38.16	43.77	51.03	56.57	61.86	67.90	75.38
120	28.42	32.24	36.82	42.25	49.27	54.64	59.76	65.60	72.85
125	27.43	31.13	35.57	40.83	47.62	52.82	57.79	63.45	70.47
130	26.51	30.09	34.40	39.49	46.08	51.12	55.93	61.42	68.23
135	25.64	29.12	33.29	38.23	44.63	49.52	54.19	59.51	66.12
140	24.83	28.20	32.26	37.05	43.26	48.01	52.54	57.71	64.13
145	24.07	27.34	31.28	35.93	41.96	46.58	50.99	56.01	62.24
150	23.34	26.52	30.35	34.88	40.74	45.23	49.51	54.40	60.46
155	22.66	25.75	29.48	33.88	39.58	43.96	48.12	52.88	58.77
160	22.02	25.03	28.66	32.94	38.49	42.75	46.80	51.43	57.17

Intensidades lluvias críticas (mm/hr)									
D (min)	**i-(2años)**	**i-(3años)**	**i-(5años)**	**i-(10años)**	**i-(25años)**	**i-(50años)**	**i-(100años)**	**i-(200años)**	**i-(500años)**
165	21.41	24.34	27.87	32.04	37.45	41.60	45.54	50.05	55.65
170	20.83	23.68	27.13	31.19	36.46	40.50	44.35	48.75	54.20
175	20.28	23.06	26.42	30.38	35.52	39.46	43.21	47.50	52.82
180	19.76	22.47	25.75	29.61	34.62	38.47	42.13	46.31	51.50
185	19.26	21.91	25.11	28.88	33.77	37.53	41.10	45.18	50.25
190	18.79	21.37	24.50	28.18	32.96	36.62	40.11	44.10	49.05
195	18.34	20.86	23.91	27.51	32.18	35.76	39.17	43.07	47.90
200	17.91	20.37	23.35	26.87	31.43	34.94	38.27	42.08	46.80
205	17.49	19.90	22.82	26.26	30.72	34.15	37.41	41.13	45.75
210	17.10	19.46	22.31	25.67	30.04	33.39	36.58	40.22	44.75
215	16.72	19.03	21.82	25.11	29.38	32.67	35.79	39.35	43.78
220	16.36	18.62	21.35	24.57	28.75	31.97	35.02	38.52	42.85
225	16.01	18.22	20.90	24.06	28.15	31.30	34.29	37.71	41.96
230	15.68	17.84	20.47	23.56	27.57	30.66	33.59	36.94	41.10
235	15.36	17.48	20.05	23.08	27.02	30.04	32.91	36.20	40.28
240	15.05	17.13	19.65	22.62	26.48	29.44	32.26	35.48	39.48
245	14.75	16.79	19.27	22.18	25.96	28.87	31.63	34.79	38.71
250	14.47	16.47	18.90	21.75	25.46	28.32	31.03	34.13	37.98
255	14.19	16.16	18.54	21.34	24.98	27.78	30.45	33.49	37.26
260	13.93	15.86	18.19	20.95	24.52	27.27	29.88	32.87	36.58
265	13.67	15.56	17.86	20.56	24.07	26.77	29.34	32.27	35.91
270	13.43	15.28	17.54	20.19	23.64	26.29	28.81	31.70	35.27
275	13.19	15.01	17.23	19.84	23.22	25.83	28.31	31.14	34.65
280	12.96	14.75	16.93	19.49	22.82	25.38	27.82	30.60	34.05
285	12.73	14.50	16.64	19.16	22.43	24.95	27.34	30.08	33.47
290	12.52	14.25	16.36	18.83	22.05	24.53	26.88	29.57	32.91
295	12.31	14.01	16.08	18.52	21.69	24.12	26.43	29.08	32.36
300	12.11	13.78	15.82	18.22	21.33	23.73	26.00	28.60	31.83
305	11.91	13.56	15.57	17.92	20.99	23.34	25.58	28.14	31.32
310	11.72	13.35	15.32	17.64	20.65	22.97	25.18	27.70	30.82
315	11.54	13.14	15.08	17.36	20.33	22.61	24.78	27.26	30.34
320	11.36	12.93	14.84	17.09	20.02	22.26	24.40	26.84	29.87
325	11.18	12.74	14.62	16.83	19.71	21.93	24.03	26.43	29.42
330	11.02	12.54	14.40	16.58	19.41	21.60	23.67	26.04	28.98
335	10.85	12.36	14.18	16.33	19.13	21.28	23.32	25.65	28.55
340	10.69	12.18	13.98	16.09	18.85	20.96	22.98	25.28	28.13
345	10.54	12.00	13.77	15.86	18.57	20.66	22.64	24.91	27.72
350	10.39	11.83	13.58	15.63	18.31	20.37	22.32	24.56	27.33
355	10.24	11.66	13.39	15.41	18.05	20.08	22.01	24.21	26.94
360	10.10	11.50	13.20	15.20	17.80	19.80	21.70	23.87	26.57

De forma análoga al análisis de las IDF, se presentarán los resultados intermedios para la estación Ernesto Cortissoz, pero ya los hietogramas finales para ambas estaciones. Con los valores de intensidad y teniendo las duraciones de cada lluvia incremental, se procede a calcular la profundidad de la lámina de agua para cada precipitación. Los valores de profundidades se presentan en la Tabla 4.12.

Tabla 4.12 Profundidades de precipitación para lluvias con duraciones incrementales de 5 minutos para la estación Ernesto Cortissoz.

Profundidades acumuladas de lluvias críticas (mm)									
D (min)	**P-(2años)**	**P-(3años)**	**P-(5años)**	**P-(10años)**	**P-(25años)**	**P-(50años)**	**P-(100años)**	**P-(200años)**	**P-(500años)**
5	10.39	11.31	12.26	13.55	15.16	16.33	17.54	18.90	20.58
10	18.46	20.22	22.10	24.57	27.67	29.92	32.22	34.80	37.99
15	24.79	27.31	30.05	33.56	37.99	41.23	44.49	48.16	52.70
20	29.84	33.03	36.55	40.98	46.57	50.69	54.80	59.43	65.16
25	33.94	37.71	41.91	47.14	53.77	58.68	63.53	69.01	75.79
30	37.32	41.58	46.39	52.33	59.86	65.47	70.98	77.20	84.90
35	40.13	44.82	50.18	56.73	65.06	71.28	77.37	84.25	92.77
40	42.49	47.57	53.40	60.49	69.53	76.29	82.90	90.36	99.61
45	44.51	49.91	56.16	63.73	73.39	80.65	87.70	95.69	105.58
50	46.23	51.93	58.55	66.54	76.76	84.45	91.90	100.35	110.81
55	47.72	53.68	60.63	69.00	79.71	87.78	95.60	104.46	115.43
60	49.02	55.21	62.46	71.15	82.30	90.73	98.86	108.09	119.52
65	50.16	56.55	64.06	73.05	84.60	93.33	101.75	111.32	123.16
70	51.16	57.73	65.48	74.74	86.64	95.65	104.33	114.19	126.41
75	52.04	58.78	66.74	76.23	88.45	97.72	106.64	116.77	129.32
80	52.83	59.71	67.86	77.57	90.08	99.58	108.70	119.08	131.94
85	53.53	60.54	68.87	78.78	91.54	101.25	110.56	121.16	134.29
90	54.16	61.29	69.77	79.86	92.86	102.76	112.24	123.04	136.42
95	54.72	61.96	70.59	80.83	94.05	104.12	113.76	124.74	138.35
100	55.23	62.57	71.32	81.71	95.12	105.35	115.14	126.28	140.10
105	55.69	63.12	71.99	82.51	96.10	106.47	116.39	127.69	141.70
110	56.11	63.61	72.60	83.24	96.99	107.49	117.53	128.97	143.15
115	56.49	64.06	73.15	83.90	97.80	108.42	118.57	130.14	144.48
120	56.83	64.48	73.65	84.50	98.54	109.27	119.52	131.20	145.69
125	57.15	64.85	74.11	85.05	99.22	110.05	120.39	132.18	146.80
130	57.43	65.20	74.53	85.56	99.84	110.76	121.19	133.08	147.83
135	57.70	65.51	74.91	86.02	100.41	111.42	121.92	133.90	148.76
140	57.94	65.80	75.27	86.45	100.93	112.02	122.59	134.66	149.63
145	58.16	66.06	75.59	86.84	101.41	112.57	123.21	135.36	150.42
150	58.36	66.31	75.89	87.19	101.85	113.08	123.79	136.00	151.15
155	58.55	66.53	76.16	87.53	102.26	113.55	124.31	136.60	151.83
160	58.72	66.74	76.41	87.83	102.64	113.99	124.80	137.14	152.45
165	58.88	66.93	76.65	88.11	102.98	114.39	125.25	137.65	153.03
170	59.02	67.10	76.86	88.37	103.30	114.76	125.66	138.11	153.56
175	59.16	67.26	77.06	88.61	103.60	115.10	126.04	138.55	154.05
180	59.28	67.41	77.24	88.83	103.87	115.41	126.40	138.94	154.51
185	59.40	67.55	77.41	89.04	104.12	115.71	126.73	139.31	154.93

Profundidades acumuladas de lluvias críticas (mm)									
D (min)	**P-(2años)**	**P-(3años)**	**P-(5años)**	**P-(10años)**	**P-(25años)**	**P-(50años)**	**P-(100años)**	**P-(200años)**	**P-(500años)**
190	59.50	67.68	77.57	89.23	104.36	115.98	127.03	139.66	155.32
195	59.60	67.80	77.72	89.40	104.57	116.23	127.31	139.97	155.68
200	59.69	67.90	77.85	89.56	104.77	116.46	127.57	140.26	156.01
205	59.77	68.00	77.97	89.71	104.96	116.67	127.81	140.53	156.32
210	59.85	68.10	78.09	89.85	105.13	116.87	128.03	140.79	156.61
215	59.92	68.18	78.19	89.98	105.29	117.05	128.24	141.02	156.87
220	59.99	68.26	78.29	90.10	105.43	117.22	128.42	141.23	157.12
225	60.05	68.34	78.38	90.21	105.57	117.38	128.60	141.43	157.34
230	60.10	68.40	78.46	90.31	105.69	117.52	128.76	141.61	157.55
235	60.16	68.47	78.54	90.40	105.81	117.65	128.91	141.78	157.75
240	60.20	68.52	78.61	90.49	105.91	117.78	129.05	141.93	157.92
245	60.25	68.57	78.68	90.56	106.01	117.89	129.17	142.08	158.09
250	60.29	68.62	78.73	90.64	106.10	117.99	129.29	142.21	158.24
255	60.32	68.67	78.79	90.70	106.18	118.09	129.40	142.33	158.37
260	60.36	68.71	78.84	90.76	106.26	118.17	129.50	142.44	158.50
265	60.39	68.75	78.89	90.82	106.33	118.25	129.58	142.54	158.61
270	60.42	68.78	78.93	90.87	106.39	118.32	129.67	142.63	158.72
275	60.44	68.81	78.96	90.91	106.45	118.39	129.74	142.71	158.81
280	60.47	68.84	79.00	90.96	106.50	118.45	129.81	142.79	158.90
285	60.49	68.86	79.03	90.99	106.54	118.50	129.87	142.86	158.98
290	60.50	68.88	79.06	91.03	106.59	118.55	129.92	142.92	159.05
295	60.52	68.90	79.08	91.06	106.62	118.60	129.97	142.97	159.11
300	60.54	68.92	79.10	91.08	106.66	118.63	130.01	143.02	159.17
305	60.55	68.94	79.12	91.11	106.69	118.67	130.05	143.07	159.22
310	60.56	68.95	79.14	91.13	106.71	118.70	130.08	143.10	159.26
315	60.57	68.96	79.16	91.15	106.73	118.72	130.11	143.13	159.30
320	60.58	68.97	79.17	91.16	106.75	118.74	130.14	143.16	159.33
325	60.58	68.98	79.18	91.17	106.77	118.76	130.16	143.18	159.35
330	60.59	68.99	79.19	91.18	106.78	118.78	130.17	143.20	159.37
335	60.59	68.99	79.19	91.19	106.79	118.79	130.18	143.22	159.39
340	60.60	69.00	79.20	91.20	106.80	118.79	130.19	143.23	159.40
345	60.60	69.00	79.20	91.20	106.80	118.80	130.20	143.23	159.41
350	60.60	69.00	79.20	91.20	106.80	118.80	130.20	143.24	159.41
355	60.60	69.00	79.20	91.20	106.80	118.80	130.20	143.24	159.41
360	60.60	69.00	79.20	91.20	106.80	118.80	130.20	143.24	159.41

Siguiendo con el procedimiento de los bloques alternos, se procede a calcular los valores diferenciales de precipitación ($P_i - P_{i-1}$), para cada bloque.

Tabla 4.13 Profundidades diferenciales de precipitación para lluvias con duraciones incrementales de 5 minutos para la estación Ernesto Cortissoz.

Profundidad diferencial - bloques (mm)									
D (min)	**p-(2años)**	**p-(3años)**	**p-(5años)**	**p-(10años)**	**p-(25años)**	**p-(50años)**	**p-(100años)**	**p-(200años)**	**p-(500años)**
5	10.39	11.31	12.26	13.55	15.16	16.33	17.54	18.90	20.58
10	8.07	8.91	9.84	11.02	12.51	13.59	14.68	15.90	17.41
15	6.33	7.09	7.95	8.99	10.32	11.31	12.27	13.36	14.71
20	5.05	5.72	6.50	7.42	8.58	9.46	10.31	11.27	12.46
25	4.10	4.68	5.36	6.16	7.20	7.99	8.73	9.58	10.63
30	3.38	3.87	4.48	5.19	6.09	6.79	7.45	8.19	9.11
35	2.81	3.24	3.79	4.40	5.20	5.81	6.39	7.05	7.87
40	2.36	2.75	3.22	3.76	4.47	5.01	5.53	6.11	6.84
45	2.02	2.34	2.76	3.24	3.86	4.36	4.80	5.33	5.97
50	1.72	2.02	2.39	2.81	3.37	3.80	4.20	4.66	5.23
55	1.49	1.75	2.08	2.46	2.95	3.33	3.70	4.11	4.62
60	1.30	1.53	1.83	2.15	2.59	2.95	3.26	3.63	4.09
65	1.14	1.34	1.60	1.90	2.30	2.60	2.89	3.23	3.64
70	1.00	1.18	1.42	1.69	2.04	2.32	2.58	2.87	3.25
75	0.88	1.05	1.26	1.49	1.81	2.07	2.31	2.58	2.91
80	0.79	0.93	1.12	1.34	1.63	1.86	2.06	2.31	2.62
85	0.70	0.83	1.01	1.21	1.46	1.67	1.86	2.08	2.35
90	0.63	0.75	0.90	1.08	1.32	1.51	1.68	1.88	2.13
95	0.56	0.67	0.82	0.97	1.19	1.36	1.52	1.70	1.93
100	0.51	0.61	0.73	0.88	1.07	1.23	1.38	1.54	1.75
105	0.46	0.55	0.67	0.80	0.98	1.12	1.25	1.41	1.60
110	0.42	0.49	0.61	0.73	0.89	1.02	1.14	1.28	1.45
115	0.38	0.45	0.55	0.66	0.81	0.93	1.04	1.17	1.33
120	0.34	0.42	0.50	0.60	0.74	0.85	0.95	1.06	1.21
125	0.32	0.37	0.46	0.55	0.68	0.78	0.87	0.98	1.11
130	0.28	0.35	0.42	0.51	0.62	0.71	0.80	0.90	1.03
135	0.27	0.31	0.38	0.46	0.57	0.66	0.73	0.82	0.93
140	0.24	0.29	0.36	0.43	0.52	0.60	0.67	0.76	0.87
145	0.22	0.26	0.32	0.39	0.48	0.55	0.62	0.70	0.79
150	0.20	0.25	0.30	0.35	0.44	0.51	0.58	0.64	0.73
155	0.19	0.22	0.27	0.34	0.41	0.47	0.52	0.60	0.68
160	0.17	0.21	0.25	0.30	0.38	0.44	0.49	0.54	0.62
165	0.16	0.19	0.24	0.28	0.34	0.40	0.45	0.51	0.58
170	0.14	0.17	0.21	0.26	0.32	0.37	0.41	0.46	0.53
175	0.14	0.16	0.20	0.24	0.30	0.34	0.38	0.44	0.49
180	0.12	0.15	0.18	0.22	0.27	0.31	0.36	0.39	0.46
185	0.12	0.14	0.17	0.21	0.25	0.30	0.33	0.37	0.42

Profundidad diferencial - bloques (mm)									
D (min)	**p-(2años)**	**p-(3años)**	**p-(5años)**	**p-(10años)**	**p-(25años)**	**p-(50años)**	**p-(100años)**	**p-(200años)**	**p-(500años)**
190	0.10	0.13	0.16	0.19	0.24	0.27	0.30	0.35	0.39
195	0.10	0.12	0.15	0.17	0.21	0.25	0.28	0.31	0.36
200	0.09	0.10	0.13	0.16	0.20	0.23	0.26	0.29	0.33
205	0.08	0.10	0.12	0.15	0.19	0.21	0.24	0.27	0.31
210	0.08	0.10	0.12	0.14	0.17	0.20	0.22	0.26	0.29
215	0.07	0.08	0.10	0.13	0.16	0.18	0.21	0.23	0.26
220	0.07	0.08	0.10	0.12	0.14	0.17	0.18	0.21	0.25
225	0.06	0.08	0.09	0.11	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22
230	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.21
235	0.06	0.07	0.08	0.09	0.12	0.13	0.15	0.17	0.20
240	0.04	0.05	0.07	0.09	0.10	0.13	0.14	0.15	0.17
245	0.05	0.05	0.07	0.07	0.10	0.11	0.12	0.15	0.17
250	0.04	0.05	0.05	0.08	0.09	0.10	0.12	0.13	0.15
255	0.03	0.05	0.06	0.06	0.08	0.10	0.11	0.12	0.13
260	0.04	0.04	0.05	0.06	0.08	0.08	0.10	0.11	0.13
265	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.08	0.10	0.11
270	0.03	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.09	0.09	0.11
275	0.02	0.03	0.03	0.04	0.06	0.07	0.07	0.08	0.09
280	0.03	0.03	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
285	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08
290	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05	0.05	0.06	0.07
295	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.05	0.05	0.05	0.06
300	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.03	0.04	0.05	0.06
305	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05
310	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04
315	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04
320	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03
325	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
330	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02
335	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
340	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01
345	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01
350	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
355	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
360	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Una vez obtenidas los bloques de profundidades diferenciales, se organizan en forma alternada a partir del centro del hietograma. Se obtiene entonces el hietograma de profundidades para la estación Ernesto Cortissoz, como se presenta en la Tabla 4.14 y se muestra en la Figura 4.18.

Tabla 4.14 Hietograma de profundidades por el método de bloques alternos para la estación Ernesto Cortissoz.

Hietograma de profundidad mm										
Orden alternado	**Tiempo (min)**	**p-(2años)**	**p-(3años)**	**p-(5años)**	**p-(10años)**	**p-(25años)**	**p-(50años)**	**p-(100años)**	**p-(200años)**	**p-(500años)**
71	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
69	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01
67	15.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
65	20.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
63	25.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04
61	30.00	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05
59	35.00	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.05	0.05	0.05	0.06
57	40.00	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08
55	45.00	0.02	0.03	0.03	0.04	0.06	0.07	0.07	0.08	0.09
53	50.00	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.08	0.10	0.11
51	55.00	0.03	0.05	0.06	0.06	0.08	0.10	0.11	0.12	0.13
49	60.00	0.05	0.05	0.07	0.07	0.10	0.11	0.12	0.15	0.17
47	65.00	0.06	0.07	0.08	0.09	0.12	0.13	0.15	0.17	0.20
45	70.00	0.06	0.08	0.09	0.11	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22
43	75.00	0.07	0.08	0.10	0.13	0.16	0.18	0.21	0.23	0.26
41	80.00	0.08	0.10	0.12	0.15	0.19	0.21	0.24	0.27	0.31
39	85.00	0.10	0.12	0.15	0.17	0.21	0.25	0.28	0.31	0.36
37	90.00	0.12	0.14	0.17	0.21	0.25	0.30	0.33	0.37	0.42
35	95.00	0.14	0.16	0.20	0.24	0.30	0.34	0.38	0.44	0.49
33	100.00	0.16	0.19	0.24	0.28	0.34	0.40	0.45	0.51	0.58
31	105.00	0.19	0.22	0.27	0.34	0.41	0.47	0.52	0.60	0.68
29	110.00	0.22	0.26	0.32	0.39	0.48	0.55	0.62	0.70	0.79
27	115.00	0.27	0.31	0.38	0.46	0.57	0.66	0.73	0.82	0.93
25	120.00	0.32	0.37	0.46	0.55	0.68	0.78	0.87	0.98	1.11
23	125.00	0.38	0.45	0.55	0.66	0.81	0.93	1.04	1.17	1.33
21	130.00	0.46	0.55	0.67	0.80	0.98	1.12	1.25	1.41	1.60
19	135.00	0.56	0.67	0.82	0.97	1.19	1.36	1.52	1.70	1.93
17	140.00	0.70	0.83	1.01	1.21	1.46	1.67	1.86	2.08	2.35
15	145.00	0.88	1.05	1.26	1.49	1.81	2.07	2.31	2.58	2.91
13	150.00	1.14	1.34	1.60	1.90	2.30	2.60	2.89	3.23	3.64
11	155.00	1.49	1.75	2.08	2.46	2.95	3.33	3.70	4.11	4.62
9	160.00	2.02	2.34	2.76	3.24	3.86	4.36	4.80	5.33	5.97
7	165.00	2.81	3.24	3.79	4.40	5.20	5.81	6.39	7.05	7.87
5	170.00	4.10	4.68	5.36	6.16	7.20	7.99	8.73	9.58	10.63
3	175.00	6.33	7.09	7.95	8.99	10.32	11.31	12.27	13.36	14.71
1	180.00	10.39	11.31	12.26	13.55	15.16	16.33	17.54	18.90	20.58
2	185.00	8.07	8.91	9.84	11.02	12.51	13.59	14.68	15.90	17.41
4	190.00	5.05	5.72	6.50	7.42	8.58	9.46	10.31	11.27	12.46

Hietograma de profundidad mm										
Orden alternado	**Tiempo (min)**	**p-(2años)**	**p-(3años)**	**p-(5años)**	**p-(10años)**	**p-(25años)**	**p-(50años)**	**p-(100años)**	**p-(200años)**	**p-(500años)**
6	195.00	3.38	3.87	4.48	5.19	6.09	6.79	7.45	8.19	9.11
8	200.00	2.36	2.75	3.22	3.76	4.47	5.01	5.53	6.11	6.84
10	205.00	1.72	2.02	2.39	2.81	3.37	3.80	4.20	4.66	5.23
12	210.00	1.30	1.53	1.83	2.15	2.59	2.95	3.26	3.63	4.09
14	215.00	1.00	1.18	1.42	1.69	2.04	2.32	2.58	2.87	3.25
16	220.00	0.79	0.93	1.12	1.34	1.63	1.86	2.06	2.31	2.62
18	225.00	0.63	0.75	0.90	1.08	1.32	1.51	1.68	1.88	2.13
20	230.00	0.51	0.61	0.73	0.88	1.07	1.23	1.38	1.54	1.75
22	235.00	0.42	0.49	0.61	0.73	0.89	1.02	1.14	1.28	1.45
24	240.00	0.34	0.42	0.50	0.60	0.74	0.85	0.95	1.06	1.21
26	245.00	0.28	0.35	0.42	0.51	0.62	0.71	0.80	0.90	1.03
28	250.00	0.24	0.29	0.36	0.43	0.52	0.60	0.67	0.76	0.87
30	255.00	0.20	0.25	0.30	0.35	0.44	0.51	0.58	0.64	0.73
32	260.00	0.17	0.21	0.25	0.30	0.38	0.44	0.49	0.54	0.62
34	265.00	0.14	0.17	0.21	0.26	0.32	0.37	0.41	0.46	0.53
36	270.00	0.12	0.15	0.18	0.22	0.27	0.31	0.36	0.39	0.46
38	275.00	0.10	0.13	0.16	0.19	0.24	0.27	0.30	0.35	0.39
40	280.00	0.09	0.10	0.13	0.16	0.20	0.23	0.26	0.29	0.33
42	285.00	0.08	0.10	0.12	0.14	0.17	0.20	0.22	0.26	0.29
44	290.00	0.07	0.08	0.10	0.12	0.14	0.17	0.18	0.21	0.25
46	295.00	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.21
48	300.00	0.04	0.05	0.07	0.09	0.10	0.13	0.14	0.15	0.17
50	305.00	0.04	0.05	0.05	0.08	0.09	0.10	0.12	0.13	0.15
52	310.00	0.04	0.04	0.05	0.06	0.08	0.08	0.10	0.11	0.13
54	315.00	0.03	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.09	0.09	0.11
56	320.00	0.03	0.03	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
58	325.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05	0.05	0.06	0.07
60	330.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.03	0.04	0.05	0.06
62	335.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04
64	340.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03
66	345.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02
68	350.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01
70	355.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
72	360.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

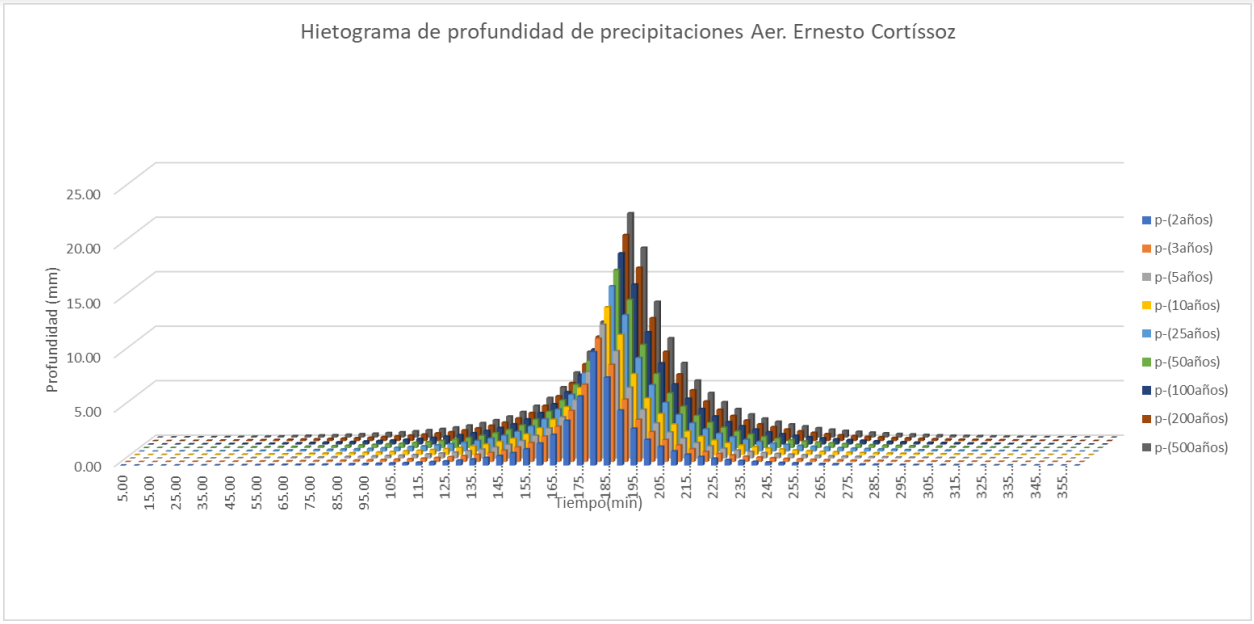


Figura 4.18 Hietograma de profundidades para la estación Aeropuerto Ernesto Cortissoz.

Con base en las profundidades obtenidas, es posible definir las intensidades para cada uno de los bloques, asumiendo que lo precipitado en cada bloque corresponde a un periodo de 5 minutos, por lo cual se puede calcular la intensidad como $i = \frac{P(en\ mm)\cdot 60\left(\frac{min}{hr}\right)}{5\text{min.}}$. El hietograma de intensidades luego entonces se presenta en la Figura 4.19 y Tabla 4.15.

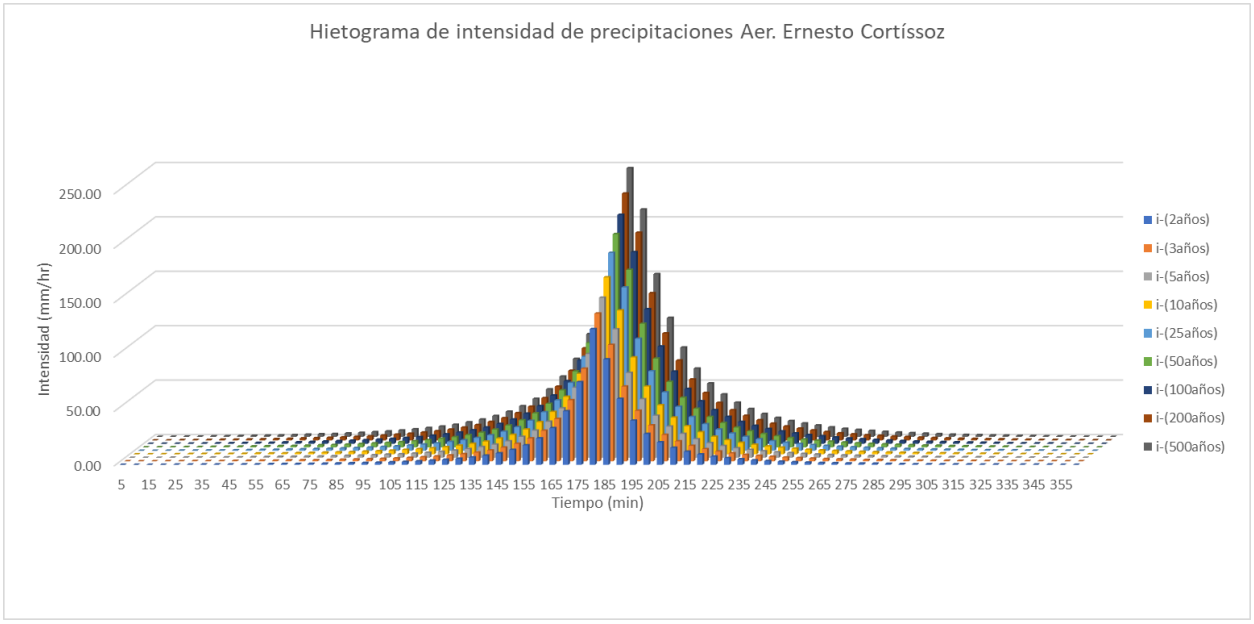


Figura 4.19 Hietograma de intensidades para la estación Aeropuerto Ernesto Cortissoz.

Tabla 4.15 Hietograma de intensidades por el método de bloques alternos para la estación Ernesto Cortissoz.

Hietograma de intensidad mm/hr									
Tiempo (min)	**i-(2años)**	**i-(3años)**	**i-(5años)**	**i-(10años)**	**i-(25años)**	**i-(50años)**	**i-(100años)**	**i-(200años)**	**i-(500años)**
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.12	0.00	0.12
15	0.00	0.00	0.00	0.12	0.12	0.12	0.12	0.24	0.24
20	0.00	0.12	0.12	0.12	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
25	0.12	0.12	0.24	0.24	0.24	0.24	0.36	0.36	0.48
30	0.12	0.24	0.24	0.36	0.36	0.48	0.48	0.60	0.60
35	0.24	0.24	0.24	0.36	0.36	0.60	0.60	0.60	0.72
40	0.24	0.24	0.36	0.36	0.48	0.60	0.72	0.84	0.96
45	0.24	0.36	0.36	0.48	0.72	0.84	0.84	0.96	1.08
50	0.36	0.48	0.60	0.72	0.84	0.96	0.96	1.20	1.32
55	0.36	0.60	0.72	0.72	0.96	1.20	1.32	1.44	1.56
60	0.60	0.60	0.84	0.84	1.20	1.32	1.44	1.80	2.04
65	0.72	0.84	0.96	1.08	1.44	1.56	1.80	2.04	2.40
70	0.72	0.96	1.08	1.32	1.68	1.92	2.16	2.40	2.64
75	0.84	0.96	1.20	1.56	1.92	2.16	2.52	2.76	3.12
80	0.96	1.20	1.44	1.80	2.28	2.52	2.88	3.24	3.72
85	1.20	1.44	1.80	2.04	2.52	3.00	3.36	3.72	4.32
90	1.44	1.68	2.04	2.52	3.00	3.60	3.96	4.44	5.04
95	1.68	1.92	2.40	2.88	3.60	4.08	4.56	5.28	5.88
100	1.92	2.28	2.88	3.36	4.08	4.80	5.40	6.12	6.96
105	2.28	2.64	3.24	4.08	4.92	5.64	6.24	7.20	8.16
110	2.64	3.12	3.84	4.68	5.76	6.60	7.44	8.40	9.48
115	3.24	3.72	4.56	5.52	6.84	7.92	8.76	9.84	11.16
120	3.84	4.44	5.52	6.60	8.16	9.36	10.44	11.76	13.32
125	4.56	5.40	6.60	7.92	9.72	11.16	12.48	14.04	15.96
130	5.52	6.60	8.04	9.60	11.76	13.44	15.00	16.92	19.20
135	6.72	8.04	9.84	11.64	14.28	16.32	18.24	20.40	23.16
140	8.40	9.96	12.12	14.52	17.52	20.04	22.32	24.96	28.20
145	10.56	12.60	15.12	17.88	21.72	24.84	27.72	30.96	34.92
150	13.68	16.08	19.20	22.80	27.60	31.20	34.68	38.76	43.68
155	17.88	21.00	24.96	29.52	35.40	39.96	44.40	49.32	55.44
160	24.24	28.08	33.12	38.88	46.32	52.32	57.60	63.96	71.64
165	33.72	38.88	45.48	52.80	62.40	69.72	76.68	84.60	94.44
170	49.20	56.16	64.32	73.92	86.40	95.88	104.76	114.96	127.56
175	75.96	85.08	95.40	107.88	123.84	135.72	147.24	160.32	176.52
180	124.68	135.72	147.12	162.60	181.92	195.96	210.48	226.80	246.96
185	96.84	106.92	118.08	132.24	150.12	163.08	176.16	190.80	208.92
190	60.60	68.64	78.00	89.04	102.96	113.52	123.72	135.24	149.52

Hietograma de intensidad mm/hr									
Tiempo (min)	**i-(2años)**	**i-(3años)**	**i-(5años)**	**i-(10años)**	**i-(25años)**	**i-(50años)**	**i-(100años)**	**i-(200años)**	**i-(500años)**
195	40.56	46.44	53.76	62.28	73.08	81.48	89.40	98.28	109.32
200	28.32	33.00	38.64	45.12	53.64	60.12	66.36	73.32	82.08
205	20.64	24.24	28.68	33.72	40.44	45.60	50.40	55.92	62.76
210	15.60	18.36	21.96	25.80	31.08	35.40	39.12	43.56	49.08
215	12.00	14.16	17.04	20.28	24.48	27.84	30.96	34.44	39.00
220	9.48	11.16	13.44	16.08	19.56	22.32	24.72	27.72	31.44
225	7.56	9.00	10.80	12.96	15.84	18.12	20.16	22.56	25.56
230	6.12	7.32	8.76	10.56	12.84	14.76	16.56	18.48	21.00
235	5.04	5.88	7.32	8.76	10.68	12.24	13.68	15.36	17.40
240	4.08	5.04	6.00	7.20	8.88	10.20	11.40	12.72	14.52
245	3.36	4.20	5.04	6.12	7.44	8.52	9.60	10.80	12.36
250	2.88	3.48	4.32	5.16	6.24	7.20	8.04	9.12	10.44
255	2.40	3.00	3.60	4.20	5.28	6.12	6.96	7.68	8.76
260	2.04	2.52	3.00	3.60	4.56	5.28	5.88	6.48	7.44
265	1.68	2.04	2.52	3.12	3.84	4.44	4.92	5.52	6.36
270	1.44	1.80	2.16	2.64	3.24	3.72	4.32	4.68	5.52
275	1.20	1.56	1.92	2.28	2.88	3.24	3.60	4.20	4.68
280	1.08	1.20	1.56	1.92	2.40	2.76	3.12	3.48	3.96
285	0.96	1.20	1.44	1.68	2.04	2.40	2.64	3.12	3.48
290	0.84	0.96	1.20	1.44	1.68	2.04	2.16	2.52	3.00
295	0.60	0.72	0.96	1.20	1.44	1.68	1.92	2.16	2.52
300	0.48	0.60	0.84	1.08	1.20	1.56	1.68	1.80	2.04
305	0.48	0.60	0.60	0.96	1.08	1.20	1.44	1.56	1.80
310	0.48	0.48	0.60	0.72	0.96	0.96	1.20	1.32	1.56
315	0.36	0.36	0.48	0.60	0.72	0.84	1.08	1.08	1.32
320	0.36	0.36	0.48	0.60	0.60	0.72	0.84	0.96	1.08
325	0.12	0.24	0.36	0.48	0.60	0.60	0.60	0.72	0.84
330	0.24	0.24	0.24	0.24	0.48	0.36	0.48	0.60	0.72
335	0.12	0.12	0.24	0.24	0.24	0.36	0.36	0.36	0.48
340	0.12	0.12	0.12	0.12	0.24	0.24	0.36	0.36	0.36
345	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.24	0.12	0.24	0.24
350	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.00	0.12	0.12	0.12
355	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00
360	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

De manera análoga, para la estación Las Flores se presentan los hietogramas de profundidades e intensidades en la Tabla 4.16, en la Tabla 4.17, en la Figura 4.20 y en la Figura 4.21.

Tabla 4.16 Hietograma de profundidades por el método de bloques alternos para la estación Las Flores.

Hietograma de profundidad mm										
Orden alternado	**Tiempo (min)**	**p-(2años)**	**p-(3años)**	**p-(5años)**	**p-(10años)**	**p-(25años)**	**p-(50años)**	**p-(100años)**	**p-(200años)**	**p-(500años)**
71	5.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.05	0.05	0.05	0.07	0.09
69	10.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.06	0.07	0.07	0.08	0.10
67	15.00	0.01	0.03	0.03	0.05	0.06	0.07	0.08	0.10	0.11
65	20.00	0.01	0.03	0.03	0.05	0.08	0.08	0.09	0.11	0.12
63	25.00	0.02	0.03	0.05	0.06	0.08	0.10	0.10	0.11	0.13
61	30.00	0.02	0.04	0.05	0.07	0.09	0.11	0.12	0.13	0.16
59	35.00	0.03	0.04	0.06	0.08	0.11	0.11	0.12	0.15	0.17
57	40.00	0.03	0.05	0.07	0.09	0.11	0.13	0.15	0.16	0.19
55	45.00	0.05	0.06	0.07	0.10	0.13	0.14	0.16	0.19	0.21
53	50.00	0.05	0.07	0.08	0.11	0.15	0.17	0.18	0.21	0.24
51	55.00	0.06	0.08	0.09	0.13	0.16	0.19	0.21	0.23	0.27
49	60.00	0.07	0.10	0.11	0.15	0.18	0.21	0.23	0.26	0.30
47	65.00	0.08	0.11	0.13	0.16	0.21	0.24	0.26	0.30	0.34
45	70.00	0.10	0.12	0.15	0.19	0.24	0.26	0.30	0.33	0.38
43	75.00	0.11	0.15	0.17	0.22	0.27	0.30	0.33	0.38	0.43
41	80.00	0.12	0.16	0.19	0.24	0.30	0.34	0.38	0.43	0.49
39	85.00	0.14	0.18	0.22	0.27	0.35	0.39	0.42	0.49	0.54
37	90.00	0.17	0.22	0.25	0.32	0.39	0.44	0.49	0.55	0.62
35	95.00	0.19	0.25	0.29	0.36	0.44	0.49	0.56	0.63	0.71
33	100.00	0.23	0.29	0.34	0.41	0.51	0.57	0.63	0.72	0.81
31	105.00	0.27	0.33	0.39	0.47	0.59	0.65	0.72	0.81	0.92
29	110.00	0.32	0.38	0.45	0.55	0.67	0.76	0.84	0.94	1.06
27	115.00	0.37	0.45	0.53	0.64	0.78	0.87	0.97	1.08	1.22
25	120.00	0.44	0.53	0.62	0.74	0.91	1.02	1.13	1.26	1.42
23	125.00	0.53	0.63	0.73	0.88	1.06	1.19	1.32	1.47	1.66
21	130.00	0.63	0.75	0.87	1.04	1.26	1.40	1.55	1.74	1.95
19	135.00	0.76	0.90	1.06	1.25	1.50	1.67	1.85	2.06	2.31
17	140.00	0.93	1.10	1.28	1.51	1.80	2.01	2.22	2.47	2.76
15	145.00	1.17	1.36	1.58	1.85	2.19	2.45	2.69	2.99	3.34
13	150.00	1.46	1.69	1.96	2.29	2.70	3.01	3.31	3.67	4.09
11	155.00	1.88	2.16	2.49	2.89	3.39	3.76	4.13	4.56	5.08
9	160.00	2.47	2.82	3.21	3.70	4.33	4.79	5.25	5.77	6.42
7	165.00	3.32	3.76	4.26	4.87	5.64	6.22	6.80	7.45	8.26
5	170.00	4.61	5.17	5.80	6.58	7.56	8.28	9.01	9.84	10.86
3	175.00	6.65	7.36	8.16	9.16	10.41	11.33	12.27	13.31	14.61
1	180.00	9.90	10.80	11.77	13.03	14.63	15.81	16.97	18.31	19.95
2	185.00	8.09	8.90	9.78	10.91	12.33	13.38	14.43	15.61	17.08
4	190.00	5.51	6.13	6.85	7.72	8.83	9.66	10.49	11.42	12.56

Hietograma de profundidad mm										
Orden alternado	**Tiempo (min)**	**p-(2años)**	**p-(3años)**	**p-(5años)**	**p-(10años)**	**p-(25años)**	**p-(50años)**	**p-(100años)**	**p-(200años)**	**p-(500años)**
6	195.00	3.89	4.38	4.95	5.64	6.51	7.16	7.81	8.53	9.44
8	200.00	2.84	3.23	3.69	4.24	4.93	5.43	5.95	6.54	7.26
10	205.00	2.14	2.46	2.82	3.26	3.82	4.23	4.65	5.12	5.70
12	210.00	1.65	1.92	2.20	2.56	3.02	3.35	3.69	4.08	4.56
14	215.00	1.30	1.52	1.75	2.05	2.44	2.70	2.99	3.30	3.70
16	220.00	1.04	1.22	1.41	1.66	1.98	2.21	2.44	2.70	3.04
18	225.00	0.85	1.00	1.16	1.37	1.64	1.83	2.02	2.25	2.53
20	230.00	0.69	0.83	0.96	1.14	1.37	1.53	1.70	1.88	2.12
22	235.00	0.57	0.68	0.81	0.96	1.15	1.30	1.43	1.59	1.79
24	240.00	0.48	0.58	0.68	0.81	0.98	1.09	1.21	1.36	1.53
26	245.00	0.40	0.49	0.58	0.69	0.84	0.94	1.04	1.17	1.32
28	250.00	0.34	0.42	0.49	0.59	0.72	0.81	0.89	1.01	1.14
30	255.00	0.29	0.36	0.42	0.51	0.62	0.70	0.78	0.87	0.98
32	260.00	0.24	0.31	0.36	0.45	0.54	0.61	0.68	0.76	0.86
34	265.00	0.22	0.26	0.31	0.38	0.47	0.54	0.59	0.66	0.75
36	270.00	0.19	0.23	0.28	0.33	0.42	0.47	0.51	0.58	0.66
38	275.00	0.16	0.20	0.24	0.29	0.36	0.41	0.46	0.51	0.59
40	280.00	0.14	0.18	0.21	0.26	0.32	0.36	0.40	0.45	0.52
42	285.00	0.12	0.15	0.18	0.22	0.28	0.32	0.36	0.40	0.45
44	290.00	0.10	0.13	0.16	0.19	0.25	0.29	0.31	0.36	0.41
46	295.00	0.09	0.12	0.13	0.18	0.22	0.25	0.28	0.32	0.36
48	300.00	0.07	0.10	0.13	0.15	0.20	0.22	0.25	0.28	0.32
50	305.00	0.07	0.09	0.11	0.13	0.18	0.20	0.22	0.26	0.29
52	310.00	0.05	0.08	0.10	0.12	0.16	0.17	0.19	0.22	0.25
54	315.00	0.05	0.07	0.09	0.11	0.14	0.16	0.18	0.20	0.23
56	320.00	0.04	0.06	0.07	0.09	0.12	0.14	0.15	0.18	0.20
58	325.00	0.04	0.06	0.06	0.08	0.11	0.13	0.14	0.16	0.18
60	330.00	0.03	0.05	0.05	0.07	0.09	0.11	0.12	0.14	0.16
62	335.00	0.03	0.04	0.04	0.06	0.09	0.09	0.11	0.13	0.14
64	340.00	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07	0.08	0.09	0.11	0.13
66	345.00	0.02	0.03	0.03	0.05	0.06	0.08	0.08	0.09	0.11
68	350.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09
70	355.00	0.01	0.02	0.02	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.08
72	360.00	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.07

Tabla 4.17 Hietograma de intensidades por el método de bloques alternos para la estación Las Flores.

Hietograma de intensidad mm/hr									
Tiempo (min)	**i-(2años)**	**i-(3años)**	**i-(5años)**	**i-(10años)**	**i-(25años)**	**i-(50años)**	**i-(100años)**	**i-(200años)**	**i-(500años)**
5	0.00	0.12	0.24	0.36	0.60	0.60	0.60	0.84	1.08
10	0.12	0.24	0.36	0.36	0.72	0.84	0.84	0.96	1.20
15	0.12	0.36	0.36	0.60	0.72	0.84	0.96	1.20	1.32
20	0.12	0.36	0.36	0.60	0.96	0.96	1.08	1.32	1.44
25	0.24	0.36	0.60	0.72	0.96	1.20	1.20	1.32	1.56
30	0.24	0.48	0.60	0.84	1.08	1.32	1.44	1.56	1.92
35	0.36	0.48	0.72	0.96	1.32	1.32	1.44	1.80	2.04
40	0.36	0.60	0.84	1.08	1.32	1.56	1.80	1.92	2.28
45	0.60	0.72	0.84	1.20	1.56	1.68	1.92	2.28	2.52
50	0.60	0.84	0.96	1.32	1.80	2.04	2.16	2.52	2.88
55	0.72	0.96	1.08	1.56	1.92	2.28	2.52	2.76	3.24
60	0.84	1.20	1.32	1.80	2.16	2.52	2.76	3.12	3.60
65	0.96	1.32	1.56	1.92	2.52	2.88	3.12	3.60	4.08
70	1.20	1.44	1.80	2.28	2.88	3.12	3.60	3.96	4.56
75	1.32	1.80	2.04	2.64	3.24	3.60	3.96	4.56	5.16
80	1.44	1.92	2.28	2.88	3.60	4.08	4.56	5.16	5.88
85	1.68	2.16	2.64	3.24	4.20	4.68	5.04	5.88	6.48
90	2.04	2.64	3.00	3.84	4.68	5.28	5.88	6.60	7.44
95	2.28	3.00	3.48	4.32	5.28	5.88	6.72	7.56	8.52
100	2.76	3.48	4.08	4.92	6.12	6.84	7.56	8.64	9.72
105	3.24	3.96	4.68	5.64	7.08	7.80	8.64	9.72	11.04
110	3.84	4.56	5.40	6.60	8.04	9.12	10.08	11.28	12.72
115	4.44	5.40	6.36	7.68	9.36	10.44	11.64	12.96	14.64
120	5.28	6.36	7.44	8.88	10.92	12.24	13.56	15.12	17.04
125	6.36	7.56	8.76	10.56	12.72	14.28	15.84	17.64	19.92
130	7.56	9.00	10.44	12.48	15.12	16.80	18.60	20.88	23.40
135	9.12	10.80	12.72	15.00	18.00	20.04	22.20	24.72	27.72
140	11.16	13.20	15.36	18.12	21.60	24.12	26.64	29.64	33.12
145	14.04	16.32	18.96	22.20	26.28	29.40	32.28	35.88	40.08
150	17.52	20.28	23.52	27.48	32.40	36.12	39.72	44.04	49.08
155	22.56	25.92	29.88	34.68	40.68	45.12	49.56	54.72	60.96
160	29.64	33.84	38.52	44.40	51.96	57.48	63.00	69.24	77.04
165	39.84	45.12	51.12	58.44	67.68	74.64	81.60	89.40	99.12
170	55.32	62.04	69.60	78.96	90.72	99.36	108.12	118.08	130.32
175	79.80	88.32	97.92	109.92	124.92	135.96	147.24	159.72	175.32
180	118.80	129.60	141.24	156.36	175.56	189.72	203.64	219.72	239.40
185	97.08	106.80	117.36	130.92	147.96	160.56	173.16	187.32	204.96
190	66.12	73.56	82.20	92.64	105.96	115.92	125.88	137.04	150.72

Hietograma de intensidad mm/hr									
Tiempo (min)	**i-(2años)**	**i-(3años)**	**i-(5años)**	**i-(10años)**	**i-(25años)**	**i-(50años)**	**i-(100años)**	**i-(200años)**	**i-(500años)**
195	46.68	52.56	59.40	67.68	78.12	85.92	93.72	102.36	113.28
200	34.08	38.76	44.28	50.88	59.16	65.16	71.40	78.48	87.12
205	25.68	29.52	33.84	39.12	45.84	50.76	55.80	61.44	68.40
210	19.80	23.04	26.40	30.72	36.24	40.20	44.28	48.96	54.72
215	15.60	18.24	21.00	24.60	29.28	32.40	35.88	39.60	44.40
220	12.48	14.64	16.92	19.92	23.76	26.52	29.28	32.40	36.48
225	10.20	12.00	13.92	16.44	19.68	21.96	24.24	27.00	30.36
230	8.28	9.96	11.52	13.68	16.44	18.36	20.40	22.56	25.44
235	6.84	8.16	9.72	11.52	13.80	15.60	17.16	19.08	21.48
240	5.76	6.96	8.16	9.72	11.76	13.08	14.52	16.32	18.36
245	4.80	5.88	6.96	8.28	10.08	11.28	12.48	14.04	15.84
250	4.08	5.04	5.88	7.08	8.64	9.72	10.68	12.12	13.68
255	3.48	4.32	5.04	6.12	7.44	8.40	9.36	10.44	11.76
260	2.88	3.72	4.32	5.40	6.48	7.32	8.16	9.12	10.32
265	2.64	3.12	3.72	4.56	5.64	6.48	7.08	7.92	9.00
270	2.28	2.76	3.36	3.96	5.04	5.64	6.12	6.96	7.92
275	1.92	2.40	2.88	3.48	4.32	4.92	5.52	6.12	7.08
280	1.68	2.16	2.52	3.12	3.84	4.32	4.80	5.40	6.24
285	1.44	1.80	2.16	2.64	3.36	3.84	4.32	4.80	5.40
290	1.20	1.56	1.92	2.28	3.00	3.48	3.72	4.32	4.92
295	1.08	1.44	1.56	2.16	2.64	3.00	3.36	3.84	4.32
300	0.84	1.20	1.56	1.80	2.40	2.64	3.00	3.36	3.84
305	0.84	1.08	1.32	1.56	2.16	2.40	2.64	3.12	3.48
310	0.60	0.96	1.20	1.44	1.92	2.04	2.28	2.64	3.00
315	0.60	0.84	1.08	1.32	1.68	1.92	2.16	2.40	2.76
320	0.48	0.72	0.84	1.08	1.44	1.68	1.80	2.16	2.40
325	0.48	0.72	0.72	0.96	1.32	1.56	1.68	1.92	2.16
330	0.36	0.60	0.60	0.84	1.08	1.32	1.44	1.68	1.92
335	0.36	0.48	0.48	0.72	1.08	1.08	1.32	1.56	1.68
340	0.24	0.36	0.48	0.60	0.84	0.96	1.08	1.32	1.56
345	0.24	0.36	0.36	0.60	0.72	0.96	0.96	1.08	1.32
350	0.12	0.24	0.36	0.48	0.72	0.72	0.84	0.96	1.08
355	0.12	0.24	0.24	0.48	0.60	0.72	0.84	0.96	0.96
360	0.12	0.24	0.24	0.36	0.48	0.60	0.72	0.84	0.84

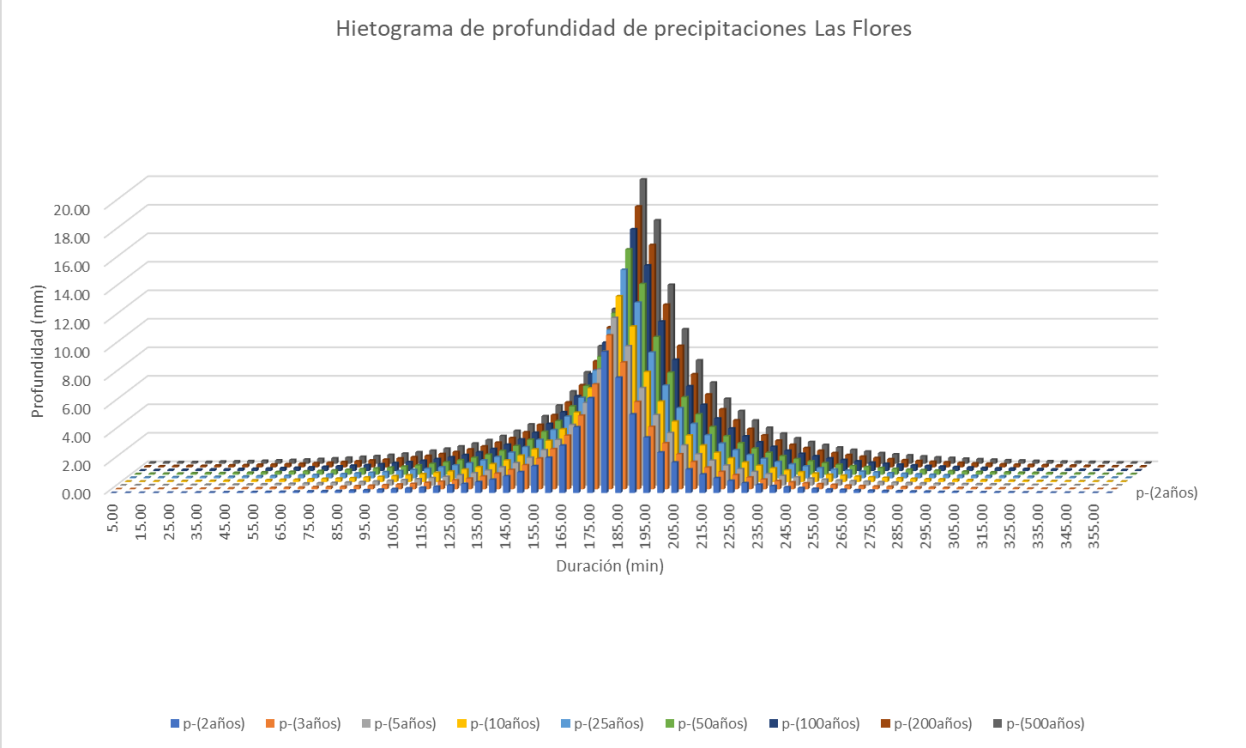


Figura 4.20 Hietograma de profundidades para la estación Las Flores.

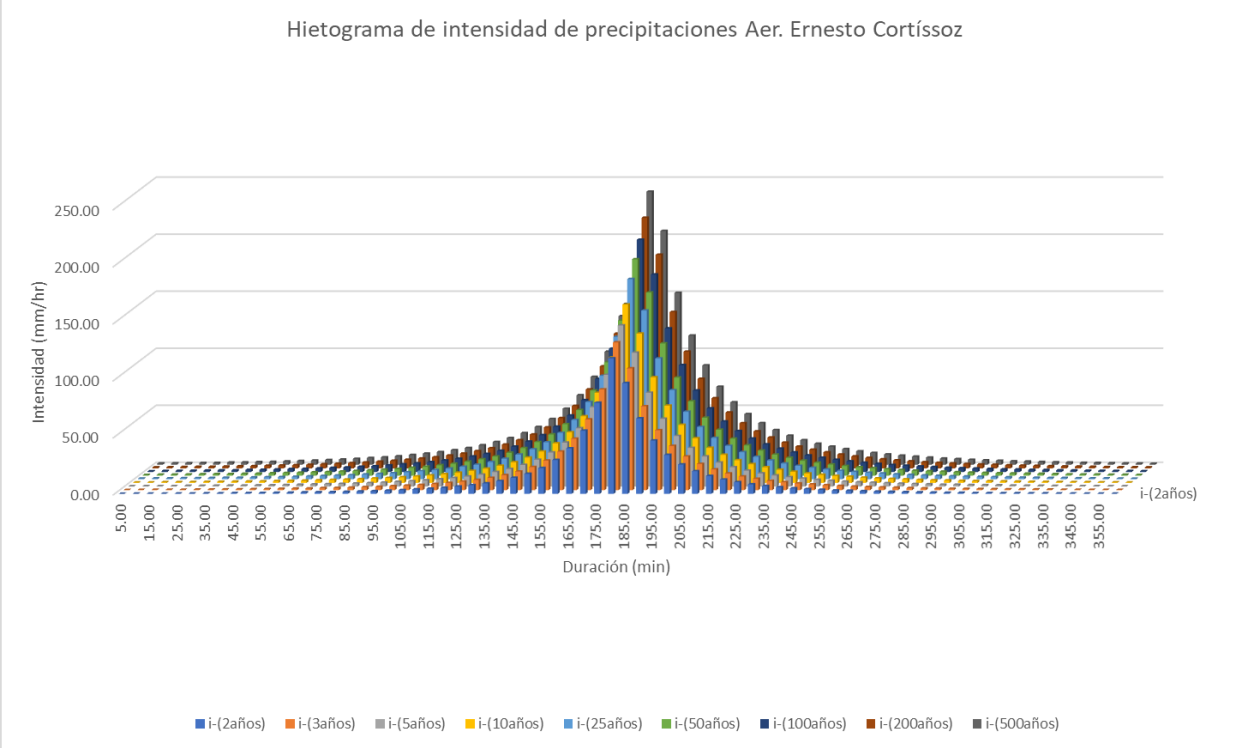


Figura 4.21 Hietograma de intensidades para la estación Las Flores.

De los hietogramas confeccionados para el proyecto se pueden resaltar los siguientes aspectos:

- Los valores originales con los que se generaron las IDF permitieron generar unas IDF con mayor estabilidad y que permitieron hacer operaciones como la extrapolación o interpolación de valores.
- La comparación entre los hietogramas para Las Flores y para el Aeropuerto Ernesto Cortissoz arrojan similitudes grandes, lo que indicaría una homogeneidad de las tormentas críticas entre los dos puntos de medición.
- Los valores de precipitación más altos se concentran entre los 60 minutos y 300 minutos del hietograma, siendo que por fuera de estos rangos los valores son muy cercanos a cero (0). Esto nos indica que las tormentas críticas cuentan con duraciones cercanas a las cuatro (4) horas, motivo por el cual al realizar el ajuste inicial del IDEAM se presentaban las incongruencias en lluvias de duraciones de 5 a 6 horas.

5 EVALUACIÓN DE AMENAZA POR INUNDACIÓN

En la modelación hidráulica que se presenta a continuación, se examinaron detalladamente las condiciones de la zona de estudio, se revisó la información disponible y se consideraron las condiciones iniciales y las hipótesis correspondientes a cada una de las opciones posibles.

En cuanto a la información disponible, se dispone de datos topográficos precisos del terreno y de un modelo de elevación para la zona. Además, en el capítulo hidrológico se incluyó la información sobre el régimen de precipitaciones en Barranquilla, que se obtuvo a través de las curvas IDF. De las anteriores condiciones se determinan las siguientes consideraciones iniciales para el modelo:

- ✓ El modelo hidráulico se plantea a realizar en un software de modelación de dos dimensiones, como lo es el RiverFlow2D de la casa Hydronia.
- ✓ La zona a modelar serán los polígonos norte y sur por separado.

Se contempló llevar a cabo una modelación a escala 1:2.000 en dos dimensiones (bajo la plataforma RiverFlow2D®), debido a que este software permite modelar el flujo con dos componentes de movimiento, lo que indica que permite el análisis del flujo saliente. Adicionalmente por cada celda del modelo es posible obtener valores discretizados para los flujos modelados.

5.1 MODELACIÓN HIDRÁULICA 2D (RIVERFLOW2D)

RiverFlow2D® es un software de modelación hidráulica, que utiliza el método de elementos finitos, y mediante un poderoso motor numérico permite determinar el comportamiento de un flujo aplicando las ecuaciones diferenciales de Navier-Stokes (conservación de masa y momento), conocida como ecuaciones promediadas de Navier-Stokes como se muestra en las siguientes ecuaciones (Hydronia, 2018):

$$\frac{\partial U}{\partial t}+\frac{\partial F(U)}{\partial x}+\frac{\partial G(U)}{\partial y}=S(U,x,y)$$

Donde el vector de variables observadas con respecto a la altura h promedio es:

$$U=(h,q_x,q_y)^T;\ q_x=uh;\ q_y=vh$$

Los vectores de flujo son dados por las siguientes expresiones:

$$F=\left(q_x,\frac{{q_y}^2}{h}+\frac{1}{2}gh^2,\frac{q_xq_y}{h}\right)^T;\ G=\left(q_y,\frac{q_xq_y}{h},\frac{{q_y}^2}{h}+\frac{1}{2}gh^2\right)^T$$

El modelo funciona generando una matriz de elementos a partir de un modelo de elevaciones, asignándoles además propiedades a los mismos, acorde a los parámetros de entrada ingresados, como el coeficiente de Manning, coeficiente de infiltración, precipitación, entre otros.

Como datos de entrada para el montaje de este modelo, se necesitó la información listada a continuación:

- Refinamiento de la malla del modelo (incluyendo elevaciones).

- Coeficientes de Manning.
- Lluvias críticas.
- Infiltración.
- Condiciones de frontera de la modelación.

Teniendo en cuenta que se modelaron de forma independiente los dos polígonos que conforman el área de estudio, se procede relatar por separado los pormenores de cada caso.

5.2 MODELACIÓN HIDRÁULICA POLÍGONO NORTE: MIRAMAR

5.2.1 Generación de la malla y determinación de elevaciones

La malla de elementos finitos para la zona se modeló mediante una red de triángulos irregulares (TIN) de tamaño de 2m de celda. La malla de elementos finitos consistió en un total de 340.515 nodos y 678.662 celdas triangulares, cada una con valores de elevación.

Los valores de elevación se tomaron a partir del DTM y el DSM para el proyecto, considerando en las zonas duras y de edificaciones el DSM, mientras que en las zonas de vegetación se prefirió el uso del DTM. El efecto de la vegetación se aplicó a los valores de rugosidad e infiltración. El esquema de la malla de elementos finitos se presenta en la Figura 5.1:

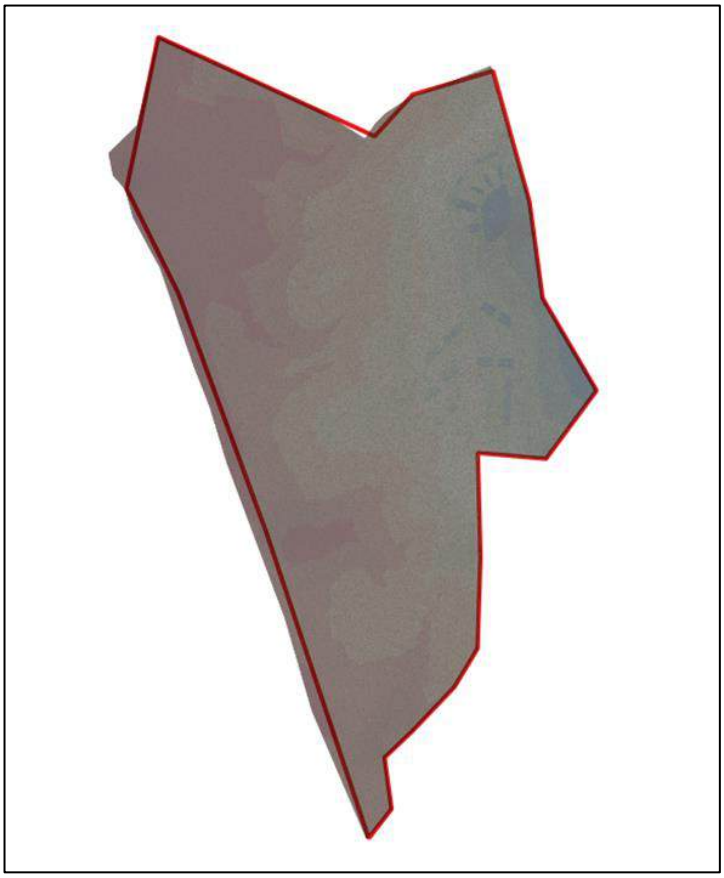


Figura 5.1 Esquema de la malla de elementos definida para la zona del polígono de Miramar.

5.2.2 Coeficientes de Manning

Los coeficientes de Manning para la zona fueron tomados considerando una tabla de valores típicos (Chow et al., 1994). Para la asignación de estos coeficientes se consideraron los diferentes tipos de coberturas del suelo y a las coberturas identificadas se les asignó un valor de coeficiente de rugosidad de Manning propio (Figura 5.2).

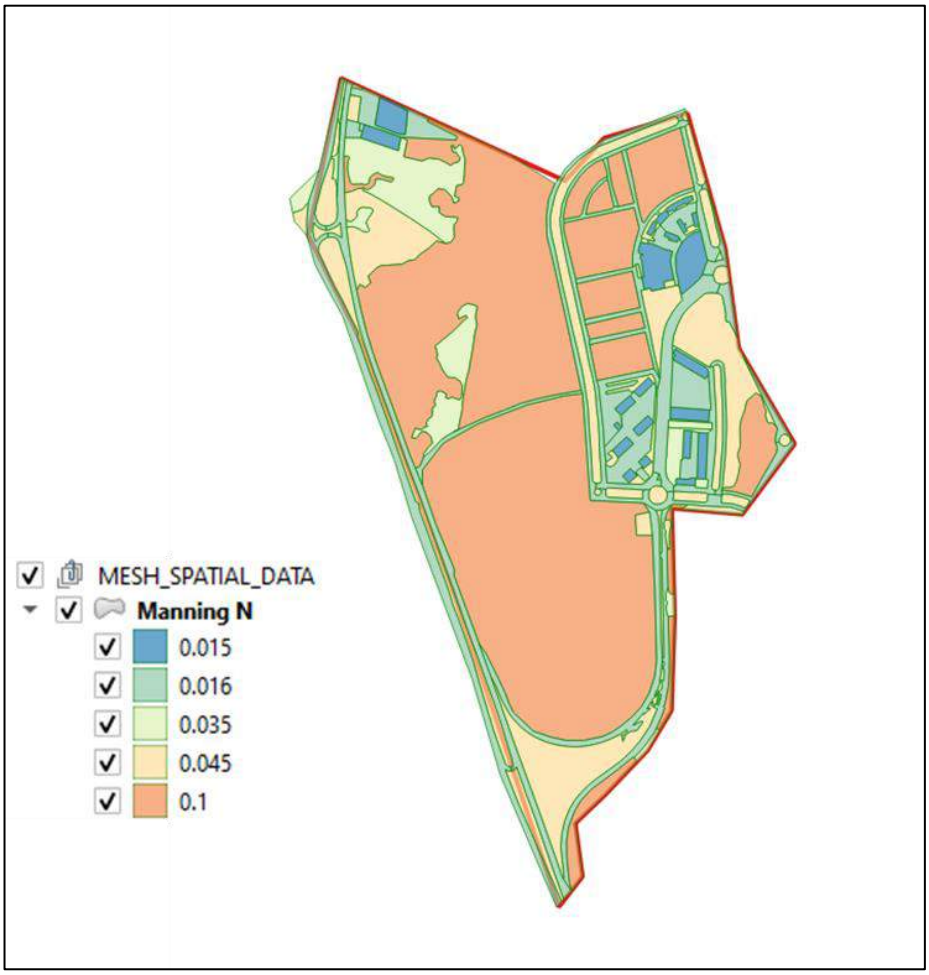


Figura 5.2 Valores de coeficiente de rugosidad de Manning para la zona del polígono norte.

Los valores de rugosidad usados fueron:

- 0.015 Para tejados lisos
- 0.016 Para pavimentos
- 0.035 Para suelo destapado
- 0.045 Para zonas de matorrales
- 0.100 Para zonas de árboles y arbustos densos

5.2.3 Infiltración

El modelo de infiltración usado para el modelo correspondió al del Número de Curva del SCS (Soil Conservation Service de E.E.U.U). Este modelo asigna valores de CN (curve number) a cada cobertura,

donde un valor de CN=100 indica que la cobertura es completamente impermeable y todo lo precipitado escurre, y por el contrario un CN=1 indica que todo lo precipitado infiltra por completo en el suelo.

Para la verificación de condición de la infiltración de los suelos, de forma análoga a lo realizado para la rugosidad, se tomaron valores típicos de infiltración (CN) de la bibliografía (Chow et al. 1994). En cuanto a las condiciones de lluvia antecedente, teniendo en cuenta los datos reportados de hidrología se opta por tomar un nivel antecedente III.

Los valores tomados de número de curva fueron:

- 98 Para tejados lisos
- 98 Para pavimentos
- 49 Para suelo destapado
- 39 Para zonas de matorrales
- 25 Para zonas de árboles y arbustos densos

La visualización espacial de los datos anteriores se presenta en la Figura 5.3:

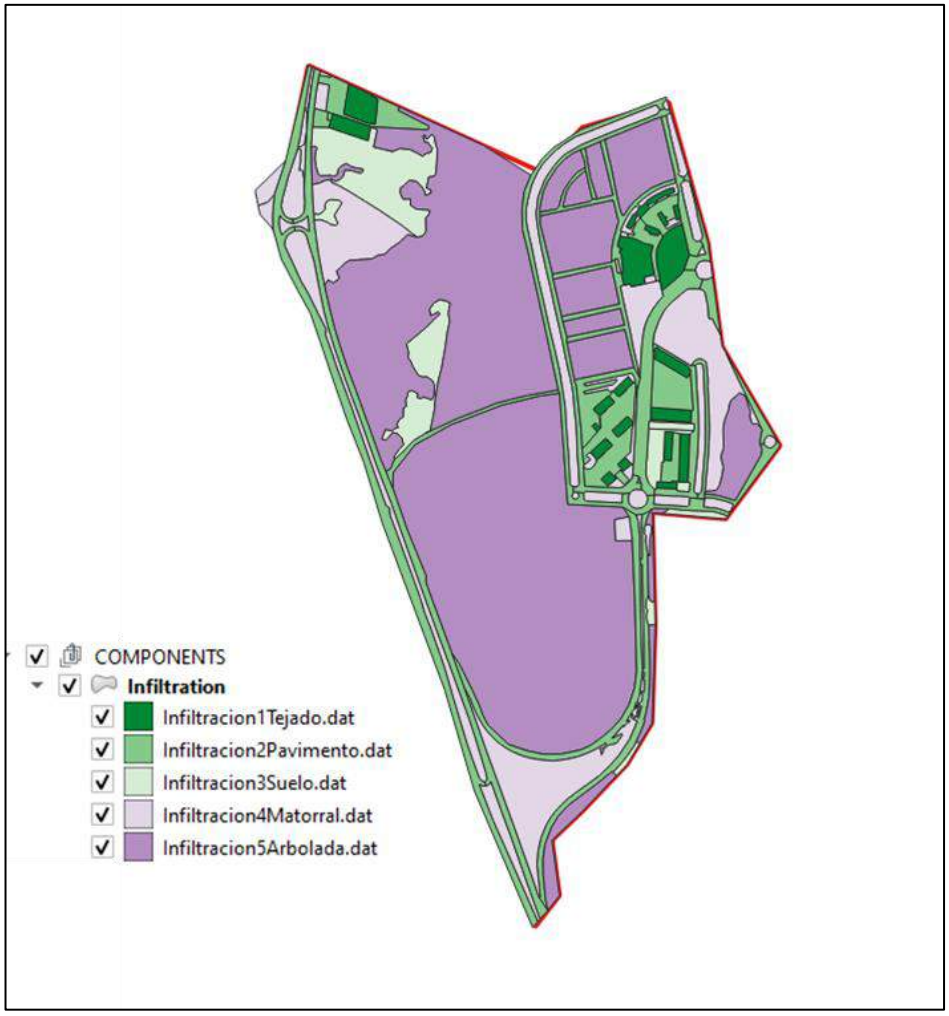


Figura 5.3 Valores de infiltración para la zona del polígono norte.

5.2.4 Lluvias Críticas

Para considerar el efecto de la lluvia en el modelo se usará para el polígono norte los hietogramas obtenidos para la estación Las Flores en el capítulo de hidrología. Se presentan lo hietogramas utilizados en la Figura 5.4:

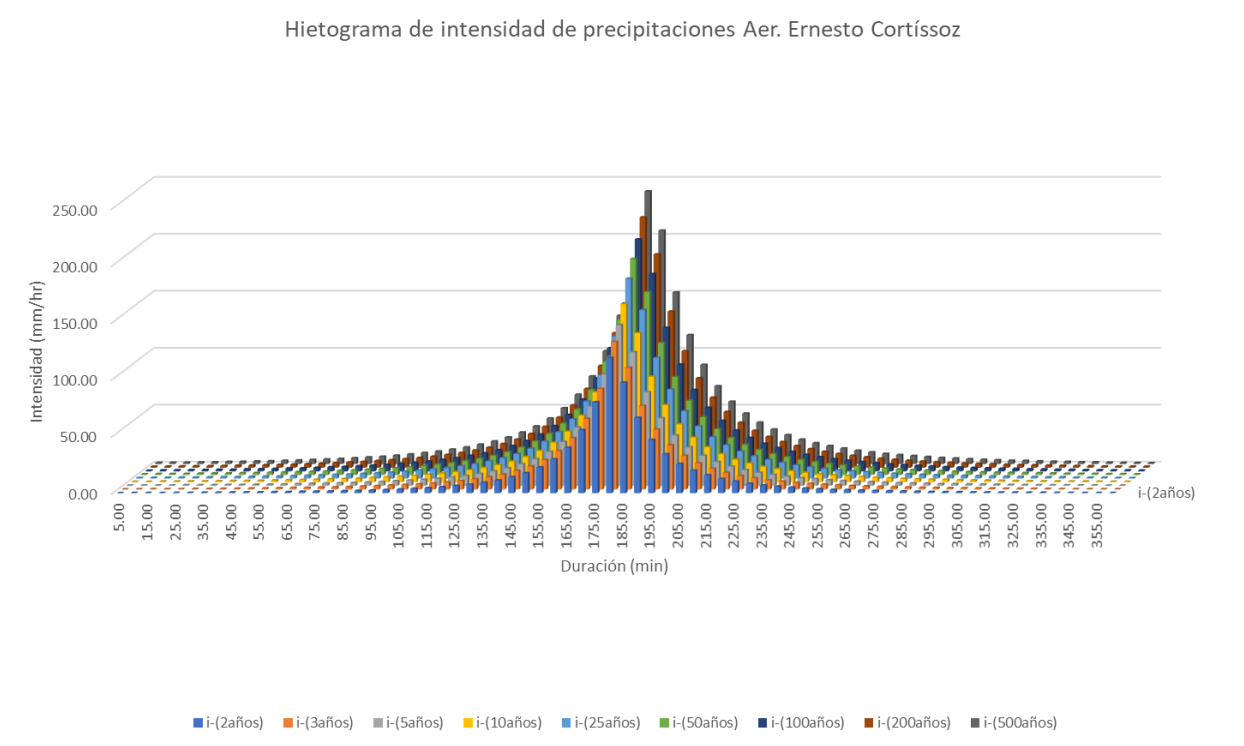


Figura 5.4 Hietograma de intensidades para la estación Las Flores.

5.2.5 Condiciones de frontera y particularidades

Para las condiciones de frontera se consideraron como elementos de calibración del modelo acorde a la metodología del IDEAM. En este sentido se tuvieron en cuenta condición de frontera de salida libre y de flujo uniforme hasta coincidir con condiciones normales de operación en los modelos de menor precipitación. Adicionalmente se ubicaron estructuras hidráulicas existentes en la zona dentro del modelo.

5.2.6 Resultados de la modelación zona polígono norte

5.2.6.1 Profundidad del agua

- Profundidad del agua: Además de indicar las zonas hasta donde llega la inundación (P>0), a medida que la profundidad aumenta la condición de amenaza va afectando a varias demografías (iniciando por infantes y mascotas, siguiendo con adultos mayores y finalizando con adultos) y elementos expuestos (vehículos, viviendas, etc.). Se puede concluir que a medida que aumenta la profundidad, aumenta el grado de amenaza. Se presenta la gráfica de la lámina máxima registrada para el evento de lluvia crítico para un tiempo de retorno de Tr=100 años (Figura 5.5).

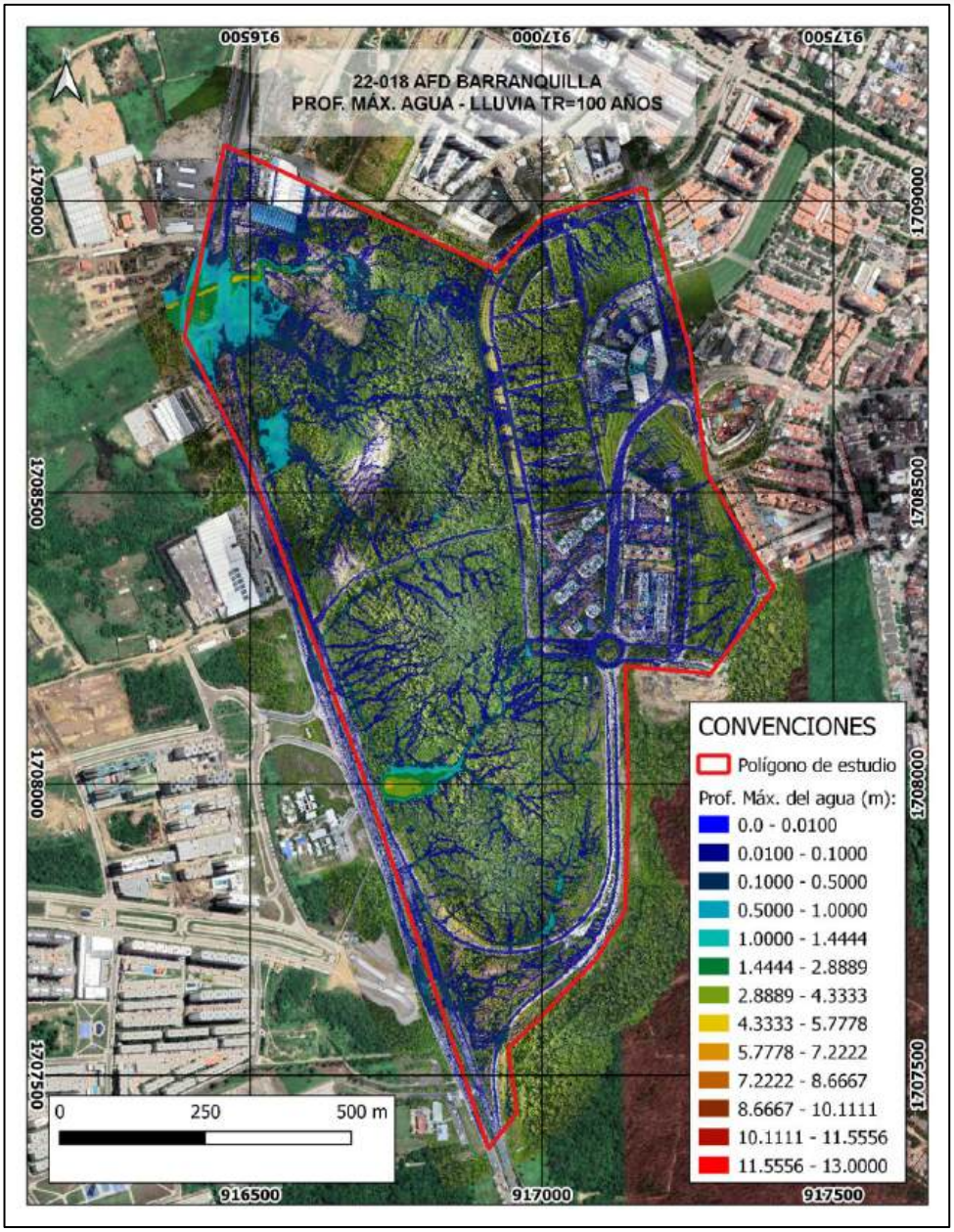


Figura 5.5 Profundidad máxima de la lámina de agua para el polígono norte, zona de Miramar evento de lluvia Tr=100 años.

5.2.6.2 Velocidad del agua

No sólo la profundidad incide en el comportamiento del flujo, sino que también la velocidad juega un papel importante. Aún si la profundidad es baja, una alta velocidad puede inducir a una amenaza media a alta debido a flujo. Entre más alta la velocidad más le cuesta a las personas, animales, vehículos, etc., movilizarse en la corriente. El gráfico de la velocidad máxima hallada en el modelo, se presenta en la Figura 5.6.

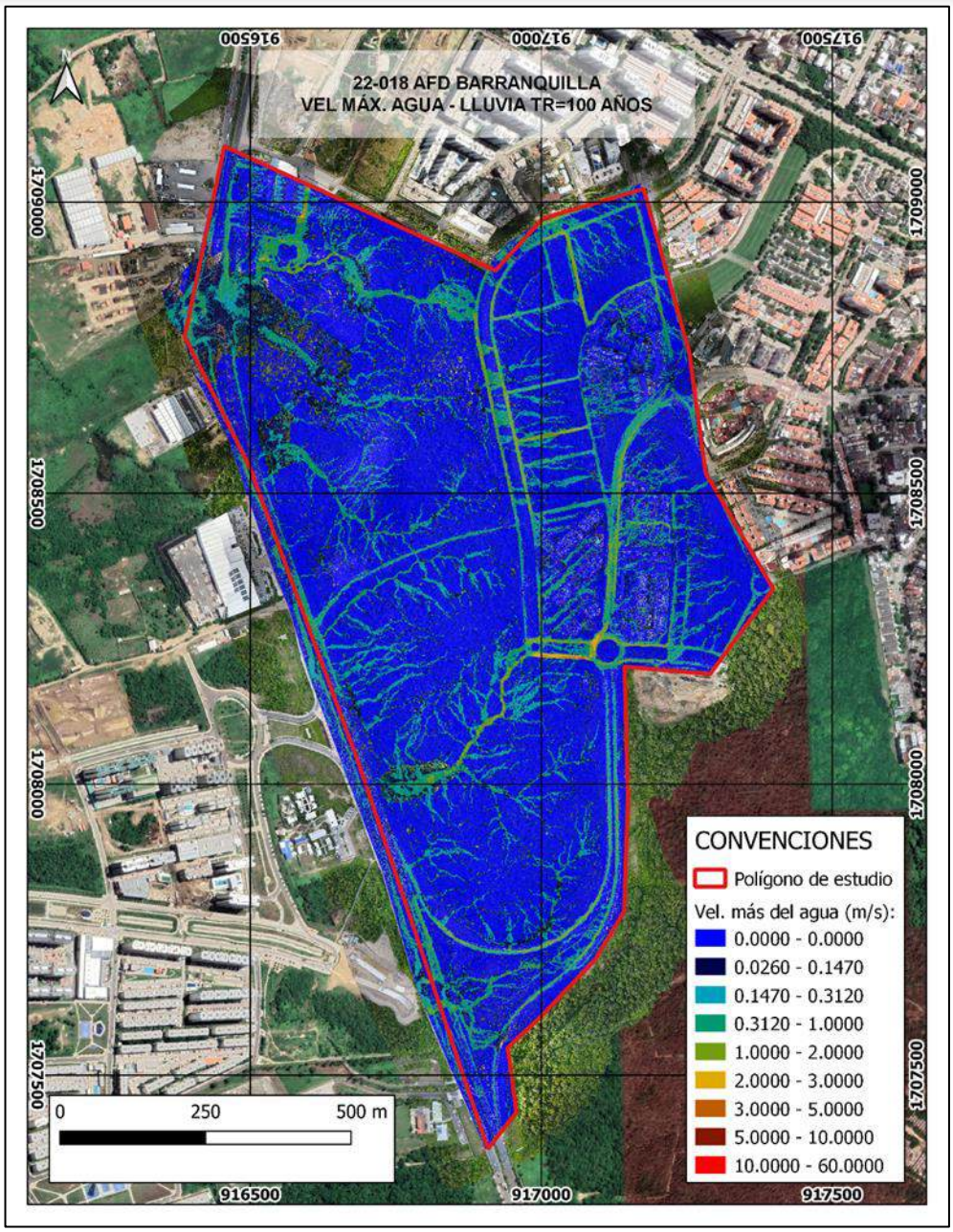


Figura 5.6 Velocidad máxima del agua para el polígono norte, zona de Miramar evento de lluvia Tr=100 años.

5.3 MODELACIÓN HIDRÁULICA POLÍGONO SUR: LADERA OCCIDENTAL BARRANQUILLA

5.3.1 Generación de la malla y determinación de elevaciones

La malla de elementos finitos para la zona se modeló mediante una red de triángulos irregulares (TIN) de tamaño de 5m de celda. La malla de elementos finitos consistió en un total de 1.184.445 nodos y 2.364.707 celdas triangulares, cada una con valores de elevación.

Los valores de elevación se tomaron a partir del DTM y el DSM para el proyecto, considerando en las zonas duras y de edificaciones el DSM, mientras que en las zonas de vegetación se prefirió el uso del DTM. El efecto de la vegetación se aplicó a los valores de rugosidad e infiltración. El esquema de la malla de elementos finitos se presenta en la Figura 5.7 y Figura 5.8:



Figura 5.7 Esquema de la malla de elementos definida para la zona del polígono sur.

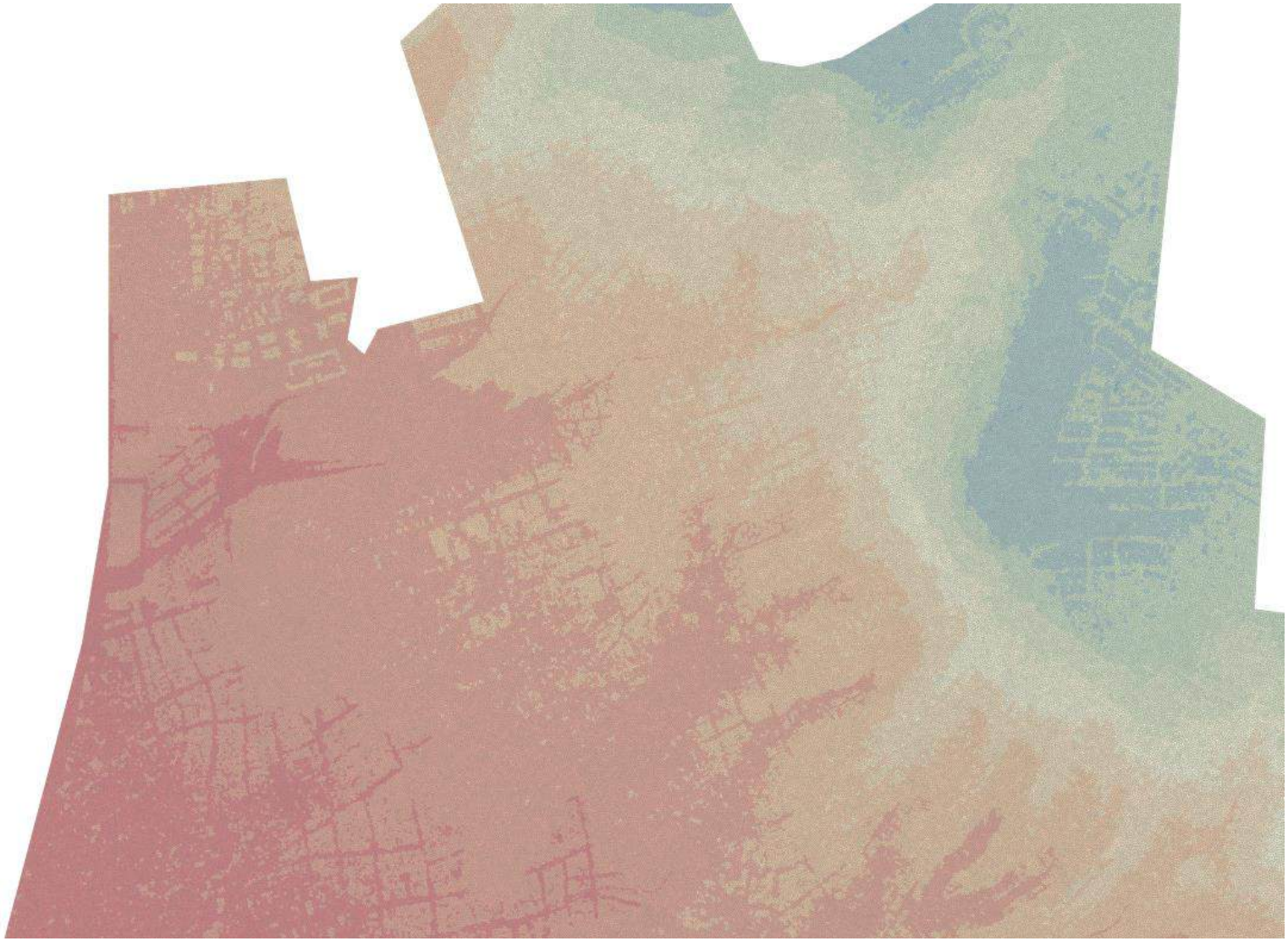


Figura 5.8 Vista ampliada de la malla de elementos finitos para la zona del polígono sur en su parte superior.

5.3.2 Coeficientes de Manning

Los coeficientes de Manning para la zona fueron tomados igualmente considerando una tabla de valores típicos (Chow et al., 1994). Para la asignación de estos coeficientes se consideraron los diferentes tipos de coberturas del suelo. A las coberturas identificadas se les asignó un valor de coeficiente de rugosidad de Manning propio (Figura 5.9). Para este caso se optó por unificar las coberturas de tejados y de pavimentos.



Figura 5.9 Valores de coeficiente de rugosidad de Manning para la zona del polígono sur.

Los valores de rugosidad usados fueron:

- 0.016 Para tejados y pavimentos
- 0.035 Para suelo destapado
- 0.045 Para zonas de matorrales

5.3.3 Infiltración

El modelo de infiltración usado para el modelo correspondió al del Número de Curva del SCS (Soil Conservation Service de E.E.U.U). Este modelo asigna valores de CN (curve number) a cada cobertura, donde un valor de CN=100 indica que la cobertura es completamente impermeable y todo lo precipitado escurre, y por el contrario un CN=1 indica que todo lo precipitado infiltra por completo en el suelo.

Para la verificación de condición de la infiltración de los suelos, de forma análoga a lo realizado para la rugosidad, se tomaron valores típicos de infiltración (CN) de la bibliografía (Chow et al. 1994). En cuanto a las condiciones de lluvia antecedente, teniendo en cuenta los datos reportados de hidrología se opta por tomar un nivel antecedente III.

Los valores tomados de número de curva fueron:

- 98 Para pavimentos y tejados
- 49 Para suelo destapado
- 39 Para zonas de matorrales

La visualización espacial de los datos anteriores se presenta en la Figura 5.10.



Figura 5.10 Valores de infiltración para la zona del polígono norte.

5.3.4 Lluvias Críticas

Para considerar el efecto de la lluvia en el modelo se usará para el polígono norte los hietogramas obtenidos para la estación Las Flores en el capítulo de hidrología. Se presentan lo hietogramas utilizados en la Figura 5.11.

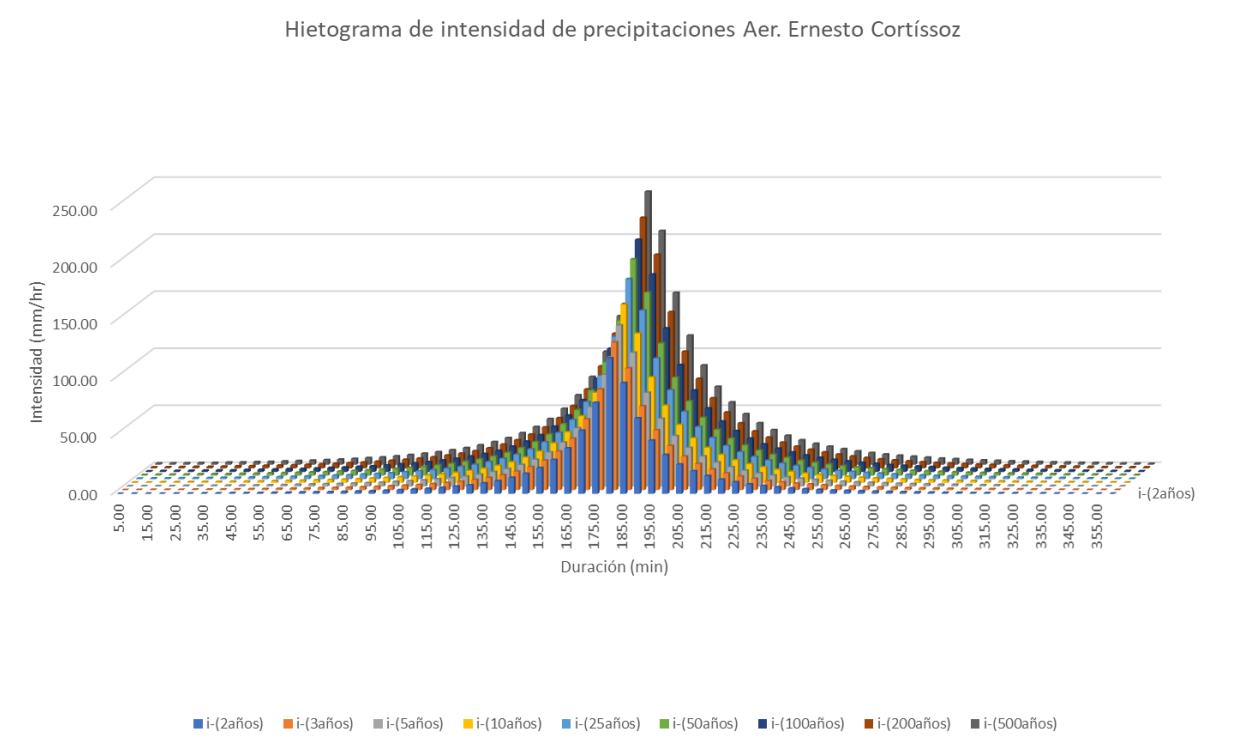


Figura 5.11 Hietograma de intensidades para la estación Aeropuerto Ernesto Cortissoz.

5.3.5 Condiciones de frontera y particularidades

Para las condiciones de frontera se consideraron como elementos de calibración del modelo acorde a la metodología del IDEAM. En este sentido se tuvieron en cuenta condición de frontera de salida libre y de flujo uniforme hasta coincidir con condiciones normales de operación en los modelos de menor precipitación.

5.3.6 Resultados de la modelación zona polígono sur

5.3.6.1 Profundidad del agua

- Profundidad del agua: Se presenta la gráfica de la lámina máxima registrada para el evento de lluvia crítico para un tiempo de retorno de Tr=100 años (Figura 5.12).

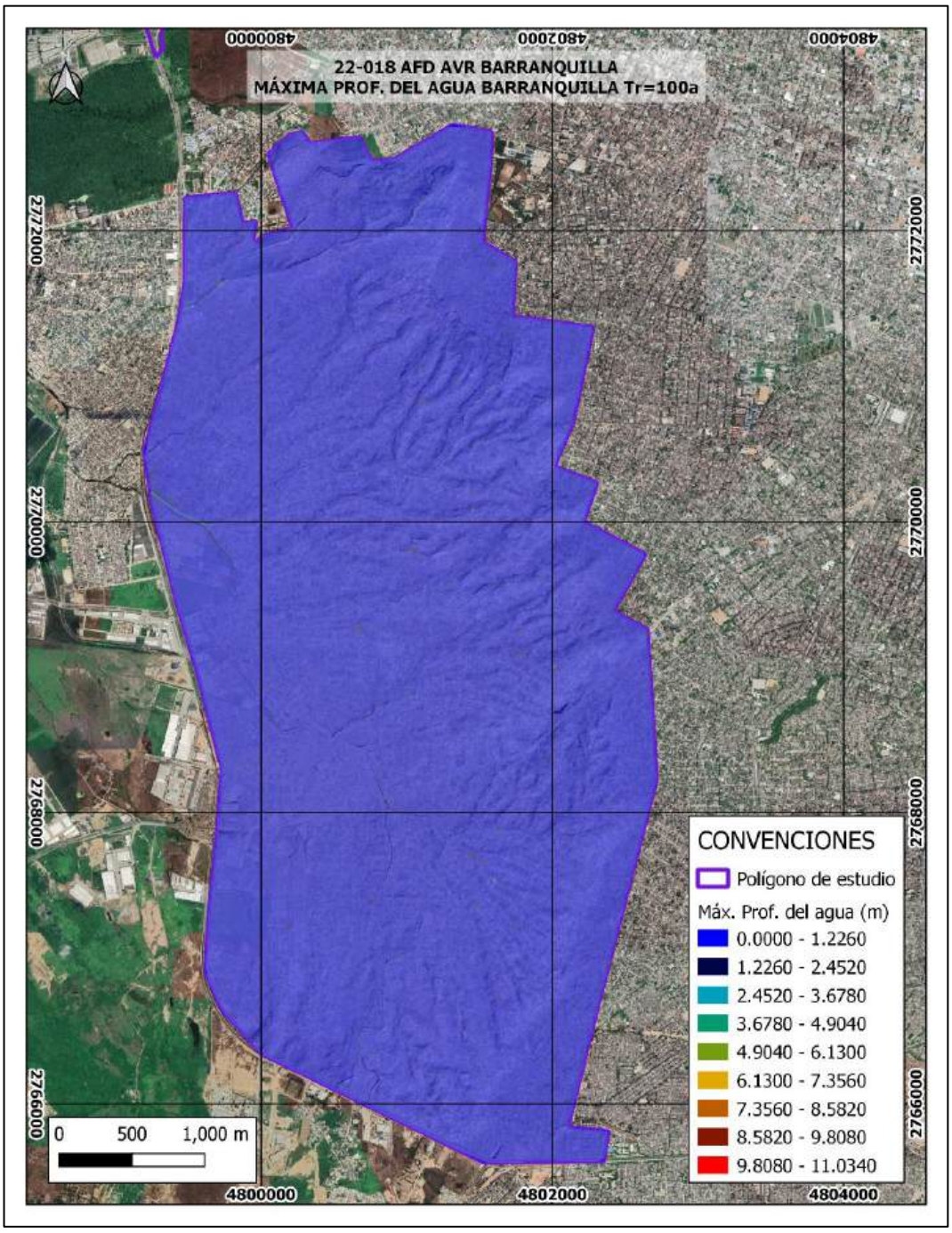


Figura 5.12 Profundidad máxima de la lámina de agua para el polígono sur, zona de laderas occidentales evento de lluvia Tr=100 años.

5.3.6.2 Velocidad del agua

El gráfico de la velocidad máxima hallada en el modelo, se presenta en la Figura 5.13.

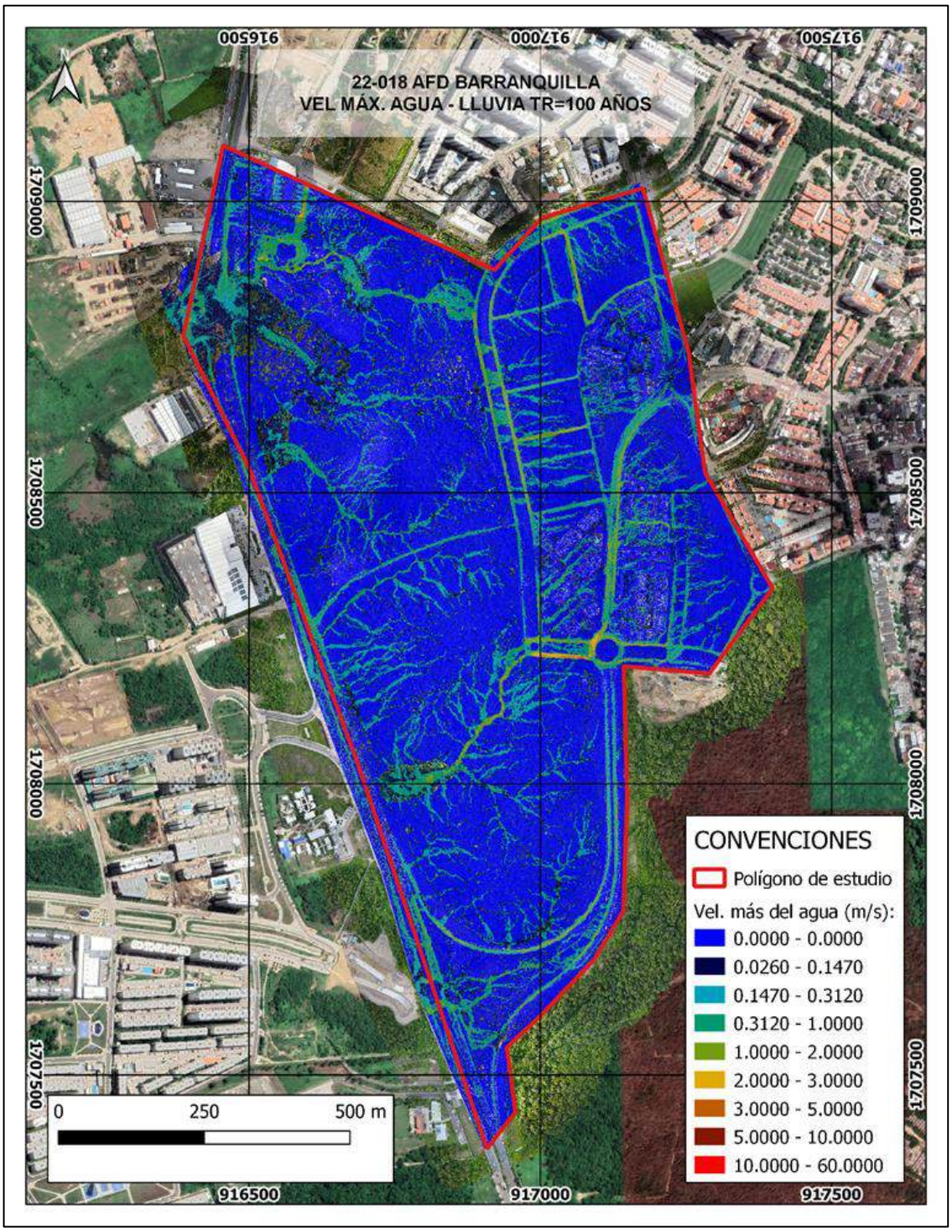


Figura 5.13 Velocidad máxima del agua para el polígono norte, zona de Miramar evento de lluvia Tr=100 años.

5.4 ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR INUNDACIÓN

La zonificación de la amenaza por inundación indica el tipo e intensidad del potencial efecto sobre los elementos expuestos en la zona de estudio, es decir, el grado de amenaza puede variar de acuerdo a las variables mencionadas, velocidad y profundidad o el producto de las dos variables anteriores a efecto de categorización.

Está establecido por la mayoría de organismos internacionales que el grado de amenaza por inundación se obtiene a partir de una combinación de los factores antes mencionados, más que por su efecto de manera individual. Teniendo en cuenta el tipo de elemento expuesto para la zona de estudio y las condiciones del sector, considerando lo expuesto en la Guía Metodológica para la elaboración de mapas de inundación del Ideam (2018), se optó por acoger la asignación del grado de amenaza definido por la USBR (Oficina de Reclamación de Estados Unidos) y compilado por el Acer Technical Memorandum N°11, el cual describe la amenaza en función del tipo de elemento expuesto, como se explica a continuación.

5.4.1 Grado de amenaza (USBR)

El grado de amenaza corresponde a una simplificación del riesgo potencial de vidas y riesgos económicos producto de un desastre natural, en este caso una inundación. En general los grados de amenaza suelen indicarse como amenaza baja, media o alta, y la implicación de cada uno de estos sería como sigue:

- Amenaza baja: Para la combinación de velocidad y profundidad asociado con un flujo de aguas, se asume que el número de vidas en peligro es igual a cero.
- Amenaza alta: Para la combinación de velocidad y profundidad asociado con un flujo de aguas, se asume que las vidas de las personas estarían en peligro.
- Amenaza media: La amenaza media o zona de juicio, corresponde a un campo intermedio entre los extremos, de cero y muchas vidas en peligro, en este sentido se podría decir que en esta categoría algunas vidas correrían peligro.

Es de resaltar que estas zonas de amenaza baja, media y alta dependen también del elemento expuesto, pues, no es lo mismo que el elemento expuesto sea un adulto o que sea un niño. En este sentido y considerando que los elementos expuestos corresponden a las personas que se encontrarían en las viviendas que se encuentran en la ladera occidental de la ciudad de Barranquilla, se adoptó la clasificación para hogares de la USBR (Figura 5.14). Esta clasificación identifica al elemento expuesto como los habitantes de las viviendas en la zona, lo cual va de la mano con la vulnerabilidad propuesta para la zona (vulnerabilidad física o estructural).

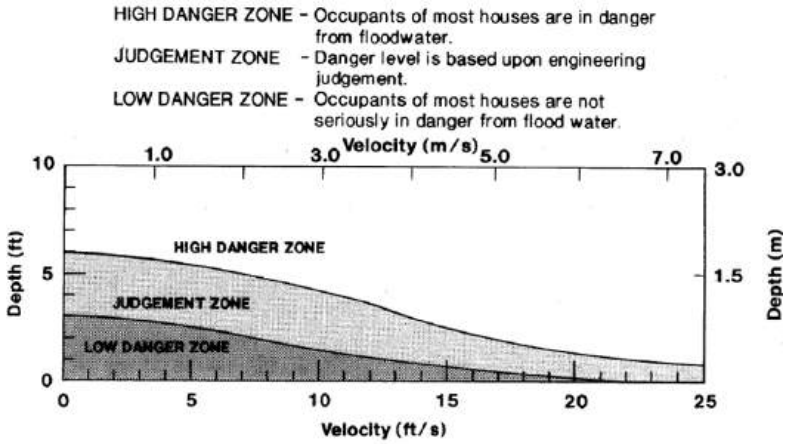


Figura 5.14 Relación Profundidad-Velocidad para determinación del grado de amenaza por la USBR para hogares.

Basados en la Figura 5.14 podemos destacar que no importa la combinación, para profundidades mayores a los 1.80 m, a cualquier valor de velocidad, la zona inmediatamente queda en zona de alta amenaza (high danger zone). De manera análoga, se puede apreciar que a medida que aumenta la velocidad, los umbrales de profundidad para los rangos de amenaza media (judgement zone) y alta (high danger zone) cambian de manera inversamente proporcional.

Para esta asignación en particular los niveles de grados de amenaza indican lo que se resume en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1 Definición de los Grados de Amenaza por Inundación.

GRADO DE AMENAZA	DEFINICIÓN
Amenaza baja	Los ocupantes de la mayoría de las edificaciones no estarían en serio peligro por inundación.
Amenaza media	Nivel de amenaza a juicio ingenieril. Algunos ocupantes de la mayoría de las edificaciones estarían en peligro por inundación.
Amenaza alta	Los ocupantes de la mayoría de las edificaciones estarían en serio peligro por inundación.

Así las cosas, realizando la verificación de velocidad y profundidad del agua celda a celda de los modelos corridos para diferentes periodos de retorno, es posible categorizar espacialmente la amenaza por inundación para el lote. Esta amenaza corresponde a escenarios potenciales de ocurrencia de fenómenos de inundación, según los registros existentes.

5.4.2 Resultados zona del polígono norte (Miramar)

La Figura 5.15 a la Figura 5.22 muestran la zonificación de la amenaza por inundación para el área modelada para los periodos de retorno considerados en el polígono norte (Miramar).

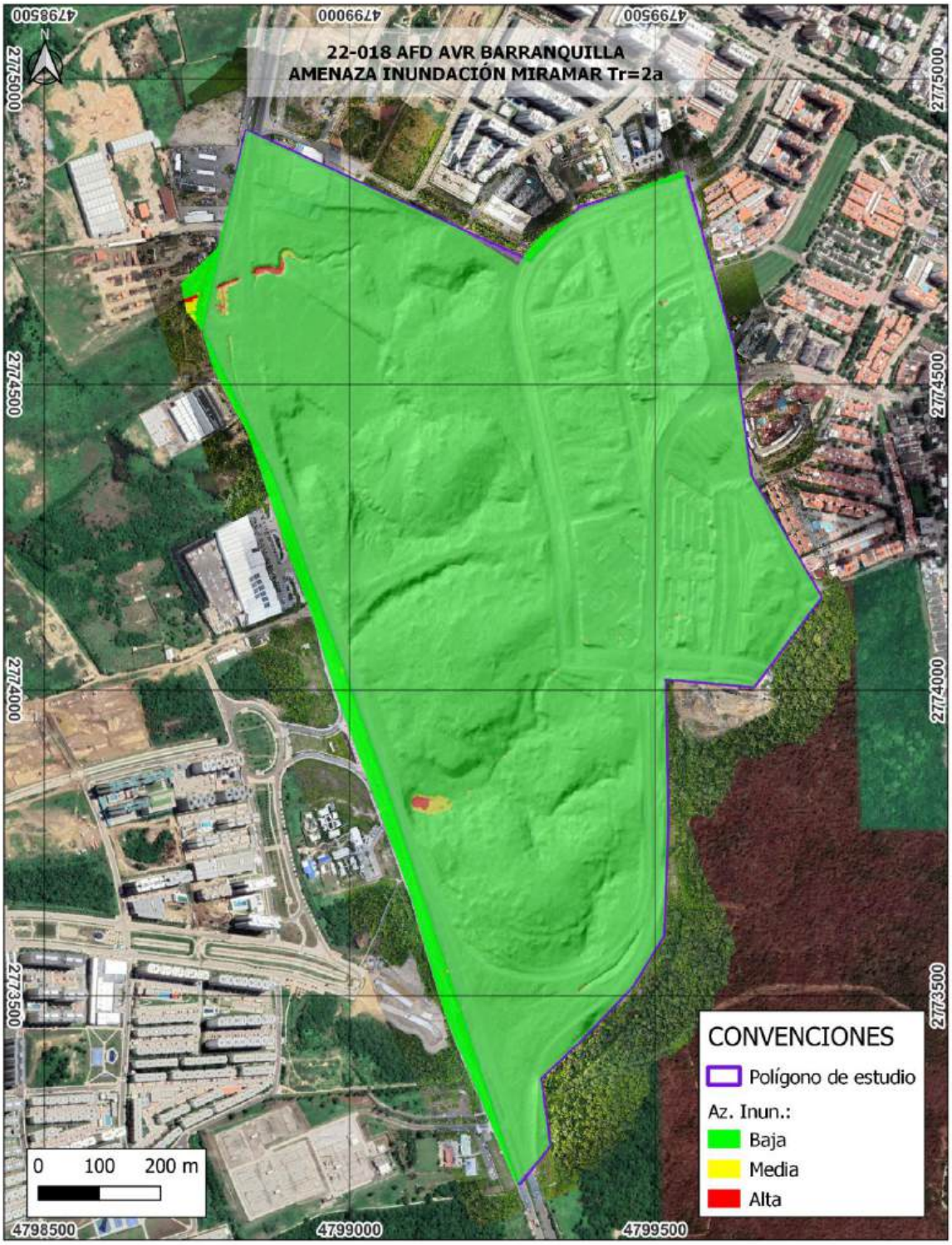


Figura 5.15 Resultados de amenaza por inundación para las lluvias críticas con Tr=2años para el polígono norte.

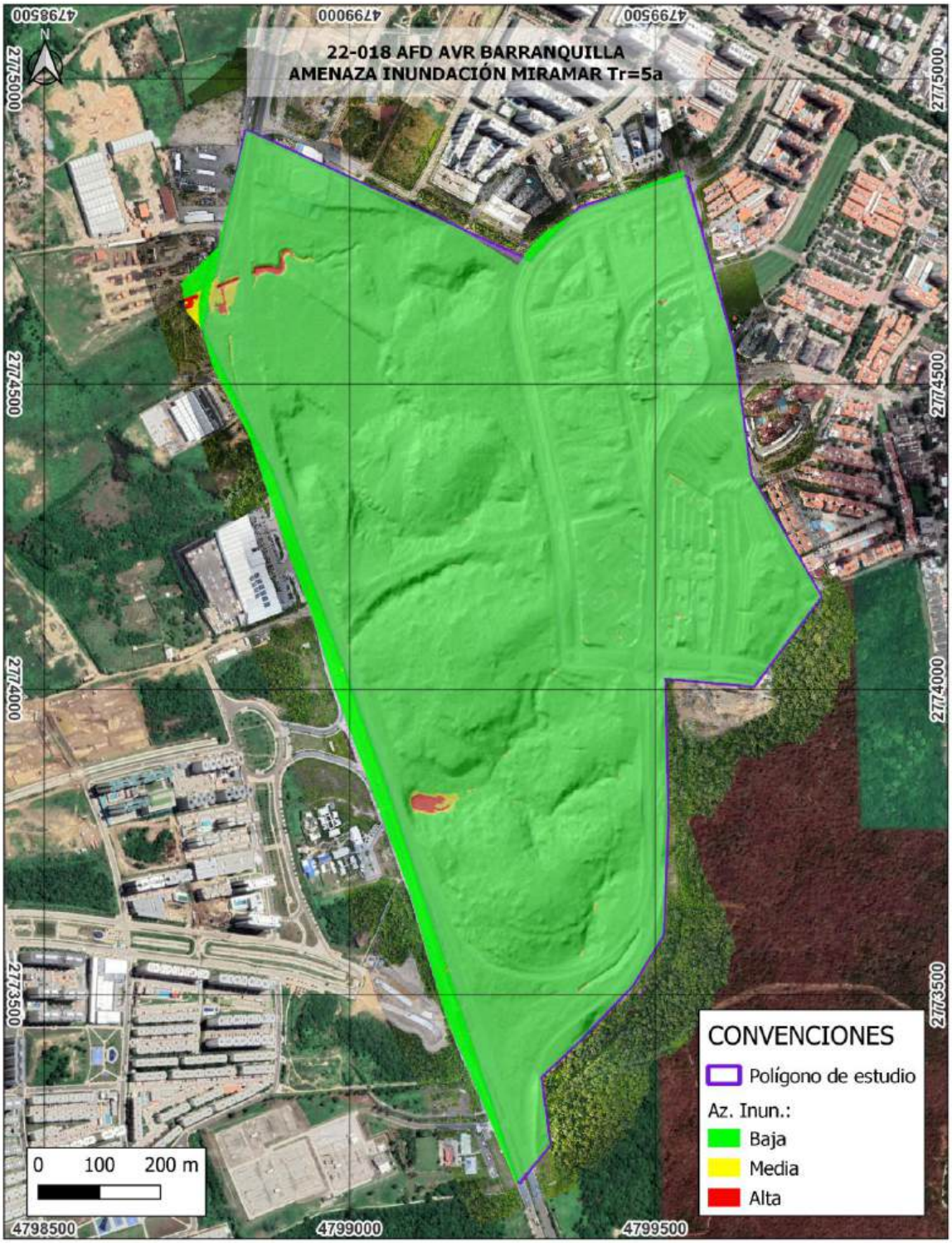


Figura 5.16 Resultados de amenaza por inundación para las lluvias críticas con Tr=5años para el polígono norte.

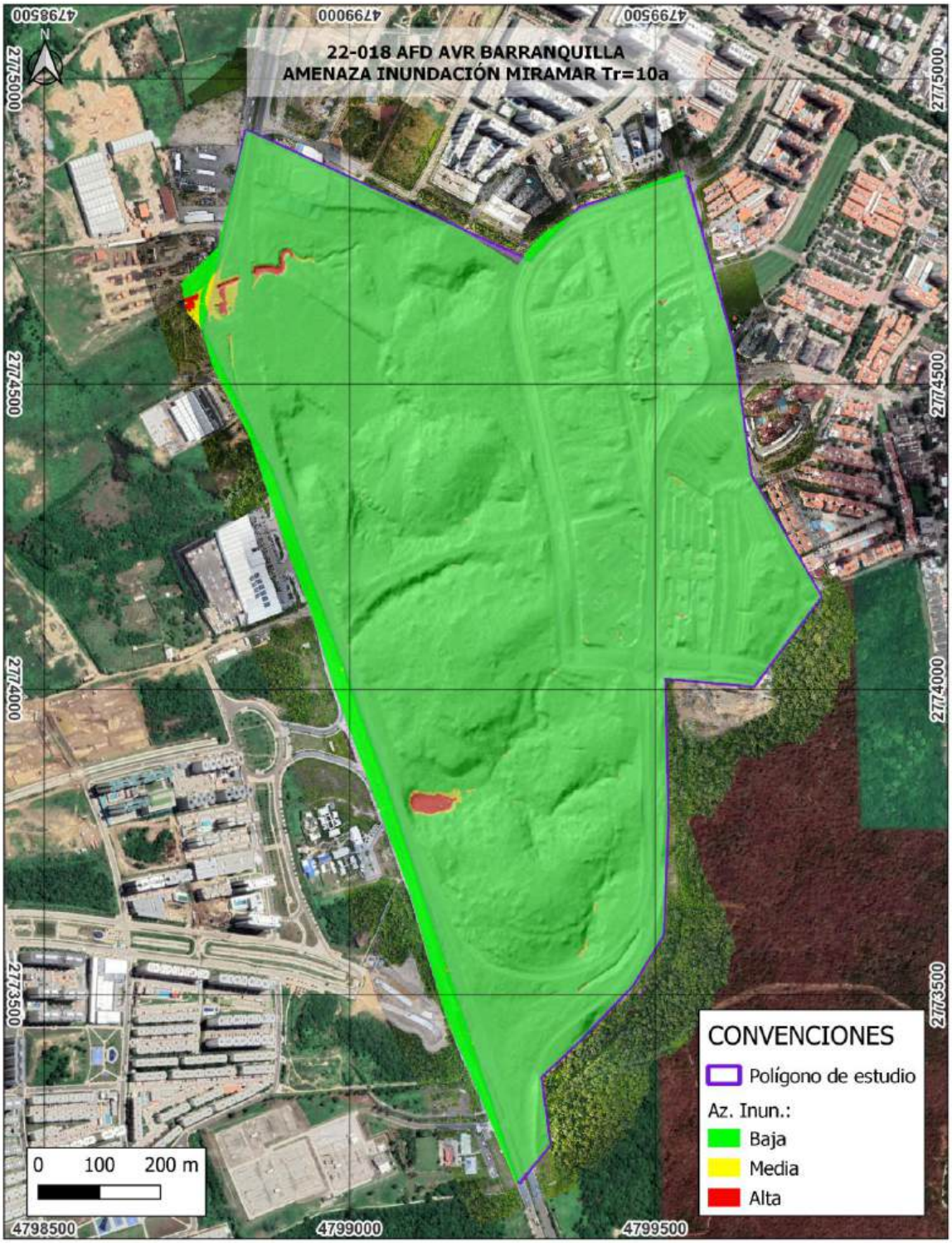


Figura 5.17 Resultados de amenaza por inundación para las lluvias críticas con Tr=10años para el polígono norte.

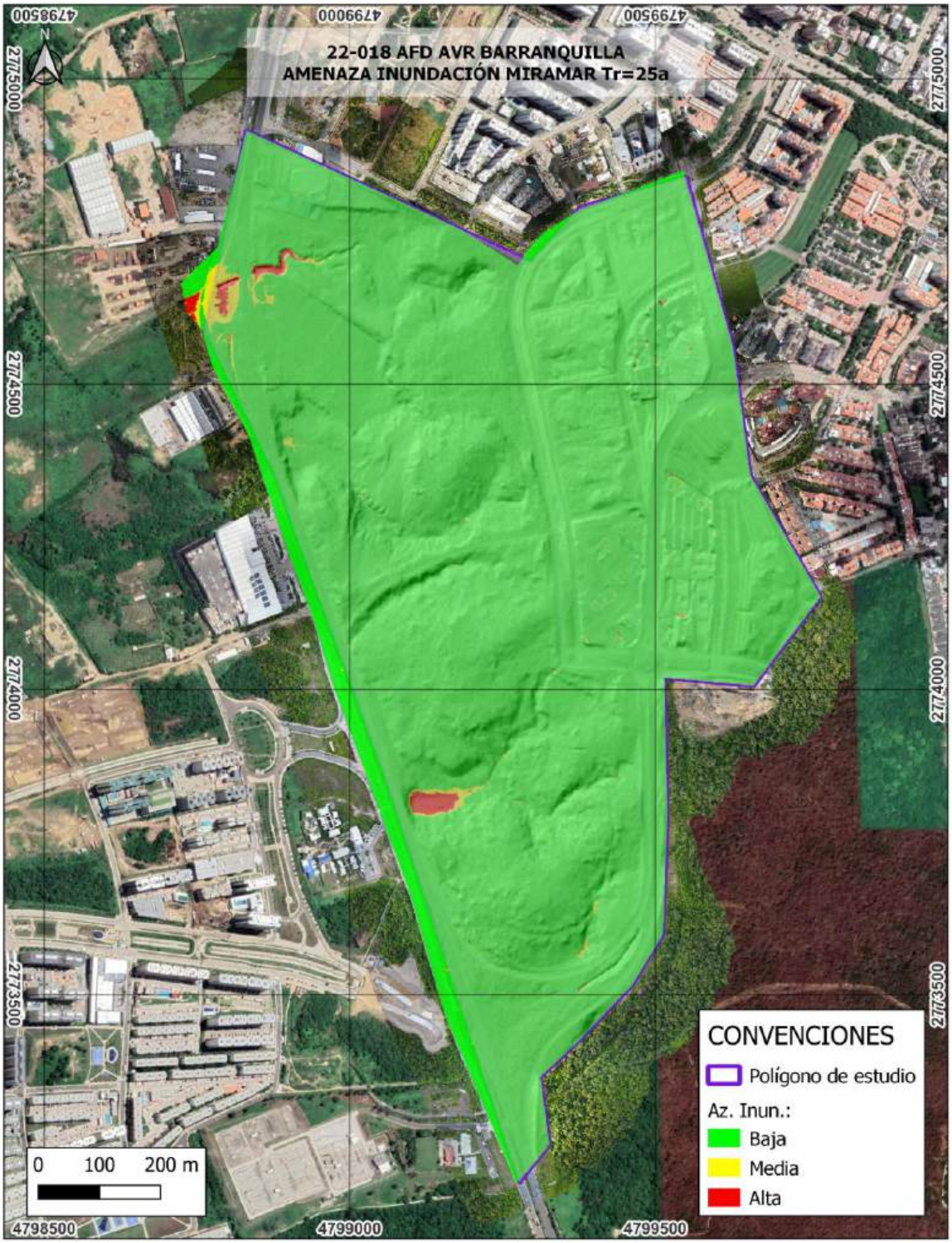


Figura 5.18 Resultados de amenaza por inundación para las lluvias críticas con Tr=25años para el polígono norte.

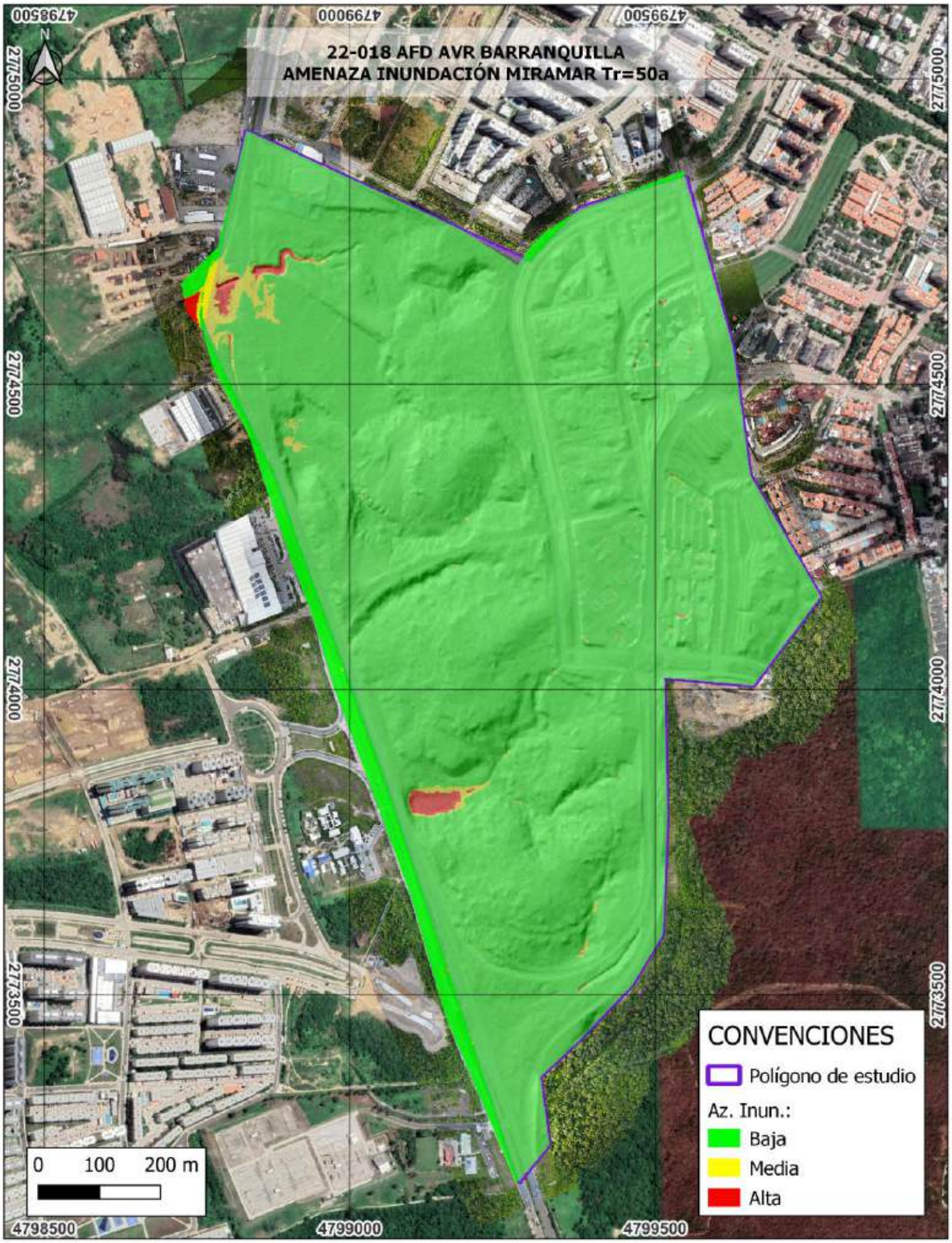


Figura 5.19 Resultados de amenaza por inundación para las lluvias críticas con Tr=50años para el polígono norte.

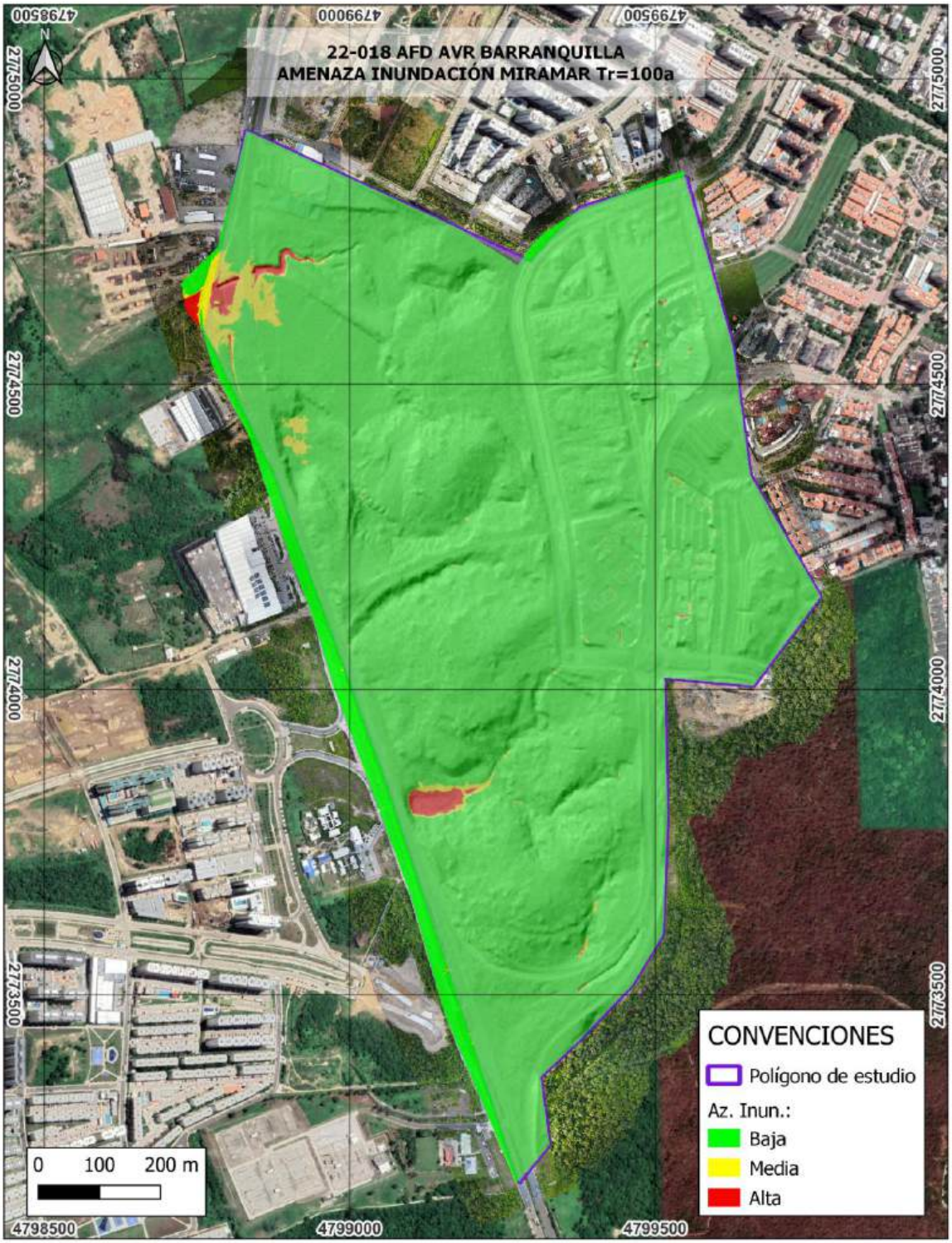


Figura 5.20 Resultados de amenaza por inundación para las lluvias críticas con Tr=100años para el polígono norte.

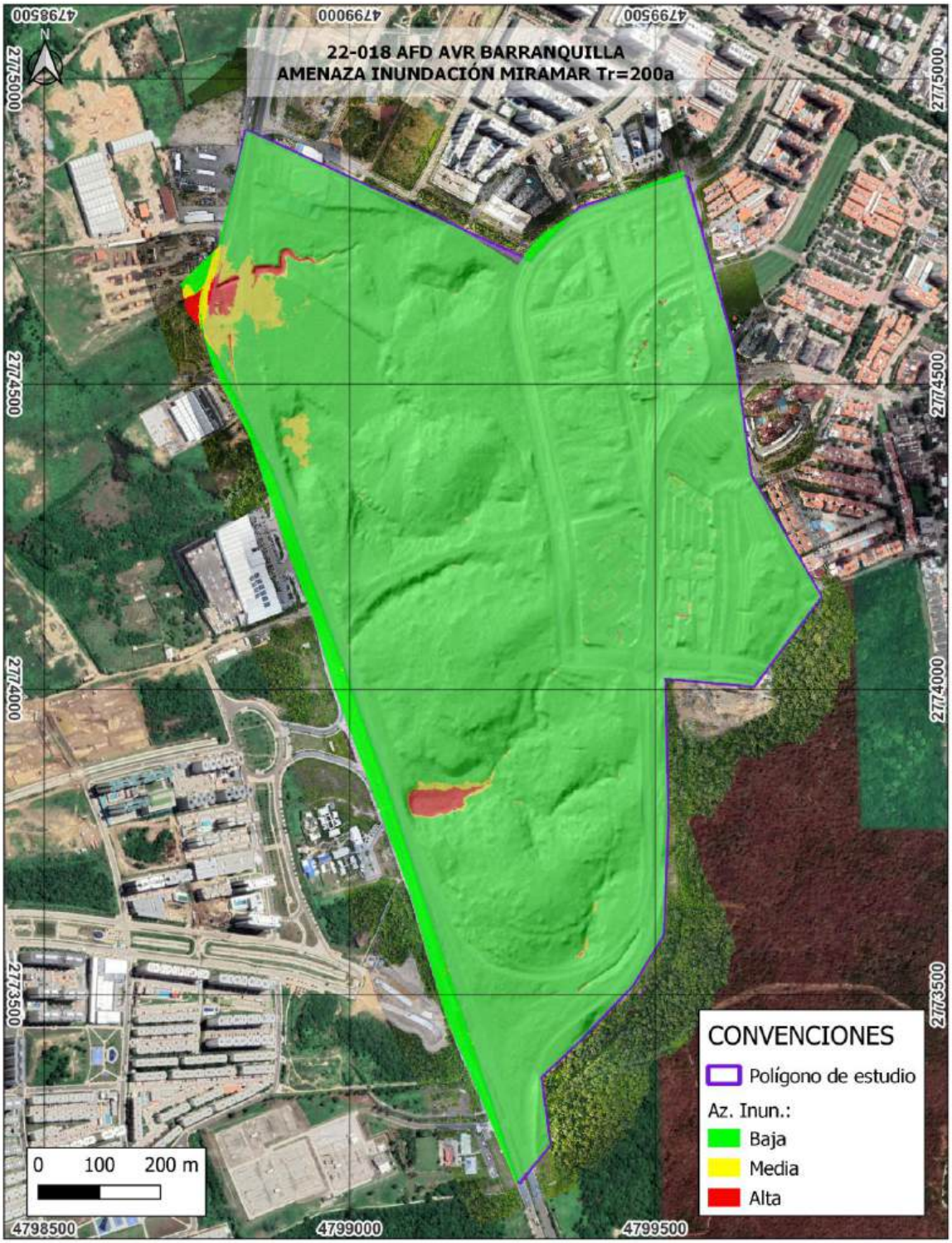


Figura 5.21 Resultados de amenaza por inundación para las lluvias críticas con Tr=200años para el polígono norte.

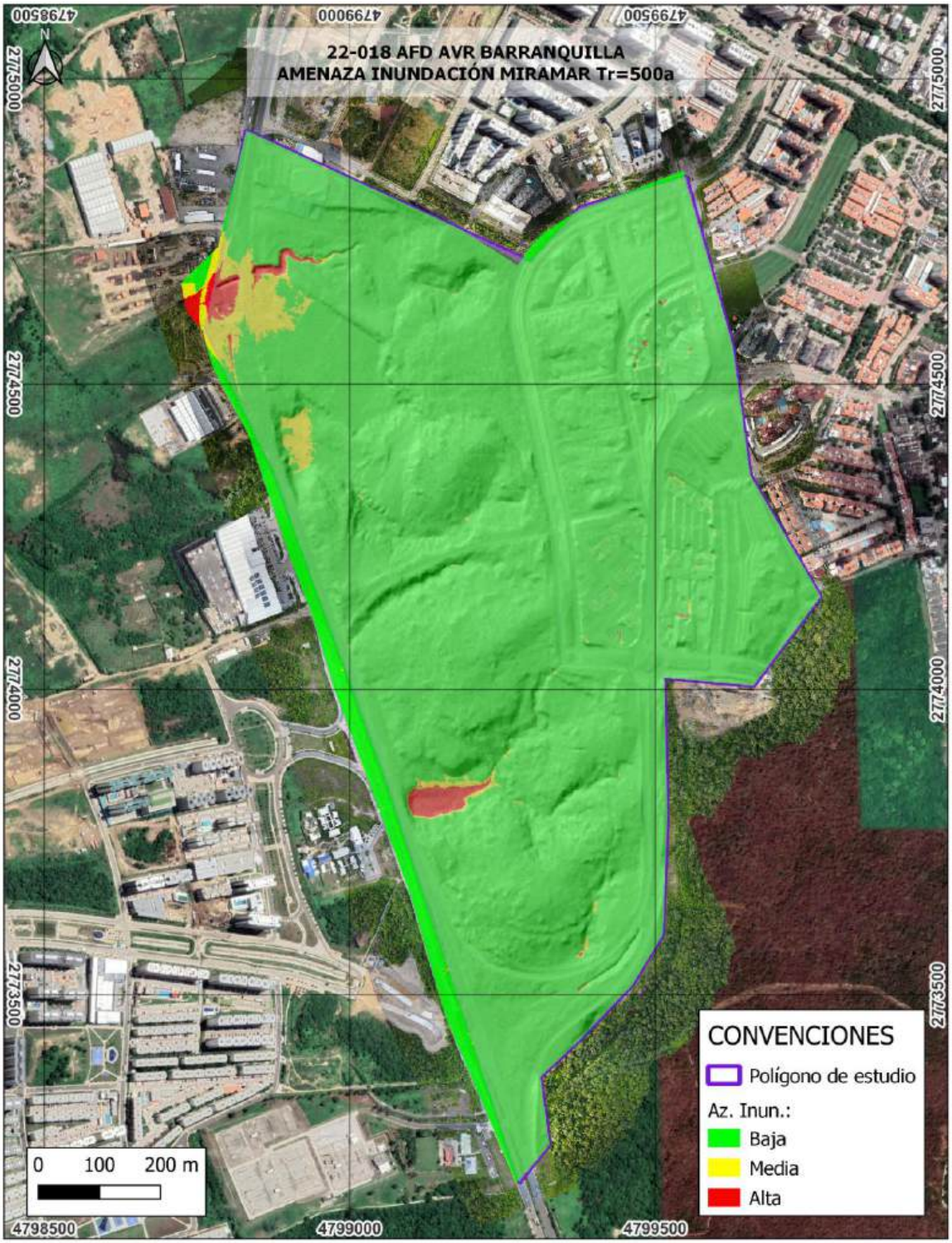


Figura 5.22 Resultados de amenaza por inundación para las lluvias críticas con Tr=500años para el polígono norte.

Las distribuciones de áreas en función del grado de amenaza se presentan para cada periodo de retorno a continuación:

Distribución de áreas para la zona de Miramar Tr=2 años

Tabla 5.2 Distribución de áreas por grado de amenaza para la zona de Miramar, T=2 años.

Grado de amenaza	Área (Ha)	Porc. (%)
Baja	91.44	99.45%
Media	0.34	0.37%
Alta	0.17	0.18%

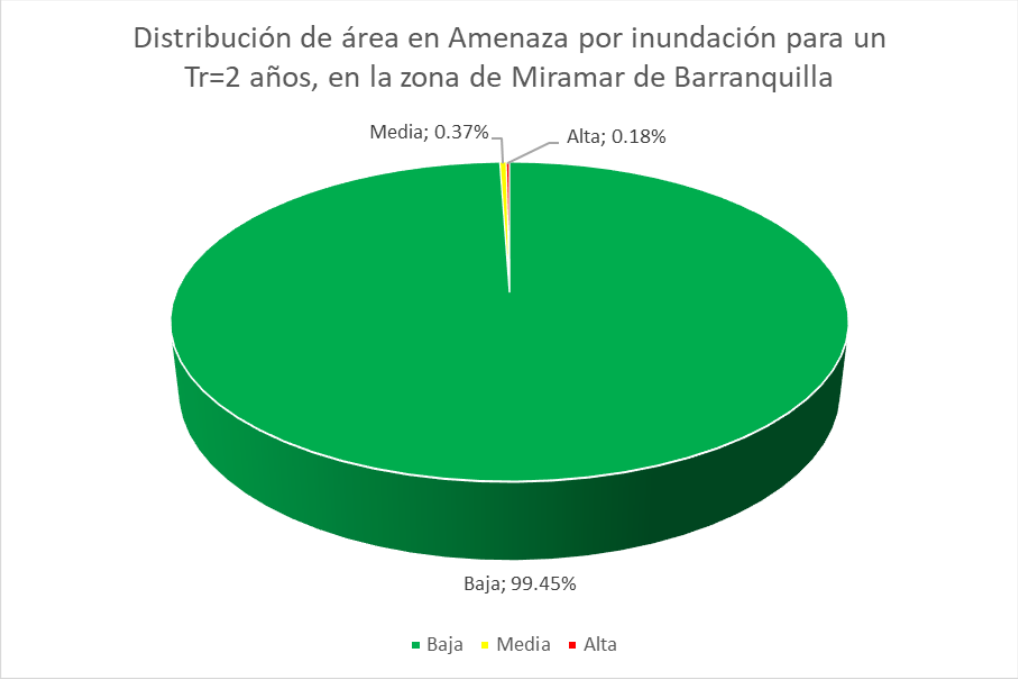


Figura 5.23 Gráfico de distribución porcentual de áreas según grado de amenaza para la zona de Miramar, Tr=2 años.

Distribución de áreas para la zona de Miramar Tr=5 años

Tabla 5.3 Distribución de áreas por grado de amenaza para la zona de Miramar, T=5 años.

Grado de amenaza	Área (Ha)	Porc. (%)
Baja	91.15	99.12%
Media	0.50	0.55%
Alta	0.31	0.33%

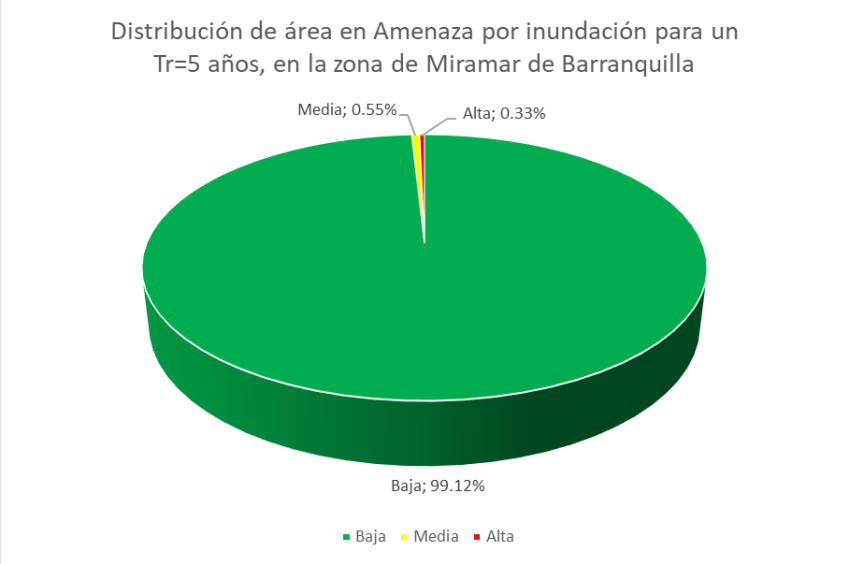


Figura 5.24 Gráfico de distribución porcentual de áreas según grado de amenaza para la zona de Miramar, Tr=5 años.

Distribución de áreas para la zona de Miramar Tr=10 años

Tabla 5.4 Distribución de áreas por grado de amenaza para la zona de Miramar, T=10 años.

Grado de amenaza	Área (Ha)	Porc. (%)
Baja	90.95	98.89%
Media	0.61	0.66%
Alta	0.41	0.44%

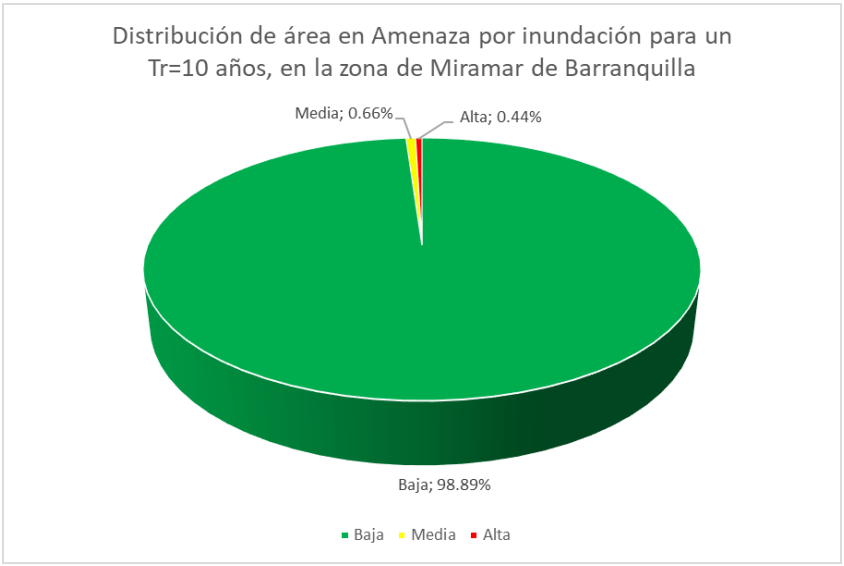


Figura 5.25 Gráfico de distribución porcentual de áreas según grado de amenaza para la zona de Miramar, Tr=10 años.

Distribución de áreas para la zona de Miramar Tr=25 años

Tabla 5.5 Distribución de áreas por grado de amenaza para la zona de Miramar, T=25 años.

Grado de amenaza	Área (Ha)	Porc. (%)
Baja	90.55	98.46%
Media	0.88	0.95%
Alta	0.54	0.58%



Figura 5.26 Gráfico de distribución porcentual de áreas según grado de amenaza para la zona de Miramar, Tr=25 años.

Distribución de áreas para la zona de Miramar Tr=50 años

Tabla 5.6 Distribución de áreas por grado de amenaza para la zona de Miramar, T=50 años.

Grado de amenaza	Área (Ha)	Porc. (%)
Baja	90.10	97.98%
Media	1.23	1.33%
Alta	0.63	0.69%

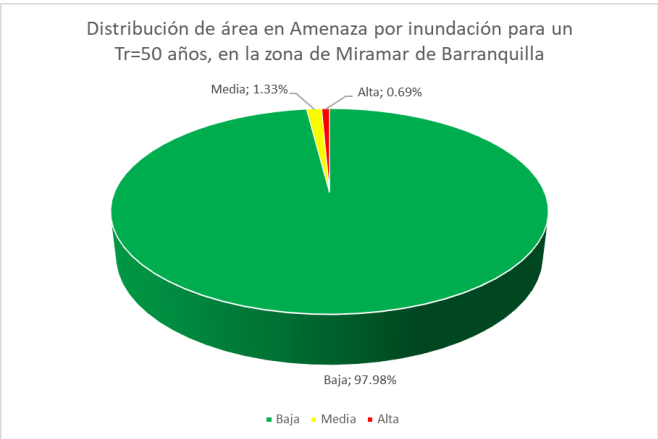


Figura 5.27 Gráfico de distribución porcentual de áreas según grado de amenaza para la zona de Miramar, Tr=50 años.

Distribución de áreas para la zona de Miramar Tr=100 años

Tabla 5.7 Distribución de áreas por grado de amenaza para la zona de Miramar, T=100 años.

Grado de amenaza	Área (Ha)	Porc. (%)
Baja	89.66	97.49%
Media	1.54	1.68%
Alta	0.76	0.83%



Figura 5.28 Gráfico de distribución porcentual de áreas según grado de amenaza para la zona de Miramar, Tr=100 años.

Distribución de áreas para la zona de Miramar Tr=200 años

Tabla 5.8 Distribución de áreas por grado de amenaza para la zona de Miramar, T=200 años.

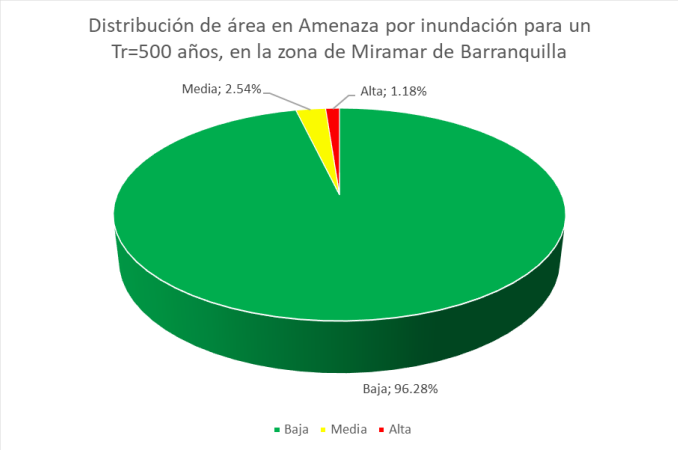
Grado de amenaza	Área (Ha)	Porc. (%)
Baja	89.19	96.98%
Media	1.87	2.04%
Alta	0.90	0.98%



Figura 5.29 Gráfico de distribución porcentual de áreas según grado de amenaza para la zona de Miramar, Tr=200 años.

Distribución de áreas para la zona de Miramar Tr=500 años

Tabla 5.9 Distribución de áreas por grado de amenaza para la zona de Miramar, T=500 años.



Grado de amenaza	Área (Ha)	Porc. (%)
Baja	88.54	96.28%
Media	2.33	2.54%
Alta	1.09	1.18%

Figura 5.30 Gráfico de distribución porcentual de áreas según grado de amenaza para la zona de Miramar, Tr=500 años.

De la zona del polígono norte o zona de Miramar, se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- El modelo y su calibración fue satisfactorio, siendo que la condición de lluvias normales es decir las lluvias de 2 años de periodo de retorno son coincidentes con condiciones de lluvias fuertes anuales en las que las estructuras existentes han tenido buenos desempeños.
- Para la zona se identificaron 3 zonas de especial interés:
  - ✓ Zona superior cerca a los culverts que atraviesan la vía Circunvalar

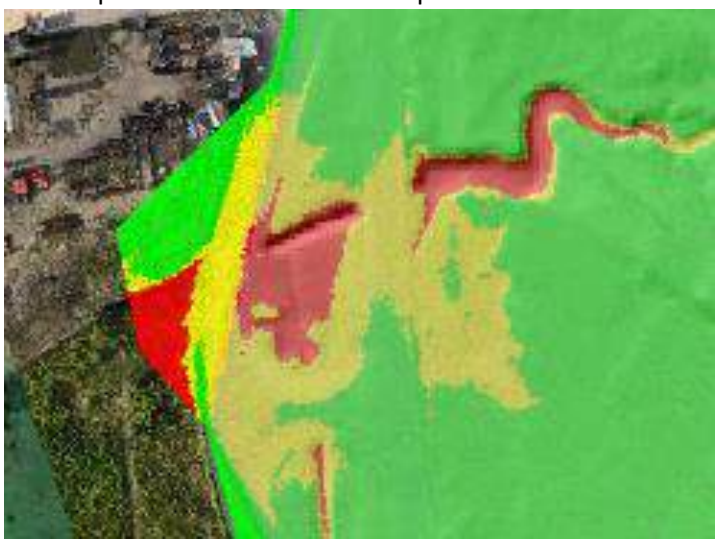


Figura 5.31 Acercamiento de la zona de interés cerca al cruce con la vía circunvalar para el modelo Tr=500a.

En esta zona a medida que se involucran lluvias críticas de mayor precipitación comienzan a percibirse desbordes desde las modelaciones con lluvia de 50 años de tiempo de retorno. Teniendo en cuenta esto es conveniente tener una adecuada limpieza de estos culverts (Figura 5.32), considerando que en la actualidad existe ya acumulación de sólidos y basuras en el canal existente, lo cual podría conllevar a obstrucciones parciales o totales futuras que exacerben la situación de desbordes en un evento crítico.



Figura 5.32 Culvert que atraviesa la circunvalar con presencia de materiales sólidos

- ✓ Hacia la parte sur se detectó otra zona de culvert, la cual se modeló considerando que no hubiera salida de agua, considerando posibles taponamientos producto de la caída de troncos y acumulaciones de basura.

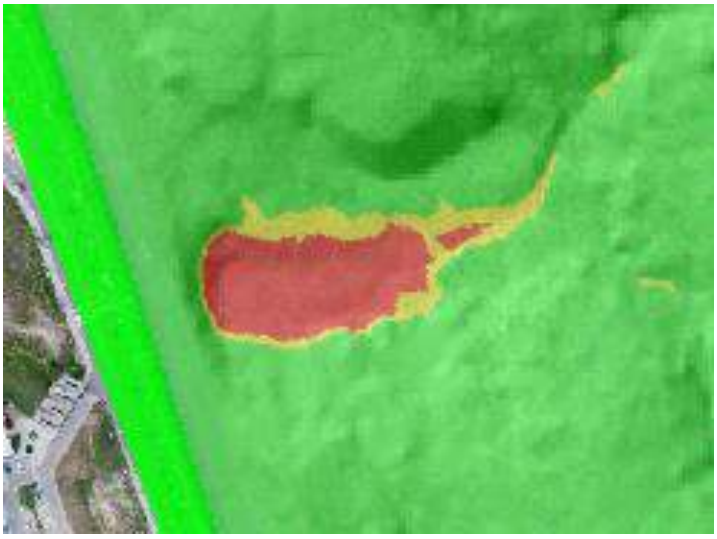


Figura 5.33 Zona de culvert cerca a muro de tierra.

No obstante que se detectó una gran acumulación de agua en el sector durante las modelaciones, se destaca el hecho que aún para la condición más crítica el nivel del agua no alcanzó a sobrepasar la vía circunvalar.

- ✓ Adicionalmente se identificó un encharcamiento en uno de los lotes cercanos a la vía circunvalar. Si verificamos que dicho encharcamiento aún para la condición

más extrema no llegó a condición de amenaza alta ni tampoco llegó a niveles por encima de la vía alterna.

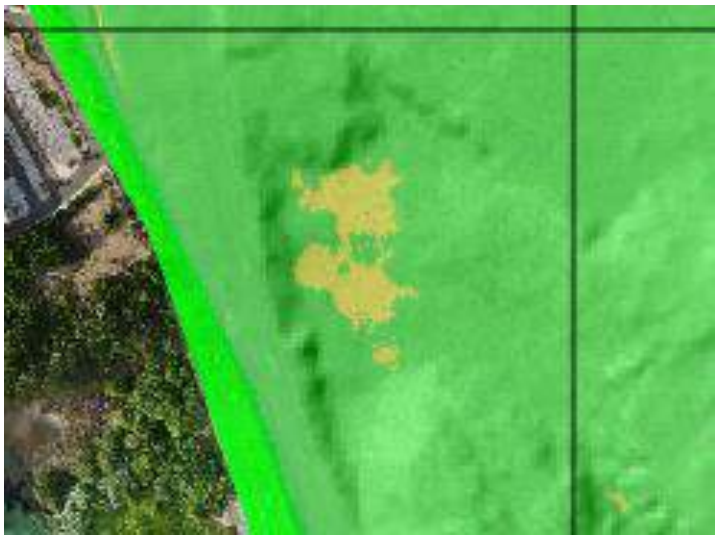


Figura 5.34 Zona de encharcamiento en la zona.

- ✓ Finalmente, se resalta que si bien hubo algunas celdas aisladas que mostraron valores de amenaza media o alta, en la zona alta del polígono de Miramar en las zonas de las urbanizaciones. Estos puntos al ser aislados indican puntos ya sea de concentración o puntos en que el modelo asume pendientes altas para las paredes de los edificios, por lo que dichos indicativos de amenaza son despreciables.
- ✓ Es conveniente efectuar estudios detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por los fenómenos de inundación en las áreas en las que la zonificación permite identificar escenarios de amenaza por inundación media y alta, que diluciden de manera minuciosa la condición de riesgo.

5.4.3 Resultados zona del polígono sur (Ladera Occidental)

La Figura 5.15 a la Figura 5.22 muestran la zonificación de la amenaza por inundación para el área modelada para los periodos de retorno considerados en el polígono sur (Ladera occidental).

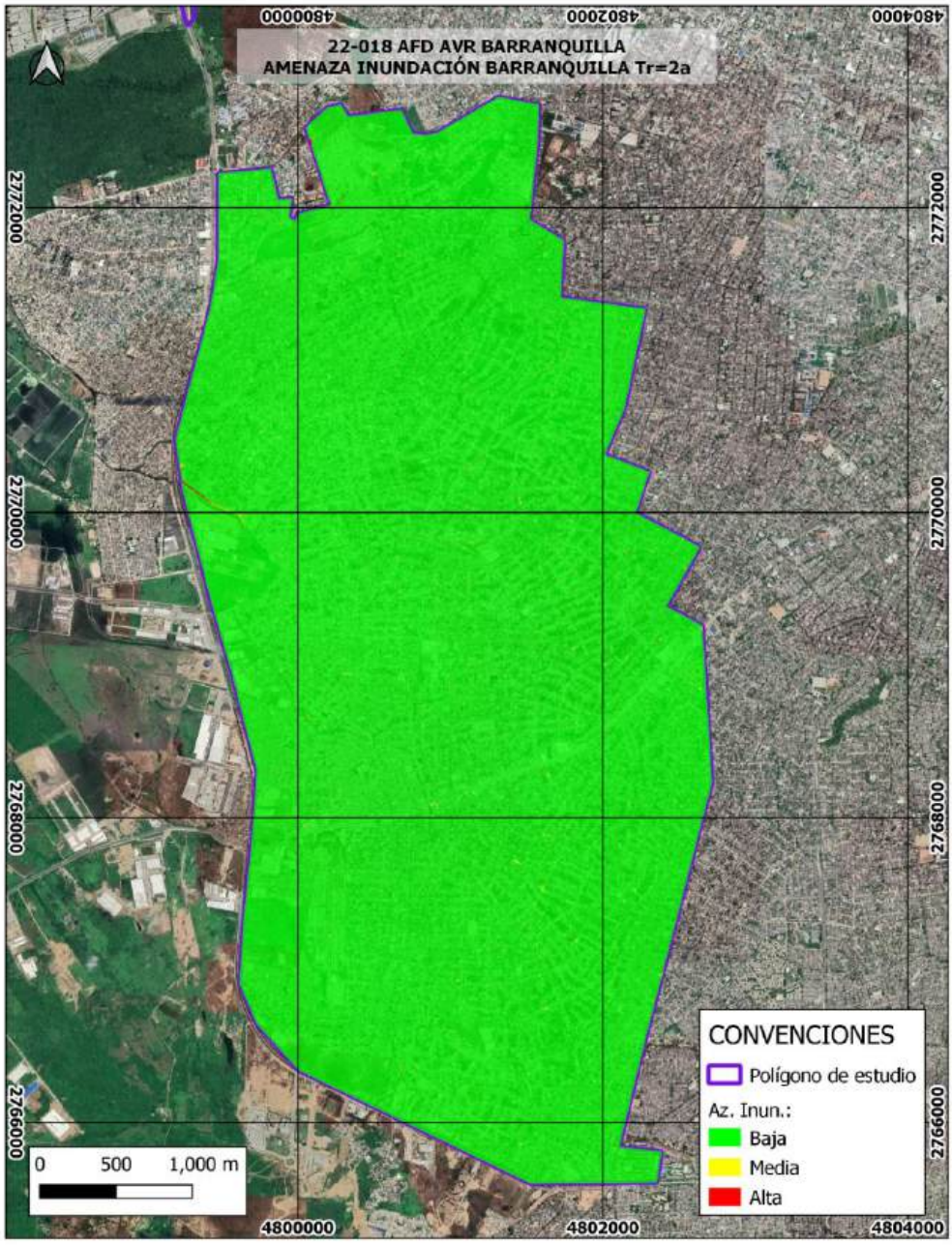


Figura 5.35 Resultados de amenaza por inundación para las lluvias críticas con Tr=2años para el polígono sur.

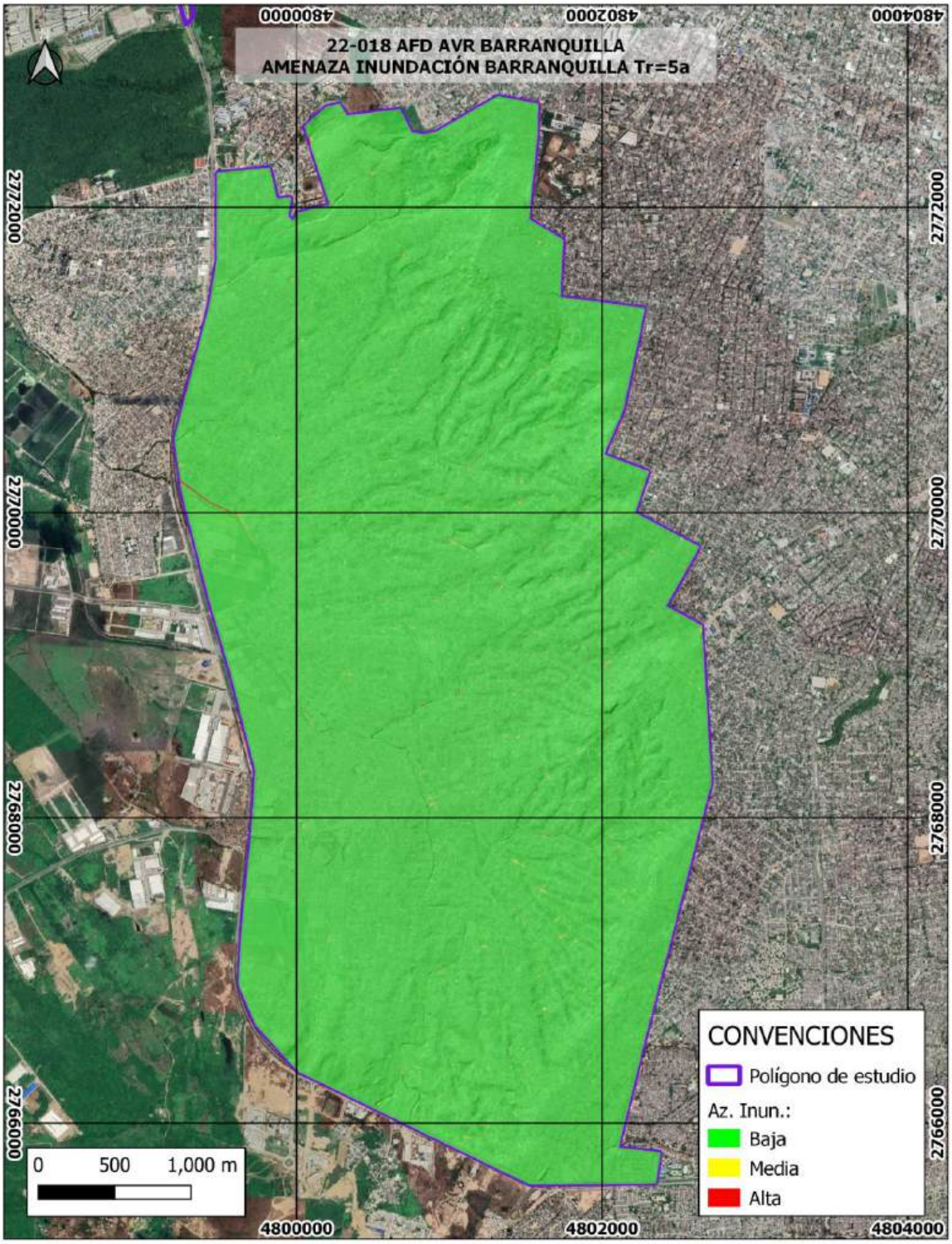


Figura 5.36 Resultados de amenaza por inundación para las lluvias críticas con Tr=5años para el polígono sur.

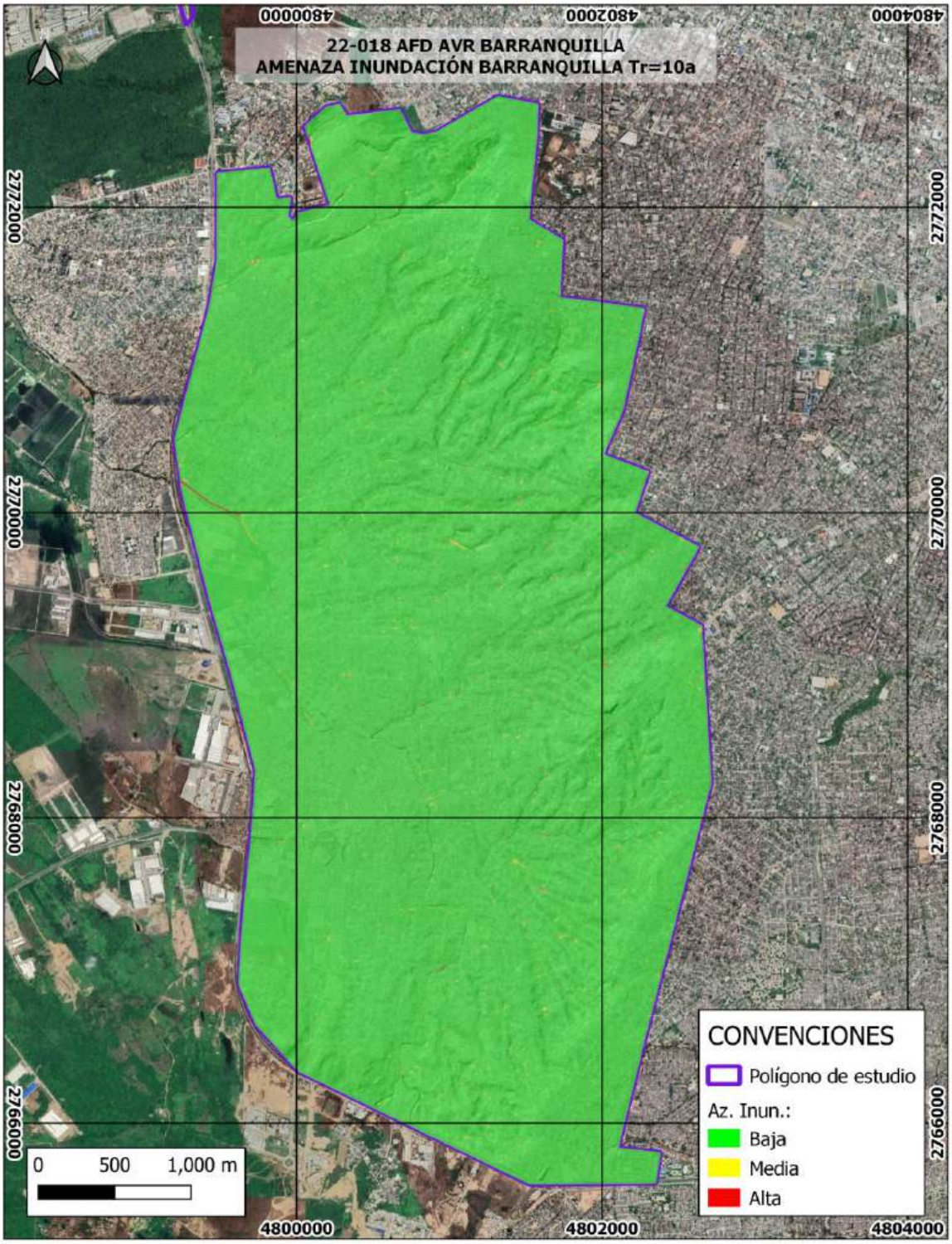


Figura 5.37 Resultados de amenaza por inundación para las lluvias críticas con Tr=10años para el polígono sur.

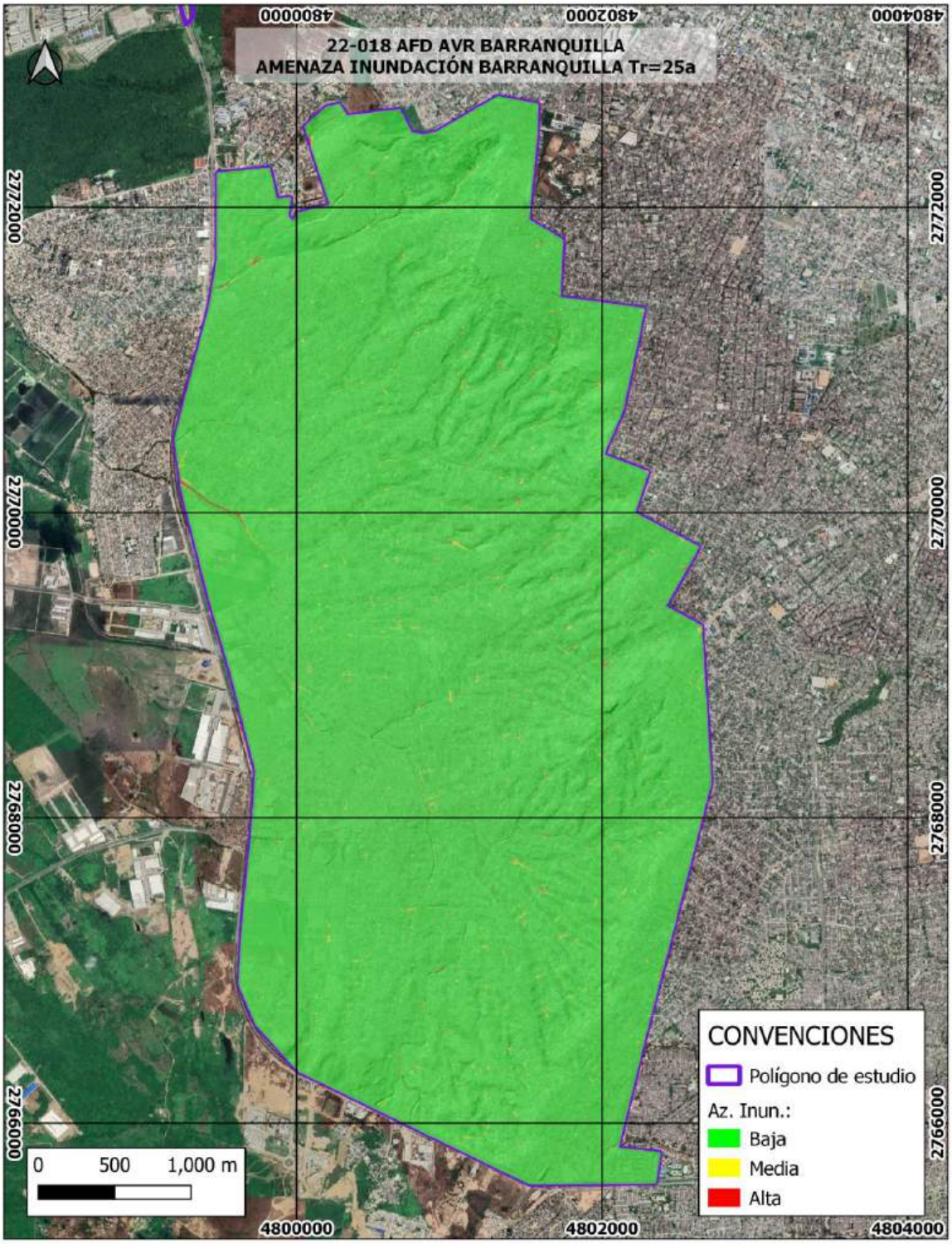


Figura 5.38 Resultados de amenaza por inundación para las lluvias críticas con Tr=25años para el polígono sur.

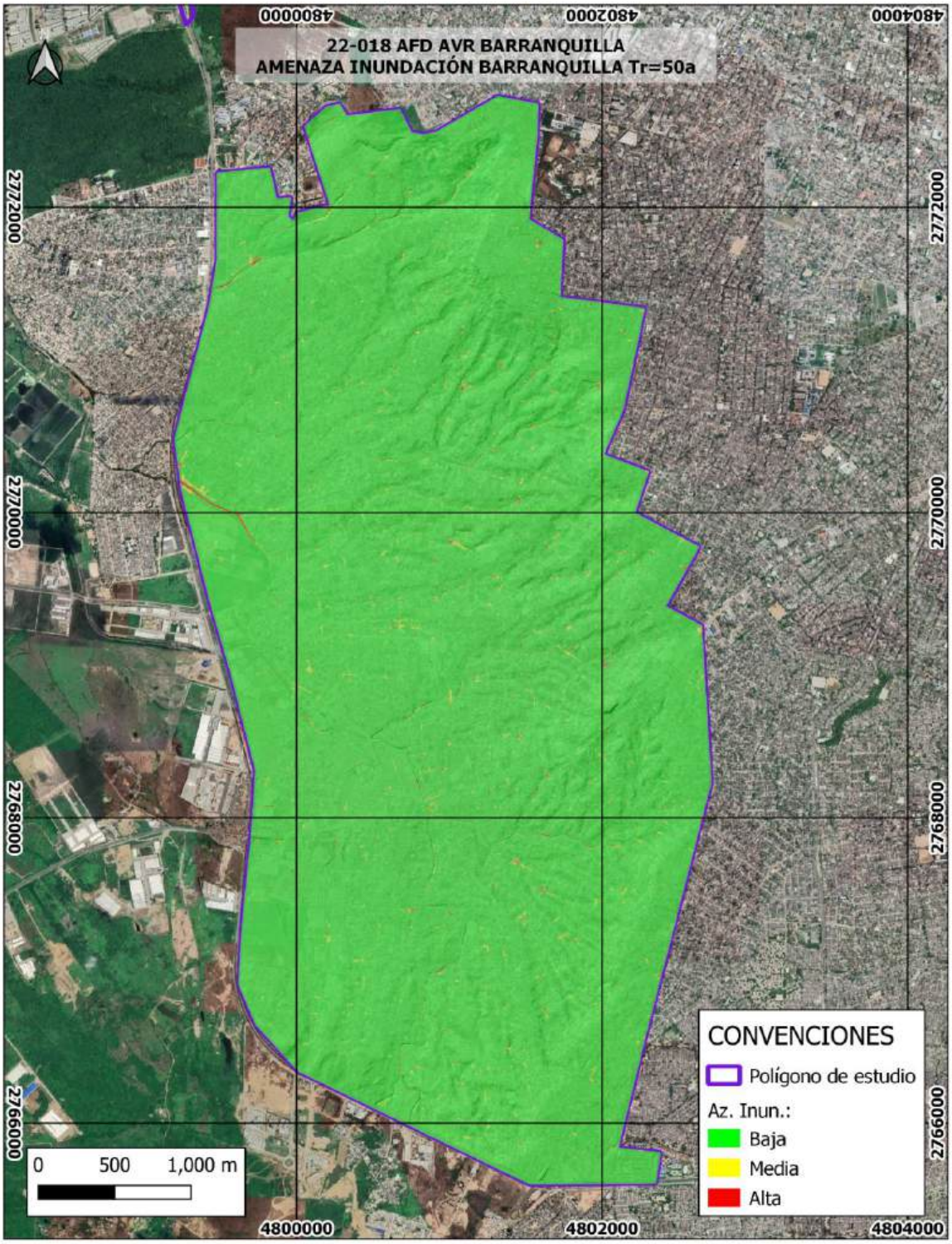


Figura 5.39 Resultados de amenaza por inundación para las lluvias críticas con Tr=50años para el polígono sur.

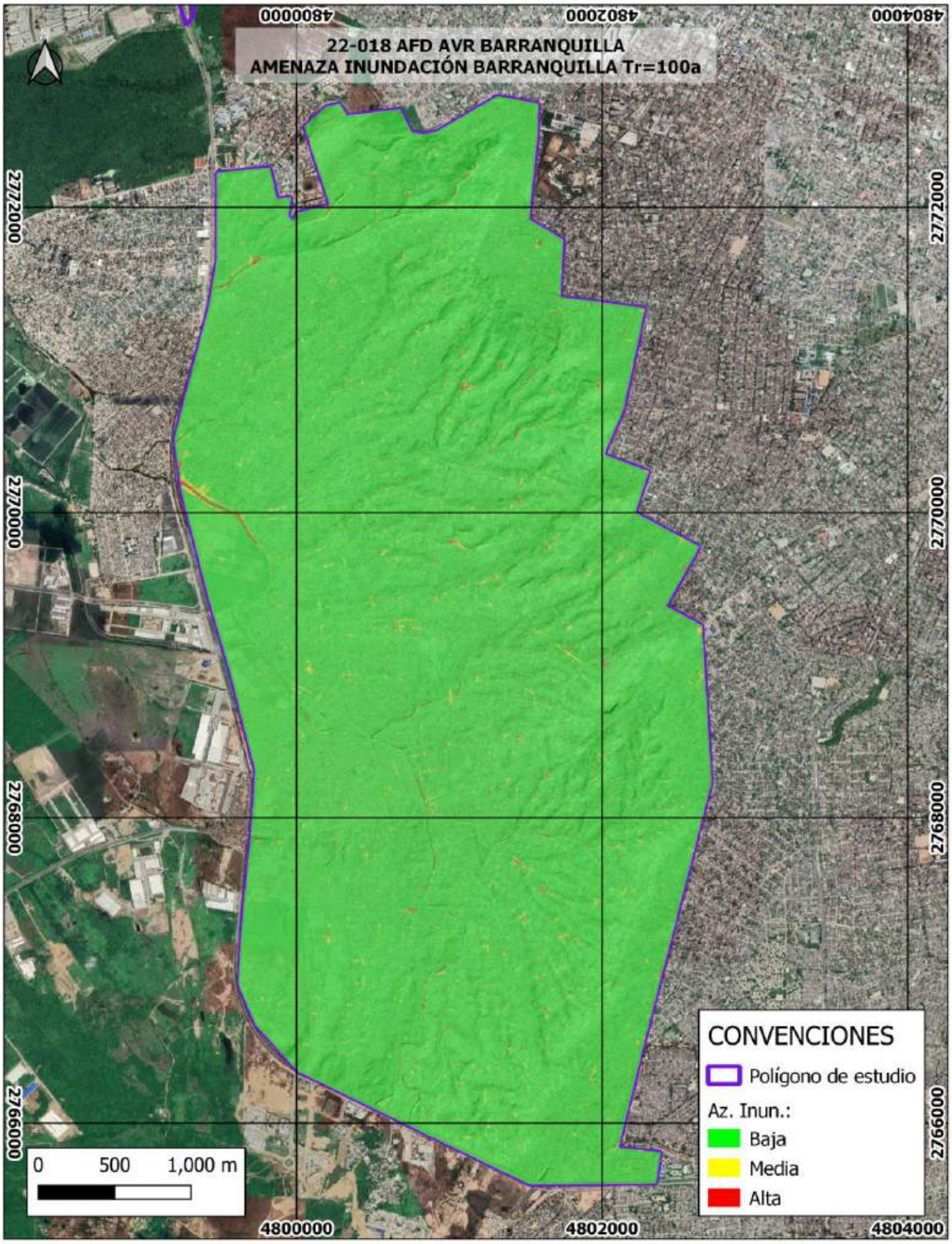


Figura 5.40 Resultados de amenaza por inundación para las lluvias críticas con Tr=100años para el polígono sur.

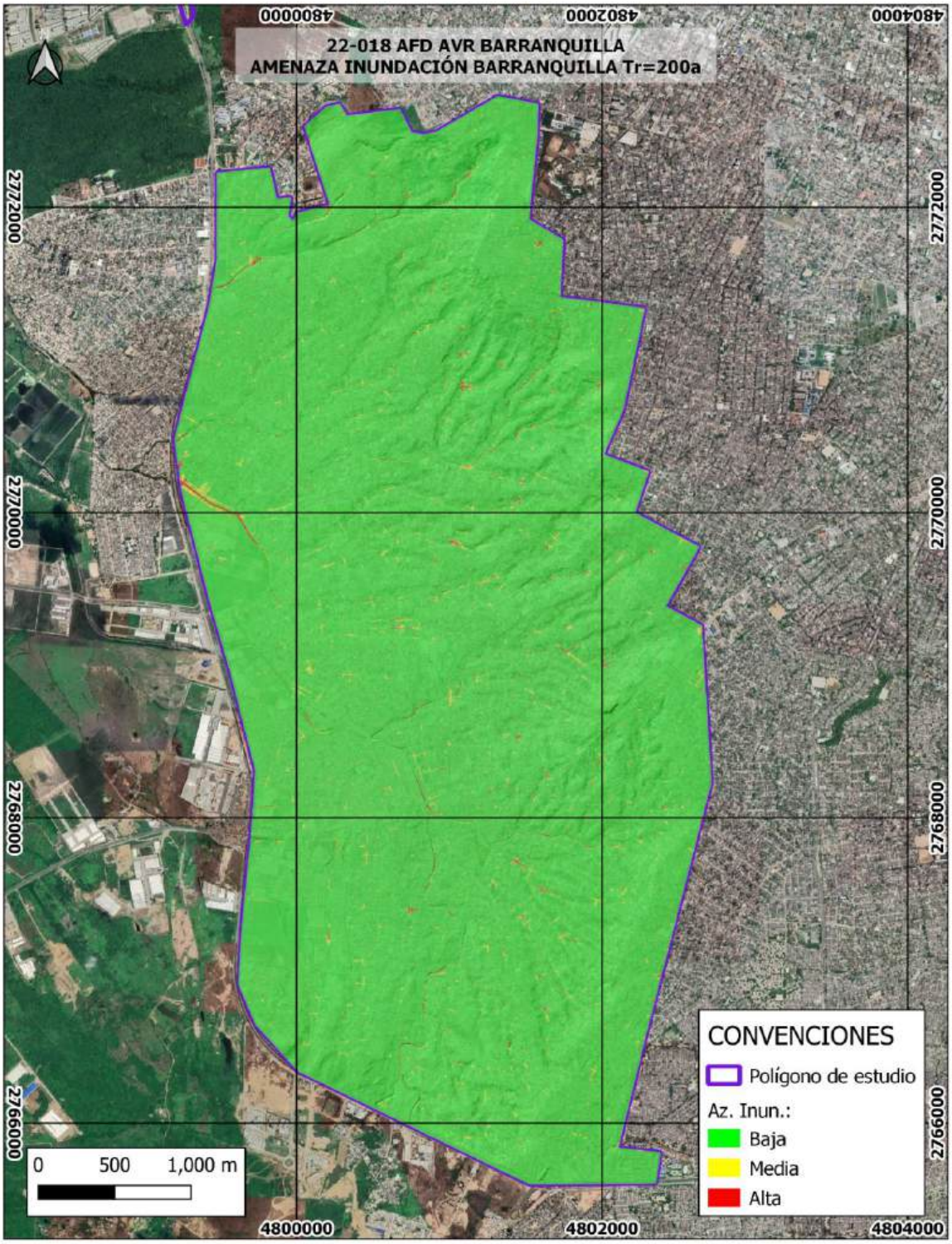


Figura 5.41 Resultados de amenaza por inundación para las lluvias críticas con Tr=200años para el polígono sur.

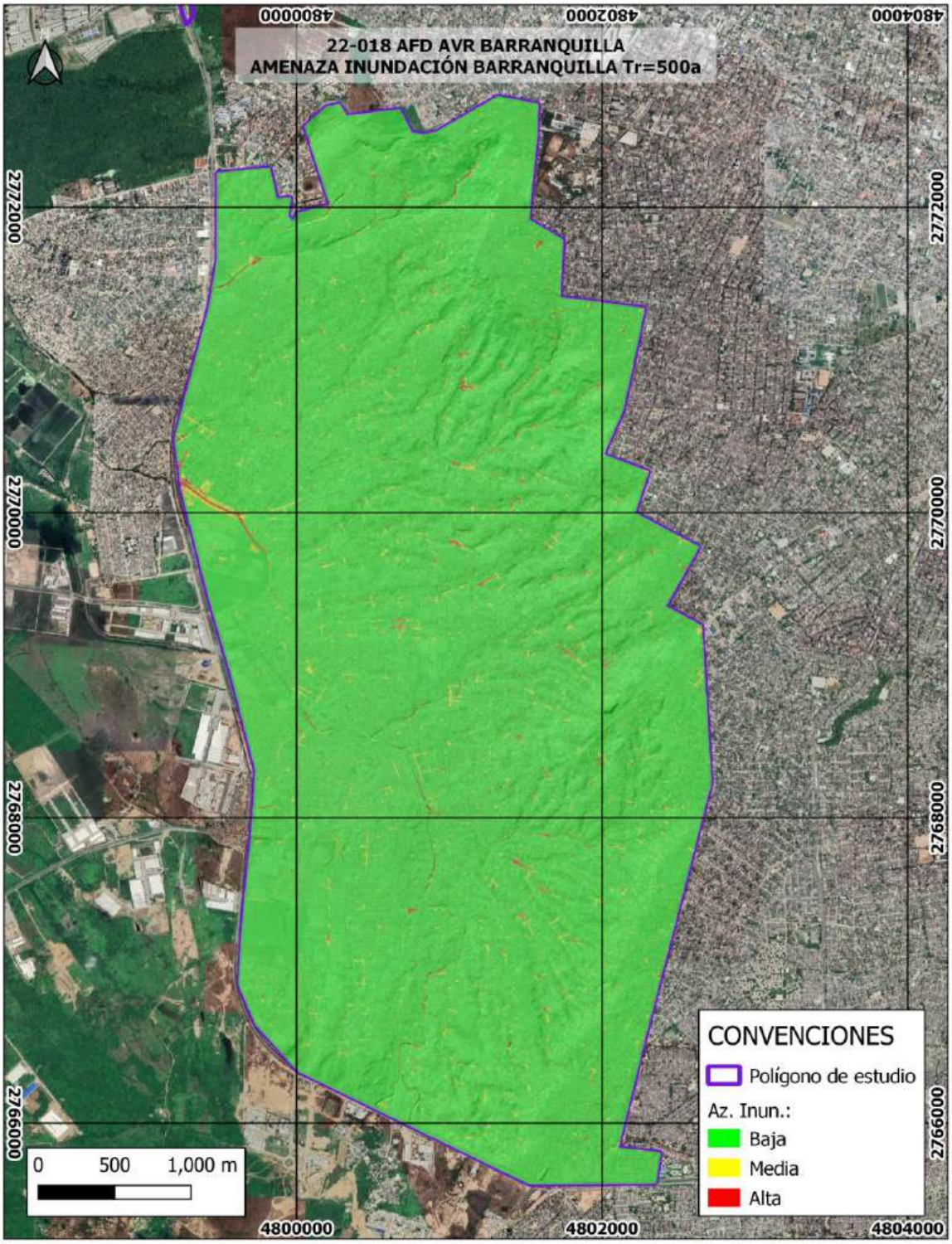


Figura 5.42 Resultados de amenaza por inundación para las lluvias críticas con Tr=500años para el polígono sur.

Las distribuciones de áreas en función del grado de amenaza se presentan para cada periodo de retorno a continuación:

Distribución de áreas para la zona de Ladera Occidental de Barranquilla Tr=2 años

Tabla 5.10 Distribución de áreas por grado de amenaza para la zona de Ladera Occidental, Tr=2 años.

Grado de amenaza	Área (Ha)	Porc. (%)
Baja	91.44	99.45%
Media	0.34	0.37%
Alta	0.17	0.18%

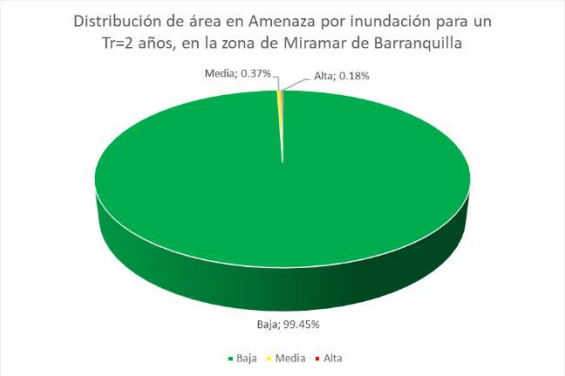


Figura 5.43 Gráfico de distribución porcentual de áreas según grado de amenaza para la zona de Miramar, Tr=2 años.

Distribución de áreas para la zona de Ladera Occidental de Barranquilla Tr=5 años

Tabla 5.11 Distribución de áreas por grado de amenaza para la zona de Ladera Occidental, Tr=5 años.

Grado de amenaza	Área (Ha)	Porc. (%)
Baja	1800.64	99.14%
Media	14.24	0.78%
Alta	1.36	0.07%

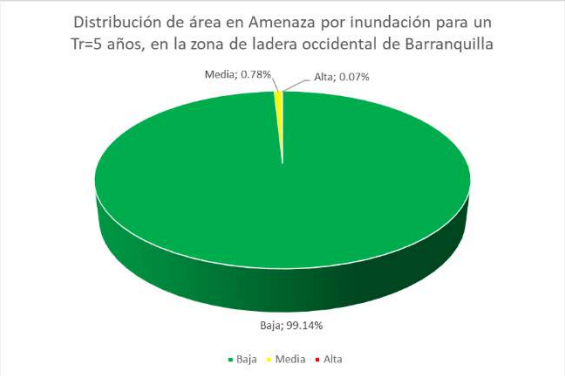


Figura 5.44 Gráfico de distribución porcentual de áreas según grado de amenaza para la zona de Miramar, Tr=5 años.

Distribución de áreas para la zona de Ladera Occidental de Barranquilla Tr=10 años

Tabla 5.12 Distribución de áreas por grado de amenaza para la zona de Ladera Occidental, Tr=10 años.

Grado de amenaza	Área (Ha)	Porc. (%)
Baja	1793.22	98.73%
Media	20.91	1.15%
Alta	2.12	0.12%



Figura 5.45 Gráfico de distribución porcentual de áreas según grado de amenaza para la zona de Miramar, Tr=10 años.

Distribución de áreas para la zona de Ladera Occidental de Barranquilla Tr=25 años

Tabla 5.13 Distribución de áreas por grado de amenaza para la zona de Ladera Occidental, Tr=25 años.

Grado de amenaza	Área (Ha)	Porc. (%)
Baja	1781.34	98.08%
Media	31.36	1.73%
Alta	3.55	0.20%



Figura 5.46 Gráfico de distribución porcentual de áreas según grado de amenaza para la zona de Miramar, Tr=25 años.

Distribución de áreas para la zona de Ladera Occidental de Barranquilla Tr=50 años

Tabla 5.14 Distribución de áreas por grado de amenaza para la zona de Ladera Occidental, Tr=50 años.

Grado de amenaza	Área (Ha)	Porc. (%)
Baja	1770.06	97.46%
Media	41.20	2.27%
Alta	4.98	0.27%

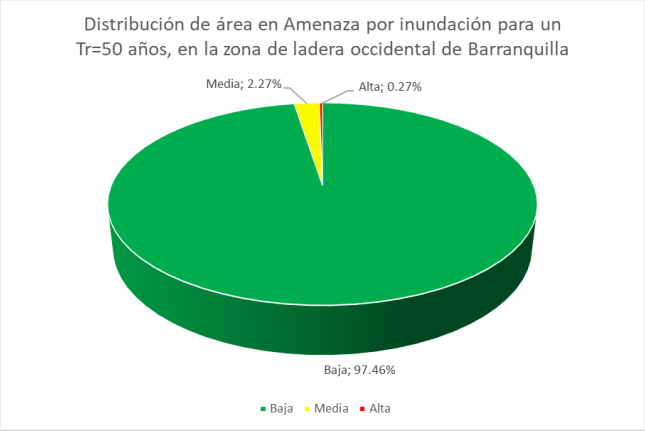


Figura 5.47 Gráfico de distribución porcentual de áreas según grado de amenaza para la zona de Miramar, Tr=50 años.

Distribución de áreas para la zona de Ladera Occidental de Barranquilla Tr=100 años

Tabla 5.15 Distribución de áreas por grado de amenaza para la zona de Ladera Occidental, Tr=100 años.

Grado de amenaza	Área (Ha)	Porc. (%)
Baja	1758.84	96.84%
Media	50.59	2.79%
Alta	6.82	0.38%



Figura 5.48 Gráfico de distribución porcentual de áreas según grado de amenaza para la zona de Miramar, Tr=100 años.

Distribución de áreas para la zona de Ladera Occidental de Barranquilla Tr=200 años

Tabla 5.16 Distribución de áreas por grado de amenaza para la zona de Ladera Occidental, Tr=200 años.

Grado de amenaza	Área (Ha)	Porc. (%)
Baja	1745.43	96.10%
Media	61.61	3.39%
Alta	9.21	0.51%

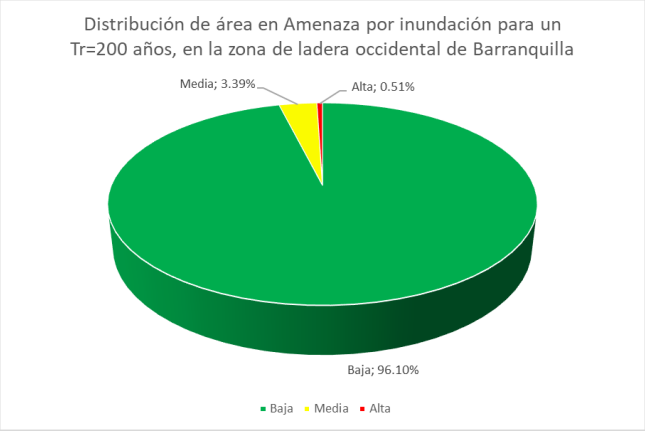


Figura 5.49 Gráfico de distribución porcentual de áreas según grado de amenaza para la zona de Miramar, Tr=200 años.

Distribución de áreas para la zona de Ladera Occidental de Barranquilla Tr=500 años

Tabla 5.17 Distribución de áreas por grado de amenaza para la zona de Ladera Occidental, Tr=500 años.

Grado de amenaza	Área (Ha)	Porc. (%)
Baja	1726.82	95.08%
Media	76.39	4.21%
Alta	13.05	0.72%

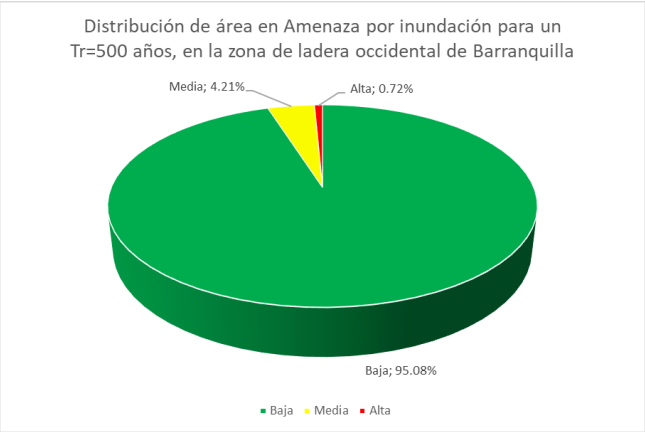


Figura 5.50 Gráfico de distribución porcentual de áreas según grado de amenaza para la zona de Miramar, Tr=500 años.

De la zona del polígono sur o Ladera occidental de Barranquilla al sur de la Cra 38 , se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- Las condiciones de calibración y modelación fueron acordes para los modelos de periodo de retorno bajo, respecto a lo encontrado en la zona.
- En general se vieron resultados en que los resultados de inundación indican que las zonas críticas por el fenómeno fueron localizadas y no generalizadas, lo cual es congruente con zonas urbanas en que las cuencas son pequeñas y que no tienen caudales permanentes (los caudales "permanentes" existentes son de aguas residuales). Al depender los flujos de mayoría de cauces de la precipitación, no se tiene efecto sobre un cuerpo de agua existente, sino que los flujos aparecen durante los eventos de lluvia.
- En particular se encontraron algunos sectores en los que hubo flujos que llegaron a generar condiciones de amenaza localizada de interés, que se presentan a continuación:

  ✓ A la altura de la Cll 103 con Cra 33 (Figura 5.51), se encontró una zona de concentración de amenaza media a alta. Si bien parte de estos resultados quedan dentro de la zona canalizada, posibles obstrucciones en el culvert (por basuras, follajes, etc.) generarían desbordes a zonas cercanas.



Figura 5.51 Zona de amenaza localizada en la Cll 103 con Cra 33.

  ✓ Sobre la Cra. 27B con Cll 81D (Figura 5.52), se presentan varios puntos de amenaza y aunque en su mayoría sobre el cauce, se ven puntos alrededor asociados con desbordes o altas velocidades de sus afluentes.



Figura 5.52 Zona de amenaza localizada en la Cra. 27B con Cll 81D.

- ✓ En la Cra 21 con Cll 75B se percibió una zona de amenaza alta en la confluencia de varias vías, y algo similar sucede en la Cll 72B con cra 22B (Figura 5.53). Cercanos a estos puntos se evidenciaron puntos de amenaza alta, aunque la mayoría ya encauzados.



Figura 5.53 Zonas de amenaza localizadas entre la Cra. 27B con Cll 81D y la Cll 72B con cra 22B.

- ✓ Cerca a la zona de la Cra 12A con circunvalar se encuentran zonas de amenaza alta, que si bien en general la zona de amenaza alta se encuentra en el cauce y por ende no afectaría en gran forma a la población, se extiende una zona de amenaza media alrededor de la zona, índice de desbordes del arroyo.



Figura 5.54 Zona de amenaza localizada en la Cra 12A con circunvalar.

- ✓ Sobre la zona de la Cll 77 con Cra 9J1 (Figura 5.55) en las inmediaciones del IED José Raimundo Sojo, se concentra una zona de amenaza alta, producto del cruce de un arroyo en la zona. De igual forma entre las diagonales 69 y 69C y entre carreras 9L y 10, se encuentran también unas zonas de amenaza media y alta, en lo que también sería un cruce de un arroyo pluvial, que también genera una zonas de amenaza alta aguas abajo en la diag 69D con calle 75



Figura 5.55 Zonas de amenaza localizadas entre la Cll 77 con Cra 9J1 y la diag 69 con cra 9L.

- ✓ Sobre la Cll 93 entre las carreras 9 y 9B se concentra una zona de amenaza media y alta, en forma aislada que vale la pena tener en cuenta pues afecta alrededor de 6 manzanas por la acumulación de flujos.



Figura 5.56 Zona de amenaza localizada en la Cll 93 entre las carreras 9 y 9B.

- ✓ En la zona de la Cll 60A con Cra 9A (Figura 5.57) se encuentra una zona de amenaza alta concentrada, y en cercanías a este punto también se encuentran puntos de alta amenaza en la Cra 9L entre calles 60A y 61 y en la Cll 63 con cra

9B, correspondientes a zonas afluentes de la canalización sobre la Cra 9B, la cual de igual forma muestra desbordamientos sobre entre las Cll 60b y la Cll 60B en donde se evidencia una zona de amenaza media.



Figura 5.57 Zonas de amenaza localizadas entre la Cll 60A con Cra 9A y la Cll 63 con cra 9B.

- ✓ También se puede verificar zonas de amenaza alta en las intersecciones de la Cll 54E con Cra 2G y en la Cll 55D con Cra 3A, zonas previas a la canalización que se observa en la Cll 73B con Cra 3A.



Figura 5.58 Zonas de amenaza localizadas entre la Cll 54E con Cra 2G y en la Cll 55D con Cra 3ª.

Así como estos puntos mencionados existen algunos otros de amenaza media y alta dentro del área de estudio que corresponden a zonas puntuales de interés donde en general para las zonas más altas y con pendiente del área de estudio corresponden a zonas de flujos rápidos, mientras que para las zonas de la parte baja en general se encuentran sectores afectados por acumulaciones de flujo lento pero de mayor profundidad. Se recomiendan las siguientes estrategias con el fin de reducir los efectos de inundaciones en el área de estudio:

- Ampliar las obras de infraestructura existentes y construir obras adecuadas en zonas de amenaza que permitan la gestión del agua de lluvia, tales como canales de desagüe, colectores pluviales, zanjas de infiltración, entre otros. Es importante que estas estructuras sean diseñadas y construidas de acuerdo a las necesidades específicas de cada zona y con periodos de retorno altos que consideren eventos a largo plazo (por lo menos Tr=100años).
- Crear zonas verdes en áreas urbanas, ya que esto puede ayudar a reducir la cantidad de agua que fluye hacia las alcantarillas y canalizaciones. Las zonas verdes también pueden mejorar la calidad del aire y proporcionar áreas recreativas para los residentes.
- Establecer un plan de limpieza de canales que permita extraer no sólo sedimentos, troncos y follaje de árboles que lleguen a las canalizaciones, sino también poder sacar basuras y demás residuos que pudieran llegar a los cauces.
- Promover la educación sobre el cuidado del medio ambiente y el manejo adecuado de los residuos. Los residuos sólidos pueden obstruir las alcantarillas y provocar inundaciones, particularme. Por ello, es fundamental que la población esté consciente de la importancia de mantener las calles y las alcantarillas libres de residuos.
- Capacitar a la población e implementar un sistema de alerta temprana que permita a los residentes de las zonas vulnerables prepararse ante una posible inundación. Esto puede incluir la instalación de sirenas, la distribución de folletos informativos o la creación de una aplicación móvil. La educación respecto a las amenazas por inundaciones también debe ayudar a evitar las pérdidas de vidas humanas por cuenta de personas que voluntariamente entran a los flujos rápidos buscando recuperar algún bien material.
- En el polígono sur, tal como se mencionó en las recomendaciones efectuadas para el polígono norte, es conveniente efectuar estudios detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por los fenómenos de inundación en las áreas en las que la zonificación permite identificar escenarios de amenaza por inundación media y alta, que diluciden de manera minuciosa la condición de riesgo.

Se anexan los planos de los resultados, así como los datos de coberturas en formato .shp.

6 EVALUACIÓN DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES

Los fenómenos de avenidas torrenciales corresponden a procesos de flujos hiperconcentrados con sedimentos y detritos, que presentan altas velocidades, grandes fuerzas de impacto y largos recorridos. Procesos como los mencionados pueden ser catastróficos en las poblaciones pues su poder destructivo es mayor al de las inundaciones, y su efecto en cuanto a pérdidas materiales y muertes es sustancialmente superior al de las inundaciones.

La revisión de evaluación de amenaza por avenidas torrenciales nace en Colombia a partir de condiciones propias de la nación como lo es la presencia de las cordilleras de los Andes en el territorio nacional que impacta en el relieve de una buena parte del área continental. Así las cosas, es un fenómeno propio de zonas montañosas de pendientes fuertes, en donde los flujos de aguas se vuelven muy erosivos y rápidamente comienzan a transportar sedimentos, rocas, troncos de árboles, etc., n un flujo turbulento que se mueve a velocidades incluso mayores a las que podrían tener flujos meramente líquidos.

Este fenómeno en cuestión no afecta a la ciudad de Barranquilla, por cuanto el fenómeno que realmente se presenta en la ciudad es el de las inundaciones. En este sentido a continuación se darán las justificaciones de esta afirmación, basados en la Guían metodológica para zonificación de amenazas por avenidas torrenciales del SGC (2021).

6.1 HISTORICIDAD

Durante la búsqueda de información de antecedentes, así como en la revisión de información secundaria de informes realizados por numerosas consultorías, no se encontraron registros de eventos de avenidas torrenciales en la zona de interés o sectores aledaños.

Las bases de datos existentes del SGC muestran registros de múltiples tipos de movimientos en masas, pero no se registran eventos de avenidas torrenciales, ni existen reportes de otras entidades gubernamentales (UNGRD, IDEAM, etc.). En este sentido se puede afirmar con cierta certeza que dicho fenómeno no ha ocurrido en la zona, al menos desde que se cuentan con registros.

6.2 APORTE EROSIVO

La zona de estudio corresponde a un sector urbano con mayoría de zonas duras (pavimentos, tejados, etc.). Lo anterior configura que, si bien los flujos tendrán mayor velocidad por ser las superficies menos “rugosas”, y por ende tendrían una mayor capacidad de erosión, al transcurrir sobre concreto o materiales similares, los flujos no erosionarían en forma súbita el concreto para generar una cantidad apreciable de detritos que formaran parte del flujo.

Si bien parte de la zona de estudio se encuentra en un sector no asentado, correspondiente al polígono norte en la zona de Miramar, dicho sector se encuentra densamente cubierto de vegetación que ayuda a contrarrestar los efectos erosivos del agua y reducir la velocidad en que la precipitación llega al suelo.

6.3 COBERTURAS GEOLÓGICAS

Dentro de las coberturas geológicas de la zona no se encontraron coberturas con un contenido importante de clastos, guijarros o bloques. Existen depósitos aluviales en el sector, pero los mismos no contienen cantidades importantes de materiales por encima del tamaño de arena y gravas finas.

Existen algunos depósitos antrópicos de escombros, sin embargo, sus espesores y cantidades no son tan importantes como para prescribir la generación importante de sedimentos y detritos para los flujos pluviales.

6.4 TOPOGRAFÍA

Como se ha mencionado, este tipo de fenómeno se presenta en regiones de relieve montañoso. La zona de la ciudad de Barranquilla se encuentra en una zona costera lejana de las zonas de cordillera o siquiera de sierras aisladas (como es el caso de la Sierra Nevada de Santa Marta). Su relieve es relativamente plano con pendientes generalmente bajas.

6.5 MORFOMETRÍA

Existen varios tipos de índices morfométricos documentados por equipos de investigadores en el campo de las avenidas torrenciales y flujos de detritos. El índice que mejor se ha correlacionado a la determinación de este tipo de eventos en el índice de Melton (Kain et al., 2018; Welsh, 2007; Wilford et al.,2004SGC, 2021).

El índice de Melton relaciona el relieve de una cuenca (Cota de elevación mayor – Cota de elevación menor) dividido por la raíz cuadrada del área de la cuenca, como se muestra a continuación:

$$R = H_b/\sqrt{A_b}$$

Donde:

H_b, es el relieve de la cuenca (Cota de elevación mayor – Cota de elevación menor)

A_b, es el área de la cuenca

Debido a que el área de la cuenca es en unidades de longitud cuadradas, este índice es adimensional (Km/Km).

Haciendo un análisis de cuencas para la zona de Miramar por métodos hidrológicos y usando información de herramientas Gis, se encontraron cuatro (4) subcuencas (Figura 6.1) con los siguientes valores del índice de Melton (Tabla 6.1):

Tabla 6.1 Valores de índices de Melton para la Zona de Miramar

ID	R (Melton)
1	0.18067
2	0.19160
3	0.09771
4	0.20065

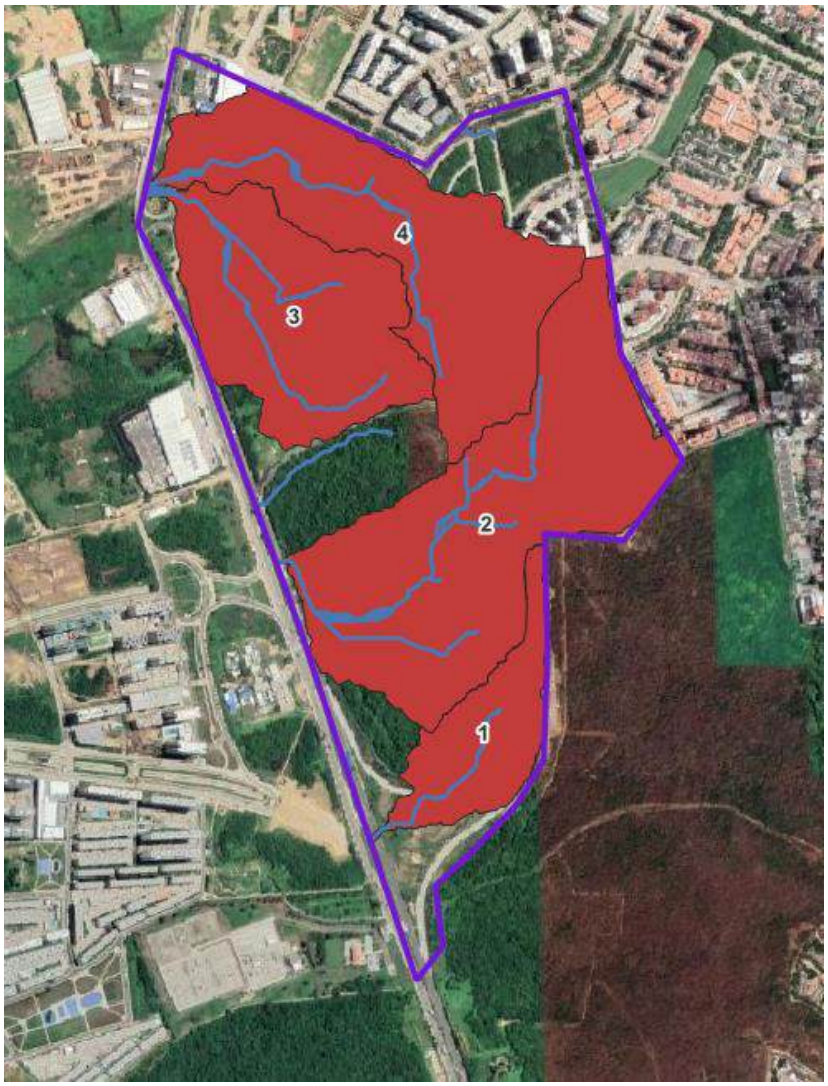


Figura 6.1 Cuencas identificadas para la zona de Miramar.

En forma similar se realizó el análisis para la zona de la ladera occidental. Se analizaron un total de 262 cuencas, para las cuales se muestran los valores más altos de índice de Melton (Tabla 6.2).

Tabla 6.2 Valores de índices de Melton para la zona del polígono sur (Ladera Occidental)

ID	R (Melton)
5	0.25
176	0.219
204	0.219
7	0.215
72	0.214
85	0.213

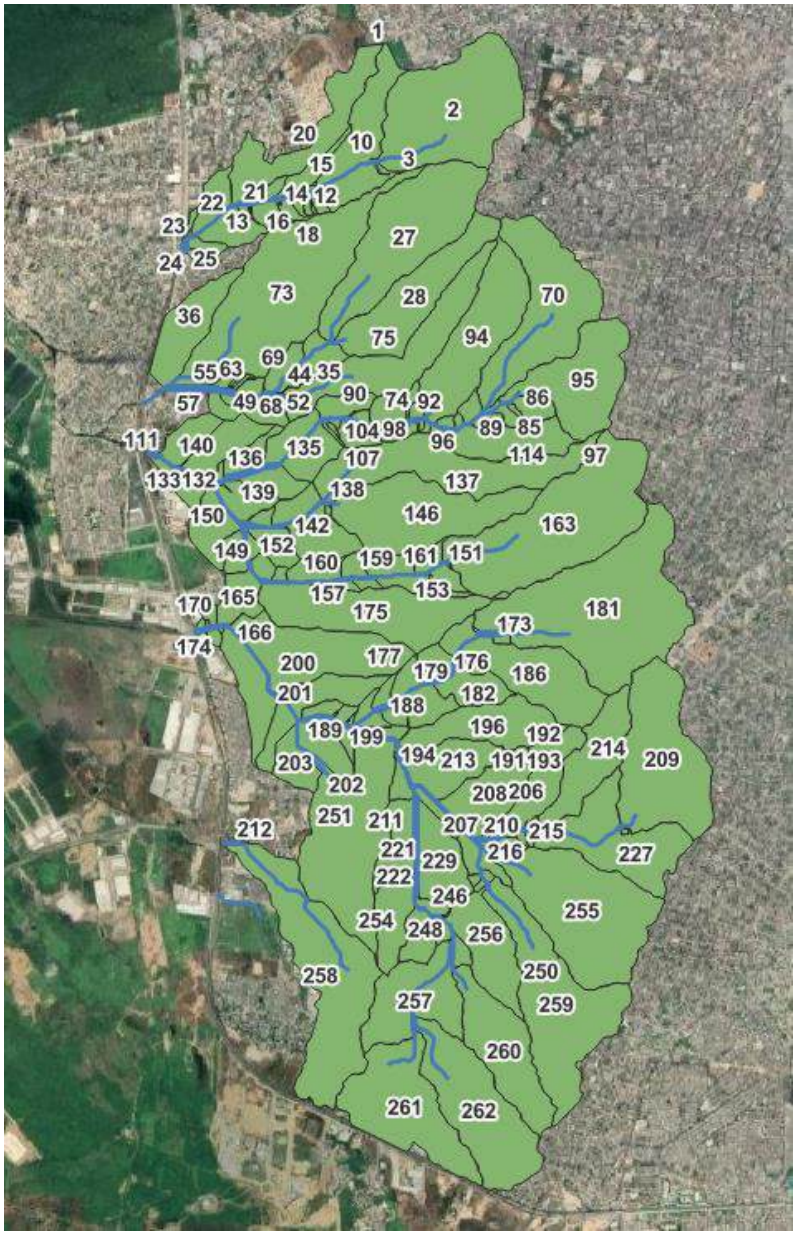


Figura 6.2 Cuencas identificadas para la zona del polígono sur (Ladera Occidental).

El índice de Melton tiene como límite el valor de 0.30 para referir a cuencas con posibilidad de fenómenos de Avenidas torrenciales o de inundación. El valor más alto encontrado en la zona del polígono sur fue de 0.25 y de 0.20 para la zona del polígono de Miramar, por lo que se puede afirmar que su morfometría no prescribe la posibilidad de eventos de Avenida Torrencial sino de inundaciones.

Ante las evidencias encontradas y los elementos de decisión analizados, se puede afirmar que el evento de Avenida torrencial no se presenta en la zona de estudio, siguiendo la información antecedente investigada, y lo establecido por la literatura como condicionante para este tipo de eventos. Los valores de índices morfométricos indicaron una propensión a la ocurrencia de eventos de inundaciones y no de avenidas torrenciales, fenómenos que ya fue objeto de estudio en el capítulo anterior.

El mapa resultante de Amenaza por Avenida Torrencial se presenta a continuación en la Figura 6.3:

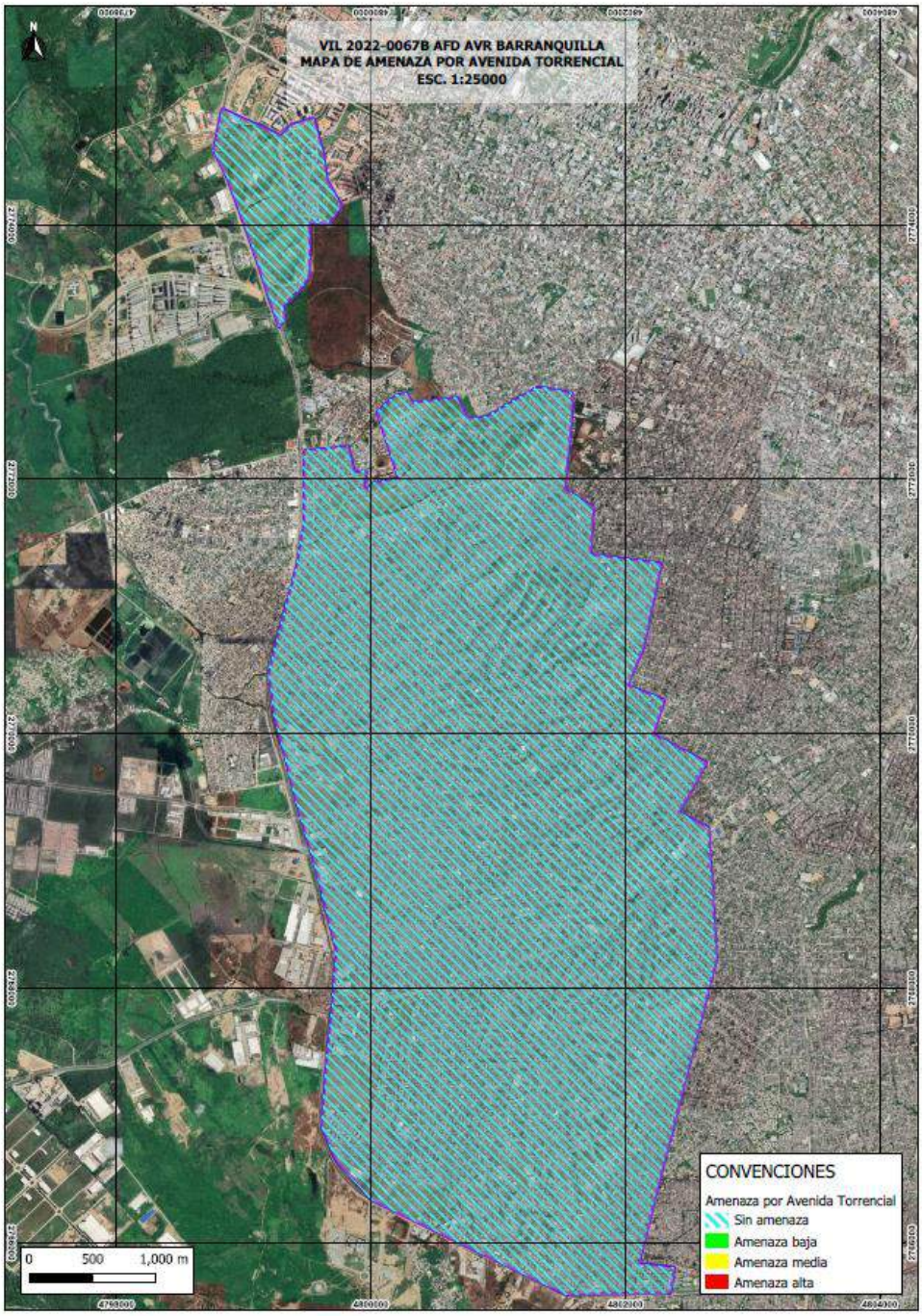


Figura 6.3 Mapa de zonificación por amenaza a Avenidas torrenciales para la zona de estudio.

7 GEOLOGÍA

7.1 DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO

Mediante el estudio de la Geología y las Unidades Geológicas Superficiales, se pretende caracterizar el área sobre el cual se ubican las laderas occidentales de la ciudad de Barranquilla, conociendo y clasificando las rocas, depósitos y suelos que conforman el terreno, agrupándolos según sus características ingenieriles y comportamiento asociados a la meteorización y fracturamiento por acción del fallamiento de la zona.

Este documento está basado en los resultados del trabajo de detalle realizado por el INGEOMINAS en el año 2011 y se complementó especialmente en la distribución de las zonas de llenos antrópicos que se han continuado haciendo en estas laderas especialmente en las áreas afectadas por movimientos en masa

Para realizar el inventario de movimientos en masa se realizaron recorridos por la ladera y se hizo la cartografía de las áreas afectadas, trabajo que complemento el trabajo previo de interpretación realizado a la ortofoto tomada en el mes de enero de 2023.

El control de campo permitió refinar los contactos especialmente de los movimientos en masa y hacer control de la litología plasmada en el mapa de unidades geológicas superficiales elaborado por el INGEOMINAS en el año 2011, trabajo donde que se caracterizaron y describieron las unidades de roca, suelo, estructuras, lineamientos y fallas.

La actualización de la información cartográfica se hizo a partir de la interpretación del foto mosaico tomado en el mes de diciembre de 2022 para este estudio y se complementó y verificó mediante recorridos de campo realizados en los polígonos objeto de estudio

7.2 LITOLOGÍA REGIONAL

De acuerdo con los estudios geológicos realizados hasta la fecha por el Servicio Geológico Colombiano para esta zona (Geología de las planchas 16 y 17 Galerazamba - Barranquilla, escala 1:100.000), en el departamento del Atlántico afloran rocas sedimentarias en su mayoría de origen marino de edad Paleógeno, Neógeno y depósitos cuaternarios litorales y continentales que forman parte de los cinturones de San Jacinto y Sinú.

Según Molina (1986), el área de Barranquilla se ha comportado como un paleoalto desde el Eoceno inferior (aproximadamente desde hace 55 millones de años), con eventos de sumergimiento asociados a transgresiones marinas durante el Eoceno medio, Oligoceno y Pleistoceno- Holoceno (1 millón de años).

En la Pancha 16 Y 17 Galerazamba Barranquilla afloran rocas sedimentarias y sedimentos débilmente consolidados y no consolidados, que comprenden desde el Paleoceno superior hasta el Reciente. La nomenclatura estratigráfica propuesta en este informe es una revisión de la ya conocida en la literatura (De Porta et al., 1974, Léxico Estratigráfico Internacional) y de la selección de una amplia

gama de nombres utilizados por diversos autores, que por su amplia divulgación o por conveniencia geológica o geográfica se han retomado ampliando en parte su sentido original.

A continuación, se hace una descripción general de la geología regional basados en la memoria explicativa de las planchas 16 y 17 Galerazamba -Barranquilla, escala 1:100.000 del 2001, publicadas por el INGEOMINAS.

Los estudios regionales elaborados por el INGEOMINAS indican que en el área de Barranquilla afloran rocas sedimentarias de origen marino profundo y transicional continental pertenecientes a la Formaciones Perdices y La Popa intercaladas con unidades de Areniscas Friables. Estas unidades se encuentran cubiertas por depósitos Cuaternarios correspondientes a materiales de origen aluvial, eólico, coluvial y de movimientos en masa. A continuación, se hace una descripción de las unidades estratigráficas que afloran en la zona de estudio iniciando de más antiguo a más joven. Las descripciones generales aquí presentadas, son tomadas de la memoria geológica de las planchas 16-17 Galerazamba y Barranquilla (INGEOMINAS, 2001).

7.2.1 Formación las Perdices (PgNgp)

Las Perdices es el nombre dado por Anderson (1929) para designar una secuencia de shales, shales arenosos, capas de chert y algunas areniscas observadas al suroccidente de Barranquilla en un sector rural denominado Las Perdices.

La Formación Las Perdices aflora en una extensa área, principalmente hacia la parte media y baja de las laderas occidentales de Barranquilla donde desarrolla morfologías suaves, con un relieve bajo a suavemente ondulado producto de procesos de meteorización y erosión de arroyos que drenan en dirección E-W.

La unidad está constituida por lodolitas de colores grises y amarillos, color que depende del grado de meteorización. Algunos niveles presentan fisilidad, mientras otros tienen una partición concoidea, con tintes de oxidación de color pardo y cristales de yeso.

Esta unidad tiene intercalaciones de arenitas cuarzosas de grano fino, color amarillo, con laminación plana paralela y en capas delgadas levemente onduladas. Con base en el resultado de exploraciones geotécnicas en el área occidental de Barranquilla el espesor esta unidad puede tener más de 20 metros de espesor

Por las características litológicas y texturales con aporte de sedimentos tamaño arcilla y limo, se considera que la Formación Las Perdices se depositó en un ambiente marino con profundidades batiales.

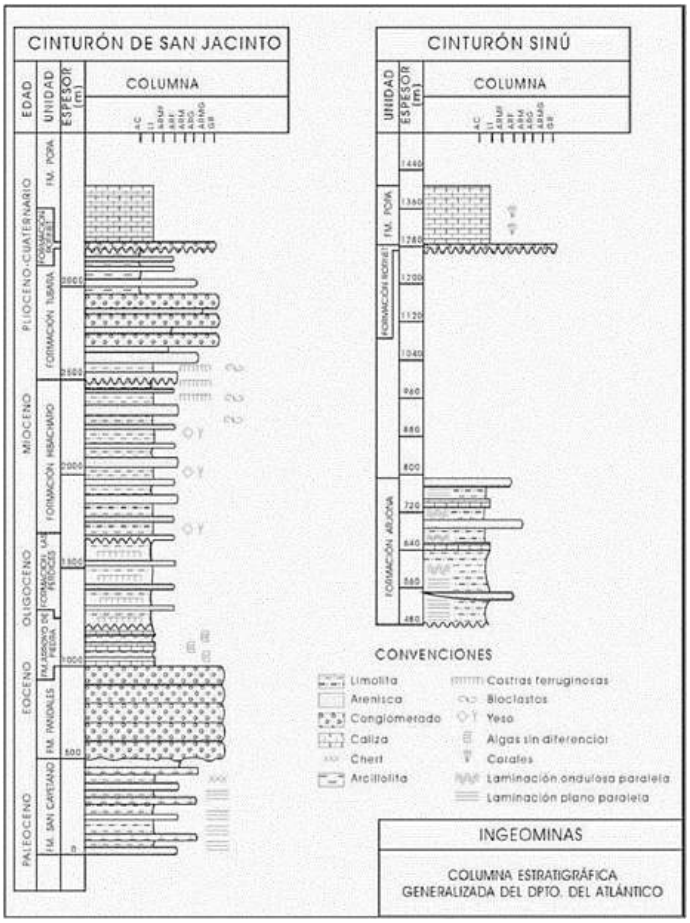


Figura 7.1 Columna estratigráfica generalizada del departamento del Atlántico, modificada de Reyes G. et al

Fuente: Memoria explicativa del mapa geológico generalizado del departamento del Atlántico, INGEOMINAS, 2000

Para Anderson (1929) la edad de esta unidad es del Mioceno; van der Hammen (1958) la considera del Mioceno inferior; Bürgl et al. (1955), en la sección del Arroyo Saco, establece un rango entre el Oligoceno y el Mioceno; Raasveldt (1953) le asigna una edad Oligocena.

7.2.2 Formación la Popa

La primera referencia de la unidad La Popa se encuentra en Anderson (1926) como La Popa Group, pero es Bürgl (1957) quien le da el nombre de Formación La Popa a los estratos que conforman el cerro de La Popa en Cartagena.

La Formación La Popa aflora en la parte noroeste del departamento, donde forma una serie de colinas abruptas y alargadas en las lomas de Camarón y Juaruco, al norte de Tubará, en las lomas de La Risota, Nisperal, Aguas Vivas y Pan de Azúcar en los alrededores de Puerto Colombia. Tiene un patrón de drenaje sub paralelo.

Por la vía Puerto Colombia – Barranquilla, Barrera (1999) levantó una sección formada por dos conjuntos, en la que se observaron de base a techo:

7.2.2.1 Conjunto Inferior

Se compone de 18 m de calizas terrígenas de color gris amarillo, bioturbadas y arenitas calcáreas de grano fino con algunos granos gruesos, deleznables, matriz calcárea y ocasionalmente fragmentos de moluscos. Hacia la parte superior del intervalo prevalecen las calizas arrecifales terrígenas con abundantes bioclástos de corales, algas y moluscos, en capas gruesas.

7.2.2.2 Conjunto Superior

Está conformado por 112 m de calizas terrígenas arenosas con niveles de hasta 1 m de espesor de calizas arrecifales más competentes con abundancia de bioclastos y arenitas deleznables de grano grueso, calcáreas; intercaladas con niveles competentes discontinuos de calizas terrígenas amarillas y calizas arrecifales bioturbadas.

La Formación La Popa reposa discordantemente sobre las formaciones del Paleógeno y del Neógeno y a su vez está cubierta en forma discordante por los depósitos eólicos y recientes.

El espesor medido en perforaciones (Caro et al., 1985) es de 50-70 m; Barrera (1999) midió una sección de 130 m en la carretera Puerto Colombia - Barranquilla.

Por las características sedimentológicas de la Formación La Popa se deduce un ambiente marino somero, con influencia continental (aporte de terrígenos).

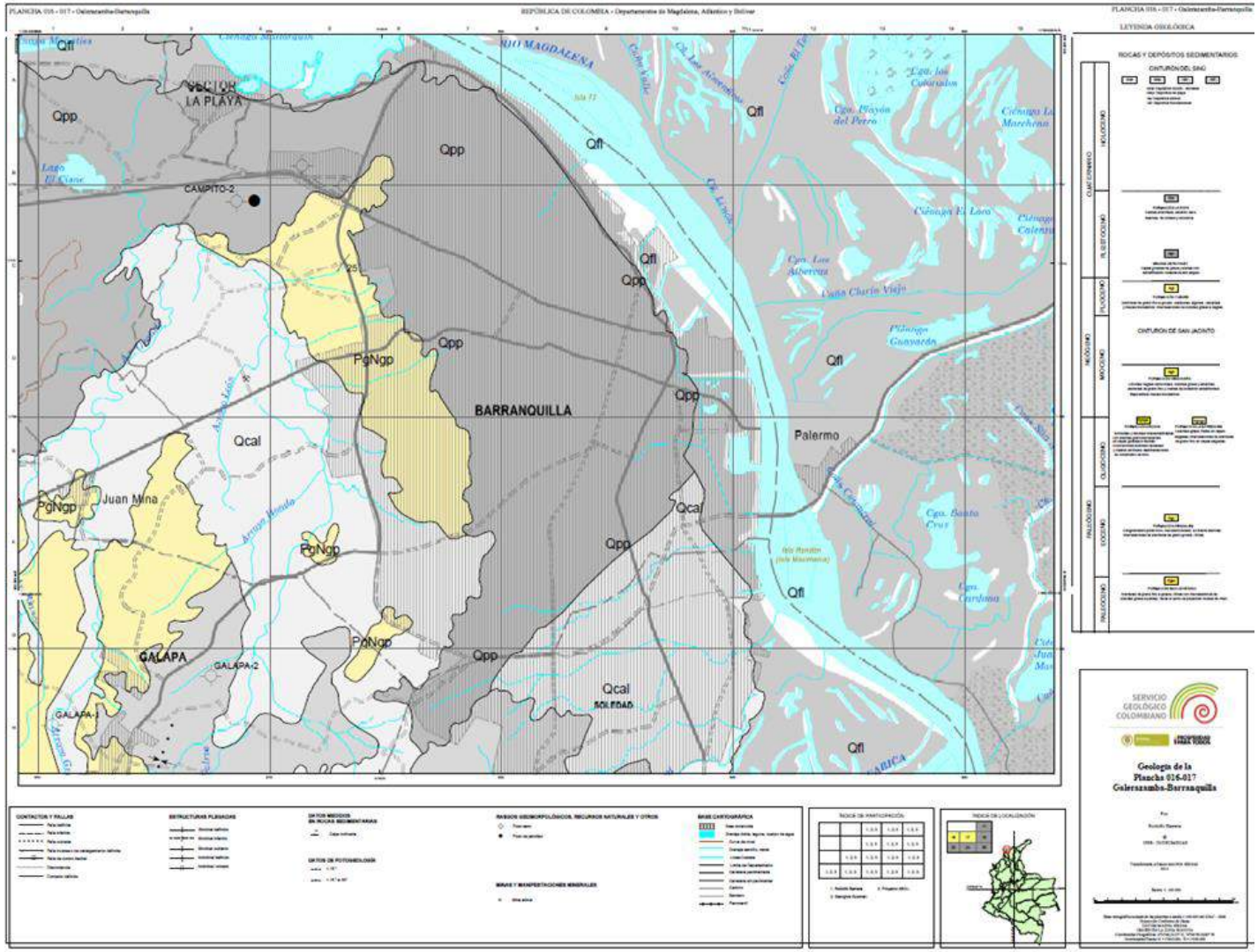


Figura 7.2 Mapa geológico regional de la ciudad de Barranquilla, escala 1:30.000
Fuente: INGEOMINAS (1998)

La edad de la Formación La Popa ha sido muy discutida; Anderson (1926) la consideró Pliocena; Link (1927) la considera del Pleistoceno inferior; Royo y Gómez (1950) postula que es del Mioceno superior. Con base en las muestras micropaleontológicas recolectadas por geólogos del INGEOMINAS en el Departamento del Atlántico, durante el Proyecto Caribe, se asume que esta formación es del Pleistoceno.

Con base en la litología se puede establecer que esta unidad es correlacionable con las Margas de Salgar y Barranquilla (Anderson, 1929).

7.2.3 Depósitos Eólicos

De acuerdo con la descripción que hace INGEOMINAS (2000), los depósitos eólicos están localizados en los municipios de Sabanagrande, Baranoa, Galapa, Palmar de Varela y Santo Tomás; los más antiguos, al occidente del río Magdalena, y los más recientes (litorales), adyacentes a la línea de costa al norte y oeste de Barranquilla. Raasveldt (1957) se refirió a estos depósitos más antiguos como dunas, aflorantes desde Palmar de Varela hasta Barranquilla. Están constituidas por crestas alargadas de arenas blancas, grisáceas a amarillentas, de cuarzo y feldespato, de grano fino a medio, bien seleccionadas, granos redondeados muy sueltos, con visible estratificación cruzada. Martínez (1993) calcula un espesor de 15 m.

Caro et al. (1985) indican una dirección del viento noreste-suroeste y su origen estaría relacionado probablemente al retrabajamiento y transporte por el viento de sedimentos fluviales en áreas con largos períodos secos, asociados al río Magdalena en sus períodos de inundación. Los depósitos eólicos más recientes se encuentran asociados a la línea de costa y están aún en acumulación activa, son acumulaciones de arenas finas de color gris claro que continuamente son movilizadas por el viento, y alcanzan hasta los 5 m de espesor.

Estos depósitos eólicos están cubriendo discordantemente a las formaciones Hibácharo, Tubará, La Popa, San Cayetano y Las Perdices; están a su vez cubiertos por suelos arenosos. Martínez (1993) plantea que las dunas más antiguas se formaron en el Pleistoceno tardío - Holoceno.

7.2.4 Depósitos Aluviales

Los depósitos aluviales corresponden a materiales depositados por la dinámica de las corrientes de agua, dentro de las que se destaca el río Magdalena, desarrollando geoformas planas, como terrazas, llanuras de inundación y cauces activos. Están constituidos principalmente por materiales finos tipo arcilla o limo en la zona de las ciénagas y en la zona fluvial, por arenas de grano fino a medio, compuestas por cuarzo, chert y fragmentos líticos bien seleccionados, subangulares a subredondeados.

Los depósitos de movimientos en masa, coluvión y llenos antrópicos serán descritos detalladamente en el capítulo de Unidades geológicas superficiales.

7.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

De acuerdo a la información de INGEOMINAS (1997), la disposición geológica del Caribe Colombiano es producto de la interacción tectónica de las placas de Nazca, Caribe y Suramérica.

A nivel regional el área de Barranquilla se ubica en el llamado Terreno Sinú - San Jacinto constituido por dos cuñas de materiales sedimentarios (cinturones de San Jacinto y Sinú), caracterizado por presentar pliegues anticlinales estrechos y sinclinales amplios, donde también convergen dos trenes estructurales de dirección N20°E de edad Eoceno medio y otro de dirección N45ºE de edad Plioceno-Pleistoceno (Duque, 1984).

En los estratos arcillosos de la Formación Las Perdices, la naturaleza blanda y plasticidad, hacen que éstas se deformen por gravedad y se caracterizan por presentar una alta fisilidad y fracturamiento que enmascara estos rasgos. Sin embargo, es posible destacar algunos lineamientos cuyo trazo y dirección coincide con los cauces de algunos de los arroyos. De acuerdo a los resultados de la Evaluación Geotécnica de las Laderas Occidentales de Barranquilla-Fase I (INGEOMINAS, 1997). Los principales lineamientos tienen dirección NW-SE y son los responsables de silletas, quiebres de pendiente, lomos alineados y salientes del escarpe de la plataforma de abrasión de origen arrecifal.

Según el mapa tectónico del departamento del Atlántico los pliegues y fallas se localizan principalmente hacia el centro y occidente del departamento, y hacia el sector de barranquilla no se presentan o destacan fallas o pliegues de importancia regional (Figura 7.3).

Según los resultados del trabajo realizado por el INGEOMINAS en el año 2011 en el municipio de Barranquilla estudio se presentan plegamientos suaves y amplios en las rocas del Neógeno y fallas normales, en la Formación La Popa, que fueron observado en los frentes de explotación de las canteras de cementos Argos. Estas fallas tienen longitudes hasta de 800 metros, de dirección NE y NW, con desplazamientos verticales que alcanzan los 3 metros, generando grabens de poca extensión (INGEOMINAS 2011). Este fallamiento se origina por relajación de esfuerzos que afectan estratos competentes de calizas que reposan sobre rocas arcillosas de la Formación Las Perdices.

En los estratos arcillosos de la Formación Las Perdices, la naturaleza blanda y plasticidad, hacen que éstas se deformen por gravedad y se caracterizan por presentar una alta fisilidad y fracturamiento que enmascara estos rasgos. Sin embargo, se observan algunos lineamientos en el terreno cuyo trazo y dirección coincide con los cauces de algunos de los arroyos. A continuación, se presenta la descripción de los principales lineamientos y fallas cartografiadas en el desarrollo de la Evaluación Geotécnica de las Laderas Occidentales de Barranquilla-Fase I (INGEOMINAS, 1997).

En la zona predominan lineamientos de dirección NW-SE responsables de silletas, quiebres de pendiente, lomos alineados y salientes del escarpe de la plataforma de abrasión de origen arrecifal. Localmente se presentan lineamientos de dirección NE-SW y NS.

A continuación, se presenta la descripción de las fallas y lineamientos identificados en el municipio de Barranquilla tomando como referencia el estudio realizado por INGEOMINAS en el año 2011.

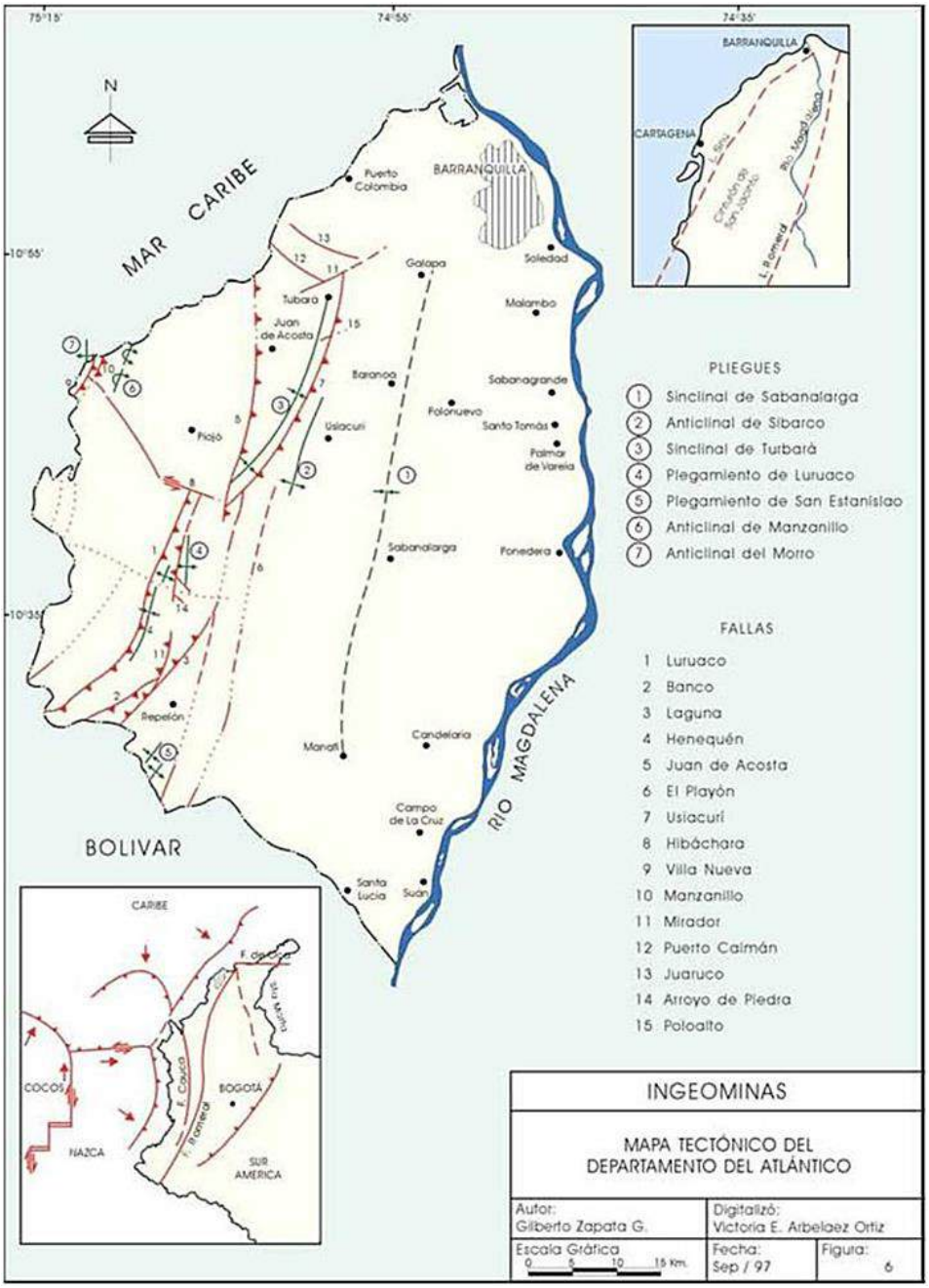


Figura 7.3 Mapa Tectónico del departamento del Atlántico, elaborado por Gilberto Zapata
Fuente: Memoria explicativa del mapa geológico generalizado del departamento del Atlántico, INGEOMINAS, 2000

7.3.1 Lineamiento del Mirador

Tiene dirección N60°W que define el escarpe de la plataforma de abrasión arrecifal en zonas aledañas a los barrios La Florida, las mercedes Sur y Campo Alegre. Se interpreta como una posible falla normal con el flanco suroccidental hundido. A la altura del barrio La Florida, tiene un basculamiento hacia el

oriente de la plataforma arrecifal, lo mismo que en el Mirador donde se presentan cambios bruscos en el tren estructural con buzamientos de 45° y 56°. (INGEOMINAS 2011)

7.3.2 Lineamiento de las Terrazas - el Rosario

Lineamiento paralelo al del Mirador que cruza por la parte baja de los barrios Las Terrazas y Villa del Rosario. Genera algunos cambios en la dirección de corrientes y arroyos en la parte media y baja de las laderas, con presencia de algunos movimientos en masa asociados. (INGEOMINAS 2011)

7.3.3 Lineamiento el Salado

Controla parte del Arroyo El Salado, con dirección N70ºE, posiblemente puede corresponder a una falla inversa con el bloque nororiental levantado (INGEOMINAS, 1997). A la altura del arroyo El Salado se presentan buzamientos mayores a 40ºNW cambiando la estratificación general que buza al SE. (INGEOMINAS 2011)

7.3.4 Lineamiento el Bosque

Lineamiento que cruza en dirección N65°W por el barrio El Bosque controlando el curso de los arroyos del sector. En la parte alta genera pliegues en las areniscas calcáreas de la base de la Formación La Popa. (INGEOMINAS 2011)

7.3.5 Lineamiento el Romano

Lineamiento paralelo al del Bosque, controla el curso inferior del arroyo Santo Domingo. Hacia la parte alta, en el barrio Las Américas, bascula las areniscas de la base de la Formación La Popa hacia el suroccidente y posiblemente puede tener desplazamientos mínimos inversos hundiendo el bloque norte. (INGEOMINAS 2011)

7.3.6 Lineamiento Santo Domingo

Lineamiento de dirección NS controlando el curso superior del arroyo del mismo nombre. Teniendo en cuenta el control que presenta sobre los drenajes que descienden del nororiente permite evidenciar posiblemente una falla normal con el flanco oriental levantado. Lineamiento paralelo

7.4 DIACLASAMIENTOS

El estudio realizado por INGEOMINAS en el año 2011 reporta que existe poca cantidad de afloramientos y sitios para toma de datos de fracturamiento, y que existe una tendencia en el sector de las calizas arrecifales de la Formación La Popa de dirección N20º-70ºW, coincidiendo con las direcciones de los escarpes, con buzamientos entre 50º y 70º al SW, generando bloques de 0.5 a 1 metro de lado, disminuyendo el tamaño de los bloques en zonas cercanas a los lineamientos.

Los datos tomados hacia la parte media y baja de las laderas occidentales, en la Formación Las Perdices, muestran tendencias de diaclasamiento de dirección N10°-75°E con buzamientos hacia el NW entre 74° y 87°, N30°-85°E con buzamientos entre 50°-80° al SE, N75°-86°W con buzamientos entre 15°-74°NE y N55°-85°W con buzamientos entre 28°-43° al SW. (INGEOMINAS 2011)

7.5 UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES

Las formaciones cartografiadas y nomenclatura utilizada toman como base las descripciones realizadas en estudios anteriores elaborados por el Servicio Geológico Colombiano (antes INGEOMINAS).

En las descripciones se tienen en cuenta propiedades ingenieriles en función de su comportamiento como composición litológica y mineralógica, color, tamaño y forma de los granos (textura), dureza de los granos, consistencia, densidad relativa, estructuras, resistencia a la penetración (ensayo de campo), humedad y compacidad (suelos gruesos), permeabilidad y porosidad (ensayos de campo), entre otras. En función a lo anterior en el mapa de Unidades Geológicas Superficiales están clasificados los materiales geológicos como Roca (R) y Suelo Transportado (S); estos materiales tienen diferente espesor dependiendo del tipo de litología presente. Aunque no existe un acuerdo o norma que indique el espesor de cada unidad superficial, en el trabajo realizado por INGEOMINAS en el año 2011 utilizan como unidad cartografiable, un valor alrededor de 2 m teniendo en cuenta la escala de trabajo (1:2.000). Este valor es de gran importancia porque sobre este es que se desarrollan todas las actividades y construcciones que permiten el desarrollo de la ciudad.

La caracterización de las unidades superficiales, del estudio realizado por INGEOMINAS en el año 2011 partió de información geológica básica, la cartografía de los materiales de superficie según su origen y litología (composición y textura), y las condiciones de alteración de las unidades de roca. (INGEOMINAS 2011)

En los estudios de detalle realizados por INGEOMINAS en 2011 se menciona que entre otros se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros para la caracterización de las Unidades Geológicas Superficiales que se presentan en el mapa de la Figura 7.4.

- Grado de meteorización definido a partir del perfil generalizado de Dearman (1974, 1991)
- Grado de fracturamiento o discontinuidades con parámetros geométricos como: Orientación, espaciamiento, persistencia, rugosidad, resistencia en la pared, abertura, relleno, presencia de agua, número de juegos de diaclasas y tamaño de los bloques.
- Índice de Fracturamiento (Jv), Índice de clasificación de la calidad del macizo rocoso (R.Q.D.) y el Índice Geológico de Resistencia (G.S.I.)

Las Unidades Geológicas Superficiales utilizadas en este estudio se ajustaron tomando como base la clasificación realizada en el trabajo de detalle desarrollado para la “Zonificación de amenazas por movimientos en masa de las laderas occidentales de Barranquilla, departamento del Atlántico” (INGEOMINAS, 2011).

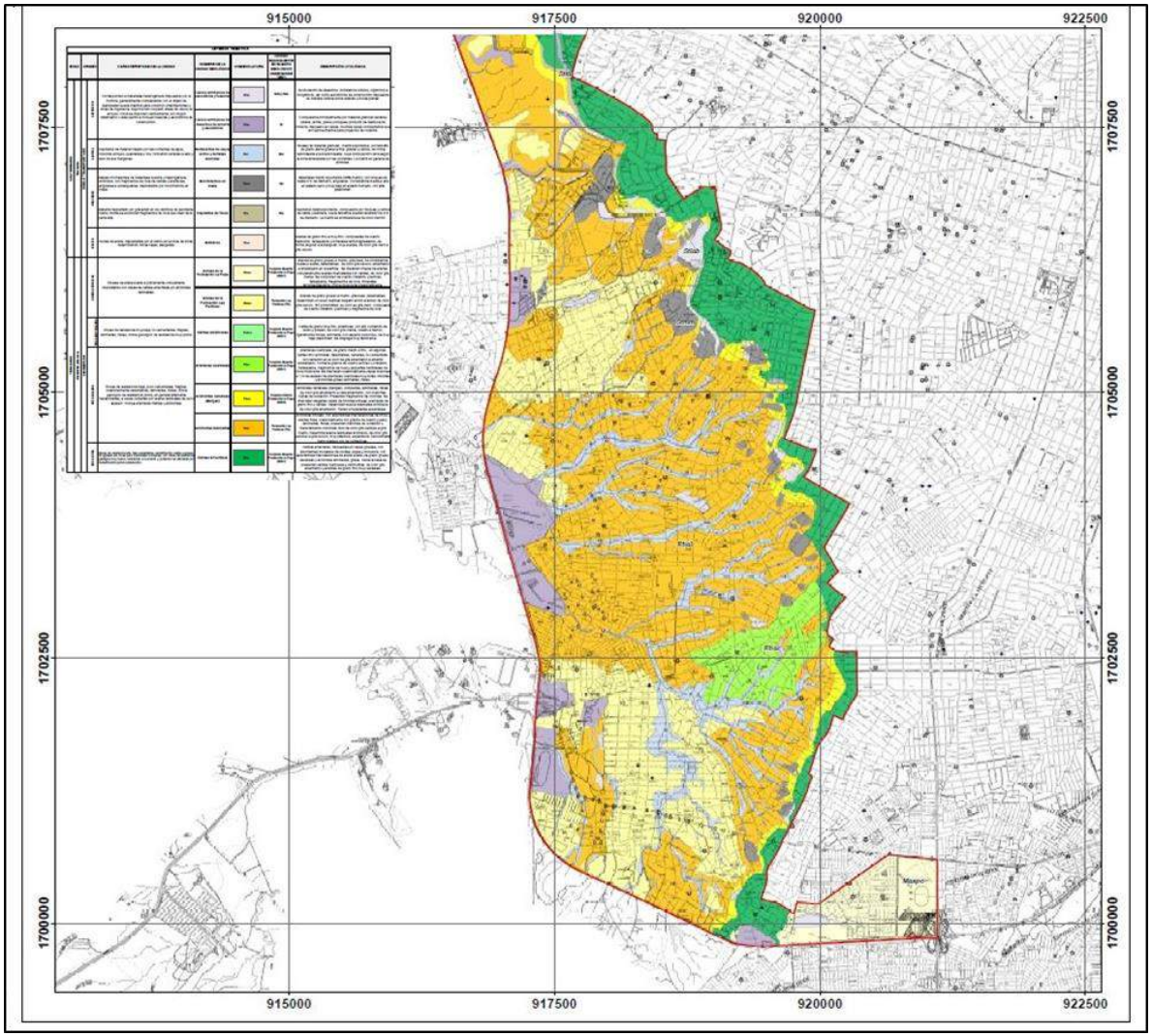


Figura 7.4 Mapa de unidades geológicas superficiales de las laderas occidentales de Barranquilla, escala 1:15.000
Fuente: INGEOMINAS (2011)

De la revisión de información existente y controles de campo realizados se diferenciaron 11 UGS entre unidades de roca (6) que incluyen las arenas de las formaciones Popa y Perdices a las que no se antecedió la letra R y unidades de suelo (5) que incluyen el origen residual y el transportado incluyendo las de origen antrópico. En la Tabla 7.1 se presenta un resumen del área ocupada por cada UGS verificada en el área de estudio.

Tabla 7.1 Distribución de UGS con el porcentaje de área cartografiada en el área de estudio

UGS	CÓDIGO UGS	ÁREA (M^2) OCUPACIÓN	ÁREA (HA) OCUPACIÓN	% DE OCUPACIÓN
Arcillolitas Laminadas (Formación Las Perdices) (Rbal)	Rbal	7911962,55	791,20	41,13
Arenas de la Formación Las Perdices	Aspe	3748420,00	374,84	19,49
Calizas Arrecifales (Formación La Popa Conjunto Superior)	Rdca	2157370,00	215,74	11,22
Areniscas Cuarzosas (Formación La Popa Conjunto Superior)	Rbac	675463,00	67,55	3,51
Arcillolitas Calcáreas (Margas) (Formación La Popa Conjunto Inferior)	Rbap	484482,10	48,45	2,52
Arenas de la Formación La Popa	Aspo	94741,90	9,47	0,49
Suelos de Cauce activo y terrazas Aluviales	Stal	1857394,07	185,74	9,66
Llenos Antrópicos de Desechos de Minería y Escombros	Stlae	1155944,61	115,59	6,01
Movimientos en masa	Stmm	812022,71	81,20	4,23
Llenos Antrópicos de Escombros y Basuras	Stlab	332028,55	33,20	1,73
Depósitos de Talus	Stta	4870,95	0,49	0,03
TOTAL		19234700,44	1923,47	100

En la Tabla 7.1, se presentan los materiales geológicos ordenados de acuerdo con la distribución de área donde se encuentra que predominan las unidades de roca con el 78,36% y los suelos residuales y transportados ocupan el restante 21.64%. la distribución de áreas es dominada por las Arcillolitas Laminadas (Formación Las Perdices) (Rbal) con el 41,13% (7911962,55 m^2 / 791,20 ha), Arenas de la Formación Las Perdices (Aspe) con el 19,49 % (3748420 m^2 /374,84 ha), Calizas Arrecifales (Formación La Popa Conjunto Superior) (Rdca) con el 11,22% (2157370 m^2 / 215,73 ha), Areniscas Cuarzosas (Formación La Popa Conjunto Superior) (Rbac) con el 3,51 % (675463 m^2 / 67,55 ha) y Arcillolitas Calcáreas (Margas) (Formación La Popa Conjunto Inferior) (Rbap) con el 2,52% (484482,10 m^2 /48,45 ha) y en una proporción pequeña las arenas de las formación Popa (Aspo) ocupando el 0.49%

(94741,9 m^2 /9,47 ha). En los suelos transportados predominan los Suelos de Cauce activo y terrazas Aluviales (Stal) con el 9,66% (1857394,07m^2 / 185, 74 ha, seguidos de los Llenos Antrópicos de Desechos de Minería y Escombros (Stlae) con el 6,01% (1155944,61 m^2 / 115.59 ha), los movimientos en masa (Stmm) con el 4,23% (812022,71 m^2 / 81,20 ha), los llenos antrópicos con el 1,73% (332028,55 m^2 / 33,20 ha) y la unidad con menor ocupación son los depósitos de talus (Stta) con el 0.03% (4870,95 m^2/0.49 ha). (Ver Figura 7.5)

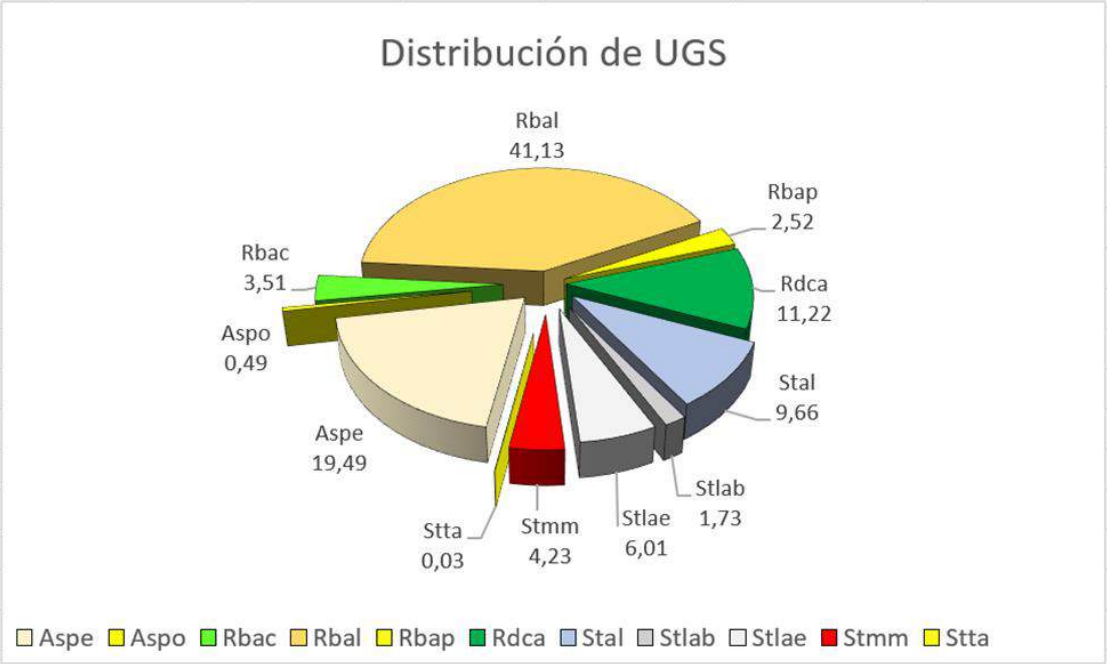


Figura 7.5 Distribución porcentual unidades geológicas superficiales de la zona de estudio

Del análisis de estos datos es importante señalar el porcentaje ocupado por los movimientos en masa que ocupan el 4.23% del área estudiada (81,20 ha); con un aumento de área con relación a las áreas cartografiadas en el año 2011 (65,35 ha) época para la cual se tuvo en cuenta toda la ladera occidental incluyendo la zona de Campo Alegre. De lo anterior se puede analizar que en los últimos 11 años el incremento de área afectada por MM en la zona de estudio es de 15,85 ha que equivalen a un incremento de 19,52%.

7.6 UNIDADES DE ROCA

Para la clasificación de las unidades de roca se tuvieron en cuenta parámetros como, composición mineralógica y clasificación genética, tamaño y forma de los granos, color, grado de meteorización o alteración, resistencia e índice de resistencia geológica (GSI) (Hoek y Marinos, 2000) y disposición estructural.

Las Unidades de Roca se identifica en la descripción y mapa iniciado con la letra R, y comprende los macizos rocosos con los grados I y II del perfil de meteorización de Dearman (1974) en los que el material se presenta como roca fresca a ligeramente meteorizada. Por lo general las unidades de roca

ocupan zonas escarpadas y laderas de pendiente muy inclinadas a abruptas, expuestas a la erosión y meteorización.

En el sector estudiado se identificaron y diferenciaron unidades de roca: Roca dura de Calizas Arrecifales (Rdca) y Roca blanda distribuida en Areniscas Cuarzosas de la Formación Popa Conjunto Superior (Rbac), Arcillolitas Calcáreas (Margas) de la Formación La Popa Conjunto Inferior) (Rbap) y Arcillolitas Laminadas de la Formación Las Perdices (Rbal), también se encuentran materiales sueltos de arenas de la formación Perdices (Aspe) y Arenas de la Formación La Popa (Aspo).

Aunque en todo el sector es común encontrar los suelos transportados representados por Depósitos de Talús (Stta), Suelos de Cauce activo y terrazas Aluviales (Stal), Llenos Antrópicos de Desechos de Minería y Escombros (Stlae), Llenos Antrópicos de Escombros y Basuras (Stlab) y los movimientos en masa (Stmm).

7.6.1 Roca Dura (Rd)

Dentro de esta unidad se incluyen únicamente las calizas arrecifales del Conjunto Superior de la Formación La Popa, que desarrollan zonas muy escarpadas y laderas de pendiente alta, resistentes a la erosión y meteorización. Este tipo de roca presenta problemas de disolución que desarrollan vacíos (porosidad secundaria) en la estructura de la roca y aumentan apreciablemente la permeabilidad. La disolución también genera costras de calcita que enmascaran la superficie y no permiten apreciar las discontinuidades de la roca. (INGEOMINAS 2011)

7.6.1.1 Calizas Arrecifales (Formación La Popa Conjunto Superior) (Rdca)

En el trabajo realizado por INGEOMINAS en el año 2011, la Formación La Popa fue subdividida en dos conjuntos Inferior y Superior. El Conjunto Inferior caracterizado por la presencia de margas y areniscas localmente calcáreas y el Conjunto Superior caracterizado por presentar areniscas calcáreas y calizas arrecifales. (INGEOMINAS 2011)

La unidad de Roca Dura de Calizas Arrecifales, está asociada al Conjunto Superior de la Formación La Popa y se caracteriza por la presencia de calizas arrecifales porosas, de color amarillo a crema, compuestas por fragmentos de conchas de bivalvos, interestratificadas, en estratos planoparalelos que varían entre 2 y 5 centímetros de espesor, conformando bancos hasta de 6 metros de altura. (INGEOMINAS 2011)

Las calizas arrecifales se encuentran interestratificadas con estratos hasta de 2 metros de conglomerados calcáreos, de granos redondeados entre 3 y 5 centímetros, embebidos en una matriz arcillosa, calcárea, de color amarillo parduzco. Los granos están compuestos por cuarzo, líticos de rocas ígneas, chert y fragmentos de conchas (Bivalvos), gasterópodos, dientes de peces y bioturbación. También se observan delgadas intercalaciones de arcillolitas ligeramente limosas, de color gris amarillento, poco compactas y areniscas calcáreas, de grano medio a grueso, subredondeados, compuestas por cuarzo, feldespato y en pequeñas proporciones por líticos.

Esta unidad hace parte de la zona de plataforma de abrasión, localizada principalmente en la parte alta, al oriente del área de estudio, generando una morfología suave a moderada que en algunos

sectores sirven de límite superior a movimientos en masa como se observa los barrios La Ceiba y barrio 7 de Abril. Esta unidad también se observa al oriente del centro comercial Miramar. (INGEOMINAS 2011)

Esta unidad en general presenta buena estabilidad, resistencia a la compresión alta a muy alta y es excavable con métodos mecánicos o con explosivos. En algunos sectores la roca se encuentra moderadamente meteorizada y fracturada.

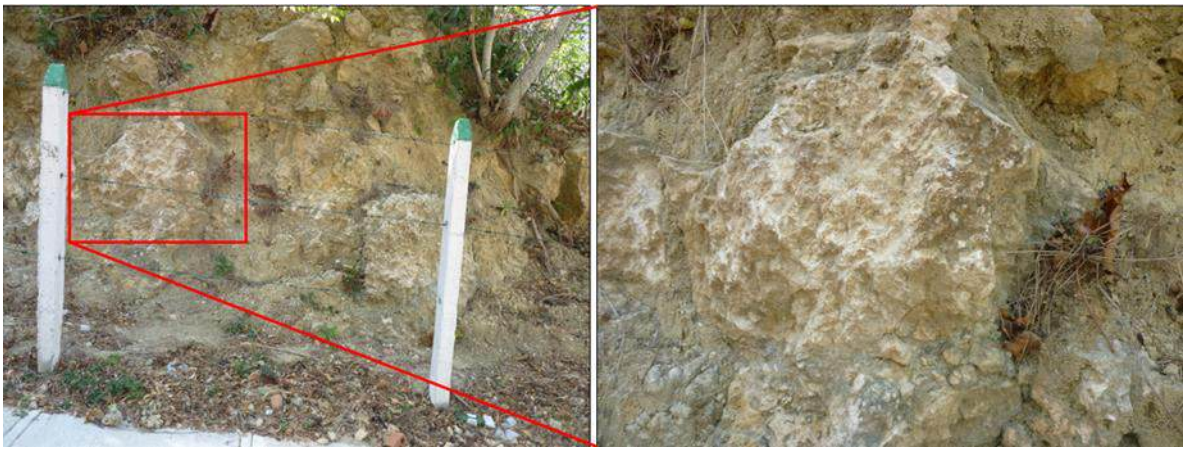


Figura 7.6 Vista general y detalle de los niveles de calizas arrecifales en el sector de la carrera 42F con calle 98. (Oriente Miramar)

7.6.2 Roca Blanda (Rb)

Son rocas de naturaleza blanda, poco cementadas, frágiles, con fracturamiento alto a muy alto (JV: 8 fr/m^3), un índice geológico de resistencia pobre (GSI: 20-35%), y en general altamente meteorizada. Incluye arcillolitas, lodolitas, limolitas, lutitas, areniscas friables. Dichos materiales se presentan principalmente en zonas inclinadas a moderadamente inclinadas y en pendientes bajas, encontrándose mejor desarrollados en rocas clásticas de grano fino, débilmente cementadas. (INGEOMINAS 2011). En este tipo de roca en los estudios del INGEOMINAS 2011 menciona las siguientes unidades.

7.6.2.1 Areniscas Cuarzosas (Formación La Popa Conjunto Superior) (Rbac)

Se asocia al Conjunto Superior de la Formación La Popa, y está compuesta de arenisca de grano fino, cuarzosa, deleznable, con nódulos hasta de 10 centímetros de limonita y delgadas capas, muy duras, de arenisca cuarzosa, de grano medio a fino, de color amarillento, la matriz es arcillosa, de color marrón con presencia de hierro. Los granos son subangulares, compuestos por cuarzo cristalino y lechoso, feldespato y líticos. Hacia la base presenta capas de arena arcillosa, intercaladas con estratos de arcilla arenosa. Se presentan diaclasas rellenas de arcilla y limonita. (INGEOMINAS 2011)

Hacia la parte media de la secuencia, puntualmente, se presentan areniscas cuarzosas, calcáreas, duras, con intercalaciones de arena de grano medio a grueso, cuarzosa, intercaladas con esporádicos niveles de arcillas calcáreas (margas) grises, laminadas.

La morfología que desarrolla esta unidad es de laderas con pendientes moderadas y cerros alargados con bordes escarpados como el que se observa en el sector de la subestación de policía El Bosque (INGEOMINAS 2011).

Los principales afloramientos se localizan al suroriente de la zona de estudio, en los alrededores de la avenida La Cordialidad sectores de la subestación de policía El Bosque, también en los barrios, la Sierrita y Santo Domingo.

La resistencia al corte de estos materiales en general es moderada a baja, deleznables, con porosidad y permeabilidad alta, sin embargo, se presentan capas esporádicas de arenisca con alta resistencia al corte. En zonas planas presentan buena estabilidad, pero en sectores escarpados se erodan fácilmente generando desprendimientos de material. (INGEOMINAS 2011)

7.6.2.2 Arcillolitas Calcáreas (Margas) (Formación La Popa Conjunto Inferior) (Rbap)

Unidad asociada al Conjunto Inferior de la Formación La Popa, se caracteriza por estar compuesta por arcillolitas calcáreas masivas (margas), color gris verdoso a gris amarillento, con presencia esporádica de fragmentos calcáreos). Se presentan esporádicamente intercalaciones delgadas de areniscas arcillosas, friables, de grano medio, color amarillo. (INGEOMINAS 2011)

Hacia la base de esta secuencia se observan intercalaciones de areniscas friables, grano medio a grueso, localmente arcillosas, de color pardo amarillento, compuestas por cuarzo y feldespato y algunas areniscas calcáreas, de grano fino, color gris amarillento. (INGEOMINAS 2011)

La unidad desarrolla un relieve de laderas con pendientes moderadas a fuertes, siendo uno de los rasgos morfológicos tenidos en cuenta para cartografiarlas. Se localizan hacia el sector oriental de la zona estudiada, hacia la parte inferior de los escarpes dejados por las calizas arrecifales de la Formación La Popa, observándose principalmente hacia los sectores del centro comercial Miramar, al sur de la Corporación Politécnica Interamericana (calle 82 con carrera 35D), al occidente del parque Las Mercedes, al oriente del barrio Mequejo (Calle 81), al norte del barrio Nueva Colombia (carrera 23B con calle 75) y al oriente de la parte media alta del barrio 7 de Abril, entre otros sitios.

Presentan aspecto terroso, de consistencia media a alta cuando se encuentran confinadas y se fracturan fácilmente en láminas al quedar expuestas al sol. La estabilidad del terreno asociada a estas rocas es en general moderada. En presencia de humedad alta estas rocas se disgregan perdiendo cohesión facilitando la ocurrencia de reptación, movimientos en masa y asentamientos del terreno. (INGEOMINAS 2011)



Figura 7.7 Capas de arcillolitas calcáreas de la formación Popa en la parte alta de Loma Roja

7.6.2.3 Arcillolitas Laminadas (Formación Las Perdices) (Rbal)

Unidad asociada a la formación Las Perdices, está constituida principalmente por arcillolitas de color gris oscuro, verde oliva y pardo amarillento con yeso diseminado en láminas delgadas, Shales (arcillolita físil) de color verde oliva a gris verdoso con intercalaciones de limolitas y areniscas de grano muy fino a fino, friables, de color gris amarillento en capas de espesor variable entre 5cm y 100 cm. En algunos sectores las arcillolitas son arenosas y tienen lentes de gravas adquiriendo consistencia dura. Estas rocas generan suelos residuales arcillo arenosos de color marrón, consistencia media, plásticos y expansivos. (INGEOMINAS 2011).

Tiene laderas onduladas y disectadas, formando un drenaje dendrítico subparalelo, poco denso. Esta unidad aflora principalmente hacia la parte central y sur del área de estudio en los barrios Las Terrazas, Mequejo, La Manga y La Esmeralda, entre otros, donde tiene asociados movimientos en masa.

Estas arcillolitas cuando están frescas, en general son duras, compactas, de consistencia alta, se parten en pequeños nódulos y tienen fractura concoidal. Cuando se encuentran alteradas desarrollan suelos residuales arcillosos, de color café a gris oscuro, de poco espesor, menor a 1 metro, muy plásticos y adquieren propiedades expansibles, observándose que la mayor parte de las viviendas ubicadas sobre estos materiales presentan problemas de agrietamientos y hundimientos. También se caracterizan por que en laderas con pendientes moderadas tienden a reptar y generar movimientos en masa al saturarse. (INGEOMINAS 2011).



Figura 7.8 Niveles de arcillolitas laminadas de la formación perdices con procesos de inestabilidad en el sector de Miramar



Figura 7.9 Capas de yeso de hasta 1 cm de espesor en niveles de arcillolitas de la formación Perdices

7.6.3 Material Suelto (M)

Se componen de materiales sueltos con muy bajo grado de compactación, correspondiendo a niveles intercalados de arenas dentro de los estratos de las formaciones Las Perdices y La Popa.

7.6.3.1 Arenas de la Formación Las Perdices (Aspe)

Son arenas sueltas a pobremente compactadas asociadas a los estratos de la Formación Las Perdices, se componen de arenas de grano fino a grueso, deleznable, compuesta por granos subangulares a subredondeados, de color gris amarillento, con tintes rojizos de oxidación, se intercalan lentes de arena gravosa con granos subredondeados constituidos por cuarzo y chert. Las gravas se componen de cantos subredondeados, de cuarzo con forma de huevos de pato y chert. (INGEOMINAS 2011).

Estas arenas generan morfología ondulada suave a plana. Se localizan en el sector Por Fin, entre otros y se caracteriza por presentar alta porosidad y permeabilidad, baja compresibilidad y consistencia. (INGEOMINAS 2011)



Figura 7.10 Arenas sueltas producto de la meteorización de los niveles arcillo arenosos de la Formación Perdices en el predio Villa Lorena (predio Villa Lorena Cra 26B Calle 84)

7.6.3.2 Arenas de la Formación La Popa (Aspo)

Son arenas sueltas a pobremente compactadas asociadas a los estratos de la Formación La Popa, de color gris claro a crema, amarillento en muestras frescas pasando a tomar color marrón con tintes rojizos de oxidación cuando está meteorizadas, se componen de arenas de grano fino, medio y grueso, pasando a ser gravosa, conformadas por granos subredondeados a subangulares de cuarzo traslucido y lechoso (70%), feldespatos (20%), fragmentos de caliza, chert, micas y restos de conchas (15%). En ocasiones presenta una matriz arcillosa calcárea, de color gris amarillenta (< 5%). (INGEOMINAS 2011).

Estas arenas generan morfología ondulada suave a plana Se localizan en los alrededores del estadio Metropolitano de Fútbol hasta la vía Circunvalar, barrio Los Girasoles, sectores Gonzalo Ripoll y Los Pitufos, La Cayena, entre otros. Esta unidad se caracteriza por presentar alta porosidad y permeabilidad, baja compresibilidad y consistencia. (INGEOMINAS 2011)

7.6.4 Suelos Transportados (St)

Son materiales que han sufrido algún tipo de transporte ya sea por medios naturales de tipo fluvial o aluvial, eólico, glaciar, gravedad o por medios relacionados con las actividades del hombre (antrópicos). Están compuestos por materiales heterogéneos, cuya composición depende de la fuente de origen, no están consolidados y son susceptibles a generar movimientos en masa cuando se localizan en zonas de ladera o sobrecargando los taludes.

7.6.4.1 Depósitos de Talús (Stta)

Son depósitos clasto soportados que se forman en los cambios de pendiente fuerte por acumulación de fragmentos de roca que caen de la parte alta. Su composición depende del material a partir del cual se genera. En la zona de estudio se caracterizan por presentar cantos y bloques hasta de 3 metros de calizas arrecifales y areniscas calcáreas de grano grueso conglomeráticas compuestas por cuarzo, feldespatos y líticos. Estos cantos y bloques están embebidos en una matriz areno arcillosa, de color gris oscura, de aspecto terroso; en general son depósitos clasto soportados. (INGEOMINAS 2011)

Los depósitos de Talus se caracterizan por desarrollar pendientes moderadas a abruptas, asociados a desprendimientos de material que se acumulan hacia la parte media y baja de la base de los escarpes generados por las calizas arrecifales de la Formación La Popa.

Estos materiales por encontrarse en zonas de alta pendiente, con abundantes bloques suspendidos en una matriz arcillosa de baja consistencia, presentan muy baja estabilidad y pueden generar movimientos en masa si se realizan cortes o si la matriz se humedece y pierde consistencia. (INGEOMINAS 2011)



Figura 7.11 Depósito de talus en la zona de cambio de pendiente que marca el contacto entre las formaciones Perdices y la Popa. (Suroriente Miramar)

7.6.4.2 Suelos de Cauce Activo y Terrazas Aluviales (Stal)

Son sedimentos recientes que han sido transportados y depositados por los ríos y quebradas, conformando los cauces activos y abandonados, llanuras de inundación, terrazas bajas y medias.

Estos materiales presentan diferente composición y textura, dependiendo del tipo del material que ha sido erodado por las corrientes superficiales. Se componen de arenas ricas en cuarzo y feldespato,

de grano medio a grueso que varían a arcillas lodosas y arenosas, con cantos de caliza arrecifal, arenisca y arcillolita. El espesor de estos depósitos en los canales de los arroyos principales no sobrepasa los 3 metros. (INGEOMINAS 2011).

En algunos los cauces de los arroyos han sido rellenados para construcción de vías y viviendas como por ejemplo el de la calle 86 en el sector del parque residencial Balcones de La Colina. En otros sectores el cauce ha sido reducido por efecto de botaderos de basura y canalizaciones de estos. Las corrientes que contienen estos depósitos desarrollan un patrón de drenaje paralelo a subparalelo, cortando laderas moderadas a planas.

Se localizan hacia la parte central y sur del área, destacándose los arroyos El Salado, Santo Domingo, El Muerto y los arroyos que drenan los barrios 7 de Abril, Santo Domingo Guzmán, El Bosque y La Sierrita, entre otros. Estos depósitos presentan una compacidad media a baja, con alta porosidad y permeabilidad. (INGEOMINAS 2011)



Figura 7.12 Panorámica general depósitos aluviales asociados al caño Santo Domingo

7.6.4.3 Llenos Antrópicos de Desechos de Minería y Escombros (Stlae)

Estos llenos están compuestos principalmente por materiales calcáreos de tamaño arena, arcilla, grava y bloques, producto de excavaciones para minería y residuos de construcción (ladrillos, concreto, asfaltos, etc.). La morfología que se desarrolla a partir de estos depósitos en la adecuación de terrenos para construcción, en general es moderada a plana. (INGEOMINAS 2011)

Se encuentran a lo largo de toda la zona de estudio, en alrededores de la avenida circunvalar al suroccidente de los arroyos Santo Domingo y El Salado; también al norte del barrio Villa San Carlos y

al occidental del centro comercial Miramar. Presentan alta porosidad y permeabilidad, con buena capacidad de soporte cuando se disponen en capas compactadas.

7.6.4.4 Llenos Antrópicos de Escombros y Basuras (Stlab)

Corresponden a acumulación de desechos domésticos sólidos, orgánicos e inorgánicos, así como escombros de construcción, dispuestos de manera caótica sobre laderas, cauces de arroyos y zonas planas y sobre algunos de éstos se han construido viviendas que se localizan principalmente hacia el oriente de la zona estudiada, hacia la parte media y alta de las laderas asociadas con los escarpes de las Calizas Arrecifales de La Formación La Popa. Estos materiales presentan poca compactación, son altamente compresibles, con alta porosidad y permeabilidad saturándose fácilmente y en laderas han generado movimientos en masa. (INGEOMINAS 2011).



Figura 7.13 Panorámica general depósitos de escombros y basuras en la parte alta de Me Quejo

7.7 MOVIMIENTOS EN MASA (STMM)

Son depósitos de materiales sueltos y heterogéneos, de suelos y/o fragmentos de roca angulares a subangulares, escombro de construcción y basuras depositados por la gravedad, reptación o movimientos de remoción en masa. Se caracterizan por ser materiales clasto-soportados o matriz-soportados según su origen, presentando fragmentos de calizas arrecifales, areniscas cuarzosas y arcillolitas, de tamaños variables entre pocos centímetros y varios metros, embebidos en una matriz arcillo arenosa variando a areno arcillosa. (INGEOMINAS 2011).

Los principales movimientos en masa se localizan hacia la base de la plataforma arrecifal, asociados a calizas arrecifales y arcillolitas de las formaciones La Popa (Conjunto Superior) y Las Perdices. Dentro

de algunos de estos depósitos se presentan otros procesos de remoción en masa menores (reptación, flujos de tierra y lodo), que hacen que estas zonas sean muy inestables obligando a la reubicación de viviendas y amenazando con afectar otras.

La mayoría de los movimientos en masa están cubiertos parcialmente por botaderos de escombros sobre los que se han construido viviendas, como se observa en margen derecha del arroyo El Salado hasta la carrera 27, en la parte alta del barrio Mequejo, parte alta de la Manga, en Villa Caracas y en el sector de Siete de Abril y al occidente de Carrascal en Santo Domingo.

Los principales movimientos en masa se localizan en los sectores de Las Terrazas y Villa del Rosario, en la margen derecha del arroyo El Salado hasta la carrera 35C, barrios Mequejo, La Libertad, Loma Roja, suroccidente de Carlos Meisel, occidente y oriente de Nueva Colombia (entre carrera 23B y calle 73B), San Felipe, cuchilla de Villate, Villa Caracas, El Bosque y Siete de Abril.

En general estos depósitos de movimientos en masa son poco compactos y desarrollan una morfología de laderas moderadas, ocasionando abombamientos y hundimientos diferenciales del terreno donde en época de lluvias se acumula e infiltra el agua acelerando los procesos de inestabilidad.

Para el inventario de movimiento en masa se realizó la fotointerpretación del foto mosaico elaborado en los meses de diciembre y enero donde de identificaron los sectores afectados que fueron poligonizados, también se tomaron como referencia los estudios anteriores realizados por el INGEOMINAS (hoy Servicio Geológico colombiano) en los años 1997 y 2011 y a partir de esta información se realizaron recorridos de campo que permitieron tomar registro fotográfico de las condiciones actuales de cada zona. En general los movimientos en masa cartografiados se presentan desde hace varios años y algunos fueron cartografiados por primera vez durante los estudios realizados por el INGEOMINAS en el año 1997 época en la que se hace referencia especialmente a los movimientos de Mequejo, Las terrazas y posteriormente en el año 2011 se complementó este inventario.

En general la causa de estos movimientos puede estar asociada a las condiciones geomecánicas de los materiales (arcillas expansivas de la formación perdices), la pendiente del terreno, las malas prácticas antrópicas por acumulación indiscriminada de escombros de construcción y basuras y la falta de un adecuado manejo de las aguas servidas y de escorrentía lo cual favorece los procesos de infiltración hacia el subsuelo. En general en los movimientos de la ladera occidental de la ciudad es común y práctica permanente hacer la reconstrucción y reconstrucción de las viviendas sobre el cuerpo de los movimientos en masa en la mayoría de los casos utilizando madera combinada con mampostería.

A continuación, se hace una descripción de los movimientos en masa de mayor área los cuales se presentan desde hace varios años y tienen reactivaciones durante el periodo de lluvias de cada año, situación que ha aumentado el área de afectación y se hayan destruido viviendas e infraestructura como vías, alcantarillados y acueductos.

8 INVENTARIO DE DESLIZAMIENTOS

El trabajo de campo consistió en la identificación, cartografía y caracterización litológica, geomorfológica y morfométrica de los procesos activos presentes en la zona de estudio. La cartografía de los procesos se realizó sobre la cartografía de curvas de nivel generada para este estudio a Escala 1:2.000 y la base IGAC disponible. La caracterización de los procesos se realizó utilizando un formato de captura de datos de campo, el cual contiene información básica como localización, tipo de proceso, material involucrado, actividad, dimensiones, geomorfología, factores contribuyentes y detonantes y uso del suelo, entre otros.

Una vez recolectada toda la información de campo se organizó en una base de datos en Excel a partir de la cual se realizaron los diferentes análisis estadísticos obteniendo indicadores de las condiciones de inestabilidad presentes en el área de estudio. La información se digitalizo utilizando la herramienta ArcGIS para realizar los análisis espaciales y generar las salidas gráficas.

8.1 CLASIFICACIÓN DEL MOVIMIENTO

8.1.1 Deslizamientos

La morfodinámica es la rama de la geomorfología que se encarga de estudiar los procesos superficiales que afectan las formas del paisaje, permitiendo así identificar y definir la evolución de los procesos denudacionales que han ocurrido en un área de estudio particular (SGC, 2017). Los procesos morfodinámicos agrupan todos los procesos activos e inactivos que modifican e influyen las geoformas existentes, estos procesos pueden ser erosivos (denudacionales) o constructivos (agradacionales) y su interacción modifica el relieve. En el desarrollo de la caracterización geomorfológica y morfodinámica de la zona de estudio, se realizó con base en la ortofotos e imágenes disponibles, se realizó la fotointerpretación de la zona de estudio, haciendo énfasis en la identificación de procesos morfodinámicos (procesos de deslizamientos y erosivos) y depósitos de origen coluvial y antrópico.

Con el objetivo de contextualizar la descripción de los aspectos identificados en inventario de movimientos realizada en campo, se hace una breve introducción y descripción de los conceptos básicos y tipos de movimientos en masa que se describen en este documento a partir de las observaciones de campo.

Para la clasificación de los movimientos en masa identificados en las laderas occidentales se toma como referencia el sistema de clasificación que descrito en PMA: GCA (2007) el cual está basado en la propuesta de Varnes (1.978) y Cruden y Varnes (1996), actualizado posteriormente por Hüngr et al. (2.014) la cual incluye caída, volcamiento, deslizamiento traslacional, deslizamiento rotacional, propagación lateral y flujo. De acuerdo con este sistema de clasificación, se proponen los siguientes tipos de movimientos en masa: deslizamientos, flujos (canalizados y no canalizados), caídas, deformaciones gravitacionales profundas y reptación, cada uno de los cuales presenta subtipos en función de algunas características como el tipo de material, velocidad y superficie de falla. Los

aspectos teóricos de cada tipo de movimiento en masa se encuentran explicados con mayor detalle en PMA: GCA (2007) y Hüngr et al. (2014); sin embargo, para facilitar la comprensión de la descripción de los movimientos en masa, a continuación, se presentan una breve explicación de los tipos de procesos identificados en el área de estudio.

De acuerdo con Varnes (1978) citado por PMA: GCA (2007), los deslizamientos se clasifican según la forma de la superficie de falla por la cual se desplaza el material, en traslacionales y rotacionales. Sin embargo, las superficies de rotura de movimientos en masa son generalmente más complejas que las de los dos tipos anteriores, ya que pueden consistir en varios segmentos planares y curvos, por lo que estos se conocen como deslizamientos compuestos.

Los deslizamientos traslacionales se refieren al desplazamiento de material a lo largo de una superficie de falla plana u ondulada. Suelen ser más superficiales que los rotacionales y el desplazamiento ocurre con frecuencia a lo largo de discontinuidades como fallas, diaclasas, planos de estratificación o planos de contacto entre diferentes tipos de material o con comportamiento geotécnico diferente (Figura 8.1 a y b). La velocidad de los movimientos traslacionales puede variar desde rápida a extremadamente rápida.

Los deslizamientos rotacionales son aquellos en los que la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava. Los movimientos en masa rotacionales muestran una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal pronunciado y un contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal (Figura 8.1 c). Los deslizamientos rotacionales pueden ocurrir lenta a rápidamente, con velocidades menores a 1 m/s.

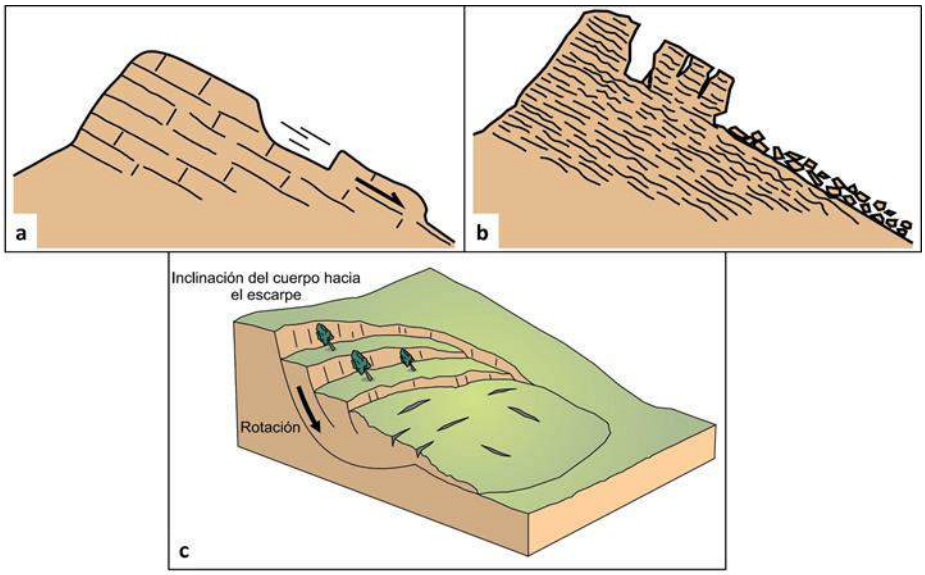


Figura 8.1 Esquemas de deslizamientos tipo traslacional y rotacional

a) y b) esquemas de deslizamiento traslacional en roca y en detritos; c) esquema de deslizamiento de tipo rotacional. Fuente: adaptado de PMA: GCA (2007)

8.1.2 Caída

Es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material se desplaza por caída libre en el aire, pero también puede efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978 citado por PMA: GCA, 2007). Además, también puede presentarse como "colapsos" del material en pendientes sub - verticales (Figura 8.2). Dependiendo del material desprendido se habla de una caída de roca o una caída de suelo. El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido (Cruden y Varnes, 1996), es decir con velocidades mayores a 5×10^{1} mm/s.

Una característica importante de las caídas es que el movimiento no es masivo ni del tipo flujo. Existe interacción mecánica entre fragmentos individuales y su trayectoria, pero no entre los fragmentos en movimiento.

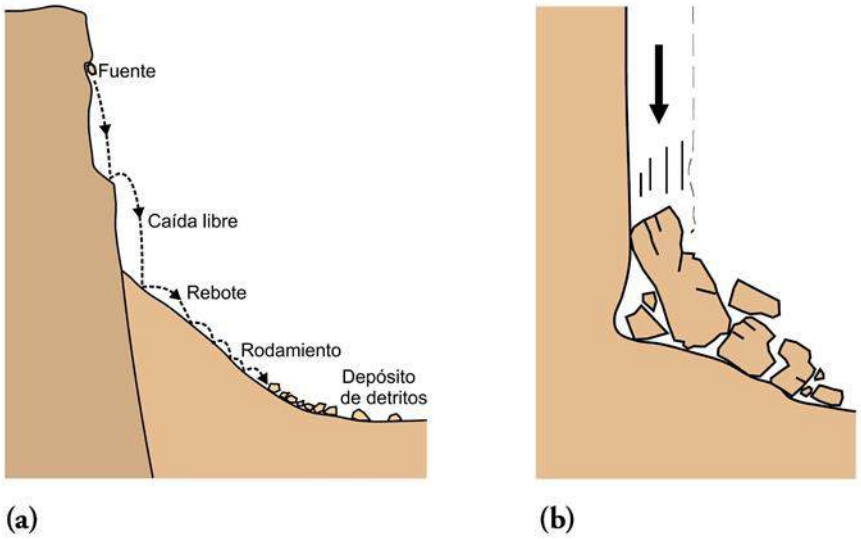


Figura 8.2 Esquema general de movimientos tipo caída
a) Caídas de roca; b) colapsos verticales de roca o suelo
Fuente: PMA: GCA (2007)

8.1.3 Flujos

Los flujos son un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento se comporta como un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes, 1.978 citado por PMA: GCA, 2.007).

Es importante realizar la distinción entre flujos canalizados y no canalizados. En los primeros, el desplazamiento del material se da a través de una trayectoria preestablecida, generalmente por un canal (drenaje, quebrada, río, etc.) que constituye el área de tránsito del flujo para ser acumulado luego en una zona más amplia y de menor pendiente que constituye la zona de depósito del flujo. Por su parte, en los flujos no canalizados el material se puede movilizar sobre áreas abiertas en laderas de alta pendiente (Figura 8.3).

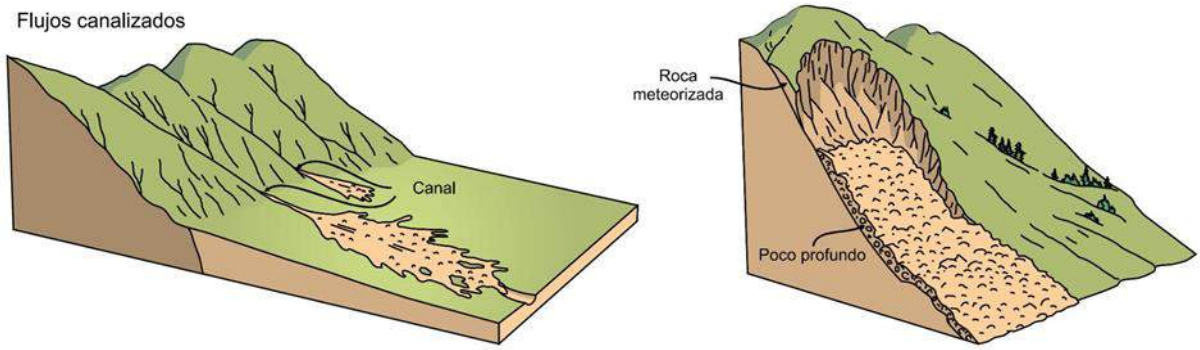


Figura 8.3 Esquema general de flujos canalizados y no canalizados
Fuente: Cruden y Varnes (1996) citado por PMA: GCA (2.007)

Dentro de los flujos canalizados, la Guía Metodológica para Zonificación de Amenazas por Avenidas Torrenciales elaborada por Ramos et al. (2017), propone el concepto de avenida torrencial. Lo define como un flujo rápido que transita por cauces permanentes o intermitentes con pendientes longitudinales altas, que puede ser generado por efecto de lluvias intensas. Involucra el transporte de una mezcla de agua y un contenido significativo de sólidos en diferentes proporciones. El aporte de sólidos al flujo puede provenir de las laderas adyacentes o del lecho de los cauces. Finalmente, cuando el flujo alcanza zonas de baja pendiente se genera el depósito del material a lo largo de su trayectoria.

8.1.4 Volcamiento

Tipo de movimiento en masa en el cual hay una rotación hacia delante, desde la cara de un talud natural o artificial, de uno o varios bloques de roca o suelo, alrededor de un punto o pivote de giro en su parte inferior. Este movimiento ocurre por acción de la gravedad, a la presión ejercida por el material situado encima de la masa afectada, por empujes de las unidades adyacentes o por la presión de fluidos en grietas. Se reconocen varios modos de volteo: En bloque, Flexional o flexural, Flexional en bloque y chevron. Se refiere al desplazamiento de masas hacia adelante, que rotan alrededor de un punto o un eje, situado en el centro de gravedad de la masa desplazada. Ocurrido el volcamiento, la masa puede caer o deslizarse dependiendo de su forma, de la geometría de la superficie de separación, de la orientación y extensión de las discontinuidades cinemáticamente activas. En el área de estudio o se identificaron procesos de este tipo.

8.1.5 Reptación

Es un movimiento lento del terreno en donde no se distingue una superficie de falla. Según Terzaghi (1950), este término se refiere a movimientos de laderas que ocurren a una tasa de desplazamiento imperceptible. Por su parte Cruden y Varnes (1996), lo definen como un movimiento continuo con una tasa de desplazamiento inferior a un pie por década. La reptación puede ser de tipo estacional cuando se asocia a cambios climáticos o de humedad del terreno (no considerada por Varnes), y verdadera cuando hay un desplazamiento relativamente continuo en el tiempo (reptamiento tipo flujo según Varnes).

8.2 ANÁLISIS E INDICADORES ESTADÍSTICOS MORFODINÁMICOS

8.2.1 Distribución Espacial de los Procesos

Las condiciones geológicas y estructurales de las laderas occidentales de Barranquilla favorecen la ocurrencia de procesos de inestabilidad situación que incide de manera negativa sobre las comunidades y en la infraestructura construida en el sector. En estas laderas se han realizado estudio de zonificación de amenazas por parte del INGEOMINAS (hoy Servicio geológico colombiano) en el año 1997 y posteriormente en el año 2011 se realizó otro estudio que incluyo trabajos de exploración y análisis geotécnicos. En ambos estudios se hicieron inventarios de movimientos en masa que a través del tiempo indican que la distribución de los movimientos ha aumentado en cantidad y en área donde se continúa afectando a población de escasos recursos asentada en estas laderas donde la calidad de la vivienda es precaria.

Durante el presente año y en desarrollo del presente estudio, nuevamente se hace el inventario de movimientos en masa a nivel de polígono, actividad que partió de la interpretación de un fotomosaico de alta resolución en el que se identificaron los movimientos que posteriormente fueron verificados y clasificados con controles de campo.

El desarrollo de los trabajos de campo arrojo como resultado la identificación de 49 sitios inestables que fueron cartografiados y clasificados de acuerdo con la metodología de Cruden y Varnes 1996; este valor es inferior al reportado en el estudio del año 2011 debido a que varios movimientos han aumentado su actividad durante los últimos 10 años y han capturado movimientos de menor tamaño ubicados en zonas aledañas. En la Figura 8.4 se presenta la localización de los 49 movimientos cartografiados y en la Tabla 8.1 y Figura 8.5 se resumen los datos morfométricos de cada uno de ellos junto con los mecanismos de falla identificados.

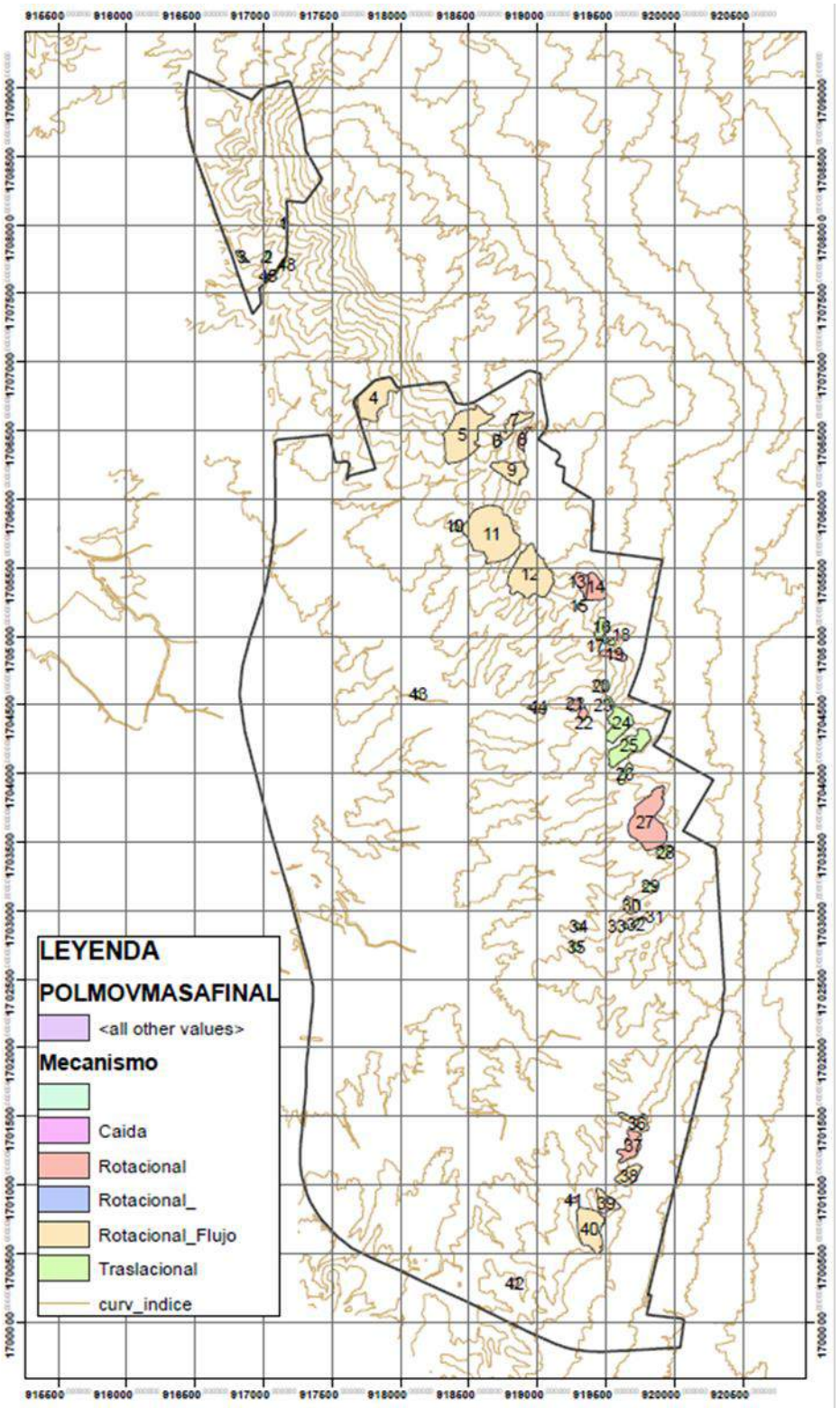


Figura 8.4 Distribución espacial de los movimientos en masa identificados en el año 2023 en el área de estudio

Tabla 8.1 Inventario de Movimientos en Masa en el área de estudio

NUM MM	MECANISMO	REFERENTE GEOGRÁFICO	ÁREA M²	ÁREA HA	LONGITUD CORONA PATA (M)	ANCHO SUPERFICIE RUPTURA (M)	DIFERENCIA ALTURA (M)
1	Traslacional	Miramar	945,57	0,095	18,5	53,71	6
2	Traslacional	Miramar	2611,19	0,261	79,49	39,5	12
3	Traslacional	Miramar	2246,26	0,225	17,2	112,95	8
4	Rotacional_Flujo	El Rubí	55870,10	5,587	333,54	197,86	36
5	Rotacional_Flujo	Las Terrazas, Villa del Rosario	85835,00	8,584	429,2	224,25	58
6	Rotacional_Flujo	Las Terrazas	3944,65	0,394	86,6	51,25	18
7	Rotacional_Flujo	Las Terrazas	17165,70	1,717	74,08	240,25	18
8	Rotacional	Las Colinas	7176,43	0,718	60,58	166,72	48
9	Rotacional_Flujo	Me Quejo	28726,80	2,873	267,82	152,66	43
10	Traslacional	Me Quejo	2905,83	0,291	61,2	54,3	11
11	Rotacional_Flujo	Me Quejo, Loma Roja, La Manga	118945,00	11,895	350,23	421,98	65
12	Rotacional_Flujo	La Manga Carlos Meisel, Nueva Colombia	86063,80	8,606	325,54	318,4	56
13	Rotacional	Carlos Meisel	11560,40	1,156	112,43	126,49	28
14	Rotacional	Carlos Meisel	20732,70	2,073	141,18	199,01	26
15	Traslacional	Nueva Colombia sector Norte	671,21	0,067	17,93	43,49	5
16	Traslacional	Nueva Colombia Sector Oriental	10769,30	1,077	164,15	82,72	30
17	Traslacional	Nueva Colombia Sector Oriental	1550,45	0,155	48,67	39,1	8
18	Traslacional	Nueva Colombia Sector Oriental	1812,04	0,181	39,85	52,83	10
19	Rotacional	La Esmeralda	9628,06	0,963	207,59	59,05	32
20	Rotacional_Flujo	La Esmeralda	5241,88	0,524	88,66	67,61	10
21	Rotacional	La Esmeralda	7889,35	0,789	126,59	84,03	12
22	Rotacional	La Esmeralda	4536,76	0,454	80,49	65,28	12
23	Traslacional	La Esmeralda	3142,03	0,314	74,55	51,78	18
24	Traslacional	El Valle, La Esmeralda, Cuchilla de Villate	31223,60	3,122	251,7	164,15	36
25	Traslacional	Cuchilla de Villate	39179,20	3,918	116,7	369,25	24

NUM MM	MECANISMO	REFERENTE GEOGRÁFICO	ÁREA M²	ÁREA HA	LONGITUD CORONA PATA (M)	ANCHO SUPERFICIE RUPTURA (M)	DIFERENCIA ALTURA (M)
26	Traslacional	Cuchilla de Villate	7859,35	0,786	163,22	53,25	24
27	Rotacional	El Bosque sector Villa Caracas	81098,00	8,110	241,43	392,12	27
28	Traslacional	El Bosque sector Villa Caracas	7382,26	0,738	118,29	68,98	15
29	Traslacional	El Bosque Parte Alta	4567,89	0,457	86,62	64,25	16
30	Rotacional_Flujo	El Bosque Parte Alta	10367,30	1,037	122,05	104,46	22
31	Caída	El Bosque Parte Alta	451,78	0,045	10,25	49,5	7
32	Traslacional	El Bosque Parte Alta	1875,04	0,188	27,59	72,12	14
33	Traslacional	El Bosque Parte Alta	1039,88	0,104	40,61	29,29	12
34	Traslacional	El Bosque Parte Alta	2687,75	0,269	43,72	59,45	7
35	Traslacional	El Bosque Parte Alta	3051,67	0,305	56,72	61,24	11
36	Rotacional_Flujo	Las Américas	13668,40	1,367	234,67	109,81	28
37	Rotacional	Santo Domingo Sabio	22117,90	2,212	121,11	223,52	19
38	Rotacional_Flujo	Carrizal	16877,70	1,688	190,28	100,96	19
39	Rotacional_Flujo	Carrizal	16860,10	1,686	183,46	120,66	28
40	Rotacional_Flujo	Siete de Abril	48509,90	4,851	174,59	281,89	32
41	Rotacional	Carrizal	1806,72	0,181	48,89	37,25	10
42	Rotacional	Siete de Abril	2755,89	0,276	41,12	65,19	11
43	Traslacional	Ciudad Modesto	1619,66	0,162	36,24	51,04	4
44	Rotacional_Flujo	La Esmeralda	7047,77	0,705	69,03	117,24	9
45	Traslacional	Miramar	278,65	0,028	29,75	10,76	5
46	Traslacional	Miramar	90,99	0,009	16,08	7,3	3
47	Traslacional	Miramar	55,84	0,006	12,3	2,29	3
48	Traslacional	Miramar	218,06	0,022	21,76	11,2	5
49	Traslacional	Miramar	181,64	0,018	17,21	13,5	4
TOTAL		**812843,45**		**81,28**			

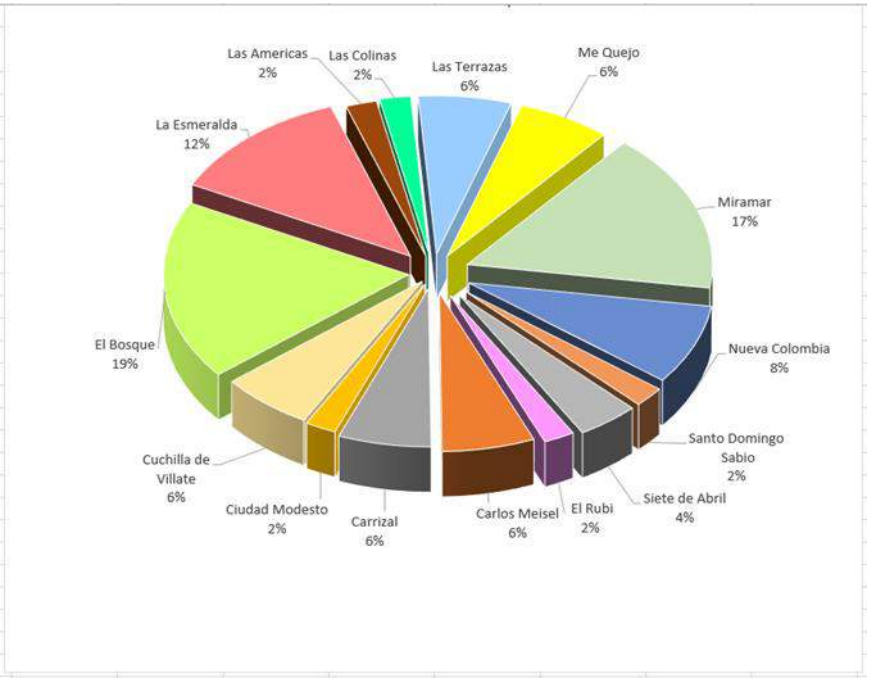


Figura 8.5 Distribución de movimientos en masa cartografiados por barrios

Es relevante señalar que todos los movimientos cartografiados tienen importancia por el grado de afectación directa que tienen sobre la población que habita estos sectores donde cada año los residentes deben hacer inversiones en mantenimiento o reubicación de las viviendas que generalmente están construidas sin ningún tipo de especificación técnica.

La Figura 8.5 muestra la distribución de los movimientos por barrios, pero no tiene relación con las áreas afectadas en estos, es decir el tener mayor número de movimientos en un barrio no implica tener la mayor distribución de áreas deslizadas.

8.2.2 Evolución Temporal de los Procesos Inventariados

Debido al régimen de precipitaciones que a través del tiempo se ha incrementado en la zona conllevando al aumento en el área de afectación de varios de los movimientos cartografiados en el año 2010, donde se observa que algunos han capturado procesos aledaños con un aumento significativo en el área afectada. De acuerdo con el análisis de los datos de áreas afectadas en el año 2010 que correspondía a 55.16 ha para la misma zona de la ladera occidental, se observa que para el año 2023 las áreas cartografiadas corresponden a 81.28 ha con un aumento de 26.11 ha que corresponden a un 32.12 % más.

Del análisis de la información de fotointerpretación y de la verificación hecha durante el control de campo del año 2023 y la comparación con los datos plasmados en el informe del año 2010 se concluye que en la ladera occidental los movimientos continúan activos y desplazan suelos residuales, rellenos antrópicos y roca. Algunos de estos procesos tienen actividad intermitente desde antes de 1998 y actualmente continúan generando afectación sobre viviendas, vías de comunicación y redes de servicios públicos.

Debido a la falta de un sistema de monitoreo de los movimientos, no se pueden determinar las velocidades de desplazamiento del terreno: en este trabajo se tomaron como referencia los movimientos cartografiados en el año 2010 y se compararon con los cartografiados en el 2023, lo anterior permite determinar de manera aproximada el avance de los movimientos hacia la corona, pata y flancos de estos.

Con base en la comparación cartográfica de la distribución de áreas de los movimientos en los años 2010 y 2023 se puede establecer que en estas laderas se continúan ampliando las áreas afectadas por movimientos en masa, situación que tiene relación estrecha con la ocupación irregular de estos territorios donde además no se cuenta con servicios de acueducto y alcantarillado favoreciendo los desperdicios de agua que se infiltra incrementado la problemática. En los últimos 12 años el aumento de áreas deslizadas ha sido de 26.11 ha con un incremento del 31.12% pasando de 55.17 ha en el año 2010 a 81.28 para el año 2023.

8.2.3 Relación entre los Procesos Inventariados y la Unidad Geológica Superficial

En la Figura 8.6 se presenta la distribución de los movimientos teniendo en cuenta la unidad geológica superficial a la que están asociados. Se observa que la mayor cantidad de movimientos en masa está asociada a rocas de calidad baja de las arcillolitas laminadas de la formación perdices (Rbal) que de manera individual presenta el 28.34% y asociada con Arcillolita calcárea de la formación Popa Inferior (Rbal-Rbap) otro 35.38% y con Llenos de escombros y Basuras (Rbal-Stlae) ocupa otro 22.41% para un total de 86.13 %. Lo anterior muestra que cualquier intervención en rocas de la formación Perdices se debe realizar con la elaboración previa de estudios de mayor detalle que permitan establecer la pertinencia de las inversiones debido a que pueden ser afectadas o destruidas en corto tiempo.

Las condiciones de estas rocas pueden variar de un lugar a otro y, por lo tanto, para cada obra de infraestructura, construcción de nuevas viviendas o reconstrucción de las afectadas se deben hacer estudios puntuales en cada predio a intervenir. Los estudios de detalle corresponden básicamente a estudios de diseño los cuales deberán comprender:

- Levantamiento topográfico detallado, escala 1:500.
- Geología de detalle, escala 1:500
- Geomorfología de detalle, escala 1:500
- Exploración del subsuelo. Debido al carácter arcilloso no se debe permitir el uso del SPT, para tal fin se recomienda la ejecución de sondeos en diámetro HQ.
- Ejecución de ensayos de laboratorio, orientados a pruebas de corte directo, para condición pico y residual, así como pruebas de consolidación y triaxiales.
- Levantamiento detallado de viviendas que se pueda ver afectadas por el deslizamiento. Se deberá incluir no solamente la vulnerabilidad estructural, sino, la vulnerabilidad social.
- Modelo geológico geotécnico de detalle.
- Análisis de estabilidad para la condición con obras de mitigación.
- Diseño de medidas de mitigación
- Presupuesto de las obras de mitigación.
- Especificaciones técnicas

Siguen en orden las Arcillolitas calcáreas de la formación Popa inferior (Rbap) con el 7.25% y asociadas a por Llenos de escombros y Basuras (Rbal-Stlae) otro 3.53 % para un total de 10.78%. Los porcentajes restantes corresponden a movimientos que se presentan en areniscas cuarzosas de la formación Popa y llenos de escombros y basura con el 3.09%.

CÓDIGO _ UGS	TOTAL	ÁREA M²	ÁREA HA	%	UNIDAD
Rbac	4	6418,37	0,64	0,79	Areniscas cuarzosas Popa
Rbal	22	230829,70	23,08	28,34	Arcillolita laminada Perdices
Rbal-Rbap	10	288177,04	28,82	35,38	Arcillolita laminada Perdices y Arcillolita calcárea de la formación Popa Inferior
Rbal-Stlae	5	182521,97	18,25	22,41	Arcillolita laminada Perdices y Llenos de escombros y Basuras
Rbap	5	59052,39	5,91	7,25	Arcillolita calcárea de la formación Popa Inferior
Rbap-Stlae	1	28726,80	2,87	3,53	Arcillolita calcárea de la formación Popa inferior y Llenos de escombros y Basuras
Stlae	2	18736,83	1,87	2,30	Llenos de escombros y Basuras

CÓDIGO_UGS	TOTAL	ÁREA M²	ÁREA HA	%
Rbac	4	6418,37	0,64	0,79
Rbal	22	230829,70	23,08	28,34
Rbal-Rbap	10	288177,04	28,82	35,38
Rbal-Stlae	5	182521,97	18,25	22,41
Rbap	5	59052,39	5,91	7,25
Rbap-Stlae	1	28726,80	2,87	3,53
Stlae	2	18736,83	1,87	2,30

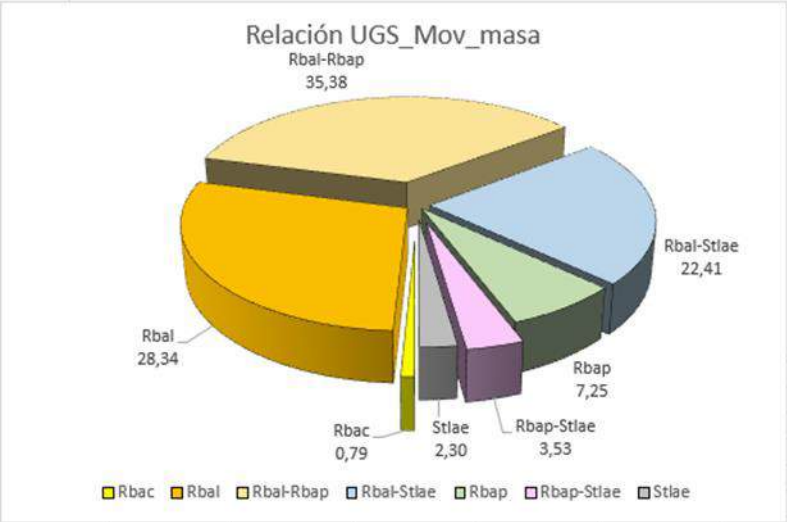


Figura 8.6 Distribución de movimientos en masa cartografiados por Unidad geológica

De acuerdo con la información anterior las unidades donde se presenta el mayor número movimientos corresponden a rocas asociadas a arcillolitas de la formación Perdices y a la Arcillolita calcárea de la formación Popa inferior, unidades en las que se debe poner atención antes de planificar o autorizar cualquier intervención.

8.2.4 Estado de los Movimientos

De acuerdo con el análisis de la información recopilada en campo se cartografiaron 49 movimientos de los cuales el 76 % está activo (37 movimientos), el 22 % está suspendido (11) movimientos y solo el 2% se ha estabilizado mediante el diseño y construcción de obras de ingeniería (1 movimiento). La distribución porcentual del estado de los movimientos se muestra en la Figura 8.7.

Lo anterior muestra que estas laderas tienen alta actividad por movimientos en masa debido a causas inherentes a las condiciones geológicas del sector donde predominan las rocas arcillosas de las formaciones Perdices y el nivel de Arcillolita calcárea de la formación Popa inferior.



Figura 8.7 Estado de movimientos en masa cartografiados

8.2.5 Mecanismos de Falla Predominantes

El análisis de la información recopilada permite establecer que el mecanismo de falla predominando es el deslizamiento de tipo traslacional con el 48.98%, seguidos de un mecanismo combinado Rotacional y flujos con un 28.57% y los movimientos rotacionales con el 20.41% mientras que las caídas se restringen a sitios puntuales y solo ocupan 2.04%.

La Figura 8.2 muestra la distribución de los mecanismos predominantes que se resumen en la Tabla 8.2. De la revisión de estos datos se observa que el mecanismo traslacional tiene el mayor porcentaje y se distribuye principalmente en los niveles de arcillolitas laminadas de la formación Perdices donde en presencia de agua se deslizan fácilmente por la ladera generando acumulaciones de materiales que generan sobrepeso y deformaciones que afectan los elementos expuestos como viviendas, vías y zonas con cobertura vegetal.

Tabla 8.2 Relación de los mecanismos de los movimientos en masa cartografiados

MECANISMO	TOTAL MOVIMIENTOS	ÁREA M2	ÁREA HA	%
Caída	1	451,78	0,05	2,04
Rotacional	10	169302,21	16,93	20,41
Rotacional_Flujo	14	515124,10	51,51	28,57
Traslacional	24	127965,36	12,80	48,98
Total	49	812843,45	81,28	100,00

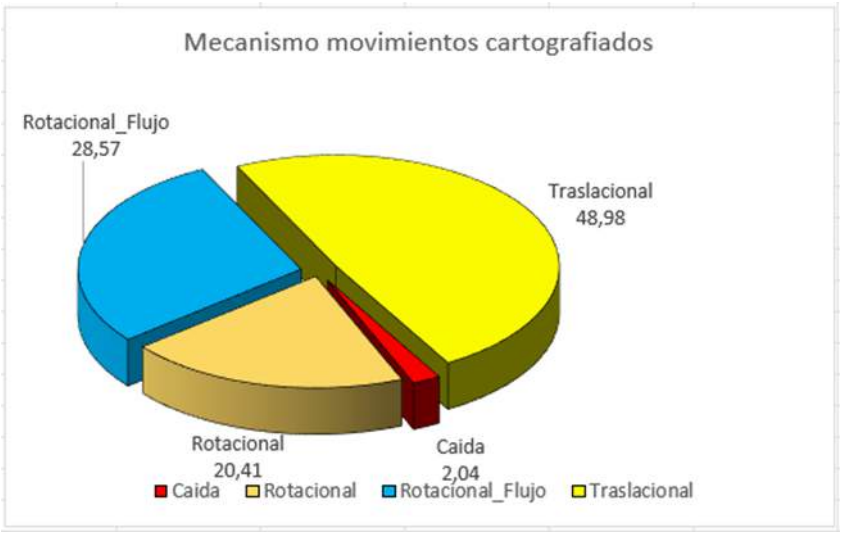


Figura 8.8 Mecanismos de falla predominantes en el área de estudio

8.2.6 Relación entre los Procesos Inventariados y la Distribución

La mayoría de los procesos inventariados se caracteriza por presentar distribuciones combinadas de tipo retrogresivo (42.86%) y ensanchando (38.78%), la comparación entre la información cartográfica del año 2010 y la generada en el 2023 muestra que la mayoría de los movimientos ha avanzado hacia la zona de corona y lateralmente llegando en algunos casos a unir movimientos cartografiados de manera individual en años anteriores. También se presentan movimientos con distribución decreciente (14.29%) y avanzado (4.08%). La Tabla 8.3 y Figura 8.9 permite observar la distribución de los movimientos inventariados.

Tabla 8.3 Relación entre los procesos inventariados y la distribución

DISTRIBUCIÓN MOVIMIENTOS	TOTAL MOVIMIENTOS	ÁREA M2	ÁREA HA	%
Avanzado	2	69538,50	6,95	4,08
Decreciente	7	25065,76	2,51	14,29
Ensanchado	19	582413,34	58,24	38,78
Retrogresivo	21	135825,84	13,58	42,86

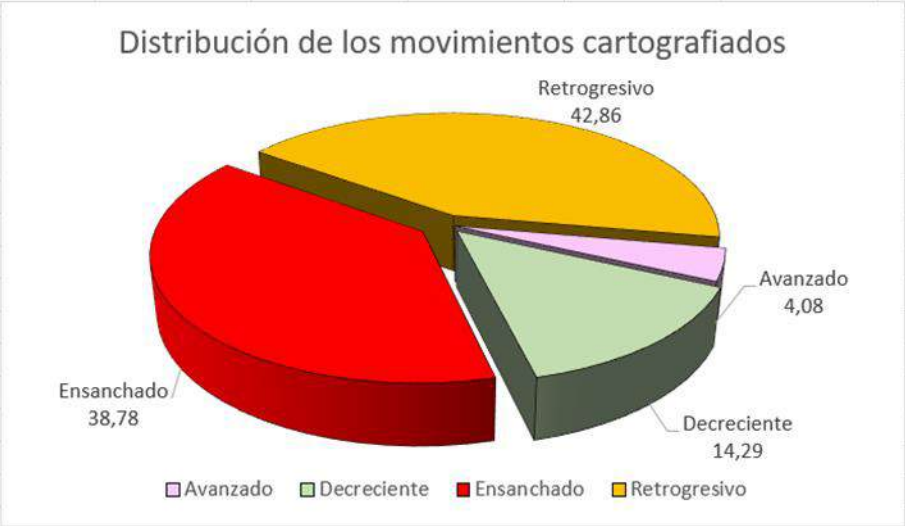


Figura 8.9 Distribución de movimientos en masa inventariados en el año 2023

8.3 DESCRIPCIÓN DE SITIOS CRÍTICOS

8.3.1 Movimiento Villa del Rosario las Terrazas

Este movimiento presenta sus primeros reportes desde el año 1971-1972 cuando se presentó agrietamiento de casas y ruptura de alcantarillas, posteriormente tiene reactivaciones hacia el año 1993 con caída de viviendas por efectos retrogresivo en dirección noroeste y en 1995 cuando se reactiva en la pata del mismo, (Ingeominas 1997). En el estudio de Ingeominas 1997, este movimiento es descrito con una longitud de corona de 400 m con escarpes principal de 2 a 4 m de altura que a través del tiempo fueron cubiertos por rellenos de escombros y de materiales de construcción, de igual manera se describe longitud de 380 metros, ancho aproximado de 150 m y la presencia de escarpes secundarios activos modificados de manera periódica por rellenos y la remoción de escombros con Bulldozer.

Este deslizamiento también es reportado como activo en los estudios del Ingeominas 2011 cuando se cartografío con un área de 5.2 ha. Para el año 2023 el movimiento continúa activo, tiene un área de 8.5 ha y sobre este existen viviendas con afectaciones en paredes y pisos debidas al permanente desplazamiento de la masa a lo largo de la ladera, esta situación obliga a los propietarios a realizar mantenimiento o reconstrucción periódica de las viviendas que en algunos sectores están construidas en madera. Es importante tener en cuenta que esta ladera ha permanecido ocupada por viviendas desde la época del primer movimiento y que paulatinamente ha aumentado la cantidad de viviendas que no cuentan con un sistema adecuado de alcantarillado por lo que el aporte permanente de agua a esta ladera se ha incrementado y la actividad del movimiento también, la cual se refleja en la destrucción de las viviendas. Figura 8.10 a Figura 8.13.

Debido a la permanente actividad antrópica relacionada con la nivelación del terreno en la mayoría de los casos utilizando escombros de construcción y residuos domésticos dispuestos sobre niveles de arcillolitas de la formación perdices lo que ha generado sobrecarga de la ladera y también el

inadecuado manejo de las aguas residuales se constituye en uno de los principales detonantes de los movimientos en masa.

Para proteger la vida de las personas que habitan en estos sectores se recomienda hacer la reubicación a sitios estables y proceder a la demolición de las viviendas actuales, actividad que debe estar acompañada de programas de cambio de uso del suelo donde se prohíba cualquier tipo de actividad en estos terrenos y se haga vigilancia para evitar que otras personas vengan a ocupar estos lugares.



Figura 8.10 Ortofoto donde se muestra el movimiento del barrio Villa del Rosario
La línea negra muestra la distribución del movimiento para el año 2011 y la línea roja el avance al año 2023



Figura 8.11 Sector occidental del movimiento en masa desarrollado sobre arcillolitas laminadas de La Formación Las Perdices

Se observan algunos gaviones destruidos por el movimiento contiguo a la calle 82 con Carrera 35C



Figura 8.12 Destrucción de pisos de una de las viviendas del sector por reactivación del movimiento en el año 2022



Figura 8.13 Inclinación de las viviendas por efecto del movimiento del año 2022
La línea roja de la derecha y flecha azul muestran la inclinación de una de las paredes de la vivienda construida en madera

8.3.2 Movimiento Barrio el Silencio Carrera 26 C Calle 79 B

Este movimiento afecta parte del Barrio el Silencio y esta reportado en los estudios realizados en el año 1997, afecta la zona aledaña a la margen izquierda del Arroyo el Salado y durante los últimos años ha mantenido actividad causando daños en viviendas y las vías de la zona. Se trata de un movimiento de tipo rotacional con dimensiones aproximadas de 270 m de longitud, 160 m de ancho y espesor que puede superar los 5 m, y área aproximada de 2.87 ha que desplaza niveles de arcillolitas calcáreas de la formación Popa y arcillolitas de la formación Perdices cubiertas en la zona de corona por escombros de construcción y basuras que cubren el escarpe principal del movimiento

La corona de este movimiento coincide con el límite de la carrera 26 C, sector donde se encontraban viviendas que fueron destruidas junto con la vía que presenta grieta y hundimientos. Aunque no fue posible determinar la profundidad de la zona de falla, esta se puede estimar en más de 3 metros y al igual que en zonas aledañas las grietas que se generan por el movimiento son rellenadas por escombros de construcción y basuras, generando contaminación visual.

En el cuerpo del movimiento se observan algunas construcciones que no fueron terminadas al percatarse de la actividad del movimiento que obliga a la administración municipal al mantenimiento periódico de la malla vial para garantizar la transitabilidad de los vehículos que se desplazan desde la zona occidental.

Las causas de este movimiento o están asociadas a las condiciones geológicas de la zona que está constituida por arcillolitas de la formación Perdices y a la actividad antrópica representada por la excavación de la ladera para la construcción de viviendas; de igual manera la ubicación irregular de viviendas genera vertimientos de agua servida en las laderas que cuando se saturan se deslizan generan do retrogresión que ha llegado hasta la carrera 26C. Ver Figura 8.14 a Figura 8.18.



Figura 8.14 Ortofoto del movimiento que muestra el movimiento del barrio El Silencio que ha aumentado el área de afectación con relación al año 2011

La línea negra muestra la distribución del movimiento para el año 2011 y la línea roja el avance para el año 2023



Figura 8.15 Ortofoto del movimiento que muestra la zona de corona en la Carrera 26 C Calle 79 B

Se destruyeron varias viviendas y hay agrietamientos en la vía



Figura 8.16 Detalle de viviendas destruidas en la calle 79B con Carrera 26 C en zona de corona
Se presentan grietas en la vía por el avance retrogresivo del movimiento



Figura 8.17 Acumulación de basuras y escombros de construcción en la zona contigua a la calle 79B con Carrera 26 B
Se muestra el escarpe secundario en la parte posterior de las viviendas destruidas



Figura 8.18 Construcciones hechas en el cuerpo del deslizamiento
No fueron terminadas debido a los movimientos que se presentan en el sector

8.3.3 Movimiento Barrio Mequejo

Este movimiento es reportado en los estudios realizados por el INGEOMINAS en el año 1997 donde se menciona que en el año 1987 la comunidad del sector reporto la destrucción de aproximadamente 150 viviendas. Para está época se describe como un deslizamiento de escombros de tipo complejo, ensanchado que para esta época afectaba un área aproximada de 3.2 ha y tenía unas dimensiones de 350 m de largo, 180 de ancho y un escarpe principal de 5 m.

Este movimiento también es reportado en diferentes noticias de los periódicos locales y en el estudio realizado por Ingeominas en el año 2011. Para el año 2023 el movimiento se observa que el movimiento continúa activo y ha generado afectación reciente a viviendas localizadas en la zona de pata del movimiento donde se presentan flujos de tierra que por empuje ha destruido las paredes de alginas viviendas; en este sector hay salida permanente de un importante caudal de agua que brota desde los niveles de arcillolitas de y suelos residuales de la formación Perdices que se movilizan desde la parte alta en forma de flujos.

En el cuerpo del movimiento y en la parta alta del mismo se observan hundimientos diferenciales en zona de arcillolitas y suelos residuales arcillosos de la formación perdices que están deformados y tienen grietas perpendiculares a la dirección de ladera donde hay escarpes secundarios de altura variable entre 1 y 3 metros, mientras que en la zona de corona el movimiento deja a la vista un botadero de escombros y basuras que tienen más de 10 m de espesor y donde actualmente se encuentran asentadas algunas familias que a pesar de las deformaciones del terreno hacen mantenimiento periódico a la casas construidas en madera. Estas acumulaciones de escombros y basuras también son reportadas en los estudios realizados por Carvajal y Barbosa en 1993 quienes atribuyen como causa de estos movimientos la sobrecarga del talud por la acumulación de los

escombros de construcción y basuras en la parte alta de la ladera y los permanentes flujos de agua de manantiales y zonas húmedas asociadas a flujos subterráneos de aguas de los acueductos comunitarios que abastecen de agua a las viviendas del sector, la disposición estructural de arcillolitas a favor de la pendiente del terreno y a los vertimientos de aguas servidas, actividad que aún persiste en las viviendas que se encuentran dispersas en el cuerpo del movimiento. Ver Figura 8.19 a Figura 8.22.

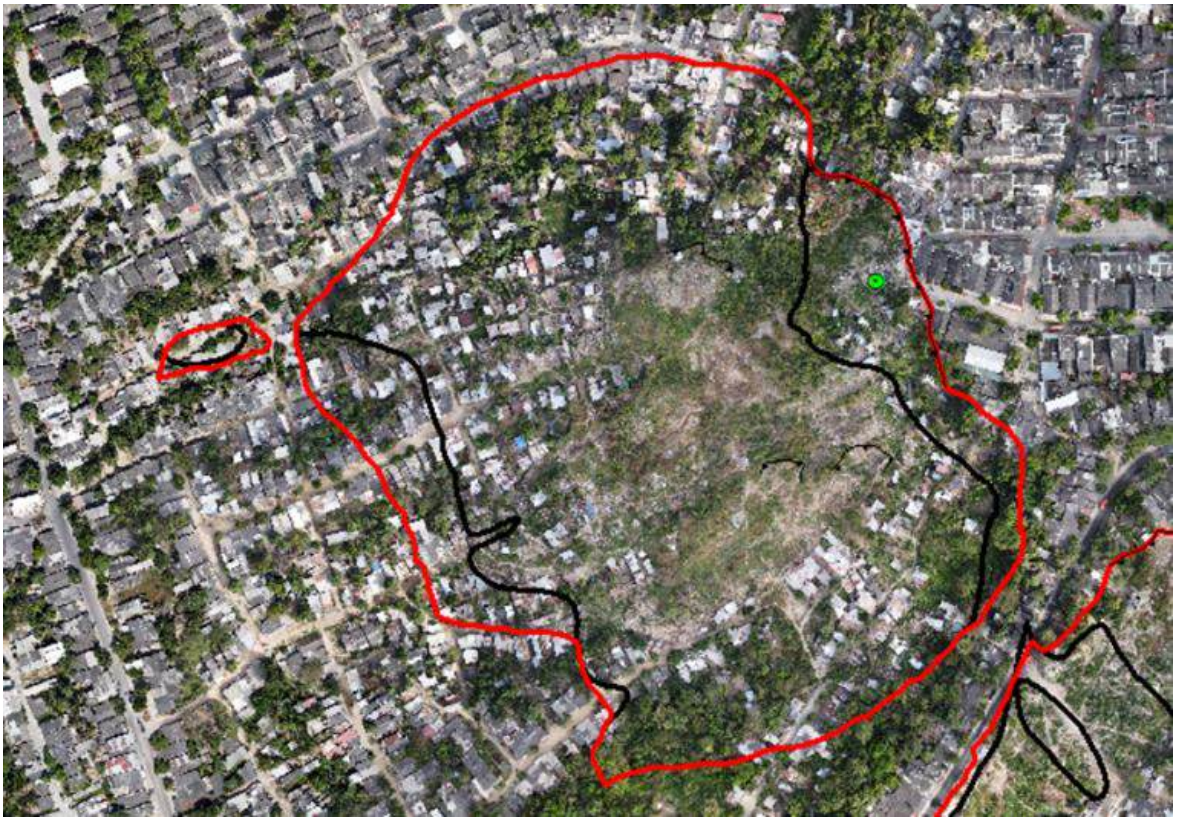


Figura 8.19 Ortofoto del movimiento del barrio Mequejo

Ha aumentado el área de afectación con relación al año 2011, la línea negra muestra la distribución del movimiento para el año 2011 y la línea roja el avance a 2023



Figura 8.20 Panorámica del movimiento en masa desarrollado sobre arcillas de La Formación Las Perdices
Afecta el sector de Mequejo donde se continúan instalando viviendas en madera. Las flechas de color rojo muestran la dirección del movimiento.

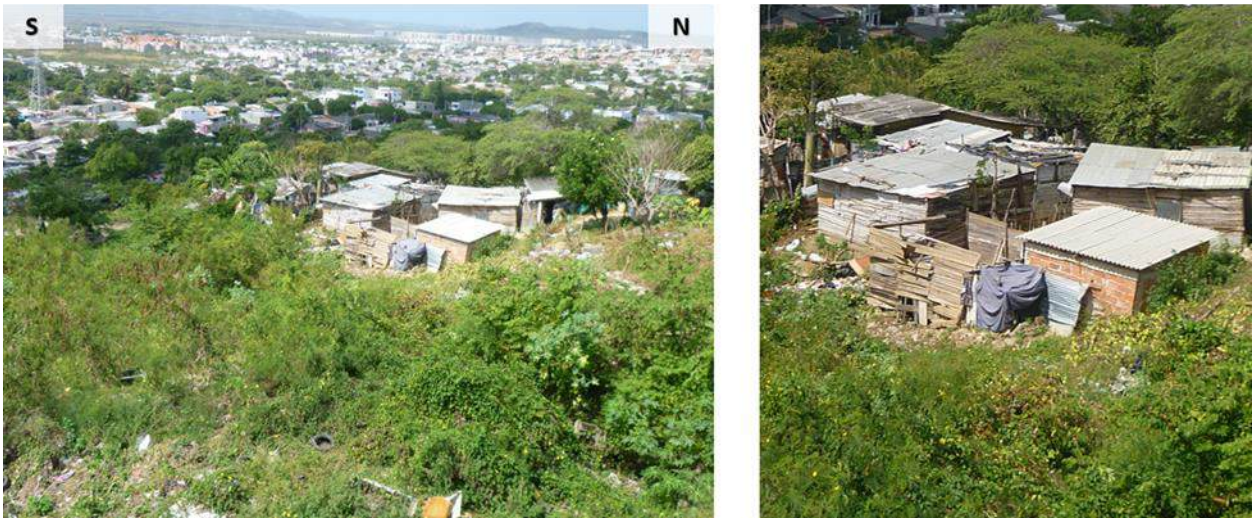


Figura 8.21 Panorámica y detalle de viviendas reconstruidas recientemente en el cuerpo del movimiento de Mequejo.



Figura 8.22 Pata del deslizamiento
Se observa la destrucción de viviendas por el empuje de los suelos arcillosos deslizados que en presencia de agua fluyen dejando montículos y abombamientos en el terreno

8.3.4 Movimiento La Manga

Este movimiento se presenta en la parte alta del barrio la Manga y tiene reportes de actividad desde hace más de 10 años cuando se presentó agrietamiento y destrucción de más de 50 viviendas construidas en mampostería y en madera. Estas viviendas en su mayoría estaban construidas sobre antiguos botaderos de escombros de construcción y basuras cuyo espesor puede superar los 10 m.

Este movimiento se encuentra activo, es de tipo rotacional ensanchado y retrogresivo de aproximadamente 370 m de longitud con escarpe principal de entre 1 m y 5 m de altura, ancho máximo de 310 m y hasta la fecha afecta un área aproximada de 11.8 ha ubicadas entre la calle 75 A y la calle 78 y carreras 22B y 24C e involucra parte del Barrio Nueva Colombia en el sector Occidental.

Este movimiento se encuentra activo, es de tipo rotacional con desplazamientos verticales de depósitos heterogéneos de escombros de construcción y basuras dispuestas en esta ladera en años anteriores sin ningún tipo de técnica. La geología de la zona está constituida por niveles de arcillolitas de la formación Perdices en la zona de pata, mientras que en la zona de corona está constituida por niveles de arcillolitas calcáreas y calizas de la formación Popa (ambas cubiertas por escombros de construcción y basuras que contribuyeron a sobrecargar la zona deslizada. Las condiciones actuales del sector se muestran en la Figura 8.23 a la Figura 8.27 donde se observan los escarpes principales y secundarios dejados por el movimiento y viviendas destruidas.



Figura 8.23 Ortofoto del movimiento del barrio La Manga

Ha aumentado el área de afectación con relación al año 2011, la línea negra muestra la distribución del movimiento para el año 2011 y la línea roja el avance para el año 2023

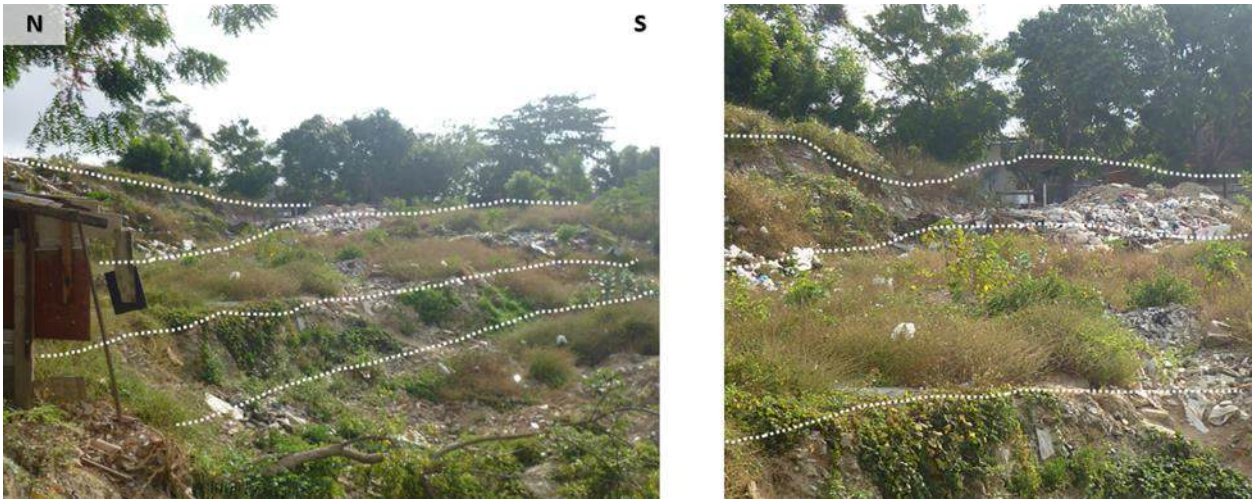


Figura 8.24 Escarpes secundarios de hasta 3 m de altura dejados en la zona de corona por hundimientos diferenciales del movimiento que exponen depósitos de escombros y basuras



Figura 8.25 Hundimientos diferenciales dejados por el movimiento en el sector la Manga
Este deslizamiento desplaza depósitos de basuras y escombros de construcción de espesor mayor a 10 metros



Figura 8.26 Ruinas de una de las viviendas localizadas sobre la calle 78 la cual resultó destruida por los movimientos que afectaron el barrio La Manga en el año 2022
A la derecha montículo de escombros con altura mayor a 5 m

De acuerdo a información disponible, este sector históricamente ha sido afectado por movimientos en masa que han destruido las viviendas construidas sobre escombros de construcción y basuras dispuestas en este sector hace varios años, siendo la reactivación más reciente la ocurrida en el mes de septiembre de 2022 cuando destruyo más de 50 viviendas, repitiendo la problemática presentada hace más de 10 años cuando también fue destruida y aunque para esa época la administración genero procesos de reubicación ,la zona fue reconstruida nuevamente sin tener en cuenta los eventos del pasado.

En este sector los desplazamientos diferenciales del terreno son más evidentes por lo escarpes secundarios de más de 3 metros de altura y con aberturas del suelo de hasta un metro de ancho y múltiples grietas donde el agua lluvia y de escorrentía se infiltra hasta la zona de contacto con las arcillolitas de la formación perdices que actúa como superficie de falla. A diferencia de otros sectores en la Manga las viviendas fueron destruidas por completo y a la fecha no se han reconstruido debido al desplazamiento permanente de los depósitos, las modificaciones en la topografía del terreno y la infiltración de agua al subsuelo que está contribuyendo a mantener activo el movimiento.



Figura 8.27 Panorámica del movimiento en masa desde la zona de corona en dirección SW (flecha roja)
En la parte baja se encuentran algunas viviendas y la vía que comunica a la Manga con el centro de la ciudad

8.3.5 Movimiento Nueva Colombia Sector Occidental

Este movimiento presenta sus primeros reportes en el estudio realizado por INGEOMINAS en el año 2011, de acuerdo a información disponible, este sector históricamente ha sido afectado por movimientos en masa que han destruido las viviendas construidas sobre niveles de arcillolitas de la formación Perdices en la zona de pata, mientras que en la zona de corona está constituida por niveles de arcillolitas calcáreas y calizas de la formación Popa (ambas cubiertas por escombros de

construcción y basuras que contribuyeron a sobrecargar la zona deslizada, siendo la reactivación más reciente la ocurrida en el mes de septiembre de 2022 cuando destruyo viviendas.

En este sector los desplazamientos diferenciales del terreno son más evidentes por lo escarpes secundarios dejados que en algunos sitios puede ser mayor a 2 metros de altura con aberturas del suelo de hasta un metro de ancho y múltiples grietas donde el agua lluvia y de escorrentía se infiltra hasta la zona de contacto con las arcillolitas de la formación perdices que actúa como superficie de desplazamiento. A diferencia de otros sectores en este sector el empuje de la masa en movimiento genero abombamientos que destruyeron por completo algunas viviendas y desplazo en más de 10 metros postes de energía y casas

La dinámica de este movimiento ha causado la destrucción de viviendas y afectación a las redes de acueducto y alcantarillado que en general son construidas por la comunidad sin especificaciones técnicas; lo anterior genera fugas y favorece la infiltración de aguas servidas al subsuelo, contribuyendo a la reactivación de los movimientos.



Figura 8.28 Ortofoto del movimiento del barrio Nueva Colombia sector occidental
La línea negra muestra la distribución del movimiento para el año 2011 y la línea roja el avance a 2023. Este movimiento conecta con el deslizamiento de la Manga



Figura 8.29 Destrucción de muro de contención debido al empuje generado por el movimiento en masa que afecta el barrio Nueva Colombia en el sector occidental



Figura 8.30 Desplazamiento de andenes, destrucción de viviendas y abombamiento del terreno por el movimiento en masa, barrio Nueva Colombia sector occidental



Figura 8.31 Destrucción de viviendas y vías

La manguera negra que está sobre la vía corresponde a la recuperación de la red de acueducto dañada por el movimiento del barrio Nueva Colombia sector occidental



Figura 8.32 Desplazamiento de andenes, destrucción de viviendas, desplazamiento e inclinación de postes debido al movimiento del terreno

La flecha roja muestra el desplazamiento del poste barrio Nueva Colombia sector occidental



Figura 8.33 Ortofoto que muestra el movimiento del barrio Nueva Colombia sector orienta
la línea negra muestra la distribución del movimiento para el año 2011 y la línea roja el avance a 2023. En el punto verde se observa la deformación de la vía por el desplazamiento del terreno



Figura 8.34 Desplazamiento de andenes, destrucción de viviendas, vía e inclinación de postes debido al desplazamiento del terreno por el movimiento en masa, barrio Nueva Colombia sector oriental



Figura 8.35 Destrucción de andenes y viviendas debido al desplazamiento del terreno por el movimiento en masa, barrio Nueva Colombia sector oriental

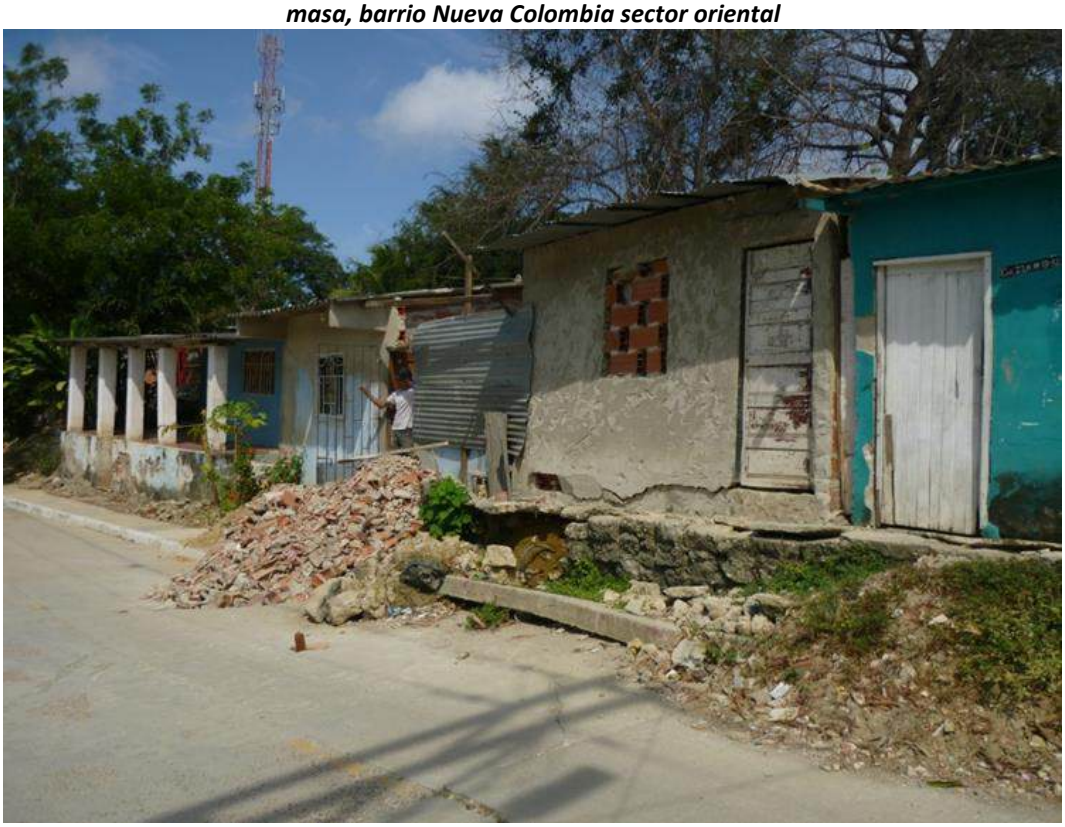


Figura 8.36 Destrucción de andenes y viviendas por el movimiento en masa, barrio Nueva Colombia sector oriental

8.3.6 Movimiento Sector Cuchilla de Villate

Este movimiento afecta el sector de Cuchilla de Villate y sus inicios de actividad están reportados para noviembre del año 1993 en los estudios realizados por (Carvajal 1997). Se trata de un movimiento de tipo rotacional con dimensiones aproximadas de 110 m de longitud, 300 m de ancho y espesor que puede superar los 3 m, El escarpe principal de este movimiento es enmascarado por escombros de construcción y basuras en una zona donde se han construido viviendas en madera y bloque las cuales se encuentran con fisuras en paredes y pisos y deben ser reparadas continuamente

En el sector la geología está constituida por arcillolitas calcáreas de la formación Popa y arcillolitas de la formación Perdices que han desarrollado suelos residuales arcillosos de color gris claro, plásticos y que especialmente en la zona de corona están cubiertos por escombros de construcción y basuras dispuestos en las laderas de manera desordenada en años anteriores, En el cuerpo del movimiento se observan grietas generadas por movimientos recientes que han dejado escarpes de hasta 1 m de altura donde se observan los cimientos de construcciones destruidas por este movimiento en años anteriores y que nuevamente han sido reconstruidas luego de hacer nivelación del terreno.

La dinámica de este movimiento ha causado la destrucción de viviendas y afectación a las redes de acueducto y alcantarillado que en general son construidas por la comunidad sin especificaciones técnicas; lo anterior genera fugas y favorece la infiltración de aguas servidas al subsuelo, contribuyendo a la reactivación de los movimientos.

En la Figura 8.37 a la Figura 8.42 se muestran imágenes del estado actual del terreno donde se observan las paredes de viviendas construidas en mampostería y madera que continúan habitadas a pesar de estar muy cerca de las grietas que atraviesan el movimiento en sentido perpendicular a la dirección de la ladera.

En este sector es común encontrar la salida y flujo de aguas servidas por las calles debido a la rotura de la tubería por el deslizamiento; lo anterior además de generar malos olores contribuye a mantener saturado el suelo y acelerar la velocidad del deslizamiento.



Figura 8.37 Ortofoto que muestra el movimiento de Cuchilla de Villate
La línea negra muestra la distribución del movimiento para el año 2011 y la línea roja el avance a 2023



Figura 8.38 Viviendas habitadas cerca de escarpe secundario dejado por el movimiento reciente de materiales de relleno

Las flechas indican el desplazamiento vertical reciente de un bloque de terreno que afecto varias viviendas



Figura 8.39 Escombros de la estructura en madera que sostenía las tejas de zinc y que colapso durante la visita

Esta fotografía fue tomada el mismo día que la anterior con intervalo de 1 hora de tiempo

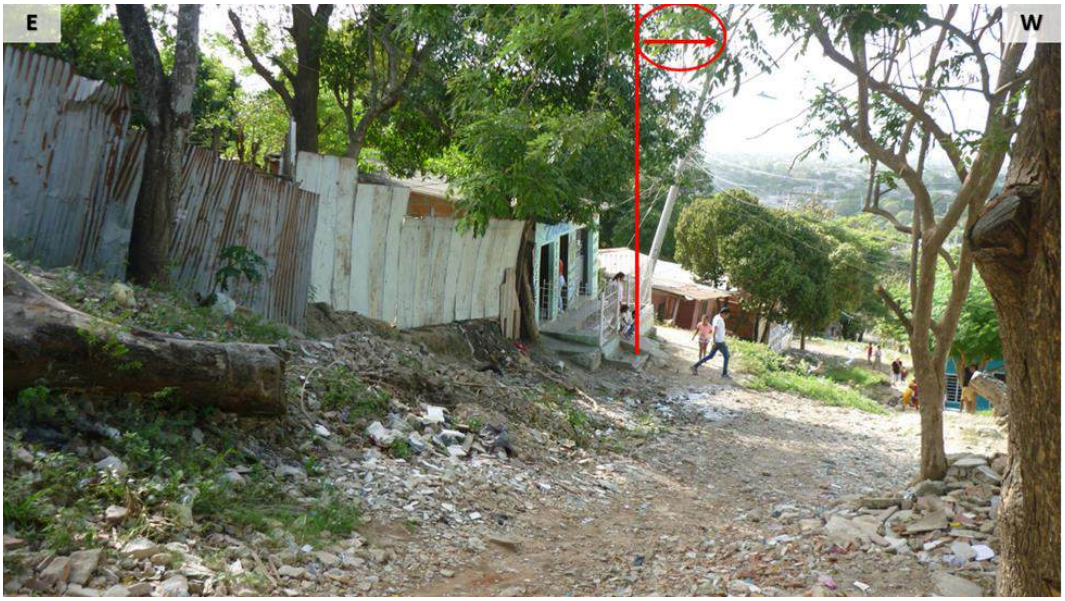


Figura 8.40 Panorámica que muestra escombros de construcciones destruidas en años anteriores
La flecha en el ovalo muestra la inclinación del poste de energía por acción del movimiento



Figura 8.41 Afectación del sistema de alcantarillado por el desplazamiento del terreno
Lo anterior favorece la infiltración del agua y el movimiento permanente del sector; también genera malos olores



Figura 8.42 Vivienda reconstruida recientemente en la zona en movimiento

8.3.7 Movimiento Villa Caracas entre Calle 61 y 64 y Carrera 9 y 12

Este movimiento afecta el denominado por la comunidad como Villa Caracas y sus inicios de actividad están reportados para la década de 1990 en los estudios realizados en el año 1997, (Carvajal y Barbosa). Se trata de un movimiento de tipo rotacional con dimensiones aproximadas de 220 m de longitud, 400 m de ancho y espesor que puede superar los 3 m. El escarpe principal de este movimiento es enmascarado por escombros de construcción y basuras en una zona donde se han construido viviendas en madera las cuales se encuentran afectadas por los movimientos por lo que deben ser reparadas o reconstruidas continuamente

En el sector la geología está constituida por arcillolitas calcáreas de la formación Popa y arcillolitas de la formación Perdices que han desarrollado suelos residuales arcillosos de color gris claro, plásticos y que especialmente en la zona de corona están cubiertos por escombros de construcción y basuras con espesor no determinado que durante varios años han sido dispuestos en las laderas de manera desordenada para nivelar el terreno y rellenar grietas dejadas por el deslizamiento. Información de estudios anteriores permite establecer que en este sector se disponían estériles de actividad minera en décadas pasadas lo cual ayudo a sobrecargar la ladera

El movimiento ha venido ampliando el área de afectación a través del tiempo causando deformaciones que se manifiestan en grietas perpendiculares a la dirección del movimiento y por hundimientos diferenciales del terreno que dejan escarpes secundarios de hasta 1.5 m de altura, inclinación de postes, destrucción de viviendas y afectación a las redes de acueducto y alcantarillado que en general son construidas por la comunidad sin especificaciones técnicas y sin conexión a la red municipal; lo anterior genera favorece la infiltración de aguas servidas al subsuelo, contribuyendo a la reactivación de los movimientos.

En la Figura 8.43 a la Figura 8.47 se muestran imágenes del estado actual del terreno donde se observan los depósitos de escombros para nivelar el terreno con ayuda de llantas, inclinación de postes, viviendas destruidas y la reconstrucción de viviendas en madera luego de ser destruidas por el movimiento lento pero permanente del terreno.



Figura 8.43 Ortofoto que muestra el área afectada por el movimiento del sector Villa Caracas
La línea negra muestra la distribución del movimiento para el año 2011 y la línea roja el avance para el año 2023



Figura 8.44 Panorámica del movimiento en masa que desplaza escombros de construcción y basuras depositados en la ladera en diferentes épocas
Sobre el relleno están construidas las viviendas en madera



Figura 8.45 Inclinación de poste y viviendas por acción del movimiento que desplaza rellenos de escombros de construcción y basuras



Figura 8.46 Nivelación del terreno deslizado mediante la colocación de llantas y relleno con escombros de construcción

Esta actividad se desarrolla de manera permanente en la ladera para reconstruir las viviendas




Figura 8.47 Viviendas en proceso de reconstrucción en zonas que se deslizan durante la temporada de lluvias de cada año

8.3.8 Movimiento Siete de Abril

En el sector la geología está constituida por arcillolitas de la formación Perdices que han desarrollado suelos residuales arcillosos de color gris claro, plásticos, con esporádicas intercalaciones de niveles arenosos; en general estos materiales son cubiertos por escombros de construcción y basuras dispuestos en las laderas de manera desordenada para rellenar grietas dejadas por el deslizamiento y nivelar el terreno, estos rellenos son de espesor variable entre 0.5 y más de 2 m.

Este movimiento tiene reportes de actividad desde el año 1995, época en la cual destruyo 20 viviendas y estaba constituido por dos movimientos aislados entre sí y que por la dinámica actualmente se han fusionado en uno solo, se trata de un movimiento activo, de tipo rotacional ensanchado y retrogresivo de aproximadamente 220 m de longitud con escarpe principal de entre 1 m y 3 m de altura, y ancho máximo de 215 m, afectando hasta la fecha un área aproximada de 3.5 ha.

El movimiento ha venido ampliando el área de afectación a través del tiempo causando deformaciones que se manifiestan en grietas perpendiculares a la dirección del movimiento y por hundimientos diferenciales del terreno que dejan escarpes secundarios de hasta 1.5 m de altura. Esta dinámica ha causado la destrucción de viviendas y afectación a las redes de acueducto y alcantarillado que en general son construidas por la comunidad sin especificaciones técnicas y sin conexión adecuada a la red municipal; lo anterior genera fugas y favorece la infiltración de aguas servidas al subsuelo, contribuyendo a la reactivación de los movimientos.

En la Figura 8.48 a la Figura 8.52 se muestran imágenes del estado actual del terreno donde se observan las ruinas de viviendas construidas en mampostería o madera que fueron destruidas por el movimiento en diferentes épocas dejando grietas y hundimientos a través de los cuales se infiltran aguas lluvias generadas en las viviendas.



Figura 8.48 Ortofoto que muestra el área afectada por el movimiento del barrio Siete de Abril
La línea negra muestra la distribución del movimiento para el año 2011 y la línea roja el avance a 2023



Figura 8.49 Panorámica del movimiento en masa en Siete de Abril
Se muestra la destrucción de viviendas de madera construidas sobre arcillas de La Formación Las Perdices y rellenos de escombros y basuras. Las flechas indican la dirección del movimiento y la línea roja la cicatriz de una corona secundaria



Figura 8.50 Ruinas de viviendas destruidas en años anteriores por el movimiento
Se observa el basculamiento de las estructuras en concreto y columnas de antiguas construcciones



Figura 8.51 Escarpes secundarios dejados por el movimiento de tipo rotacional
En este sector las viviendas son reconstruidas en madera luego de la reactivación de cada año



Figura 8.52 Viviendas destruidas por el movimiento del barrio Siete de Abril
Se observa la instalación de estructuras de madera como inicio de la reconstrucción de la vivienda

8.3.9 Movimiento Siete de Abril Sector Carrizal y Santo Domingo

Este movimiento se presenta en el sector de Carrizal y desde hace más de 10 años ha venido afectando las viviendas del sector, se trata de un movimiento de tipo compuesto con sectores afectados por movimiento rotacional y sectores donde es evidente el tipo traslacional con ampliando el área afectada con deformaciones que se manifiestan en grietas perpendiculares la dirección del movimiento donde se acumula e infiltra agua de escorrentía y de los vertimientos que se hacen desde las viviendas del sector. También son comunes las deformaciones en el piso de viviendas manifestadas por abombamiento que terminan destruyendo las losas y casas que en la mayoría de los casos están construidas en madera; estas viviendas en la mayoría de los casos son reconstruidas al final de la temporada de lluvias de lluvias de cada año. En este sector es común encontrar los vertimientos de aguas servidas directamente a un drenaje que discurre sin control por la vía donde se presenta infiltración a través de las grietas generadas por el desplazamiento del terreno, este proceso contribuye a mantener activo el movimiento.

En el sector la geología está constituida por arcillolitas de la formación Perdices que han desarrollado suelos residuales arcillosos de color gris claro, plásticos, con esporádicas intercalaciones de niveles arenosos y es común encontrar escombros de construcción rellenando las grietas y hundimientos para nivelar el terreno donde posteriormente se reconstruyen las viviendas.

Este movimiento se encuentra activo, es de tipo rotacional ensanchado y retrogresivo de aproximadamente 180 m de longitud con escarpe principal de entre 1 m y 3 m de altura, y ancho máximo de 130 m, afectando hasta la fecha un área aproximada de 1.7 ha donde las viviendas pueden colapsar en la próxima temporada de lluvias. En la Figura 8.53 a la Figura 8.59 se muestra la ortofoto

de las zonas afectadas y algunos ejemplos de la afectación generada sobre las vivienda e infraestructura.



Figura 8.53 Ortofoto que muestra el área afectada por el movimiento del sector Carrizal
La línea negra muestra la distribución del movimiento para el año 2011 y la línea roja el avance a 2023



Figura 8.54 Panorámica de la corona del movimiento en el sector Carrizal donde se han destruido y desplazado ladera abajo varias viviendas
Se observa la afectación sobre las losas de concreto de la vía y en primer plano la nivelación del terreno con escombros de construcción



Figura 8.55 Desplazamiento de vivienda

La flecha roja muestra el desplazamiento de la vivienda de color azul que se encontraba en el sitio marcado con la línea de color magenta



Figura 8.56 Daños en el piso de una de las viviendas que fue reconstruida en madera (color azul)



Figura 8.57 Vista general de viviendas reconstruidas en madera y en primer plano acumulación de escombros de construcción dispuestos a media ladera para rellenar las grietas generadas por el movimiento

Al igual que en zonas aledañas es común la práctica de reconstruir las viviendas cada vez que estas son afectadas llegando en algunos casos a relocalizar las construcciones que han sido desplazadas en algunos casos hasta 5 m.



Figura 8.58 Ortofoto que muestra el área afectada por el movimiento del sector Villa Caracas
La línea negra muestra la distribución del movimiento para el año 2011 y la línea roja el avance a 2023



Figura 8.59 Acumulación de escombros y basuras en el sector de Santo Domingo
Se generan asentamientos diferenciales del terreno que afectan la estructura de las viviendas construidas allí

8.3.10 Movimiento Carrera 43 Miramar

Este movimiento presenta en el sector de la carrera 43 en zona aledaña a la avenida circunvalar y desplaza suelos residuales y niveles de arcillolitas de la formación Perdices luego de que la ladera fue intervenida por el corte hecho durante la construcción de la vía, se trata de movimiento traslacional de tipo remontante que se reactiva durante la temporada de lluvias afectando la vía por el taponamiento con los materiales deslizados. Son movimientos que, aunque tienen poca longitud desde la corona hasta la pata requieren de intervención rápida mediante la construcción de obras de estabilización que impidan que el deslizamiento avance en la zona de corona donde se ubican antenas de comunicaciones.

Este movimiento tiene sectores donde los materiales se desplazan como pequeños flujos que llegan hasta la vía taponando parte de la cuneta que recoge las aguas de escorrentía desde la parte alta. Ver Figura 8.60 a la Figura 8.63.

Es un movimiento traslacional, retrogresivo y que se ha venido ensanchando en busca del ángulo de reposo. En el sector se observa la instalación de algunas mallas para dar protección al talud, sin embargo, estas no han cumplido con la función esperada por lo que se deben replantear las obras que controlen el movimiento.



Figura 8.60 Ortofoto que muestra el área afectada por los movimientos de la carrera 43 cerca a la circunvalar



Figura 8.61 Panorámica del movimiento en masa desarrollado sobre arcillas y suelos residuales de La Formación Las Perdices en uno de los taludes de la carrera 43



Figura 8.62 Imagen derecha Movimiento superficial que genera flujo de suelos en el talud de la carrera 43 en zona aledaña a la circunvalar

El retroceso de la corona puede derribar los postes de energía y la antena de comunicaciones durante la próxima temporada de lluvias (imagen derecha)



Figura 8.63 Zona de movimiento donde se instalaron biomantos para facilitar la recuperación ambiental de la zona deslizada

9 GEOMORFOLOGÍA

La caracterización geomorfológica tiene en cuenta algunos de los atributos contemplados en la propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia (Carvajal, 2012), para lo cual se toma como base los ambientes morfogenéticos asociados a cada una de las diferentes unidades geológicas superficiales (UGS) definidas en este estudio, en donde se involucran rocas estratificadas y con deformación tectónica, de la formación Las Perdices y de la formación La Popa, de ambiente marino, con aporte terrígeno, y un conjunto de depósitos de origen fluvial, denudacional y antrópico.

De acuerdo con Carvajal y Ruiz (2006), las laderas occidentales de la ciudad de Barranquilla hacen parte de la geomorfo-estructura del Sistema Orogénico de la Costa, según Duque (1984; Op.Cit) en la provincia Serranías Estructurales del Sinú – San Jacinto.

9.1 AMBIENTE MORFOGENÉTICO ESTRUCTURAL (S)

Las subunidades geomorfológicas, que hacen parte de este ambiente morfogenético, se corresponden con las UGS de la formación La Popa, de origen marino somero, cuya expresión morfológica está dominada por la disposición estructural de los estratos y por la litología.

9.1.1 Plataforma Arrecifal Ondulada (Splao)

Nombre designado para identificar un conjunto de roca dura, de alta a muy alta resistencia a la compresión, correspondiente a la UGS identificada como calizas arrecifales, cuyo acrónimo es Rdca, compuesto de capas y bancos de calizas y conglomerados calcáreos, de 2 m y hasta 6 m de espesor, con interestratificaciones muy delgadas de arcillolitas limosas y areniscas calcáreas, que hacen parte del miembro superior de la formación La Popa, en donde la pendiente del terreno, en general menor de 5° de inclinación al sureste (SE), que tiende a coincidir con la dirección y buzamiento de la estratificación.

Corresponde una zona situada a lo largo de casi toda la parte oriental, y la de mayor altura del área de estudio (los puntos más elevados situados entre 110 msnm en la parte norte y 70 msnm en la parte sur), en donde se caracteriza por presentar contraste de relieve muy bajo, plano a suavemente ondulado, de superficie ligeramente inclinada al SE, la cual constituye la parte superior de una ladera de longitud larga, de la parte occidental de la ciudad.

En general en esta subunidad existen unas condiciones estables por procesos morfodinámicos, tipo remoción en masa, aunque en su borde oriental, que coincide con el quiebre de pendiente de la ladera occidental de Barranquilla, hay sectores que alcanzan a estar parcialmente afectados por movimientos en masa, para destacar los ubicados en los barrios La Ceiba y 7 de Abril.

9.1.2 Escarpe de Plataforma en Arenisca (Sepla)

Corresponde a una unidad de roca blanda, de baja a media resistencia al corte, deleznable, asociada al miembro superior de la formación La Popa, de la UGS denominada areniscas cuarzosas (Rbac), con feldespato y líticos, textura de grano fino, en algunos sitios de grano medio a grueso y niveles esporádicos de arcillolita calcárea.

Esta geoforma se extiende, de manera ramificada hacia el suroeste, sobre un sector ubicado hacia la parte suroriental del área de estudio, por donde transcurre un largo tramo de la avenida La Cordialidad, y están establecidos algunos barrios, tales como La Sierrita, La Macarena y Santo Domingo, en donde la unidad litológica ha sido sometida a denudación por erosión fluvial, y algunos sitios a pequeños procesos de remoción en masa, dejando como remanente una especie de techo pendiente.

El entalle debido a la erosión fluvial, parece haber ejercido un control estructural, con lo cual se ha generado un relieve monticular, alargado en dirección SW-NE.

Se caracteriza por su morfología de cima redondeada a semiplana, con laderas muy cortas, de pendiente inclinada a muy inclinada (valores entre 6° y 15° principalmente), de buena estabilidad morfodinámica en zonas de muy baja pendiente, y muy susceptibles a erosión en zonas muy inclinadas, en donde hay susceptibilidad a desprendimientos de material.

9.1.3 Escarpe de Plataforma en Marga (Seplm)

Con este nombre se hace referencia a un conjunto litológico de roca blanda, de resistencia a compresión baja, correspondiente a la UGS identificada con el acrónimo Rbap, en que predominan arcillolitas calcáreas (margas), esporádicamente con intercalaciones delgadas areniscas arcillosas, asociadas al miembro inferior de la formación La Popa.

Las principales exposiciones se presentan, de manera dispersa, hacia sectores ubicados al oriente de área de estudio, en donde se encuentra el centro comercial Miramar, al sur de la Corporación Politécnica Interamericana, al occidente del parque Las Mercedes, oriente del barrio Mequejo, norte del barrio Nueva Colombia y oriente de la zona media - alta del barrio 7 de Abril.

Muestra un relieve típico de ladera, de forma predominantemente cóncava, con pendiente inclinada a muy inclinada (valores medios entre 7° y 15° al occidente) y longitud corta (50 a 150 m), en general con estabilidad morfodinámica moderada, susceptible a procesos de reptación y asentamientos, bajo ciertas condiciones de humedad.

9.1.4 Escarpe de Plataforma en Arena Suelta (Sepas)

Son capas de arena de grano fino a grueso, en condición suelta y de baja compacidad, a veces gravosa, constituidas de granos de cuarzo, feldespatos, caliza, chert, micas y restos de conchas, que hacen parte del miembro superior de la formación La Popa, correspondiente a la UGS arenas sueltas de la formación La Popa (Maspo), la cual que se encuentra suprayaciendo la unidad de calizas arrecifales (Rdca).

Cubre desde alrededores del estadio metropolitano de futbol, hasta la vía circunvalar, los barrios Los Girasoles, sectores de Ripolli y Los Pitufos, urbanización Las Cayenas, en la zona perimetral sureste del área de estudio, en donde conforma laderas de longitud moderada a corta, de relieve suavemente ondulado a plano, con pendiente muy baja (<5°), estable por remoción en masa.

9.2 AMBIENTE MORFOGENÉTICO FLUVIAL (F)

Son suelos transportados, de planicie aluvial, asociados a las corrientes que cruzan por la parte central y sur del área de estudio, que transcurren en sentido este – oeste, destacando las geoformas asociadas a los arroyos El Salado, Santo Domingo, El Muerto y los que drenan los barrios 7 de Abril, El Bosque y La Sierrita.

9.2.1 Planicie Aluvial (Fplal)

Esta subunidad geomorfológica se conforma de depósitos recientes, de poco espesor, de la UGS correspondiente a suelos transportados de cauce y terrazas aluviales (Stal), los cuales se constituyen de arena de cuarzo y feldespato, de grano medio a grueso, con variaciones a arena limosa y arena arcillosa.

Las corrientes asociadas a estas geoformas desarrollan un patrón de drenaje subdendrítico, paralelo a subparalelo, cortando laderas de pendiente baja a muy baja, definiendo franjas paralelas al cauce de 30 a 100 m de ancho promedio, conformando llanuras de inundación, terrazas bajas y medias (3 – 5 m de altura).

9.3 AMBIENTE MORFOGENÉTICO DENUDACIONAL (D)

En este ambiente se clasifican las UGS correspondientes a suelos transportados, tipo talus y los depósitos constituyentes de movimientos en masa.

Se incluye en esta clasificación las unidades que conforman la formación Las Perdices, que aflora en zona de ladera, en la parte media y baja del área de estudio, en donde ocurre como roca blanda, suelo residual y arena suelta, producto de procesos de meteorización y erosión, la cual, en los niveles más arcillosos, por su naturaleza blanda y plástica, se deforma por acción de la fuerza debida a la gravedad Terrestre, aspecto que se sobre impone, o enmascara, los rasgos estructurales genéticos.

9.3.1 Ladera Arcillosa Erosionada (Dlaer)

Geoforma relacionada con la UGS arcillolitas laminadas (Rbal) de la formación Las Perdices, la cual se compone principalmente de arcillolita y shale, con algunas intercalaciones de limolitas y arenas friables de grano muy fino, con fisilidad asociada a los planos de laminación, cuya meteorización genera suelos residuales, arcillo arenosos, plásticos y expansibles.

Es la subunidad de mayor extensión, y se desarrolla por la parte central y sur del área de estudio, en donde se sitúan, entre otros, los barrios Las Terrazas, Mequejo, La Manga y La Esmeralda, en donde tiene asociados algunos movimientos de remoción en masa.

Ocurre en forma de montículos alargados, por entalle de los arroyos del orden de 10 m de profundidad promedio, con drenaje dendrítico subparalelo, moderadamente denso, con laderas muy cortas, de unos 15 m la de mayor altura desde el fondo del arroyo, pendiente de forma irregular a ligeramente cóncava, con promedio de inclinación de 11 – 15° y cresta convexa a plana, susceptible a procesos de reptación en condiciones de saturación.

9.3.2 Ladera Arenosa Erosionada (Dlare)

Se conforma de arena de grano fino a grueso, en condición suelta, deleznable y de baja compacidad, con intercalaciones lenticulares de arena gravosa, constituidos de cuarzo y chert, y se corresponde con la UGS arenas sueltas de la formación Las Perdices (Maspe).

Una de las zonas de mayor extensión de esta subunidad, tiene forma de abanico, aunque genéticamente no corresponde a un cono o abanico de deyección, propiamente dicho; ocurre en parte media y baja, zona noroccidental del área de estudio, destacando sectores asociados a la urbanización Kalamary, el parque deportivo El Edén, los barrios Por fín y Los Olivos.

Otra zona importante por su extensión, ocurre al suroccidente del área de estudio, en donde tiene asiento barrios como, Las Gardenias y Santo Domingo

En general conforma laderas largas y muy largas, de forma cóncava, relieve suavemente ondulado a plano, de muy baja inclinación (1 - 3)°, estable por remoción en masa.

9.3.3 Ladera de Tolus (Dlata)

Corresponde a la UGS depósitos de talus (Stta), constituida por suelos transportados, conformados por cantos y bloques de caliza y arenisca calcárea, de clastos soportados, con matriz arcillosa de baja consistencia, que se desprenden de zonas de pendiente alta, y se acumulan en la base del quiebre de pendiente donde la inclinación del terreno es menor.

Muy pocas geoformas de esta subunidad han sido cartografiadas en el área de estudio, y corresponden a un par de cuerpos discretos, de extensión relativamente pequeña, en un sector de la parte nororiental, en donde conforman laderas cortas, menor de 50 m de longitud, de forma irregular, con inclinación promedio de 10°, susceptibles a procesos de remoción en masa.

9.3.4 Lóbulos de Deslizamiento (Dlode)

En el mapa de UGS, corresponde a suelo transportado, tipo movimiento en masa (Stmm), denominación utilizada para clasificar un conjunto de depósitos de material fino, arena y fragmentos de rocas, que pueden involucrar material de construcción, desechos mineros y basura, los cuales han sido o están siendo desplazados por acción de la fuerza debida a la gravedad.

Esta subunidad, en general, desarrolla una morfología de ladera inclinada a muy inclinada (6 – 15)°, en forma de lóbulos deformados, de longitud entre 50 y 500 m, con irregularidades en la superficie debidas a abombamientos y hundimientos del terreno.

Se destacan por su mayor tamaño y afectaciones, 11 movimientos en masa, todos morfodinámicamente activos, la mayoría clasificados de como deslizamientos rotacionales, con algunos de movimiento traslacional o complejo, involucrando principalmente roca arcillolítica blanda y suelo residual de la formación Las Perdices, y en menor proporción margas (arcillolitas calcáreas blandas) de la formación La Popa.

9.4 AMBIENTE MORFOGENÉTICO ANTRÓPICO (A)

Este ambiente se conforma de llenos y botaderos antrópicos, tales como desechos de actividades mineras, y escombros y basuras.

9.4.1 Desechos y Escombros Mineros (Ademi)

Son depósitos transportados de la unidad UGS de llenos antrópicos de desechos de minería y escombros (Stlae), compuestos de arena, finos, cantos y bloques, de extensión relativamente grande, que se bordean de manera dispersa el sector occidental del área de estudio, donde se encuentra la parte topográficamente más baja, entre 30 y 40 msnm, la mayoría adecuados para la construcción, que se caracterizan por tener relieve plano a ligeramente inclinado.

9.4.2 Botadero de Escombros y Basura (Abeba)

Son depósitos muy heterogéneos, no clasificados, de la unidad de suelo transportado de llenos antrópicos de escombros de construcciones y basuras (Stlab), compuestos por residuos sólidos de desechos domésticos y escombros de construcción.

Ocupan terrenos en la parte media y alta, al oriente de área de estudio, en donde han sido dispuestos sobre cauces y laderas adyacentes de arroyos, como también en la franja que define el escarpe principal, ocupada principalmente por arcillolitas calcáreas, bordeando el límite occidental de las calizas arrecifales de la formación La Popa.

Prácticamente constituyen botaderos de ladera, conformando taludes de superficie irregular, pendiente inclinada a muy inclinada (6 a 15)°, de corta longitud, en general hasta de unos 250 m.

10 EXPLORACIÓN Y ENSAYOS DE LABORATORIO

Como resultado de la licitación llevada a cabo por la AGENCIA FRANÇAISE DE DÉVELOPPEMENT, por medio del proceso VIL-2022-0067 en el marco de los convenios de cooperación entre la AFD y la Alcaldía de Barranquilla, CI Ambiental S.A.S. fue seleccionada como la firma adjudicada para que ejecute las actividades asociadas al objeto del contrato: "ESTUDIO DETALLADO DE RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZA POR FENÓMENOS DE INUNDACIÓN Y AVENIDAS TORRENCIALES, Y ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LA LADERA OCCIDENTAL DE LA CIUDAD DE BARRANQUILLA".

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

10.1 EXPLORACIÓN DIRECTA EL SUELO

Para lograr el alcance completo y preciso del proyecto, se diseña un plan de exploración directa que garantiza la recopilación exhaustiva de datos geotécnicos. Este esquema consiste en un conjunto de actividades de perforación mecánica y apiques estratégicamente distribuidos en toda el área de estudio, con el objetivo de obtener una representación adecuada de las variaciones geotécnicas presentes en la zona. Se tiene en cuenta factores como la topografía, geología regional y los puntos de interés específicos relacionados con el proyecto planificado.

El plan de exploración directa conlleva la realización de 30 perforaciones mecánicas, con una longitud total de 600 metros. Estas perforaciones se llevan a cabo utilizando equipos especializados que permiten alcanzar profundidades significativas. Cada perforación tiene una profundidad mínima de 10 metros o hasta encontrar la roca. Esta estrategia asegura la obtención de muestras representativas de los diferentes estratos del suelo.

Además de las perforaciones mecánicas, se ejecuta 30 apiques a lo largo de la zona de estudio, de profundidades que oscilan entre 1.5 y los 2.0 metros. Esta técnica permite obtener información detallada sobre las características superficiales del suelo.

10.1.1 Perforación Geotécnica por Rotación

10.1.1.1 Equipos

Conforme en el marco del proyecto se ejecutan perforaciones mecánicas en diámetro HQ, con recuperación continua por el método wire line. Para la consecución de este objetivo, CI Ambiental destina una máquina de perforación para la exploración geotécnica: la Beretta T46

La máquina de perforación Beretta T46 es un equipo automotriz y robusto, aporta 58 caballos de poder en la realización de las actividades, con la que se cubre ampliamente las profundidades

definidas para cada una de las perforaciones, con avance bien sea en suelo o bien en roca. La Tabla 10.1 recopila algunas de las características más relevantes de la Beretta T46. (Véase Figura 10.1).

Tabla 10.1 Especificaciones técnicas de la Beretta T46

MARCA	BERETTA
LÍNEA	T46
MODELO	2012
PLACA	CI-EXP-005
AÑO	2012
POTENCIA	2500 rpm, motor diesel Deutz F4M2011 de 64 Hp con motor eléctrico de arranque
SERIE	33112 y 25012



Figura 10.1 Beretta T46

10.1.1.2 Conservación de Muestras

Se obtienen muestras representativas de cada material encontrado que sea de importancia para el proyecto. El tamaño, grado de alteración y el tipo de las muestras incide en los ensayos que se vayan a efectuar o del porcentaje de partículas gruesas de la muestra, así como de las limitaciones del equipo de ensayo por emplear.

Elementos requeridos para la conservación y transporte de muestras, y dichos elementos dependen de las condiciones de la muestra:

- Bolsas – Plásticas, de fique, fibra, lona, etc.
- Papel aluminio – Usado para dar una protección ante posible incidencia solar o lumínica.
- Película plástica (vinipel, papel wrap, etc.) – Película en la que se envuelve la muestra y que ayuda a conservar la humedad.
- Material de relleno – Aserrín, Poliestireno expandido, etc.
- Cinta – Pude ser plástica a prueba de agua, adhesiva de fricción, o de pegar tubos.

- Recipientes cilíndricos – De dimensiones un poco mayores que las muestras de diámetro HQ.
- Material para la identificación – Incluye los elementos necesarios para identificar adecuadamente la(s) muestra(s), tales como rótulos y marcadores.

Información de rotulado (véase la Figura 10.2):

- Nombre o número de la obra, o ambos.
- Fecha del muestreo.
- Número o localización de la muestra y de la perforación.
- Orientación de la muestra.
- Las muestras subdivididas deben ser identificadas mientras mantengan asociación con la muestra original.



Figura 10.2 Etiqueta de muestra

Las muestras se conservan y transportan en recipientes o empaques sellados a prueba de humedad, todos los cuales deberán ser de espesor y resistencia suficientes para evitar su rotura. Las muestras cilíndricas se deben envolver en láminas plásticas adecuadas y en papel de aluminio. Con respecto al transporte pueden ser por cualquier medio, se enviarán tal como fueron preparadas y colocadas dentro de elementos más grandes, como tuberías PVC, debidamente identificadas y tapadas (ajustadas con cintas o remaches), con el fin de proteger las muestras contra choques o extremo calor y frío.

10.1.1.3 Actividades de Perforación

Se distribuyen los 600 m de perforación mecánica en las 30 perforaciones numeradas como P1 a la P3, P5-P9 y de la P11 a la P30 (véase la Tabla 10.2). El origen de coordenadas se maneja por medio del sistema Magna Sirgas Origen Nacional haciendo seguimiento a la resolución 471 y 529 de 2020 La ubicación de las perforaciones mecánicas se ilustra en la Figura 10.3 y la Figura 10.4.

Tabla 10.2 Características generales de las perforaciones mecánicas

ID PERFORACIÓN	COORDENADAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		PROFUNDIDAD (M)	NIVEL FREÁTICO (M)
	ESTE (M)	NORTE (M)		
P-01	4801778	2766622	16.50	
P-02	4802066	2766834	13.50	
P-03	4801405	2771361	16.50	1.65
P-05	4801958	2769947	13.50	1.50
P-06	4801978	2769799	16.50	1.70
P-07	4802201	2767773	16.50	
P-08	4802236	2767697	16.50	1.50
P-09	4802272	2767474	13.50	
P-11	4801115	2772003	15.00	1.20
P-12	4799219	2773575	11.00	1.40
P-13	4799510	2773833	6.00	
P-14	4799112	2774195	13.50	
P-15	4799455	2774394	15.00	
P-16	4799296	2774490	12.00	
P-17	4799275	2774610	7.50	
P-18	4799750	2774171	15.00	2.00
P-19	4801151	2770304	15.00	
P-20	4801176	2771785	16.50	1.80
P-21	4801388	2767855	15.00	
P-22	4802061	2767925	13.50	
P-23	4802105	2769314	13.50	
P-24	4800719	2771382	13.50	
P-25	4801986	2768675	15.00	
P-26	4802090	2767227	18.00	
P-27	4802022	2766891	13.50	
P-28	4801426	2765763	15.00	0.70
P-29	4801279	2765975	18.00	3.07
P-30	4801278	2771441	15.00	

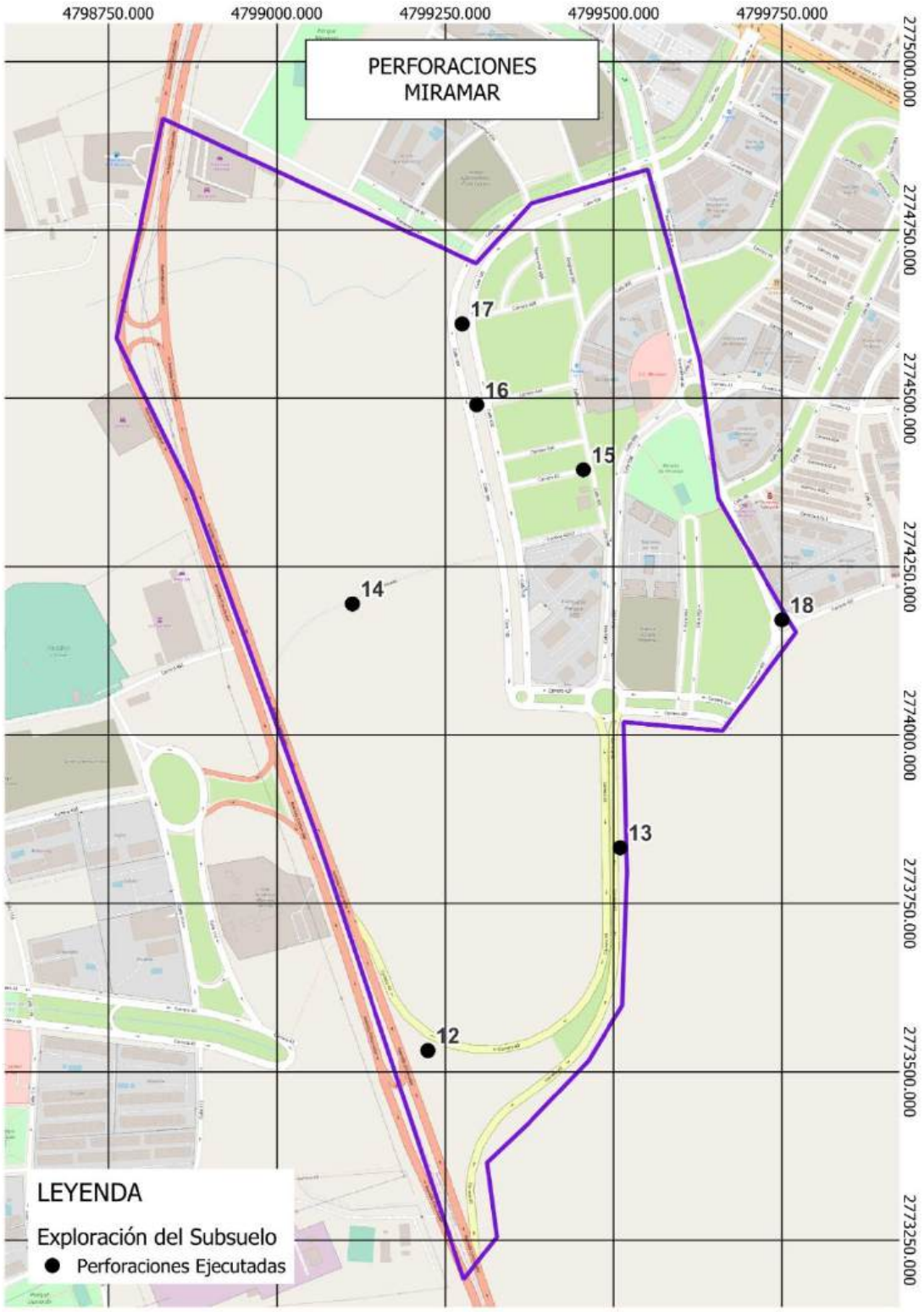


Figura 10.3 Perforaciones ejecutadas en barrio Miramar

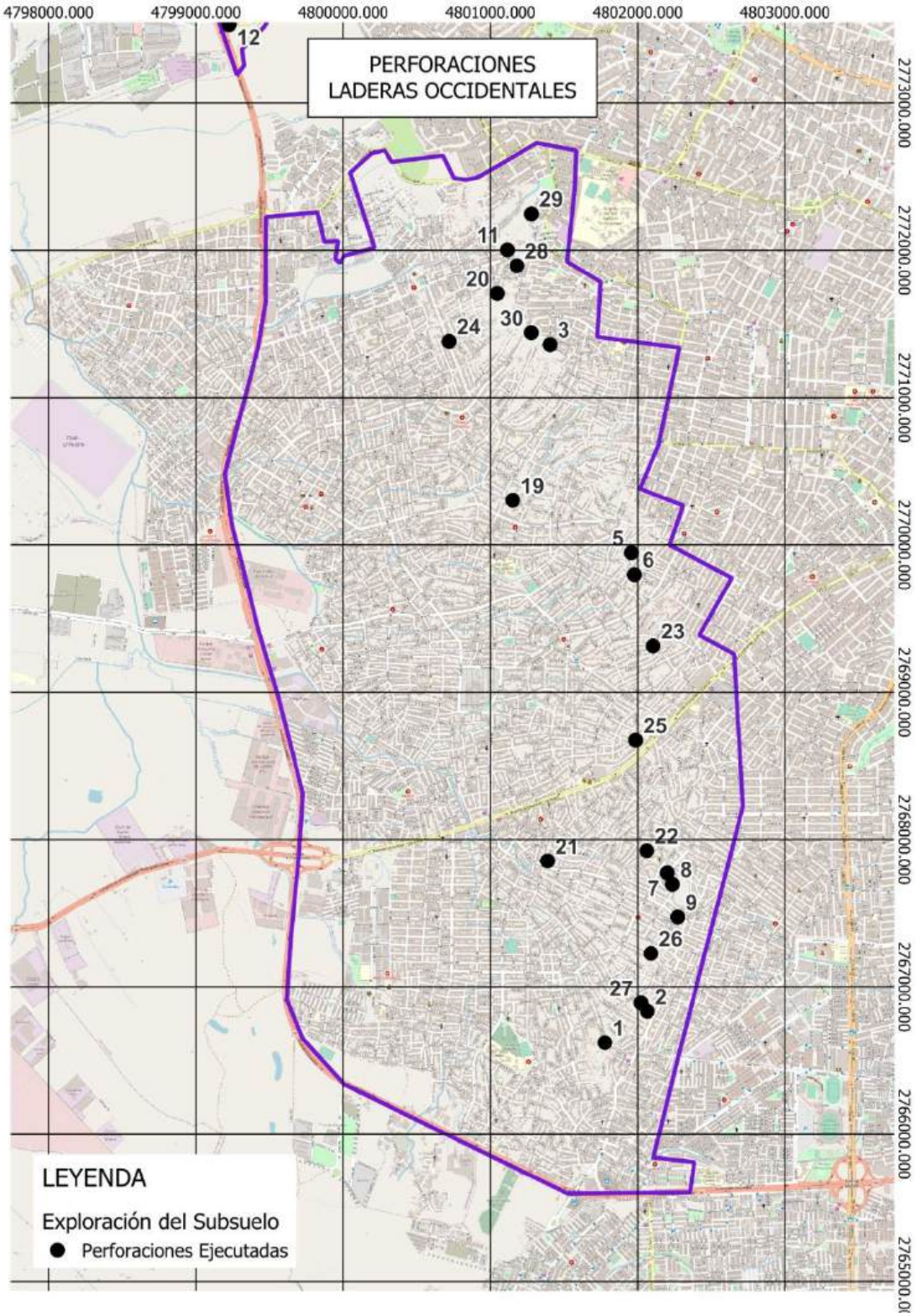


Figura 10.4 Perforaciones ejecutadas en polígono sur Localidad Suroccidente

En la Figura 10.5 se incluyen capturas fotográficas de la máquina de perforación en varios de los puntos explorados; el Anexo B entrega el registro fotográfico completo de las labores desarrolladas y las muestras obtenidas en la exploración del subsuelo.



Figura 10.5 Maquina Beretta T46 en diferentes puntos de perforación

Los registros de perforación pueden ser visualizados en el Anexo B Reg de Perforación, en donde se mencionan las características de la muestra como: el ID, la profundidad y la recuperación de cada avance, el RQD (de aplicar), el RPI (para los materiales cohesivos), la descripción de suelos y rocas muestreadas. Las descripciones de los estratos incluyen el tipo de material, el tamaño y forma de la partícula, su color, el espesor de cada material identificado y las condiciones de humedad, consistencia o compacidad para cada sección de material extraído, entre otras. Como ejemplo de los registros elaborados y compilados en el Anexo B, de la Figura 10.6 a la Figura 10.8 se exhibe el perfil estratigráfico de la perforación P-01, transcrita al software Strater.

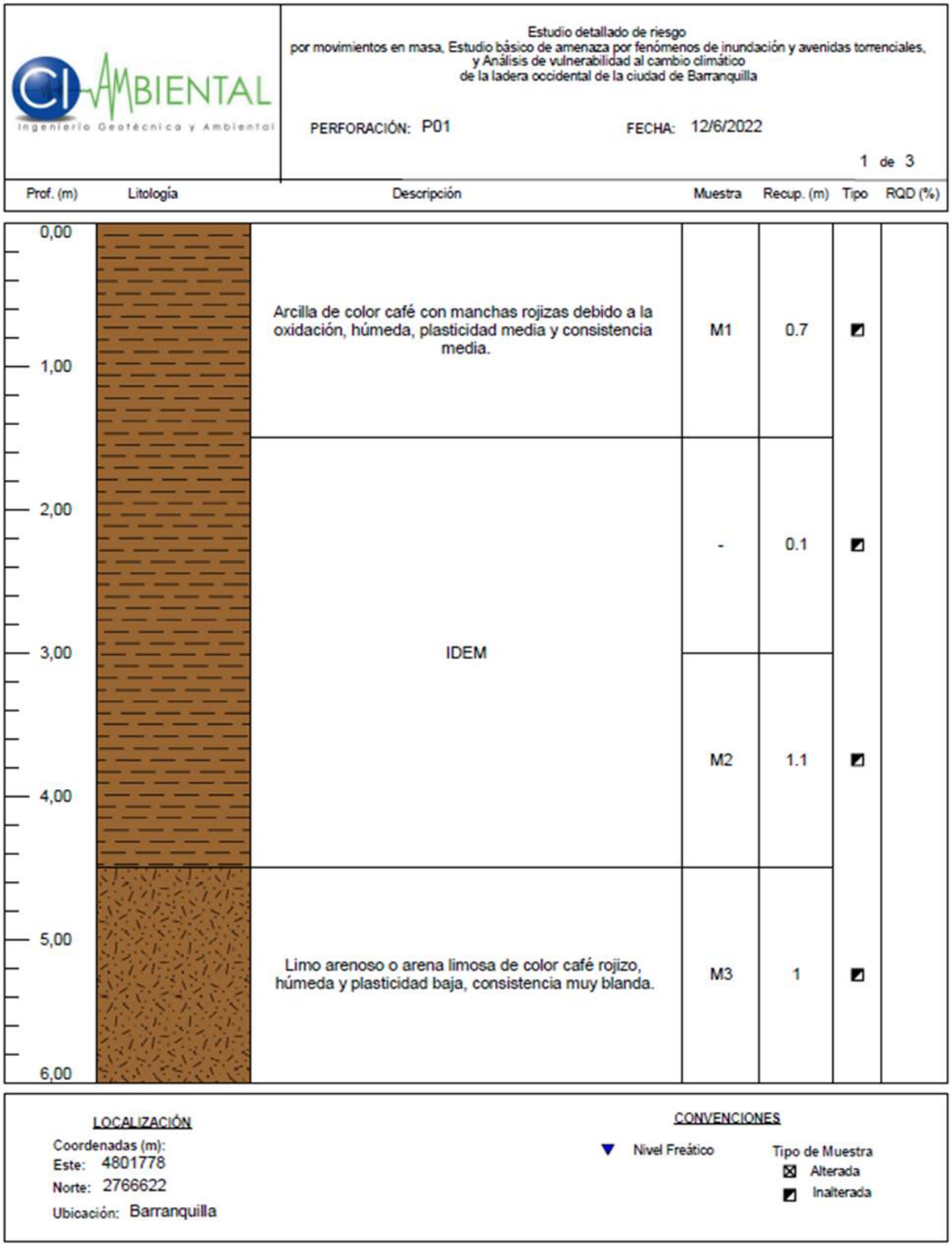


Figura 10.6 Registro de perforación P-01 (continúa)

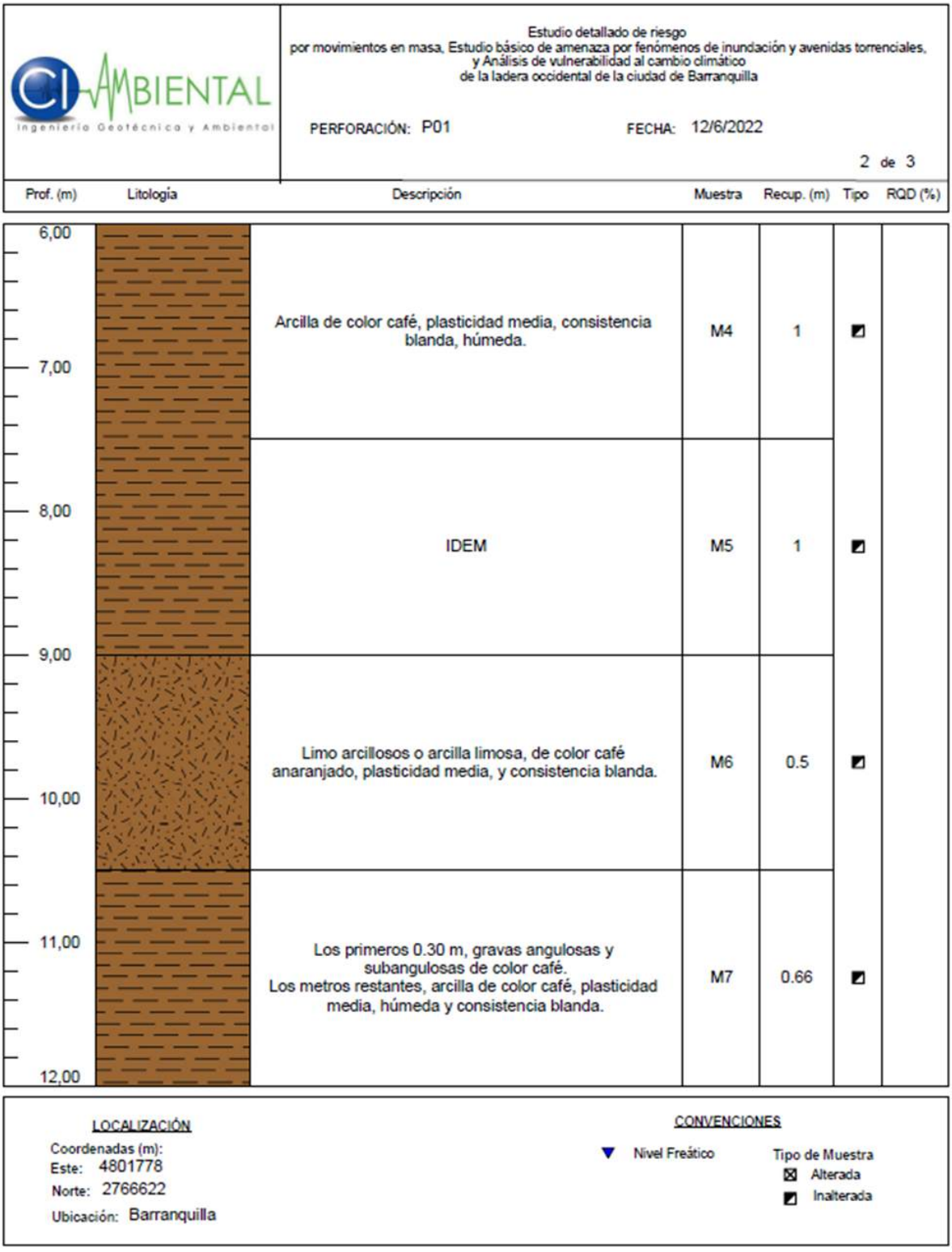


Figura 10.7 Registro de perforación (continúa)

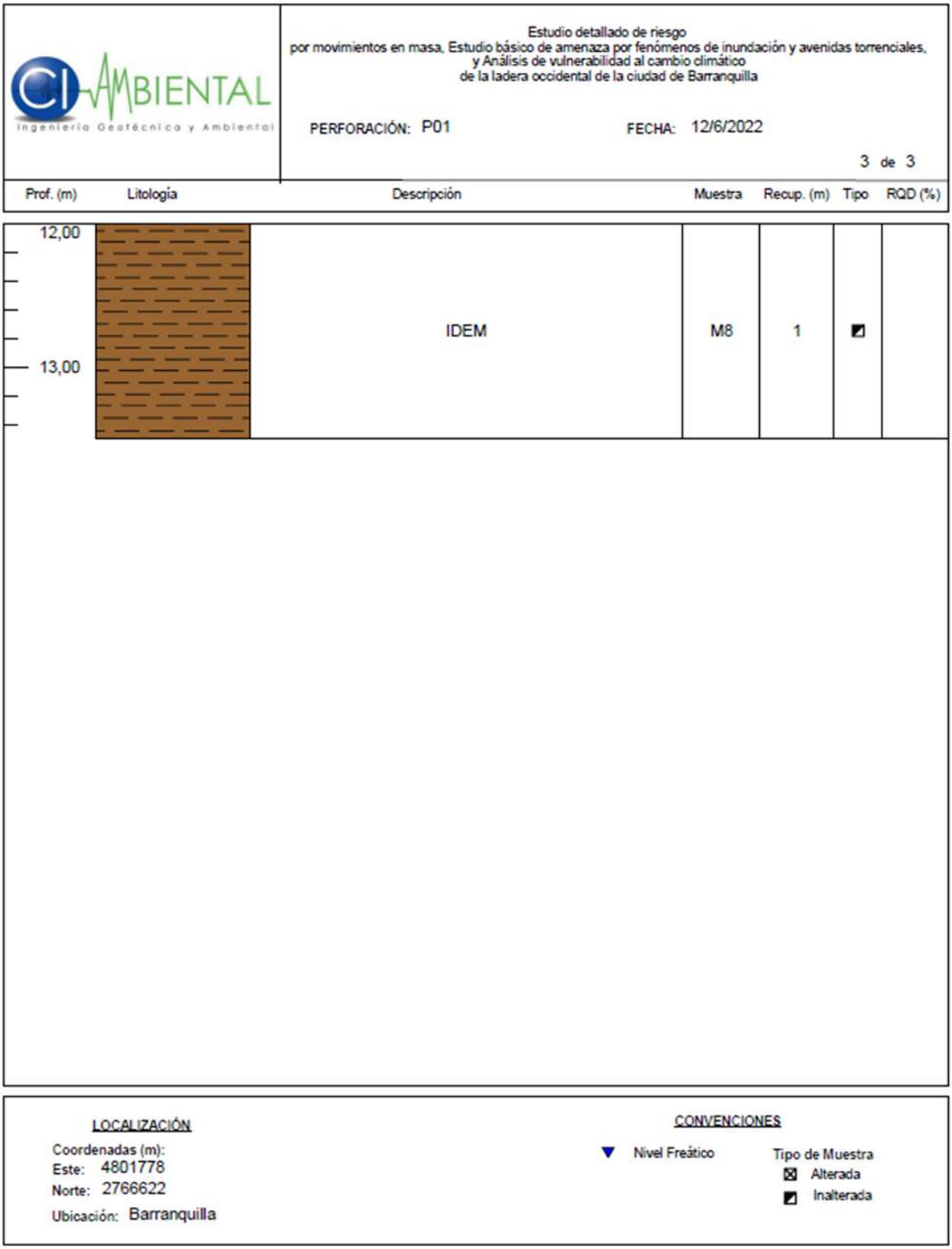


Figura 10.8 Registro de perforación P-01

10.1.2 Apiques

10.1.2.1 Conservación de Muestras

En caso de que se requiera, se procede a la extracción de muestra del apique como se detalla en adelante.

En cuanto a la extracción y conservación de las muestras inalteradas de los apiques:

Los equipos necesarios para la extracción de una muestra que conserve su estructura son, filos cortantes, palas, cuchillos, martillo, cincel, sierra de alambre, etc.; caja para embalaje de madera y con dimensiones algo mayores que la muestra se pretende obtener.

El procedimiento para tallar el bloque en superficie es de la siguiente manera:

- Se ubica la zona en la cual se piensa extraer el bloque, se descapota toda esa zona y ver que se mantiene intacto y no haya perdido humedad, alisar la superficie, marcando el contorno de lo que será la cara superior de la muestra, el cual dependerá del volumen de muestra que se pretenda extraer.
- Excavar una pequeña zanja alrededor de la marca, de ancho suficiente para que permita al operario el trabajo de tallado y recuperación de la muestra.
- Con las herramientas ya mencionadas se procede, de acuerdo con el estado del suelo, a darle una forma aproximadamente cubica, tallando primero la cara superior, y luego las cuatro caras laterales, quedando la muestra como la Figura 10.9.
- Si la muestra tiene bastante consistencia, se corta por el fondo con los cuchillos, se da la vuelta y se talla la cara inferior, procediendo a envolverla con película plástica, y a continuación, capas sucesivas; se aplican sucesivamente nuevas capas de vinipel hasta lograr un recubrimiento suficientemente sólido e impermeable, del orden de 3 mm de espesor.

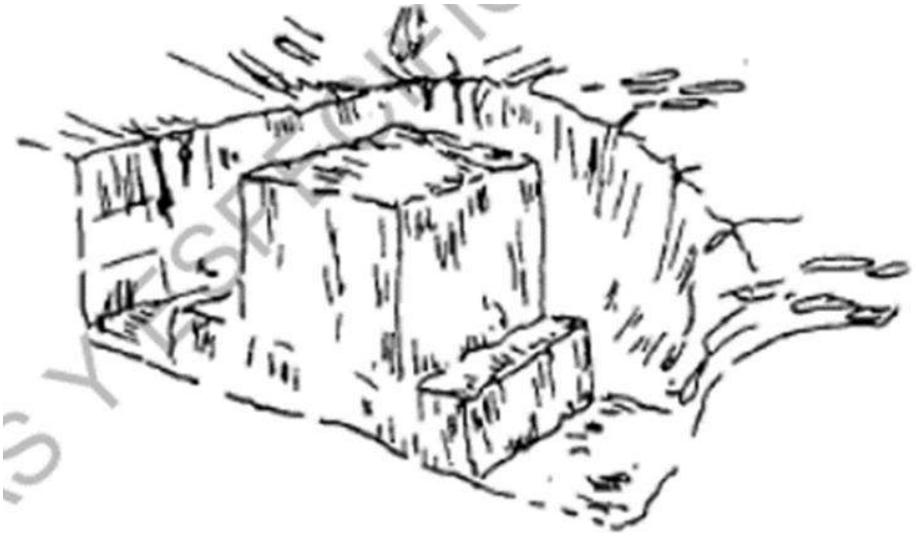


Figura 10.9 Condición de la muestra luego de tallar la cara superior y las caras laterales
Fuente: INVIAS, 2013

- En caso de la muestra no tenga suficiente consistencia (material arenoso) una vez finalizada el tallado de la cara superior y laterales, y antes de desprenderla de su parte inferior, se envuelve en película plástica las caras talladas, después se sujeta con la caja de embalaje y se le da la vuelta con ayuda de la caja y se talla la cara inferior.
- En caso de notar perdida de humedad por temas climatológicos durante las operaciones de tallado, es conveniente envolver en película plástica cada cara inmediatamente después de que ha sido tallada, o en caso de que no tenga suficiente consistencia.
- El embalaje de la muestra dentro de la caja de madera se debe realizar de forma que quede perfectamente sujeta y no se mueva dentro de ella durante su transporte, para la cual se puede utilizar aserrín, papel periódico, plástico de burbujas, poliestireno expandido, etc. Todo ello debidamente colocado para que la muestra no se mueva dentro de la caja.
- Antes de cerrar la caja, se debe etiquetar el bloque con todos los datos necesarios para su correcta identificación (proyecto, abscisa, profundidad, etc.) y orientación (indicar cuál es la cara superior y cuál la inferior). Luego se cierra la caja y se etiqueta exteriormente con los mismos datos.

10.1.2.2 Actividades de Apiques

Los apiques tienen profundidades mínimas de 1.5 m y máxima de 2.0 m, esto con el fin de caracterizar los materiales en su extensión y profundidad (véase la Figura 10.10). Luego de realizada la excavación, se procede a la descripción geotécnica detallada del perfil estratigráfico encontrado, como ejemplo los registros elaborados y compilados en el Anexo B, la Figura 10.11 exhibe el perfil estratigráfico apique AP-01, transcrita al software Strater, y a la toma del registro fotográfico, finalmente se regresa el material extraído y se readecua el sitio procurando mantener las condiciones iniciales. La Tabla 10.3 detalla las características generales de los 30 apiques identificados como AP-01 al AP-30 apiques. La ubicación de los apiques se ilustra en la Figura 10.12 y Figura 10.13.



Figura 10.10 Ejecución de Apique AP-04 y AP-09

Tabla 10.3 Características generales de apiques

ID PERFORACIÓN	COORDENADAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL	
	ESTE (M)	NORTE (M)
AP-01	4800280	2772650
AP-02	4800422	2772450
AP-03	4801002	2771676
AP-04	4801013	2771522
AP-05	4801264	2771347
AP-06	4801372	2771220
AP-07	4801722	2771166
AP-08	4801793	2771123
AP-09	4801911	2770154
AP-10	4801813	2770682
AP-11	4802166	2769564
AP-12	4802177	2768964
AP-13	4802121	2767296
AP-14	4802025	2767297
AP-15	4802021	2767063
AP-16	4799213	2770214
AP-17	4799476	2771492
AP-18	4799391	2769422
AP-19	4799594	2770008
AP-20	4800060	2767009
AP-21	4799667	2767451
AP-22	4799788	2767920
AP-23	4800008	2767812
AP-24	4801244	2771928
AP-25	4799176	2773590
AP-26	4798802	2774679
AP-27	4799413	2773539
AP-28	4799003	2774162
AP-29	4798816	2774799
AP-30	4799673	2774071

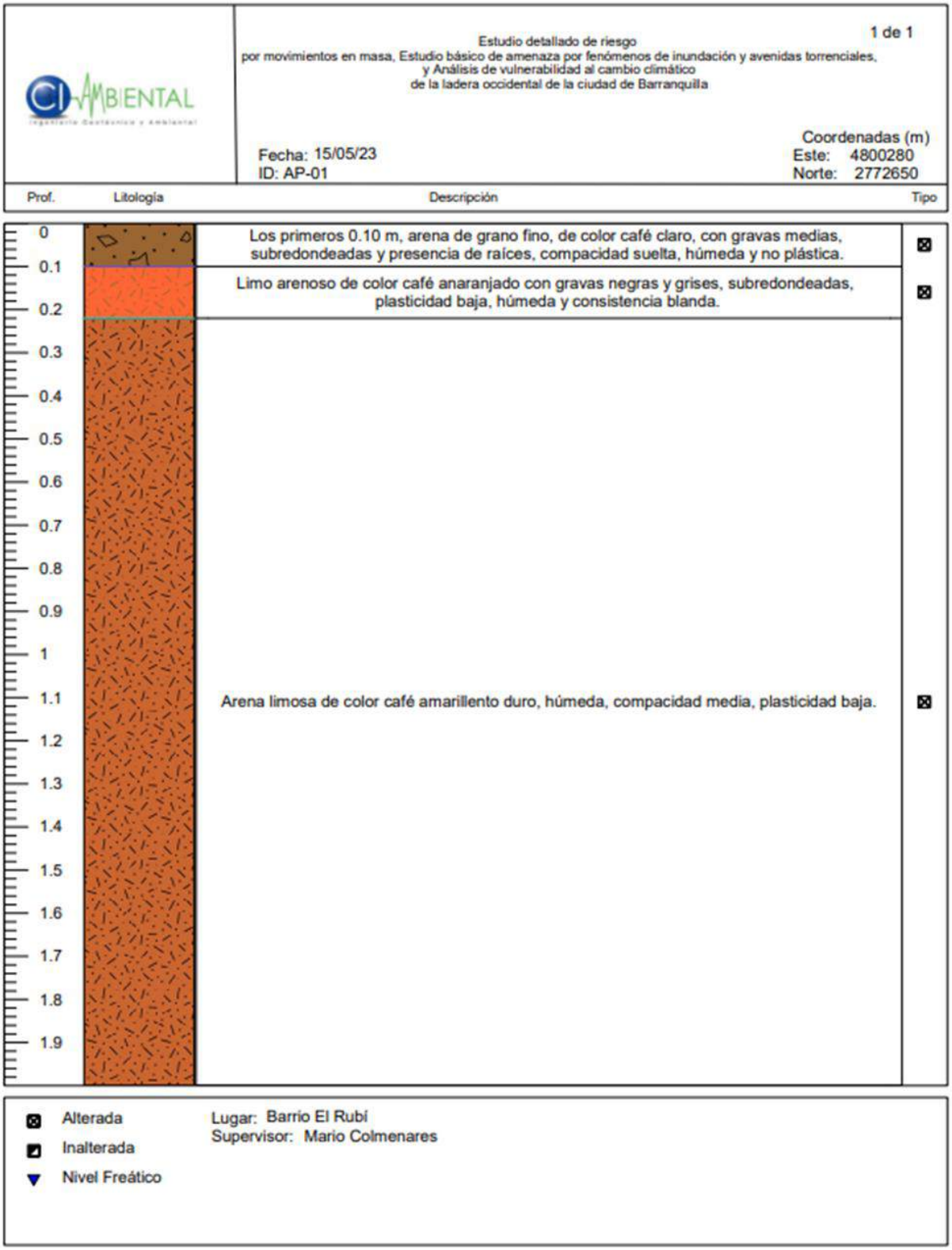


Figura 10.11 Registro estratigráfico del apique AP-01

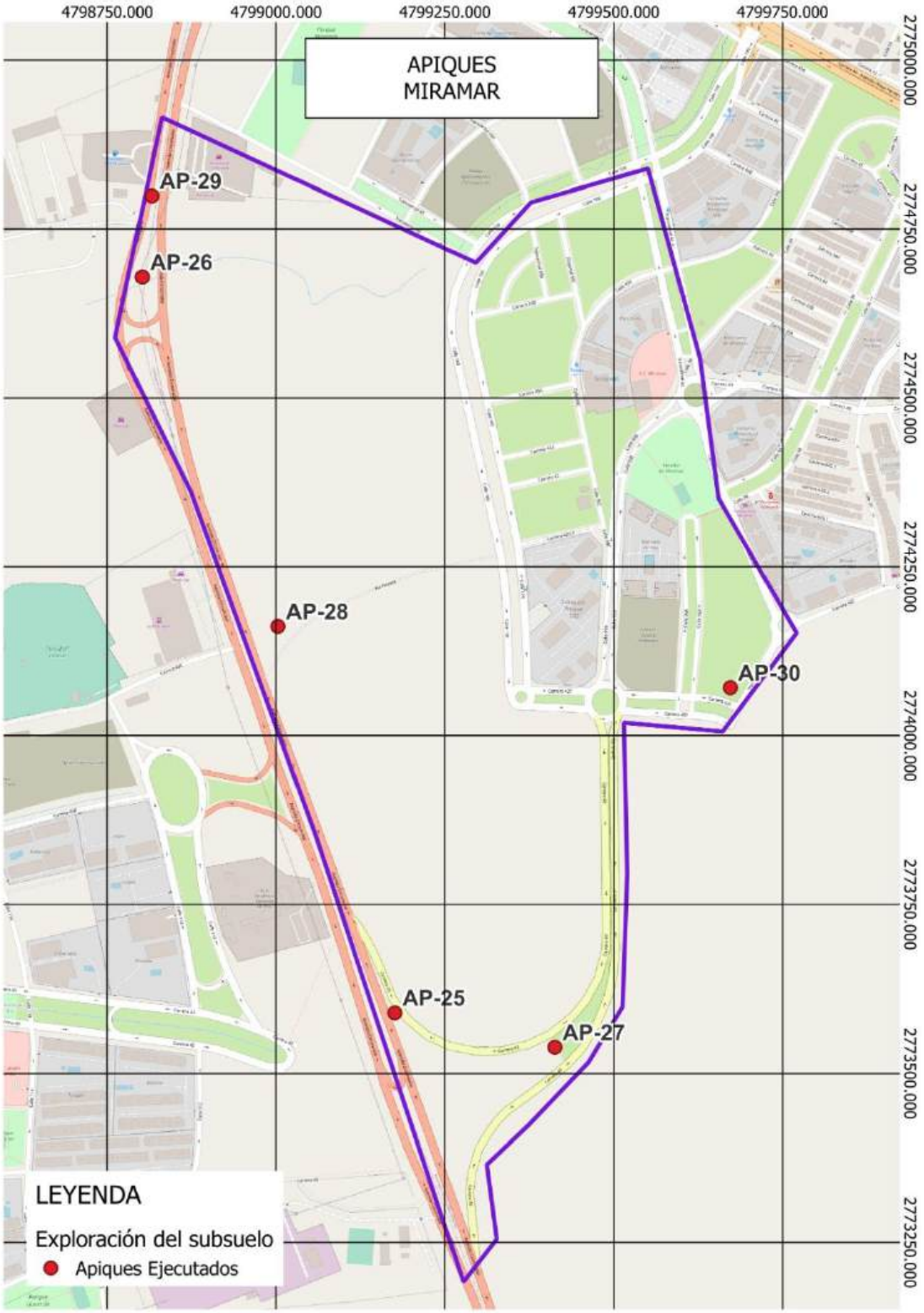


Figura 10.12 Apiques ejecutados barrio Miramar

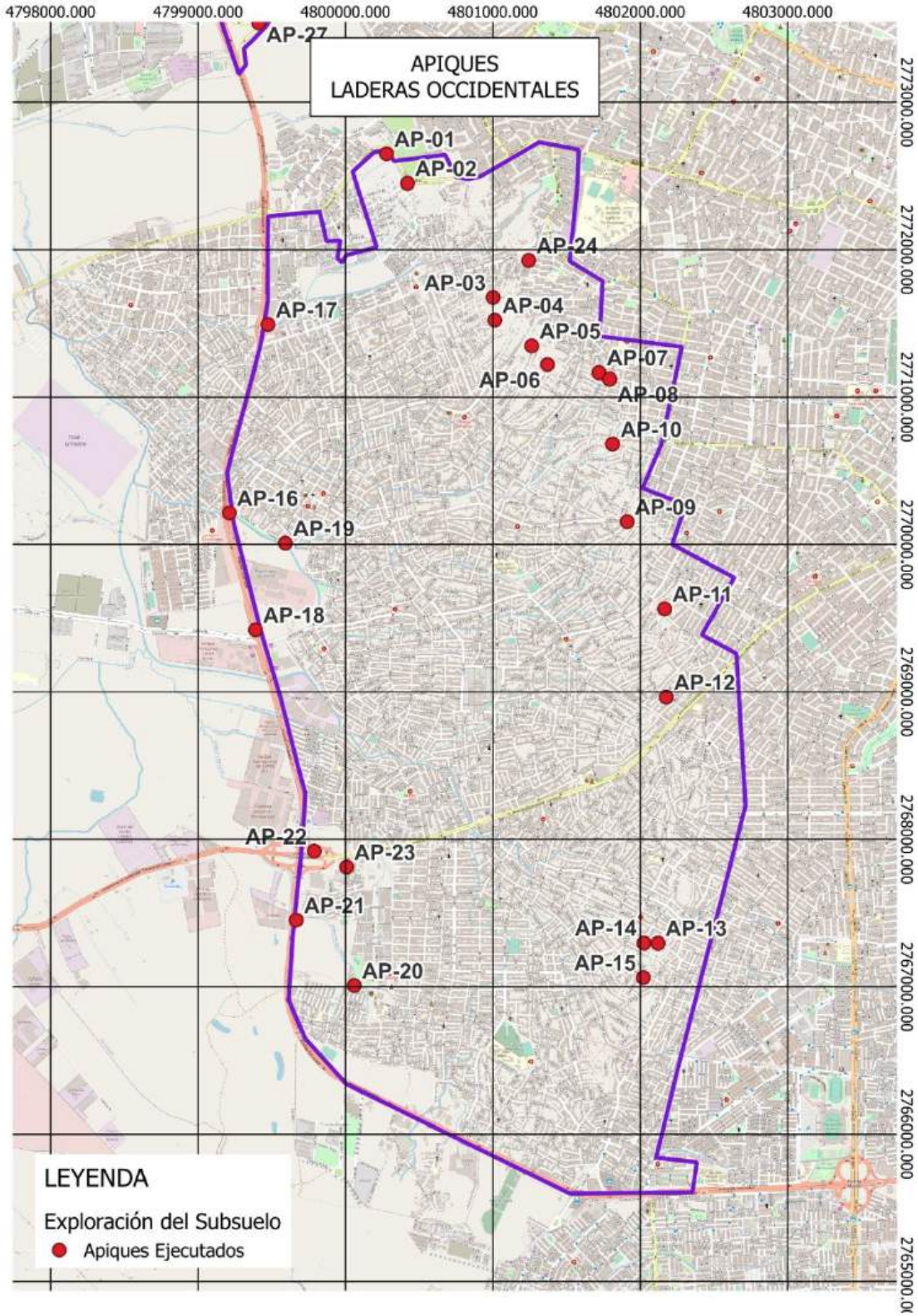


Figura 10.13 Apiques ejecutados en zona norte localidad Suroccidente

10.2 INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA

Dentro de esta actividad y con la finalidad de monitorear las variaciones en los Niveles Freáticos y la tasa de los movimientos en masas en las perforaciones instrumentadas, esta Consultoría instala 5 piezómetros y 7 inclinómetros (véase la Tabla 10.4).

Tabla 10.4 Ubicación de Instrumentación Geotécnica

ID	TIPO DE INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA	PROFUNDIDAD DE LA INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA (m)
P-12	Inclinómetro	12.00
P-13	Piezómetro	6.00
P-14	Inclinómetro	13.50
P-15	Inclinómetro	16.00
P-16	Inclinómetro	12.00
P-17	Piezómetro	7.50
P-18	Inclinómetro	15.00
P-19	Piezómetro	15.00
P-21	Piezómetro	15.00
P-23	Piezómetro	13.50
P-24	Inclinómetro	13.50
P-25	Inclinómetro	15.00

10.2.1 Piezómetro

Los piezómetros Casagrande son usados para medir la presión de poros en terrenos de baja y media permeabilidad. Están compuestos por una unidad de filtro, que es un tramo ranurado o perforado y protegido con geotextil en el extremo inferior de la tubería, que permite el ingreso del agua subsuperficial al tubo (Figura 10.14). Este filtro se confina con arena gruesa, que ocupa el espacio entre filtro y pozo, y sobre esta arena se construye un sello de arcilla.

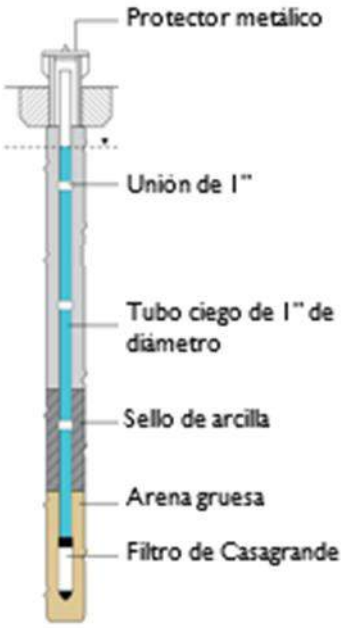


Figura 10.14 Piezómetro Casagrande
Modificado de Sisgeo (2016

El sistema se extiende hasta la superficie a través de un tubo simple, que permite la lectura de la cabeza piezométrica en su interior. La Figura 10.15 son fotografías que ilustran la instalación del piezómetro.

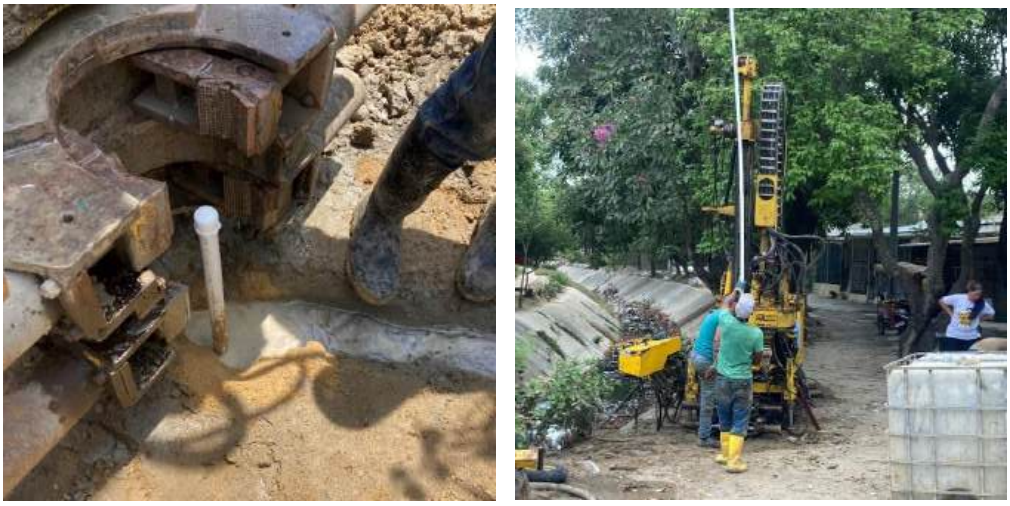


Figura 10.15 Instalación del piezómetro en la perforación P-21

10.2.2 Inclinómetro

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

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

10.2.2.1 Instalación de la Tubería de Inclinometría

Posterior a la finalización de la perforación P-14, se procede con la instalación de la tubería inclinométrica, que se inserta hasta el fondo del pozo perforado. Parte de la evidencia fotográfica de la instalación se puede observar en la Figura 10.16.



Figura 10.16 Instalación de la tubería del inclinómetro en la perforación P-14

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

10.2.2.2 Inclinómetro Digital

En las mediciones de los desplazamientos del terreno en profundidad se utilizó el Sistema de inclinómetro Digital RST, que incorpora tecnología MEMS (Sistemas Micro Electro-Mecánicos) que provee alta precisión y confiabilidad. Para establecer la condición inicial de la tubería de inclinómetro se hace una primera toma de datos. Cualquier desviación horizontal subsecuente, a partir de la lectura base, representa los cambios ocurridos en el subsuelo. El inclinómetro digital RST puede medir con gran precisión la dirección, la profundidad y la magnitud de esas desviaciones. El inclinómetro digital implementado incluye los dispositivos visibles en la Figura 10.17, que se listan en la Tabla 10.5.

10.2.2.3 Sonda Digital

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

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

10.2.2.4 Convención de Signos

La sonda digital posee dos acelerómetros que registran datos de inclinación en dos ejes perpendiculares. La correcta instalación de la tubería involucra, como se había mencionado, alinear un juego de ranuras con el eje del movimiento instalado. Este eje es llamado el Eje-A. Las ranuras perpendiculares a este eje describen, entonces, lo que se denomina el Eje-B (véase la Figura 10.18).

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

En práctica, es difícil lograr la coincidencia exacta entre la orientación de las ranuras y una dirección predeterminada, por la dificultad que la inserción de la tubería en el pozo representa. Es decir, dada la resistencia que ofrece el agua subsuperficial y el tiempo que se requiere para la estabilización y el confinamiento del ducto en la perforación. La ranura más cercana al movimiento anticipado es tomada como la dirección de referencia (véase la Figura 10.18). Es recomendado que esta dirección (A+) sea marcada en la tubería para asegurar que las exploraciones siempre sean llevadas a cabo de la misma manera todas las veces.

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

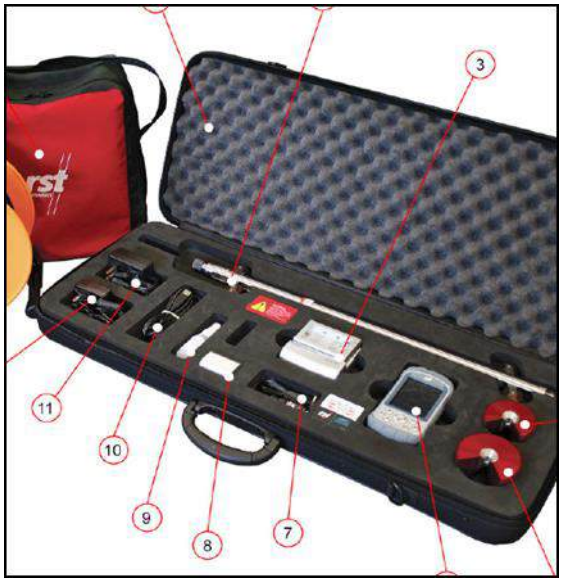


Figura 10.17 Dispositivos del sistema de medición

Tabla 10.5 Implementos del equipo inclinómetro digital

Estuche	
Sonda de inclinómetro digital	Cable USB para el computador de campo digital
Cargador de batería del carrete	Adaptador AC (110-240V) para el cargador del carrete
Sostenedor de cable de 70mm	
Sostenedor de cable de 85mm	Adaptador AC (110-240V) para del computador de mano de campo
Computador de mano de campo	
Adaptador para carro 12V DC para el cargador del carrete o del computador de mano de campo	Cable del carrete con sistema de comunicación inalámbrica y tapa de protección
Batería adicional del carrete	Estuche para carrete
Lubricante digital	

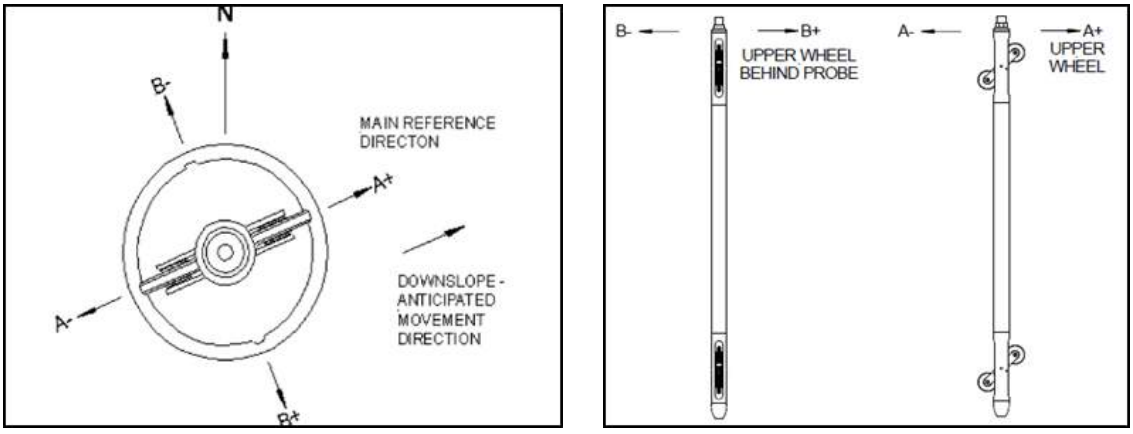


Figura 10.18 Orientación y ejes de la sonda digital

10.2.2.5 Toma de Medidas

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



Figura 10.19 Computador de mano: componente fundamental del equipo de monitoreo Inclinométrico

10.3 EXPLORACIÓN INDIRECTA DEL SUBSUELO

Con el fin de completar la exploración directa del subsuelo, se llevan a cabo pruebas geofísicas para la obtención de propiedades dinámicas de los suelos, en este proyecto en específico se realizaron 10 líneas de refracción sísmica.

10.3.1 Ensayos de Líneas de Refracción Sísmica

En total se ejecutaron un total de 10 Líneas de refracción sísmica en ubicaciones definidas a partir de la geología y los espacios disponibles sin superficies duras (véase la Tabla 10.6).

Tabla 10.6 Características generales de las líneas de refracción sísmica

ID LÍNEAS DE REFRACCIÓN	COORDENADAS INICIALES EN MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		COORDENADAS FINALES EN MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL	
	ESTE (M)	ESTE (M)	ESTE (M)	ESTE (M)
LR-01	4799310	2774413	4799287	2774527
LR-02	4799452	2773676	4799402	2773578
LR-03	4799516	2773871	4799515	2773757
LR-04	4799652	2774308	4799659	2774196

ID LÍNEAS DE REFRACCIÓN	COORDENADAS INICIALES EN MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		COORDENADAS FINALES EN MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL	
	ESTE (M)	ESTE (M)	ESTE (M)	ESTE (M)
LR-05	4799623	2774063	4799632	2774178
LR-06	4800753	2771387	4800848	2771445
LR-07	4801022	2771596	4801093	2771667
LR-08	4800749	2772331	4800861	2772309
LR-09	4800389	2772486	4800337	2772586
LR10	4801926	2769867	4801989	2769960

10.3.1.1 Ubicación

Las líneas de refracción para el proyecto se ejecutaron los días 02/06/23 y el 06/06/23. La ubicación de las líneas de refracción se muestra en la Figura 10.20 y la Figura 10.21.

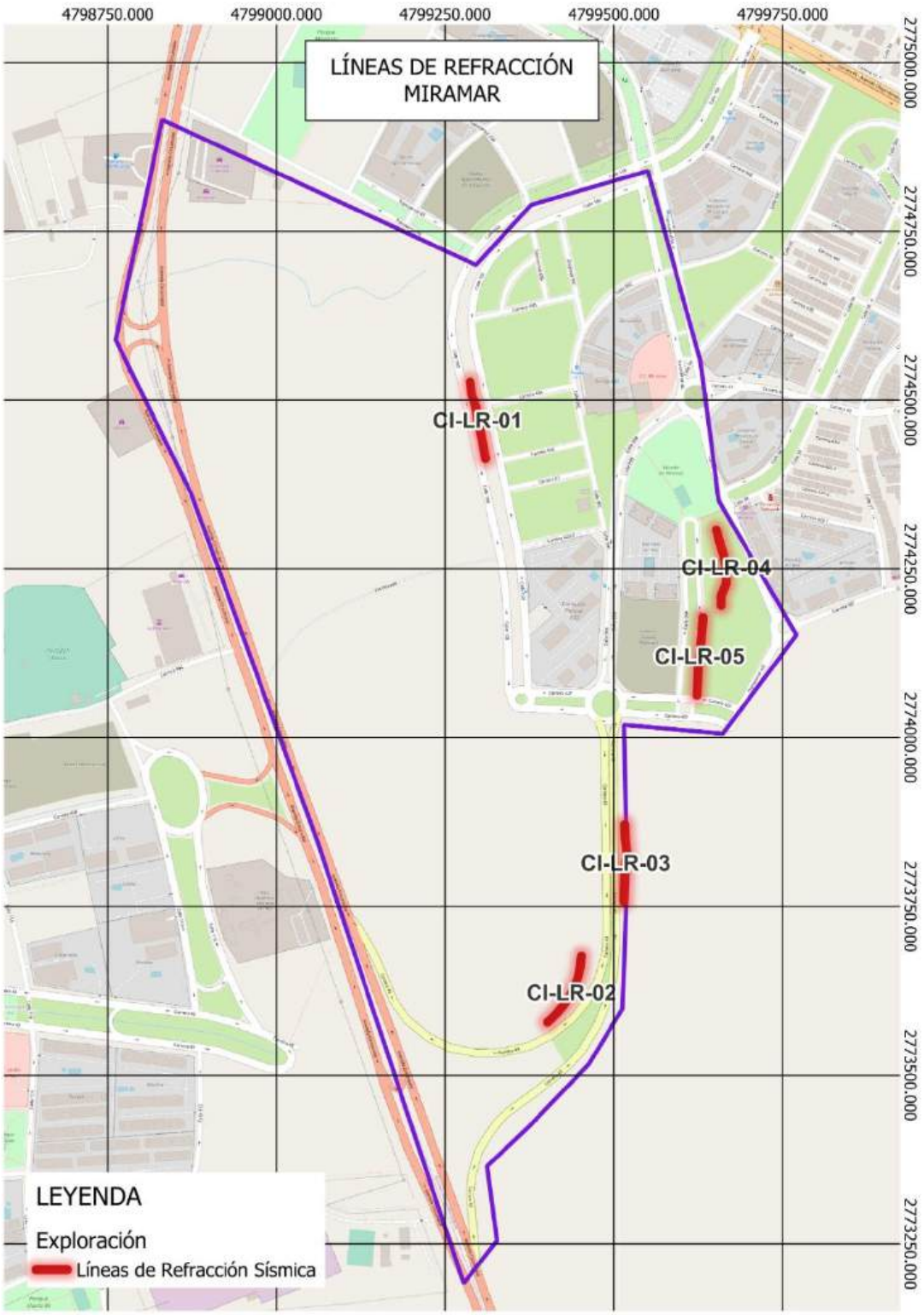


Figura 10.20 Ubicación general de las Líneas de Refracción barrio Miramar

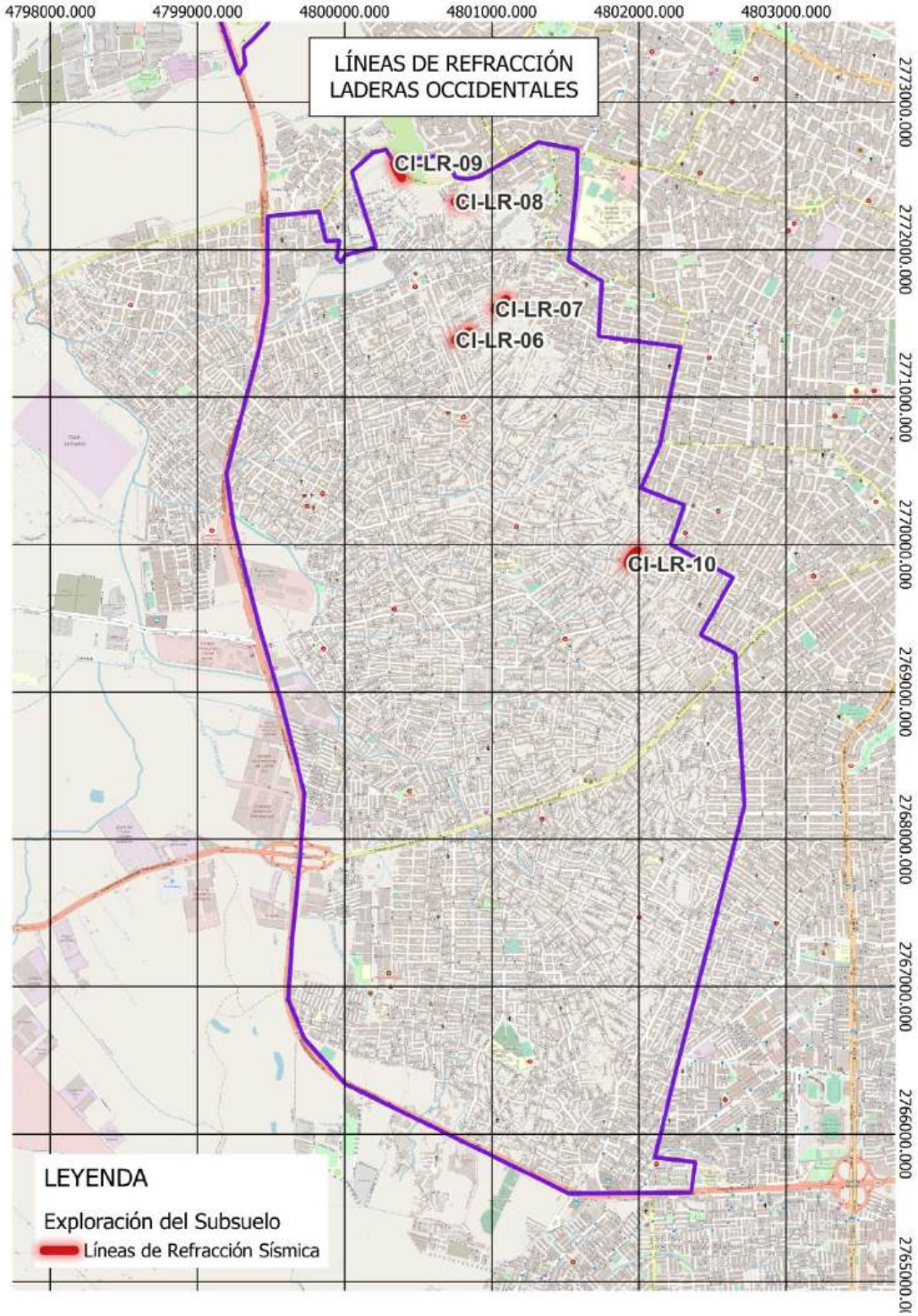


Figura 10.21 Ubicación de Línea de Refracción sísmica localidad suroccidente

10.3.1.2 Método

Este método está basado en el principio de comportamiento de las ondas cuando pasan de un medio a otro diferente. Cuando se genera un estímulo en la superficie del suelo, las ondas de cuerpo (ondas P o compresionales y ondas S o cortantes) se desplazan en el suelo o roca, y pasan de un medio a otro de mayor densidad, los geófonos más cercanos registran la onda que se mueve directamente en superficie, sin embargo, a medida que se consideran los sensores más lejanos, se dará el caso en que algunos de ellos comenzarán a registrar la llegada de la onda que se refracta y se mueve a una velocidad de onda mayor dentro del material inferior (Figura 10.22).

Debido a la forma en que se define su funcionamiento, este método es muy útil para la descripción de perfiles en los que se estima que los materiales por debajo del nivel superior aumentan en densidad, y por ende la velocidad de propagación de las ondas es mayor a medida que se aumenta la profundidad. En los casos en que el material inferior tiene una densidad menor, la onda refractada jamás llegaría antes que la onda que se mueve dentro del mismo material superior.

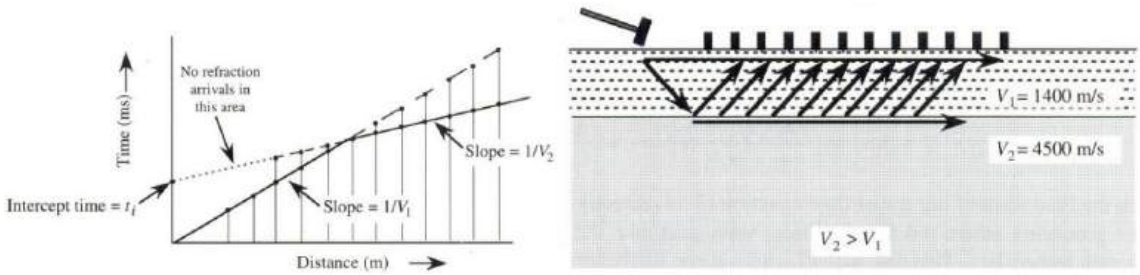


Figura 10.22 Esquema de funcionamiento de un equipo de refracción sísmica
Fuente FACET – UNT (2008)

La ejecución del método consiste en la extensión de un cable con geófonos equidistantes con 24 geófonos en total (Figura 10.23), conectados a una unidad central de control y almacenamiento de la información. Se inicia con la instalación de geófonos verticales, y posteriormente a esto se generan golpes verticales en superficie en puntos específicos definidos, y se registra las llegadas de las ondas verticales a cada uno de los geófonos instalados. Posteriormente se realiza el cambio de geófonos verticales, por geófonos horizontales, y se dan golpes con dirección horizontal mediante un mecanismo que ayuda a transmitir la onda al suelo, igualmente en puntos cercanos a cada geófono, tomando el registro de llegada de las ondas a cada uno de los geófonos.

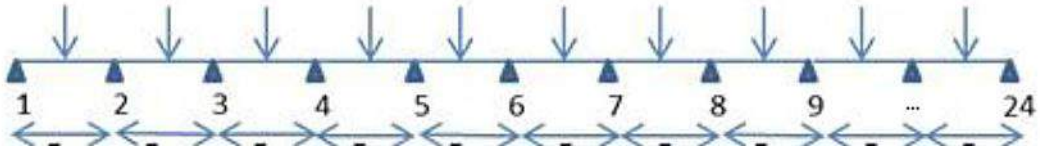


Figura 10.23 Configuración de los geófonos para ejecución de ensayo de línea de refracción sísmica

Este ensayo tiene una penetración en el suelo de aproximadamente a una profundidad de 1/3 a 1/4 de la longitud total del trazado en planta, por lo que para líneas de 120m de largo, se estima un perfil con una penetración mínima de unos 30 a 40m y para líneas de 60 m unos 20 m. Las limitaciones del

ensayo están muy asociadas a los materiales en superficie, siendo que de realizarse en materiales muy duros (vías, pavimentos, etc.), no se registrarían las ondas refractadas, y de igual modo deben evitarse estructuras lineales paralelas al trazado de la línea de refracción, por las cuales se puedan desplazar las ondas, generando interferencia en los resultados (rieles, tuberías, etc.).

Posterior a la ejecución del ensayo se estiman los tiempos de llegada de las ondas a cada uno de los sensores (Figura 10.24), considerando el tiempo de inicio global (t=0) como el momento de golpe del martillo en cada caso, y registrado mediante un acelerómetro ubicado en el martillo que genera el estímulo.

Luego, genera el gráfico de dromocronas, que corresponden a al conjunto de puntos de un mismo refractor, y a partir del cual se comienza a definir la cantidad de refractores existentes en la zona de influencia del ensayo (Figura 10.25).

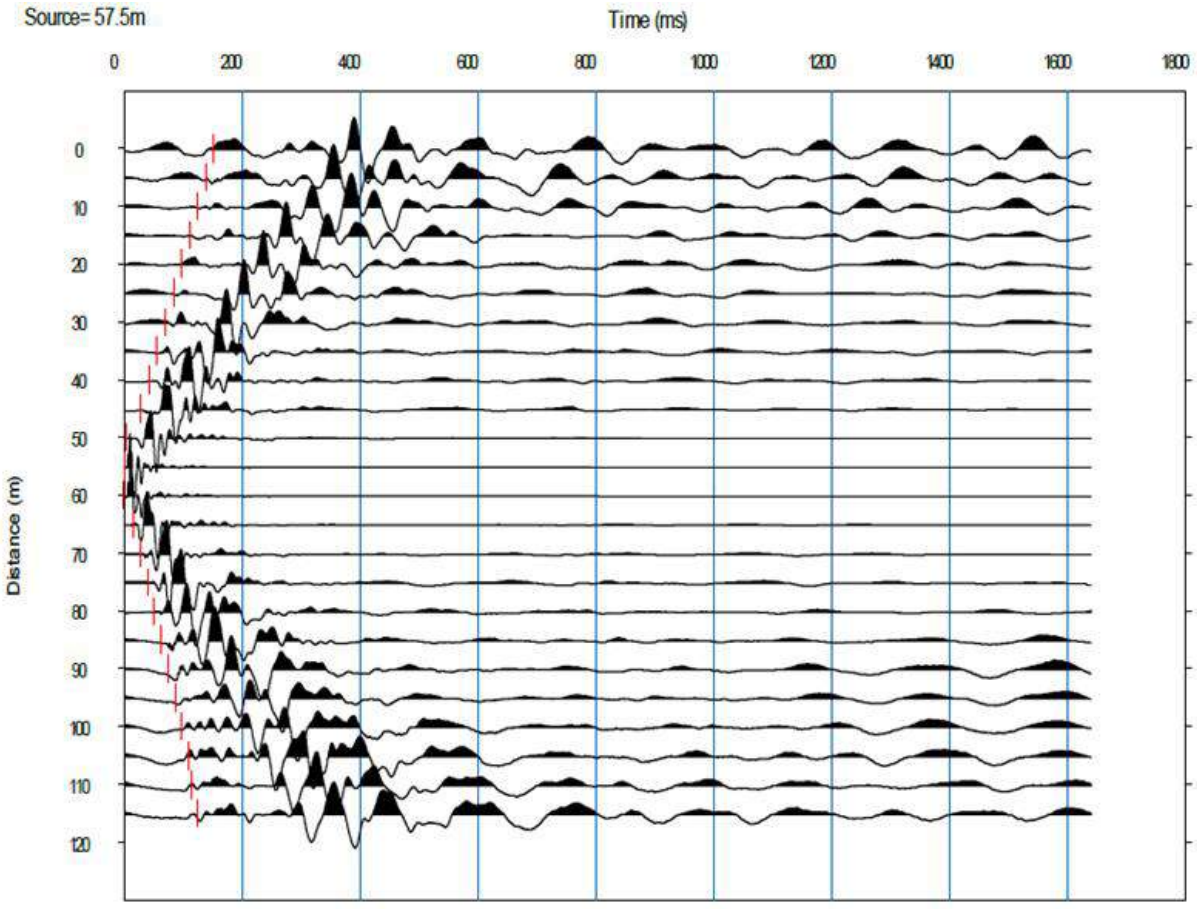


Figura 10.24 Llegada de la onda (marca en rojo) para cada uno de los geófonos instalados
Fuente CI Ambiental SAS

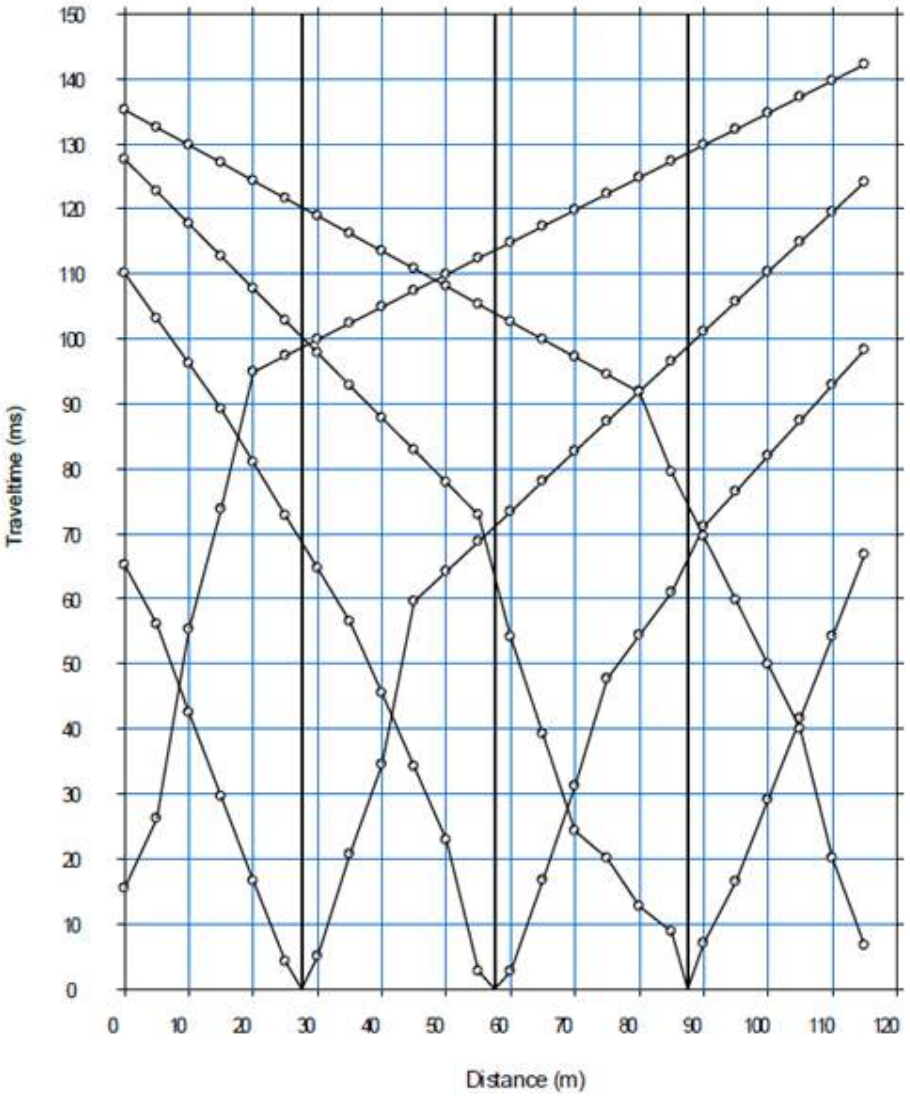


Figura 10.25 Gráfica de dromocronas para los diferentes refractores encontrados
Fuente CI Ambiental SAS

Finalmente, a partir de la información obtenida, se define un perfil de velocidades de onda ya sea compresional o de corte (Figura 10.26) por el método GRM. Se generará un perfil de ondas S y no solamente para el centro del perfil. Este perfil de velocidades, sumado a la exploración directa, permite la definición clara de características para los materiales en profundidad, como lo son el valor del coeficiente ν de Poisson, entre otras propiedades elásticas del suelo (E, G, M, etc.).

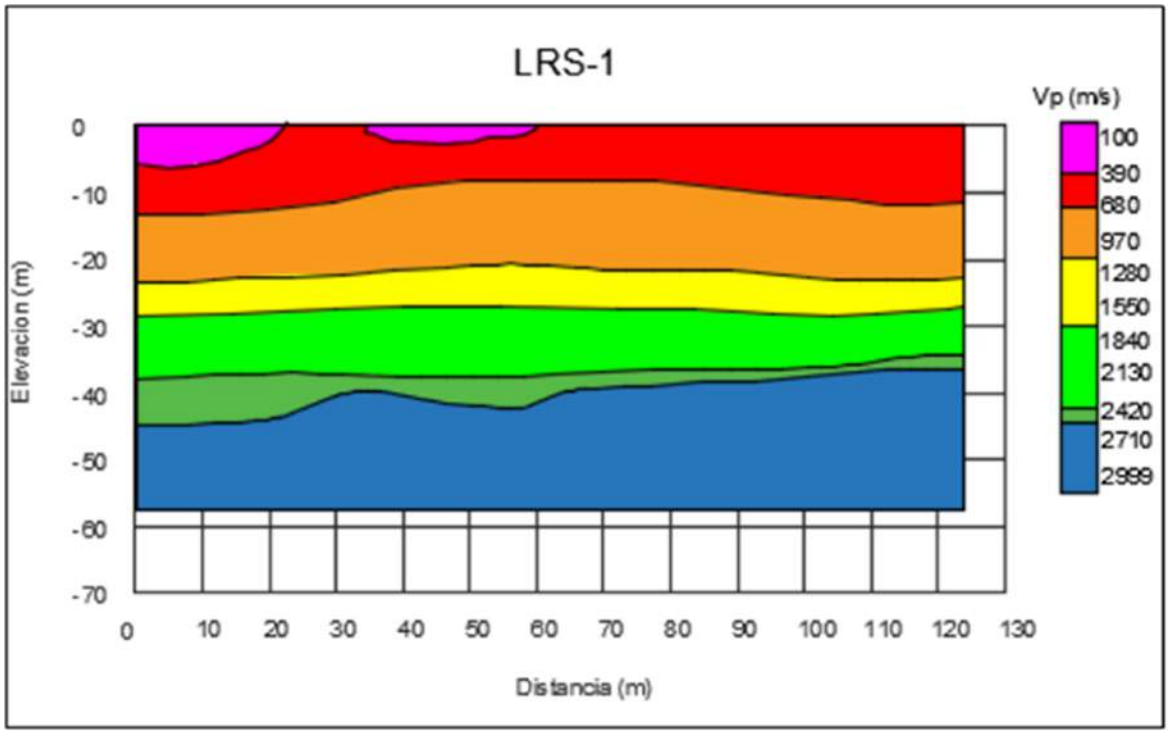


Figura 10.26 Perfil de velocidad de onda P en los materiales del subsuelo
Fuente CI Ambiental SAS.

10.3.1.3 Equipo

Para la ejecución del plan de exploración indirecta mediante líneas de refracción sísmica, se utilizó el equipo MAE X820S (Figura 1.7) con las siguientes características:

- Sismógrafo, marca MAE, modelo X820S año 2023 (véase la Figura 2.1):
- Equipo digital (sismógrafo) de 24 canales de entrada (hasta 48 – 72 - 96)
- Rango de frecuencia entre 0 a 25000 Hz / Filtro de paso bajo máx. 2000 Hz
- Resolución de conversión A/D: ADC Delta-Sigma @24 bit (frecuencia máx. 50000 Hz)
- Rango dinámico 128sB
- Distorsión máxima: 0.0005%
- Detonador: Positivo, negativo con umbral regulado a través del software
- Geófono vertical y horizontal: Frecuencia natural 14 Hz, tolerancia +/- 5%



Figura 10.27 Equipo de Refracción Sísmica, marca MAE

10.3.1.4 Ejecución de labores

- Línea de refracción sísmica 1

Consistió en una línea de 120 m en dirección SW-NE y con distanciamiento de sensores cada 5 m aprovechando al máximo el espacio disponible, con ejecución de lecturas de ondas P y ondas S. Localidad Norte centro-histórico, barrio urbanización Miramar. Se ubicó en zona verde ubicada en medio de las dos calzadas de la calle 100. Esta zona verde con desnivel hacia el Oeste de entre el 5 y 10%.

Se realizaron golpes en las posiciones 0, 30, 60, 90 y 120 m del trazado para las ondas P y ondas S. La Figura 10.28 muestra una fotografía durante la ejecución de las labores en este punto.



Figura 10.28 Ejecución de labores para la línea de refracción sísmica 1

- Línea de refracción sísmica 2

Consistió en una línea de 120 m en dirección SW-NE y con distanciamiento de sensores cada 5 m aprovechando al máximo el espacio disponible, con ejecución de lecturas de ondas P y ondas S. Localidad Norte centro-histórico, barrio urbanización Miramar. Se ubicó en zona verde al norte de la vía cra 43, entre una plantación de árboles.

Se realizaron golpes en las posiciones 0, 30, 60, 90 y 120 m del trazado para las ondas P y ondas S. La Figura 10.29 muestra una fotografía durante la ejecución de las labores en este punto.



Figura 10.29 Ejecución de labores para la línea de refracción sísmica 2

- Línea de refracción sísmica 3

Consistió en una línea de 120 m en dirección SW-NE y con distanciamiento de sensores cada 5 m aprovechando al máximo el espacio disponible, con ejecución de lecturas de ondas P y ondas S. Localidad Norte centro-histórico, barrio urbanización Miramar. En el lado occidente de la Cra 43, atravesando el punto en el cual se realizó la perforación 13 con el objetivo de complementar la información de la zona.

Se realizaron golpes en las posiciones 0, 30, 60, 90 y 120 m del trazado para las ondas P y ondas S. La Figura 10.30 muestra una fotografía durante la ejecución de las labores en este punto.



Figura 10.30 Ejecución de labores para la línea de refracción sísmica 3

- Línea de refracción sísmica 4

Consistió en una línea de 120 m en dirección SE-NW y con distanciamiento de sensores cada 5 m aprovechando al máximo el espacio disponible, con ejecución de lecturas de ondas P y ondas S. Localidad Norte centro-histórico, barrio urbanización Miramar. Ubicado en la zona verde que se encuentra entra la calle 99ª y la calle 98 frente a las urbanizaciones de Miramar. Zona de pastos limpios con pendientes de entre el 5 y el 10%.

Se realizaron golpes en las posiciones 0, 30, 60, 90 y 120 m del trazado para las ondas P y ondas S. La Figura 10.31 muestra una fotografía durante la ejecución de las labores en este punto.



Figura 10.31 Ejecución de labores para la línea de refracción sísmica 4

- Línea de refracción sísmica 5

Consistió en una línea de 120 m en dirección SW-NE y con distanciamiento de sensores cada 5 m aprovechando al máximo el espacio disponible, con ejecución de lecturas de ondas P y ondas S. Localidad Norte centro-histórico, barrio urbanización Miramar. Se ubicó al lado de la calle 99ª en la zona verde que se encuentra entre los conjuntos residenciales.

Se realizaron golpes en las posiciones 0, 30, 60, 90 y 120 m del trazado para las ondas P y ondas S. La Figura 10.32 muestra una fotografía durante la ejecución de las labores en este punto.



Figura 10.32 Ejecución de labores para la línea de refracción sísmica 5

- Línea de refracción sísmica 6

Consistió en una línea de 120 m en dirección SW-NE y con distanciamiento de sensores cada 5 m aprovechando al máximo el espacio disponible, con ejecución de lecturas de ondas P y ondas S. Localidad Suroccidente, barrio Me Quejo. Se ubicó en la carrera 23 entre la calle83 y la calle 82f.

Se realizaron golpes en las posiciones 0, 30, 60, 90 y 120 m del trazado para las ondas P y ondas S. La Figura 10.33 muestra una fotografía durante la ejecución de las labores en este punto.



Figura 10.33 Ejecución de labores para la línea de refracción sísmica 6

- Línea de refracción sísmica 7

Consistió en una línea de 120 m en dirección SW-NE y con distanciamiento de sensores cada 5 m aprovechando al máximo el espacio disponible, con ejecución de lecturas de ondas P y ondas S. Localidad Suroccidente, barrio urbanización Miramar. Ubicado en zona poco urbana entre las calles 26C y 21D Al oeste de la carrera 82C. Alta presencia de cobertura vegetal.

Se realizaron golpes en las posiciones 0, 30, 60, 90 y 120 m del trazado para las ondas P y ondas S. La Figura 10.34 muestra una fotografía durante la ejecución de las labores en este punto.



Figura 10.34 Ejecución de labores para la línea de refracción sísmica 7

- Línea de refracción sísmica 8

Consistió en una línea de 120 m en dirección NW-SE y con distanciamiento de sensores cada 5 m aprovechando al máximo el espacio disponible, con ejecución de lecturas de ondas P y ondas S. Localidad suroccidente, Limite barrio las Terrazas y Villa del Rosario. Se ubicó en la zona verde en la que termina la vía carrera 35 D entre las calles 82d y 81d. Alta presencia de vegetación.

Se realizaron golpes en las posiciones 0, 30, 60, 90 y 120 m del trazado para las ondas P y ondas S. La Figura 1.64 muestra una fotografía durante la ejecución de las labores en este punto.



Figura 10.35 Ejecución de labores para la línea de refracción sísmica 8

- Línea de refracción sísmica 9

Consistió en una línea de 120 m en dirección SE-NW y con distanciamiento de sensores cada 5 m aprovechando al máximo el espacio disponible, con ejecución de lecturas de ondas P y ondas S. Localidad Suroccidente, barrio el Rubí. Se ubicó en la zona verde al sur de la carrera 38, en esta zona se encuentra una plantación de árboles.

Se realizaron golpes en las posiciones 0, 30, 60, 90 y 120 m del trazado para las ondas P y ondas S. La Figura 10.36 muestra una fotografía durante la ejecución de las labores en este punto.



Figura 10.36 Ejecución de labores para la línea de refracción sísmica 9

- Línea de refracción sísmica 10

Consistió en una línea de 120 m en dirección SW-NE y con distanciamiento de sensores cada 5 m aprovechando al máximo el espacio disponible, con ejecución de lecturas de ondas P y ondas S. Localidad Suroccidente, barrio Cuchilla de Villate. Entre la calle 68 y 69 al norte de la cerrera 12, en zona poco urbanizada con alta presencia vegetal.

Se realizaron golpes en las posiciones 0, 30, 60, 90 y 120 m del trazado para las ondas P y ondas S. La Figura 10.37 muestra una fotografía durante la ejecución de las labores en este punto.



Figura 10.37 Ejecución de labores para la línea de refracción sísmica 10

10.3.1.5 Resultados

Los registros obtenidos se interpretaron teniendo en cuenta la metodología GRM. Inicialmente se definen los tiempos de llegada de la onda para cada geófono en cada una de las posiciones de golpe. La Figura 10.38 muestra la selección de llegada de las ondas P para la posición de golpe (60 m) de la LR-01.

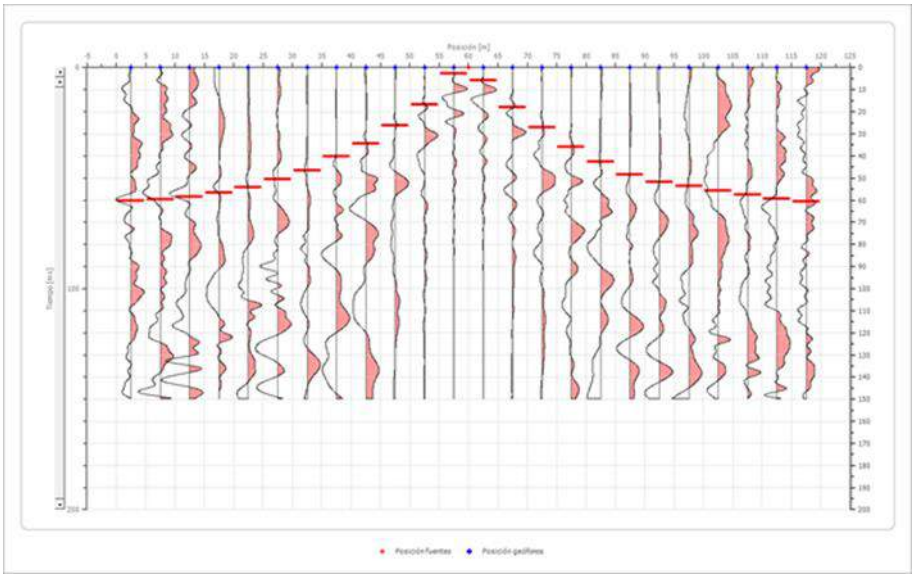


Figura 10.38 Selección de tiempos de llegada para la LR-01 ondas P

A partir de los tiempos de llegada en cada una de las posiciones de golpe se procede a generar las dromocronas para cada una de las líneas de refracción, como se observa en la Figura 10.39.

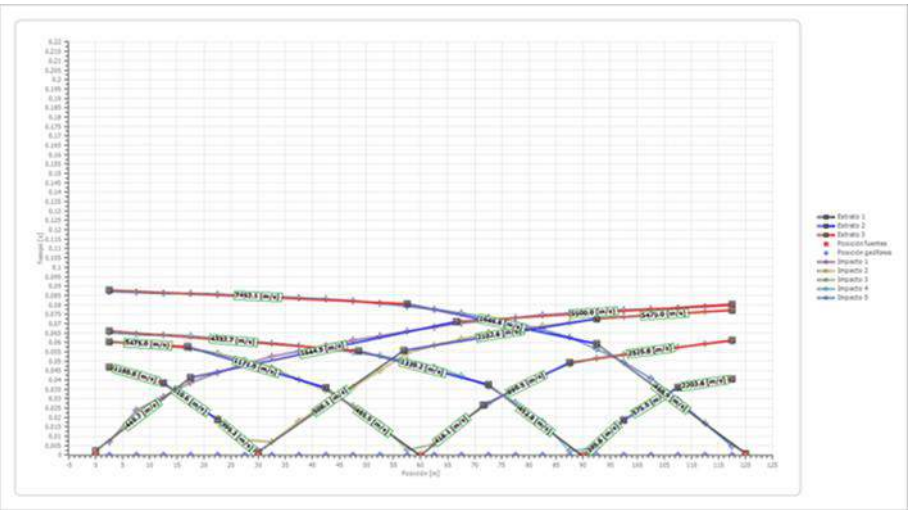


Figura 10.39 Generación de dromocronas para la LR-01 ondas P

Una vez se tienen las gráficas de dromocronas, el software utilizado, Easy Refract, automáticamente genera dromocronas elaboradas a partir de la superposición de todos los resultados, como se aprecia en la Figura 10.40.

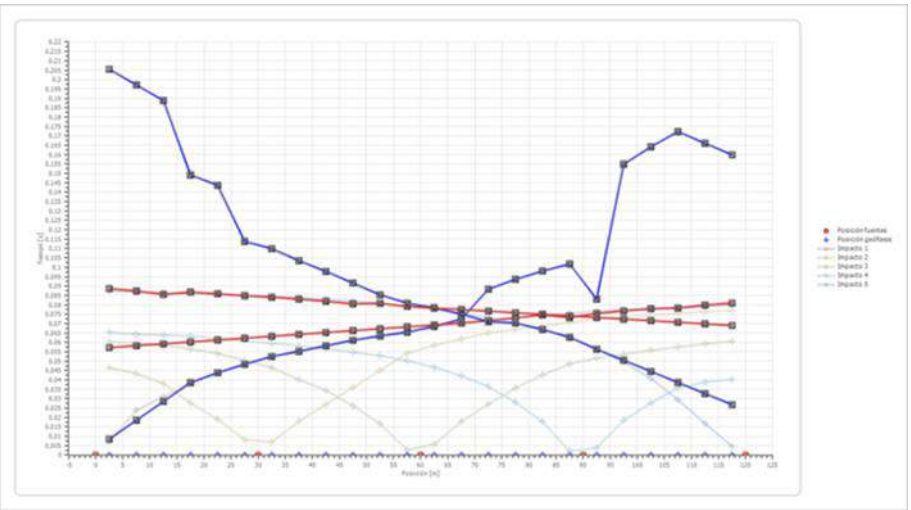


Figura 10.40 Dromocronas elaboradas para la LR-01 ondas P

En función de estos resultados es posible definir una estratificación a partir de este método, que nos permite caracterizar morfológicamente el perfil generando refractores, como se ve en la Figura 10.41.

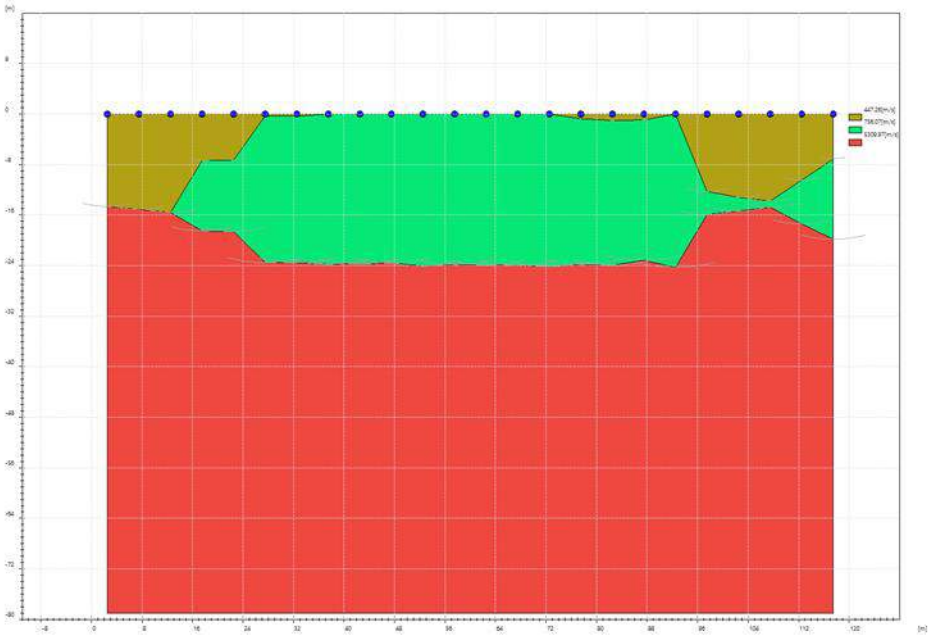


Figura 10.41 Gráfico de comportamiento morfológico para la LR-01 ondas P

El procesamiento anterior se llevó a cabo para cada una de las líneas de refracción realizadas tanto para ondas P como para ondas S. Los resultados finales de cada una de las líneas se presentan a continuación de la Figura 10.42 a la Figura 10.61y de la Tabla 10.7 a la Tabla 10.16, los parámetros de las tablas se describen de la siguiente manera:

Vp: Velocidad de onda compresional o primaria;

Vs: Velocidad de onda cortante o secundaria;

G0: Módulo de deformación al corte;

Ed: Módulo edométrico;

M0: Módulo de compresibilidad volumétrica; Ey: Módulo de Young;

Línea de Refracción Sísmica 1

Onda VP

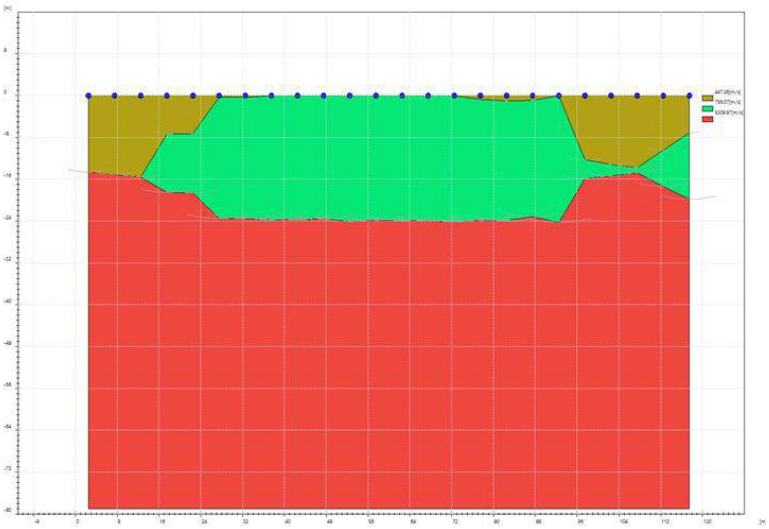


Figura 10.42 Gráfico de comportamiento morfológico para la LR-01 ondas P

Onda VS

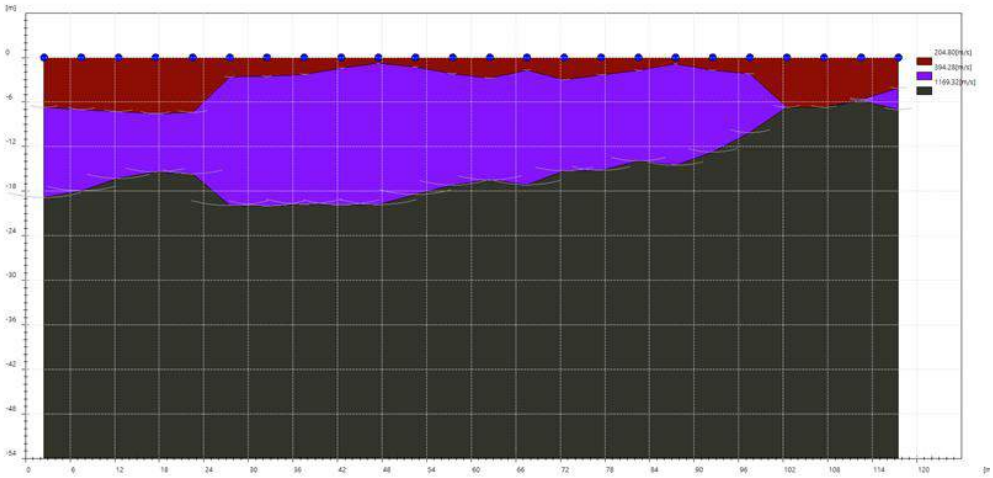


Figura 10.43 Gráfico de comportamiento morfológico para la LR-01 ondas S

Tabla 10.7 Parámetros elásticos para la LR-01

PARÁMETRO	ESTRATO N. 1	ESTRATO N. 2	ESTRATO N. 3
Coeficiente Poisson	0.36	0.31	0.47
Densidad [kg/m³]	1401.92	1587.71	1951.99
Vp [m/s]	437.88	751.36	4914.83
Vs [m/s]	204.80	394.28	1169.32
G0 [MPa]	75.50	279.82	2461.14
Ed [Mpa]	345.13	1016.17	43480.08
M0 [MPa]	269.63	736.36	41018.94
Ey [Mpa]	205.35	733.12	7235.74

Línea de Refracción Sísmica 2

Onda VP

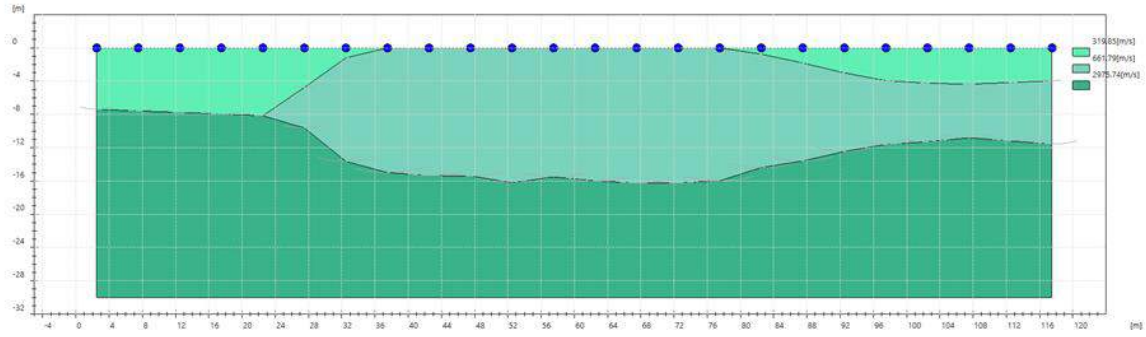


Figura 10.44 Gráfico de comportamiento morfológico para la LR-02 ondas S

Onda VS

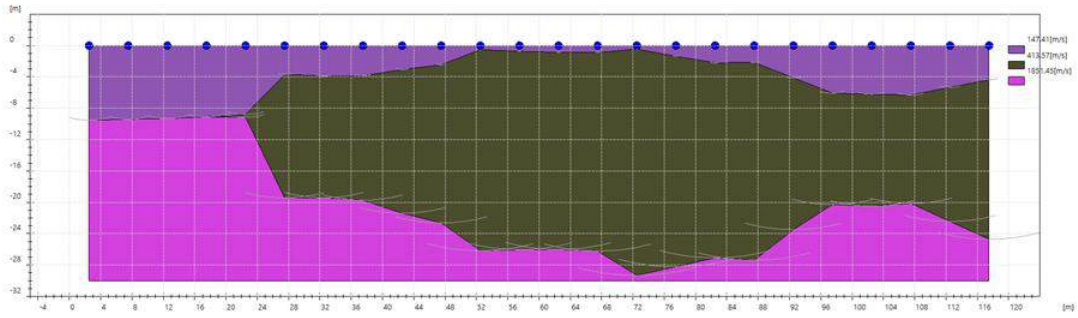


Figura 10.45 Gráfico de comportamiento morfológico para la LR-02 ondas S

Tabla 10.8 Parámetros elásticos para la LR-01

PARÁMETRO	ESTRATO N. 1	ESTRATO N. 2	ESTRATO N. 3
Coeficiente Poisson	0.36	0.17	0.18
Densidad [kg/m³]	1317.02	1602.19	2130.09
Vp [m/s]	315.18	655.90	2963.76
Vs [m/s]	147.41	413.57	1851.45
G0 [MPa]	39.12	307.88	6170.14
Ed [Mpa]	178.81	774.36	15810.99
M0 [MPa]	139.70	466.48	9640.85
Ey [Mpa]	106.39	720.43	14561.53

Línea de Refracción Sísmica 3

Onda VP

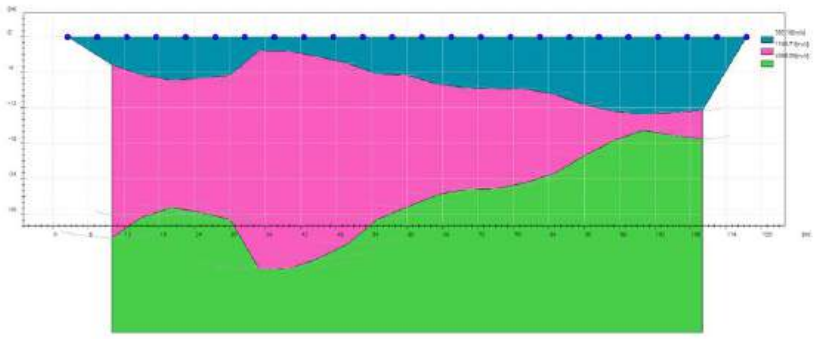


Figura 10.46 Gráfico de comportamiento morfológico para la LR-03 ondas P

Onda VS

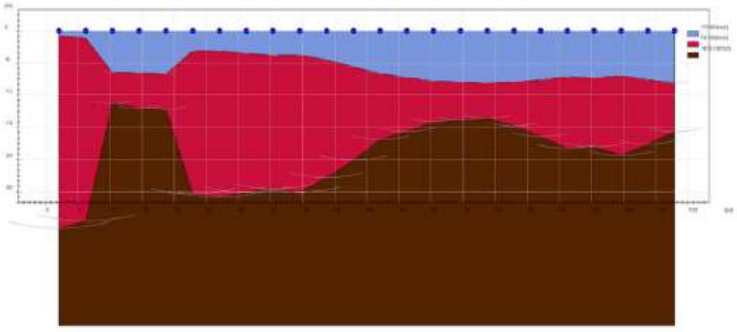


Figura 10.47 Gráfico de comportamiento morfológico para la LR-03 ondas S

Tabla 10.9 Parámetros elásticos para la LR-03

PARÁMETRO	ESTRATO N. 1	ESTRATO N. 2	ESTRATO N. 3
Coeficiente Poisson	0.37	0.17	0.39
Densidad [kg/m³]	1361.88	1780.65	2122.09
Vp [m/s]	387.08	1143.46	4274.47
Vs [m/s]	175.83	721.00	1815.16
G0 [MPa]	55.65	935.72	5930.63
Ed [Mpa]	269.70	2353.49	32888.04
M0 [MPa]	214.04	1417.76	26957.41
Ey [Mpa]	152.49	2189.60	16487.15

Línea de Refracción Sísmica 4

Onda VP

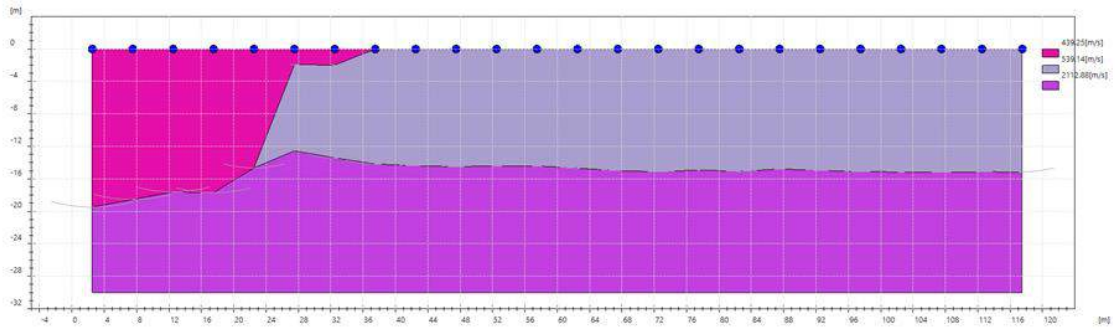


Figura 10.48 Gráfico de comportamiento morfológico para la LR-04 ondas P

Onda VS

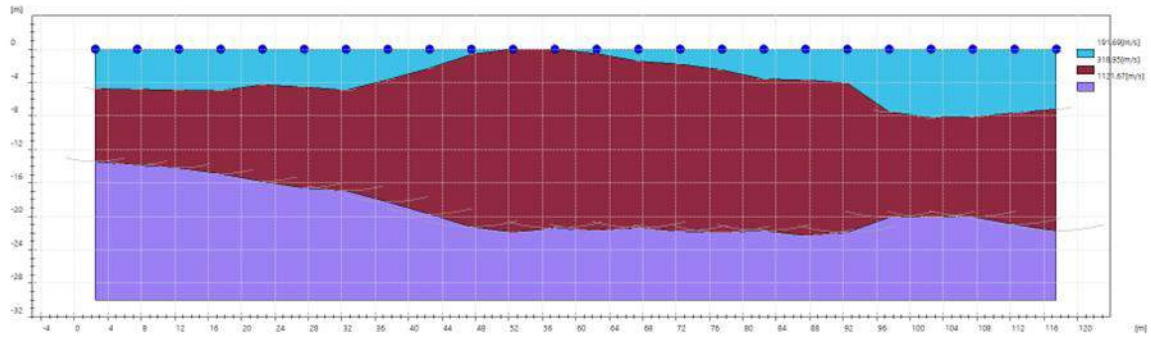


Figura 10.49 Gráfico de comportamiento morfológico para la LR-04 ondas S

Tabla 10.10 Parámetros elásticos para la LR-04

PARÁMETRO	ESTRATO N. 1	ESTRATO N. 2	ESTRATO N. 3
Coeficiente Poisson	0.38	0.23	0.30
Densidad [kg/m³]	1384.40	1525.03	1936.62
Vp [m/s]	435.71	538.63	2098.44
Vs [m/s]	191.69	318.95	1121.67
G0 [MPa]	66.14	183.12	2264.64
Ed [Mpa]	341.72	522.22	7926.24
M0 [MPa]	275.58	339.10	5661.60
Ey [Mpa]	182.54	450.46	5888.06

Línea de Refracción Sísmica 5

Onda VP

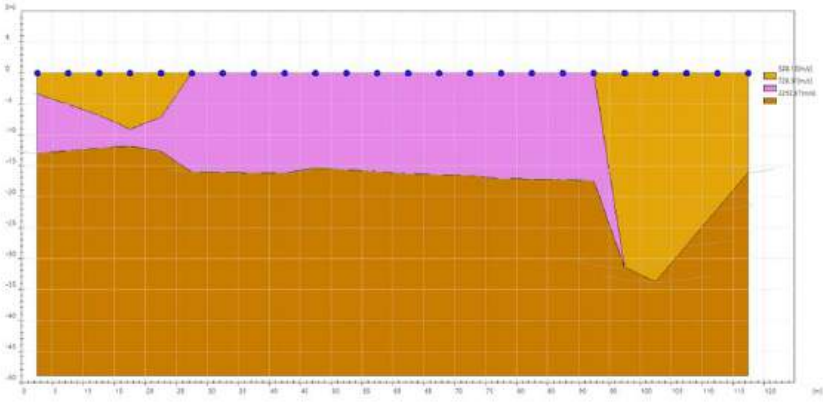


Figura 10.50 Gráfico de comportamiento morfológico para la LR-05 ondas P

Onda VS

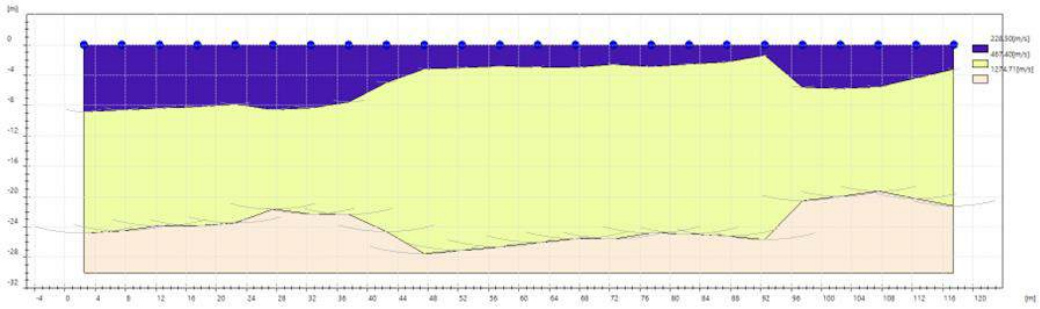


Figura 10.51 Gráfico de comportamiento morfológico para la LR-05 ondas S

Tabla 10.11 Parámetros elásticos para la LR-05

PARÁMETRO	ESTRATO N. 1	ESTRATO N. 2	ESTRATO N. 3
Coeficiente Poisson	0.38	0.14	0.27
Densidad [kg/m³]	1431.40	1639.88	1984.26
Vp [m/s]	519.39	722.42	2270.95
Vs [m/s]	228.50	467.40	1274.71
G0 [MPa]	93.98	393.24	2924.78
Ed [Mpa]	485.59	939.40	9282.99
M0 [MPa]	391.60	546.16	6358.21
Ey [Mpa]	259.40	896.58	7428.93

Línea de Refracción Sísmica 6

Onda VP

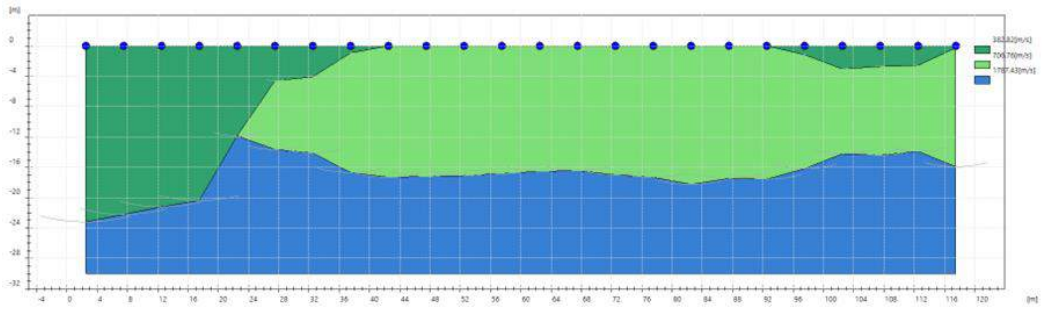


Figura 10.52 Gráfico de comportamiento morfológico para la LR-06 ondas P

Onda VS

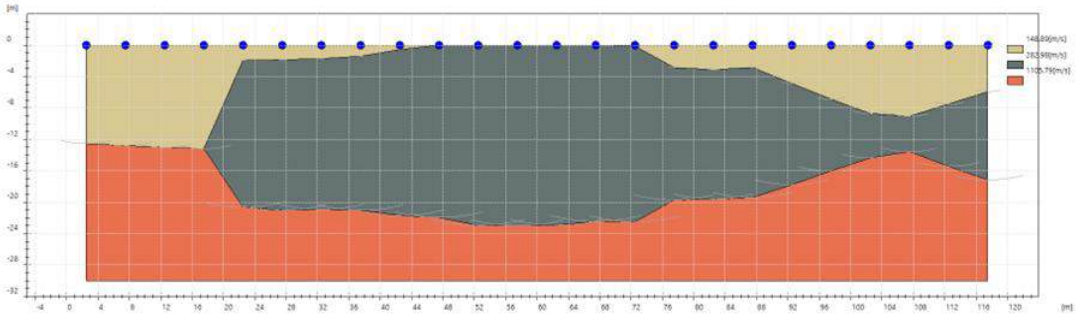


Figura 10.53 Gráfico de comportamiento morfológico para la LR-06 ondas S

Tabla 10.12 Parámetros elásticos para la LR-06

PARÁMETRO	ESTRATO N. 1	ESTRATO N. 2	ESTRATO N. 3
Coeficiente Poisson	0.41	0.40	0.18
Densidad [kg/m³]	1319.51	1490.74	1931.38
Vp [m/s]	381.20	693.15	1770.12
Vs [m/s]	148.89	282.98	1105.79
G0 [MPa]	39.90	144.14	2200.97
Ed [Mpa]	261.57	864.82	5639.98
M0 [MPa]	221.67	720.68	3439.01
Ey [Mpa]	112.52	403.58	5194.29

Línea de Refracción Sísmica 7

Onda VP

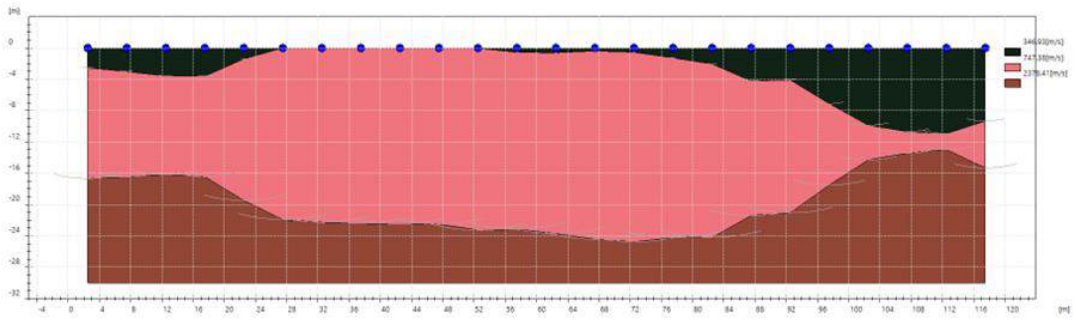


Figura 10.54 Gráfico de comportamiento morfológico para la LR-07 ondas P

Onda VS

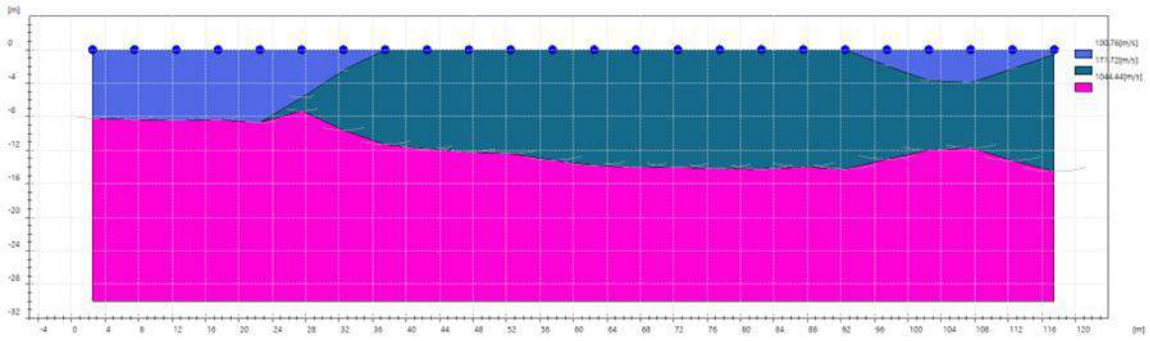


Figura 10.55 Gráfico de comportamiento morfológico para la LR-07 ondas S

Tabla 10.13 Parámetros elásticos para la LR-07

PARÁMETRO	ESTRATO N. 1	ESTRATO N. 2	ESTRATO N. 3
Coeficiente Poisson	0.45	0.47	0.38
Densidad [kg/m³]	1225.16	1355.77	1910.55
Vp [m/s]	334.18	721.75	2374.05
Vs [m/s]	100.76	171.72	1044.44
G0 [MPa]	18.27	53.08	1963.56
Ed [Mpa]	201.02	937.67	10145.04
M0 [MPa]	182.74	884.60	8181.49
Ey [Mpa]	53.00	156.04	5419.42

Línea de Refracción Sísmica 8

Onda VP

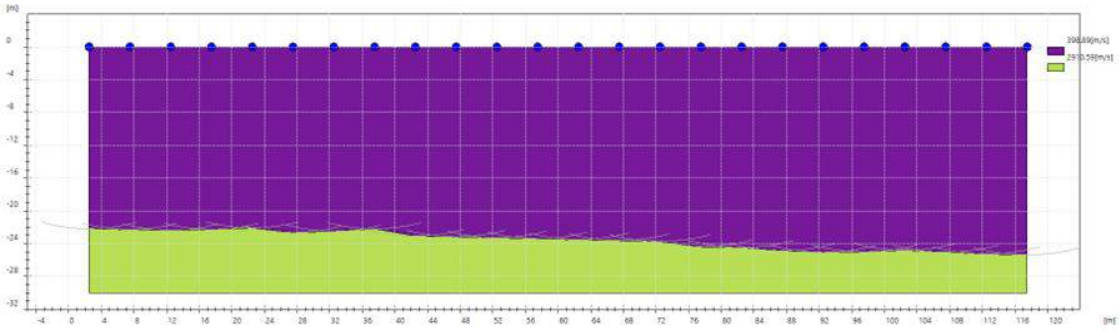


Figura 10.56 Gráfico de comportamiento morfológico para la LR-08 ondas P

Onda VS

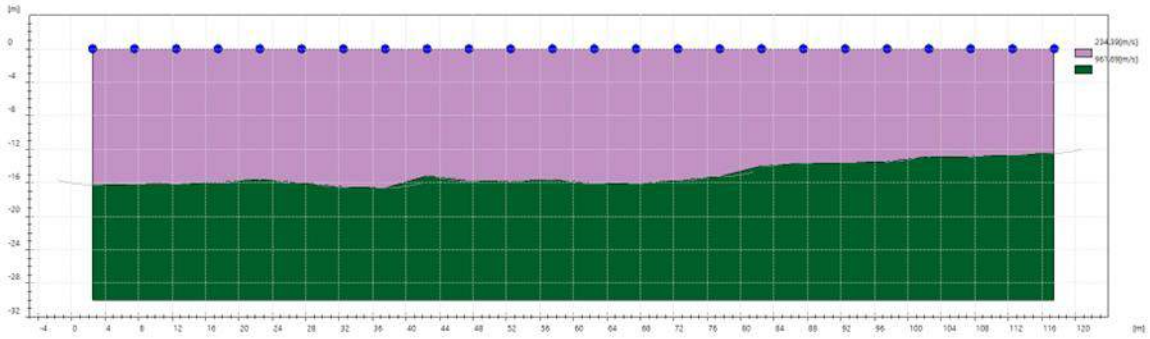


Figura 10.57 Gráfico de comportamiento morfológico para la LR-08 ondas S
Tabla 10.14 Parámetros elásticos para la LR-08

PARÁMETRO	ESTRATO N. 1	ESTRATO N. 2
Coeficiente Poisson	0.23	0.43
Densidad [kg/m³]	1438.33	1880.82
Vp [m/s]	395.82	2744.25
Vs [m/s]	234.39	961.69
G0 [MPa]	98.89	1664.73
Ed [Mpa]	282.02	13555.64
M0 [MPa]	183.13	11890.91
Ey [Mpa]	243.27	4761.12

Línea de Refracción Sísmica 9

Onda VP

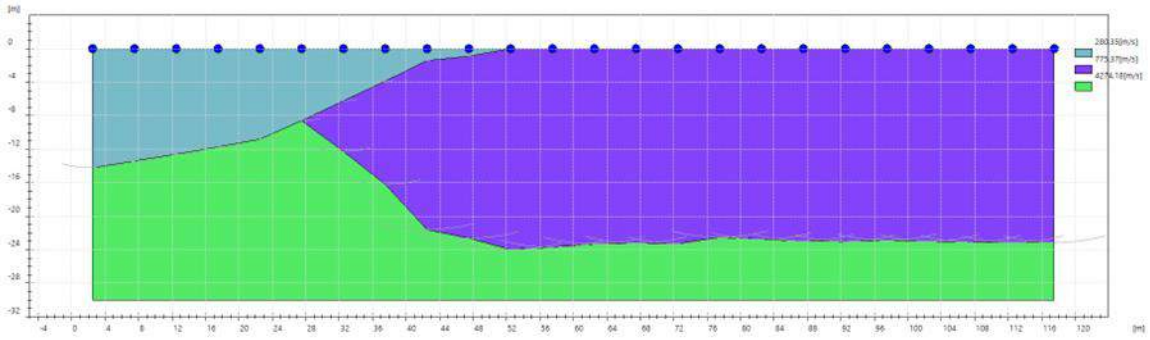


Figura 10.58 Gráfico de comportamiento morfológico para la LR-09 ondas P

Onda VS

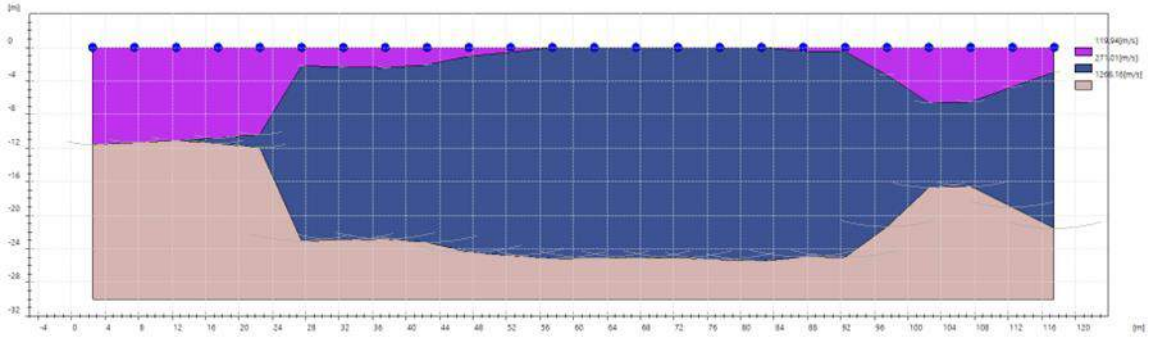


Figura 10.59 Gráfico de comportamiento morfológico para la LR-09 ondas S
Tabla 10.15 Parámetros elásticos para la LR-09

PARÁMETRO	ESTRATO N. 1	ESTRATO N. 2	ESTRATO N. 3
Coeficiente Poisson	0.38	0.43	0.45
Densidad [kg/m³]	1266.40	1478.56	1982.32
Vp [m/s]	272.62	773.35	4206.00
Vs [m/s]	119.94	271.01	1268.16
G0 [MPa]	25.89	132.21	2894.79
Ed [Mpa]	133.78	1076.53	31842.72
M0 [MPa]	107.89	944.33	28947.93
Ey [Mpa]	71.47	378.11	8394.90

Línea de Refracción Sísmica 10

Onda VP

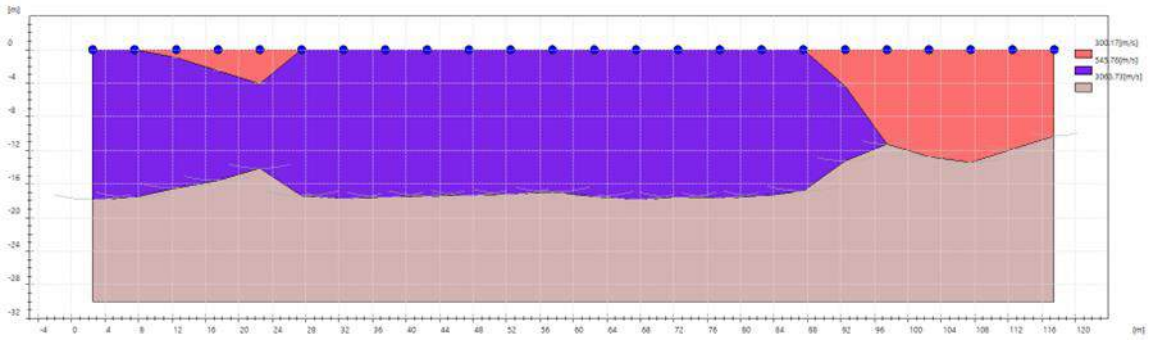


Figura 10.60 Gráfico de comportamiento morfológico para la LR-10 ondas P

Onda VS

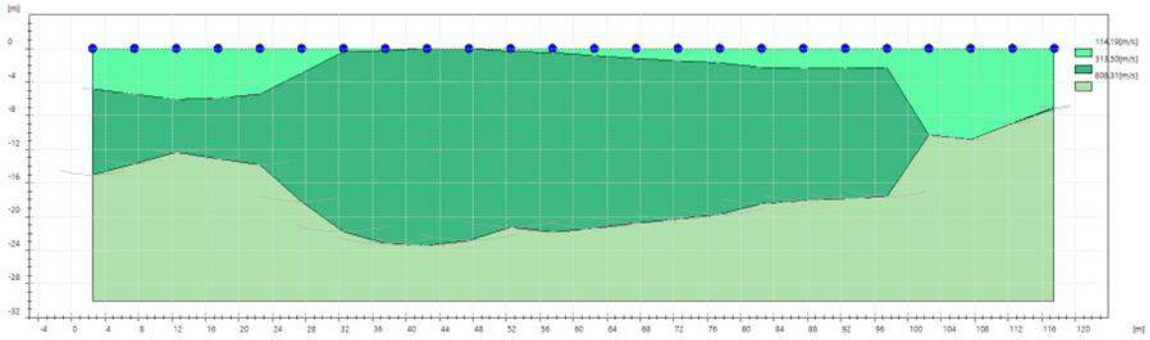


Figura 10.61 Gráfico de comportamiento morfológico para la LR-10 ondas S
Tabla 10.16 Parámetros elásticos para la LR-10

PARÁMETRO	ESTRATO N. 1	ESTRATO N. 2	ESTRATO N. 3
Coeficiente Poisson	0.41	0.25	0.46
Densidad [kg/m³]	1254.64	1520.04	1819.74
Vp [m/s]	292.37	543.00	2969.92
Vs [m/s]	114.19	313.50	808.31
G0 [MPa]	23.47	176.91	1176.05
Ed [Mpa]	153.86	530.74	15876.72
M0 [MPa]	130.39	353.83	14700.66
Ey [Mpa]	66.19	442.28	3434.08

Respecto a la obtención de información de velocidad de onda cortante, si bien en el anexo técnico se indicaba la realización de ensayo MASW, este ensayo corresponde a la obtención de un perfil unidimensional de velocidades de onda S mediante resultados de líneas de refracción de ondas P, quedando los resultados justo en el centro del arreglo. No obstante, durante la ejecución de las líneas de refracción para el presente proyecto se realizó un arreglo inicial con geófonos verticales y posteriormente se hizo el cambio a geófonos horizontales, los cuales permitieron desarrollar el mismo proceso de obtención de perfiles bidimensionales ya no para velocidades de onda compresional sino ahora para velocidades de onda cortante. Por lo anterior el alcance del ensayo MASW fue superado con creces puesto que no sólo se dieron resultados unidimensionales en el centro del perfil, sino que se presenta un perfil bidimensional de velocidades de onda cortante a lo largo de los 120 m de las líneas de refracción ejecutadas. Así las cosas, se considera que los resultados son mejores en comparación a lo solicitado, y que se cumple con el requisito del anexo técnico

10.4 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

Luego de la recuperación de muestras en las labores de exploración, están son recibidas por el laboratorio junto con la relación de muestras, el registro fotográfico y la descripción de campo. Con esta información el grupo de geotecnia hace una interpretación inicial de los registros, agrupando los materiales por estratos de características similares, relacionándolos con las unidades de la geología. Los ensayos son distribuidos en las distintas unidades encontradas, para la caracterización geotécnica.

Actualmente, CI Ambiental SAS cuenta con un laboratorio de suelos con equipos calibrados, de fabricación original y con un personal idóneo para realizar la mayoría de los ensayos propuestos, y con intención de adquirir más equipos en el futuro cercano, con el fin de acelerar los tiempos mediante ejecución simultánea de varios ensayos.

10.4.1 Ensayos de laboratorio

La consultoría define este plan de ensayos de laboratorio con el fin de lograr una caracterización físico-mecánica de los materiales encontrados durante la exploración y, además, estuvo orientado de acuerdo con las necesidades asociadas a los análisis, diseños y/o modelos geotécnicos a realizar.

10.4.1.1 Humedad Natural

El procedimiento para encontrar el contenido de agua presente en una muestra de suelo consiste en tomar una muestra del material, tomar el peso inicial (en condiciones de humedad natural) y se deja en proceso de secado a 110 °C por 24 horas hasta obtener un peso estable (peso seco), el cual se registra. Mediante la relación entre la diferencia de pesos (húmedo- seco) y el peso húmedo, se encuentra el valor en porcentaje de la humedad de la muestra, expresado en la siguiente ecuación:

$$w(\%) = \frac{Peso_{Humedo} - Peso_{Seco}}{Peso_{Humedo}}$$

De la Figura 10.62 a la Figura 10.69 se pueden evidenciar los resultados obtenidos de las muestras ensayadas de acuerdo con la unidad geológica para ingeniería.

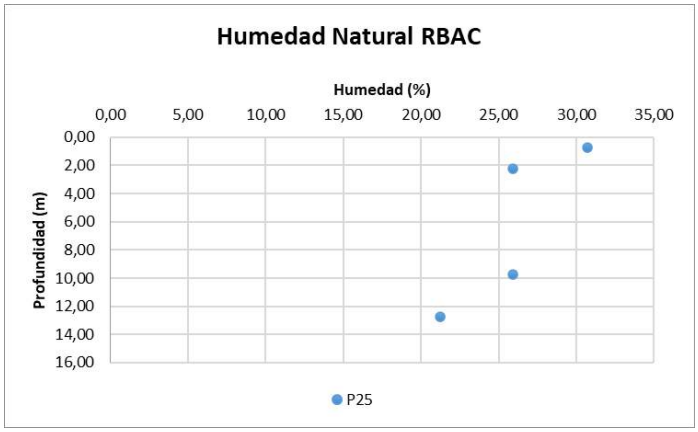


Figura 10.62 Resultados ensayo de Humedad Natural Roca Blanda Areniscas Cuarzosas

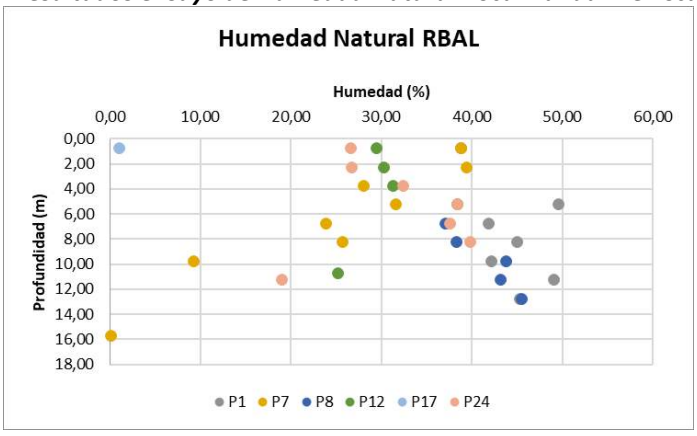


Figura 10.63 Resultados ensayo de Humedad Natural Roca Blanda Arcillolitas laminadas

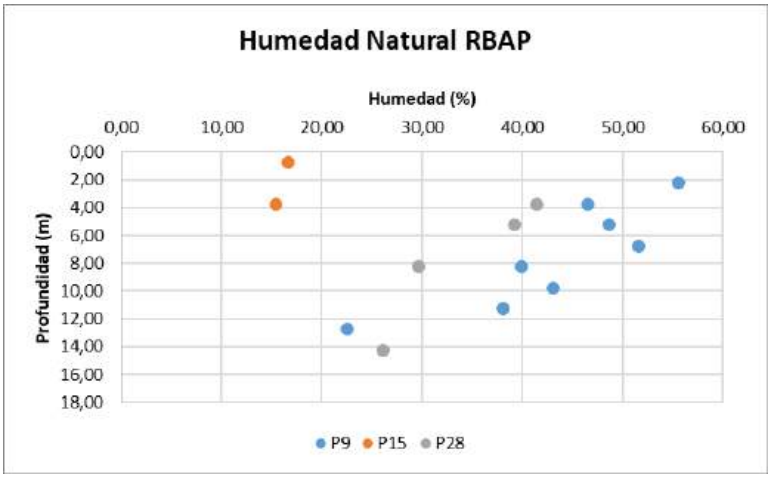


Figura 10.64 Resultados ensayo de Humedad Natural Roca Blanda Arcillolitas Calcareas

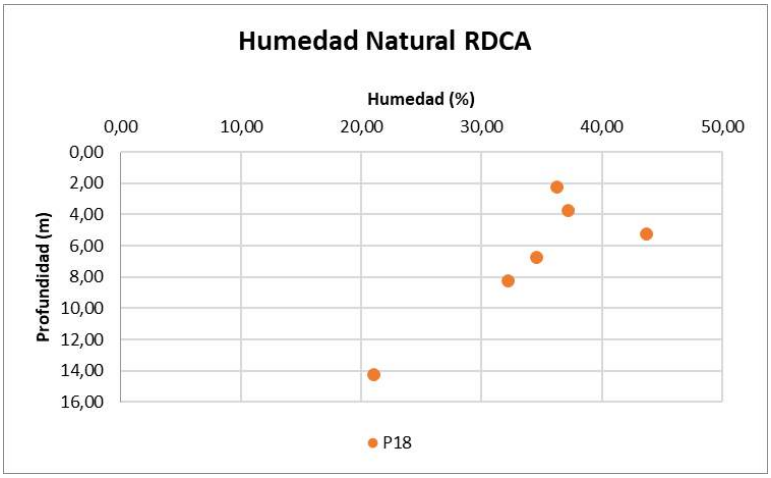


Figura 10.65 Resultados ensayo de Humedad Natural Roca Dura Calizas Arrecifales

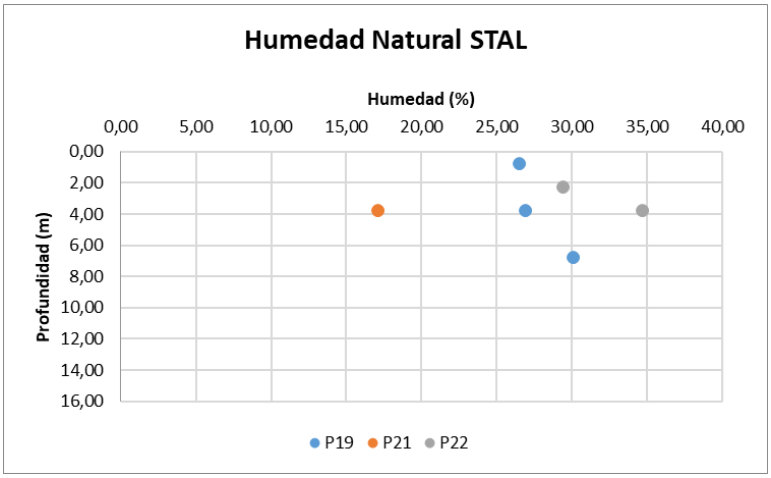


Figura 10.66 Resultados ensayo de Humedad Natural Suelos transportados de cauces activos y terrazas aluviales

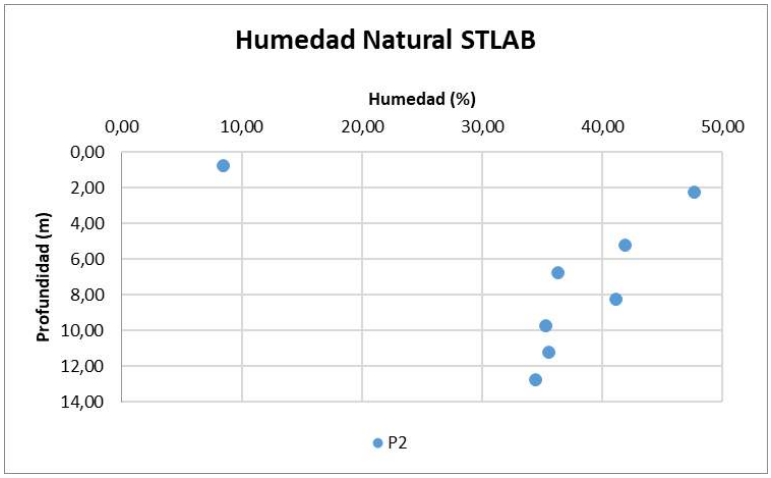


Figura 10.67 Resultados ensayo de Humedad Natural Suelos transportados de llenos antrópicos de escombros y basuras

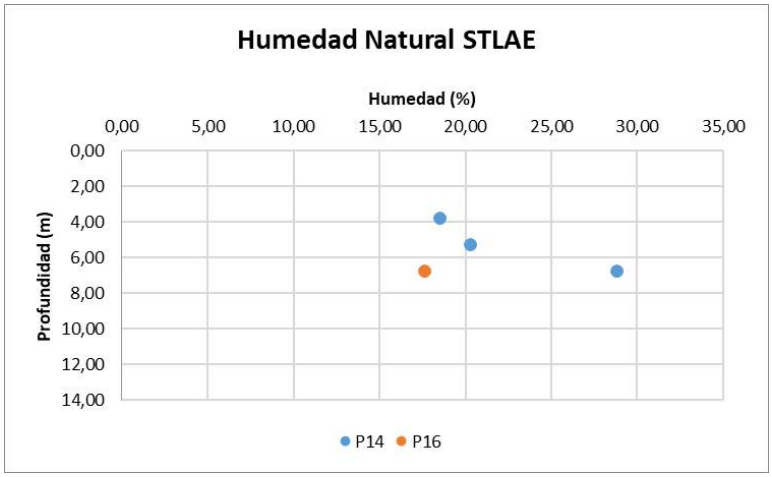


Figura 10.68 Resultados ensayo de Humedad Natural Suelos transportados de llenos antrópicos de desechos de minería y escombros

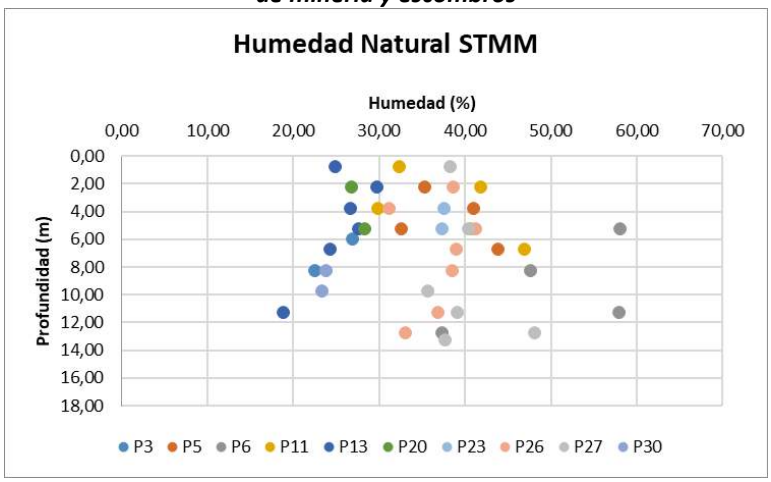


Figura 10.69 Resultados ensayo de Humedad Natural Suelos transportados de movimientos en masa

10.4.1.2 Límites de Atterberg

Cuando se habla de suelos con cantidades apreciables de material fino, es conveniente hablar del efecto que tiene el contenido de agua en estos, respecto al comportamiento físico- mecánico. Un contenido mínimo de agua por lo general indicaría un suelo muy duro, y a medida que aumenta la proporción de agua en el material, pasaría por diferentes estados de consistencia que varían entre sólido, semi-sólido, plástico y líquido. El ensayo de límite plástico define el umbral de contenido de agua para que un suelo se encuentre entre una consistencia semi-sólida y plástica. Por su parte, el ensayo de límite líquido nos permite determinar el contenido de humedad en que un suelo pasa de tener un comportamiento plástico a uno líquido. Estos valores son de gran importancia para poder clasificar los suelos, permitiendo inferir su comportamiento ante cambios del contenido de humedad, lo que usualmente se asocia a su plasticidad (Véase la Figura 10.70).



Figura 10.70 Ensayo de limite plástico y líquido

Los resultados de límite líquido (LL) y límite plástico (LP), permiten además definir el Índice de Plasticidad (IP), el cual indica el margen de contenido de agua en que la fracción fina del suelo se mantiene plástica. Estos resultados vistos dentro del plano cartesiano en una gráfica de Límite Líquido contra Índice de Plasticidad (Carta de Plasticidad de Casagrande), nos permite diferenciar entre materiales arcillosos y materiales limosos por medio de su comportamiento. (Véase la Figura 10.71 a la Figura 10.78).

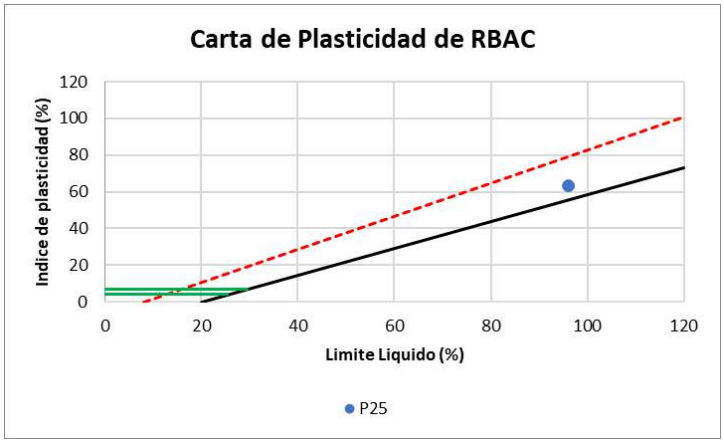


Figura 10.71 Resultados ensayo de límites de Atterberg Roca Blanda Areniscas Cuarzosas

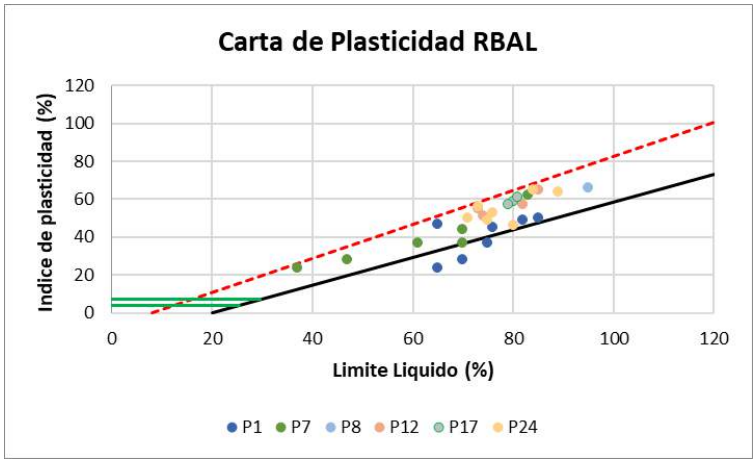


Figura 10.72 Resultados ensayo de límites de Atterberg Roca Blanda Arcillolitas laminadas

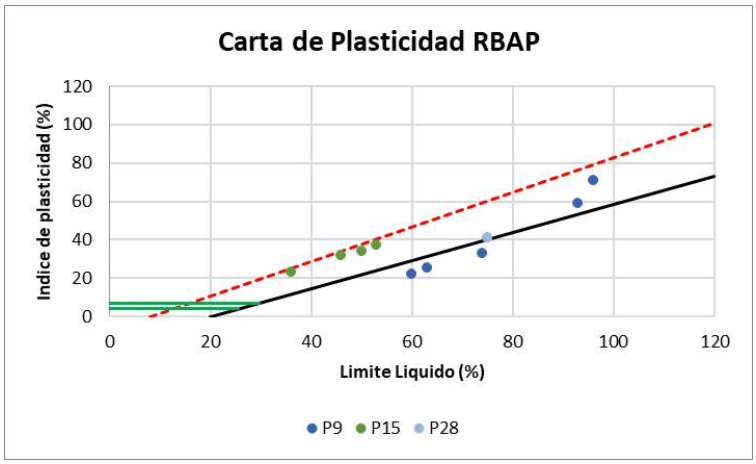


Figura 10.73 Resultados ensayo de límites de Atterberg Roca Blanda Arcillolitas Calcáreas

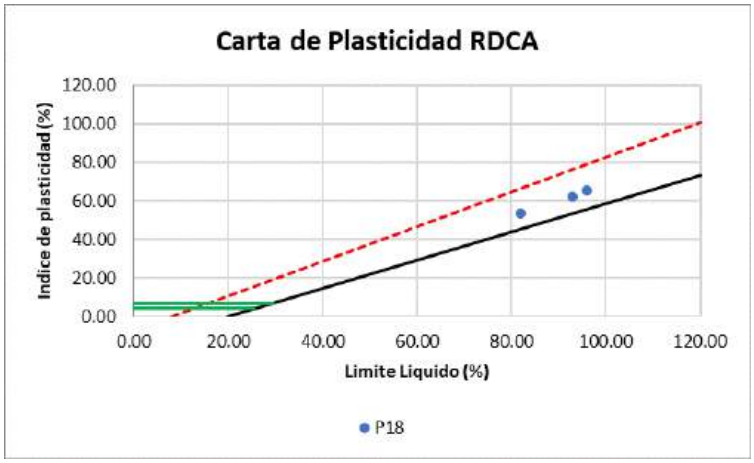


Figura 10.74 Resultados ensayo de límites de Atterberg Roca Dura Calizas Arrecifales

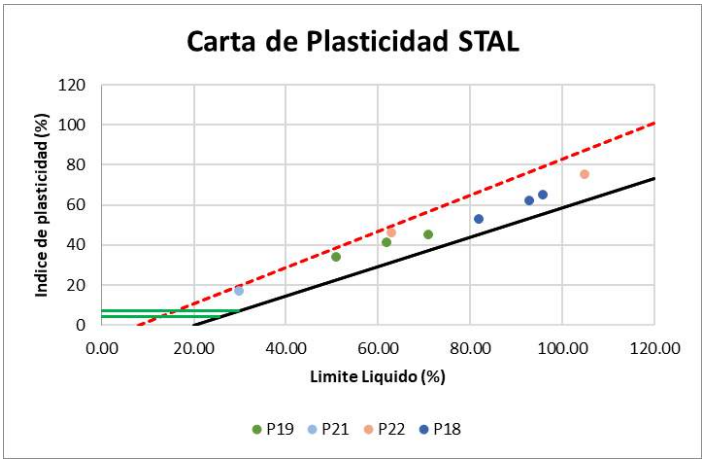


Figura 10.75 Resultados ensayo de límites de Atterberg Suelos transportados de cauces activos y terrazas aluviales

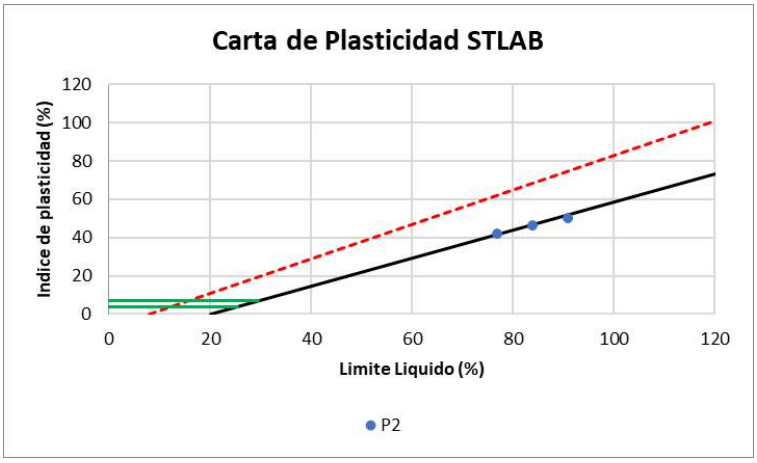


Figura 10.76 Resultados ensayo de límites de Atterberg Suelos transportados de llenos antrópicos de escombros y basuras

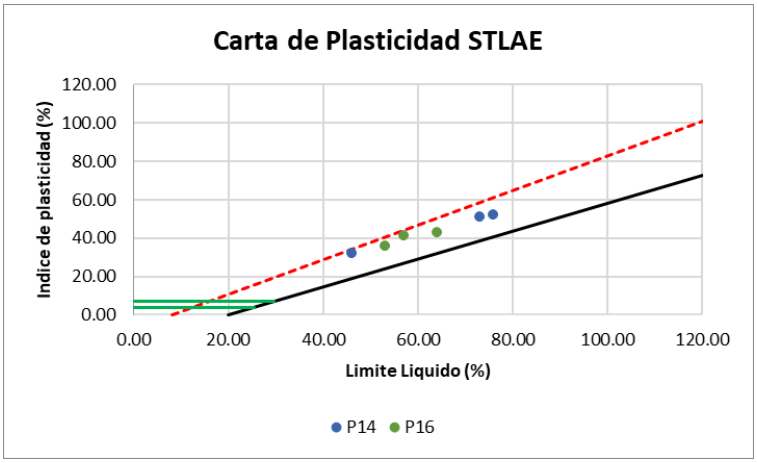


Figura 10.77 Resultados ensayo de límites de Atterberg Suelos transportados de llenos antrópicos de desechos de minería y escombros

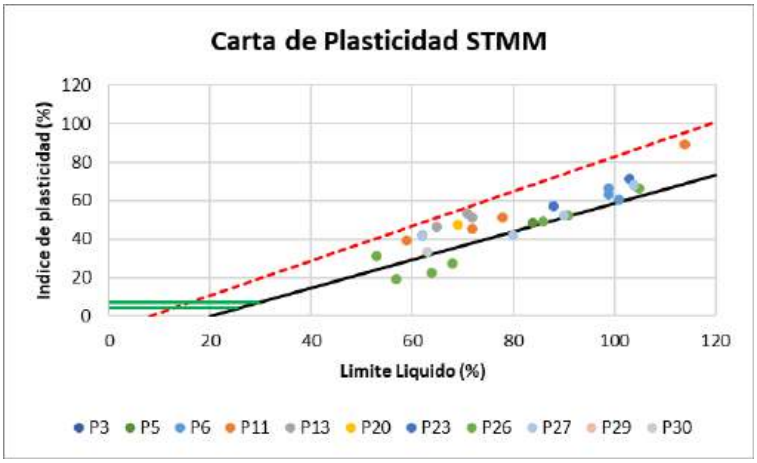


Figura 10.78 Resultados ensayo de límites de Atterberg Suelos transportados de movimientos en masa

10.4.1.3 Límites de contracción

El ensayo de límite de contracción nos permite evaluar en qué punto la muestra deja de cambiar de volumen al perder agua. A este punto se le considera el límite de contracción de la muestra. Este ensayo únicamente se les realiza a muestras de suelo fino.

10.4.1.4 Granulometría

Como parte del proceso de clasificación del suelo, se realiza la medición del tamaño de los materiales presentes en él. La granulometría por tamizado consiste en realizar la separación de las partículas de suelo en intervalos de tamaños de partícula, para registrar el peso de cada uno, y establecer su participación en términos de proporcionalidad, agrupando los tamaños en tres grupos: gravas, arenas y finos. En función de la participación que cada uno tenga, se dará una clasificación al material, de acuerdo con lo expuesto por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). La Figura 10.79 muestra la curva granulométrica de la muestra 6 de la perforación 27.

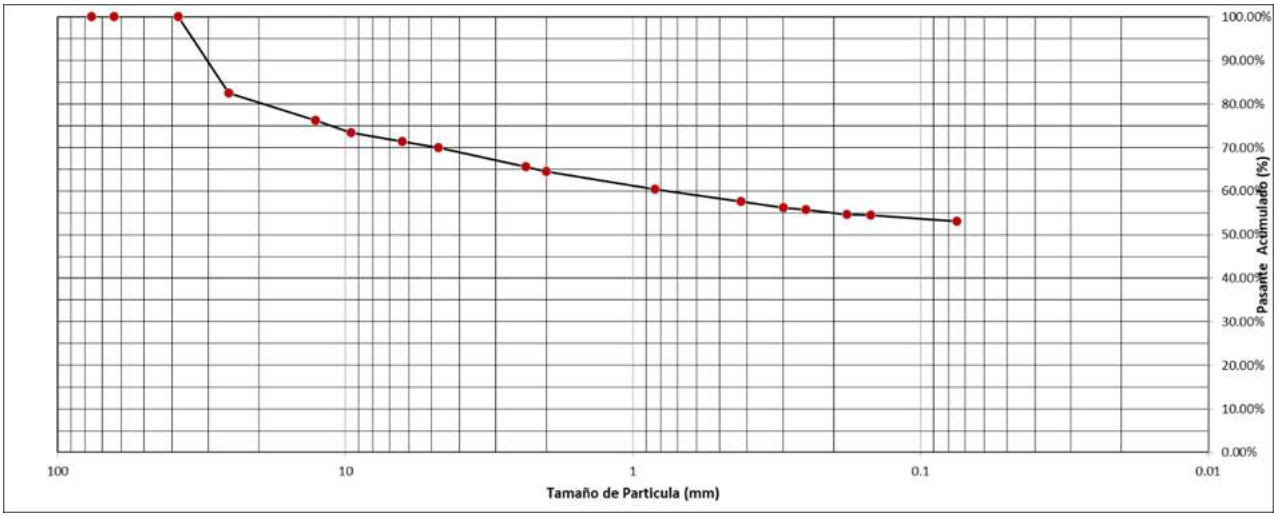


Figura 10.79 Curva granulométrica P27 M6

En la Figura 10.80 y la Figura 10.81 se puede ver la distribución de porcentaje de tamaños para todos los ensayos realizados, adicionalmente en la Tabla 10.17 se puede encontrar un promedio de tamaños de acuerdo con la UGI. De esto se puede concluir lo siguiente:

- De las granulometrías realizadas se puede observar que todos los resultados contienen una cantidad considerable de material fino
- Las unidades geológicas muestreadas contienen en su mayoría mayor cantidad de material grueso (gravas) y de material fino. Esto exceptuando las unidades RBAC y STLAE

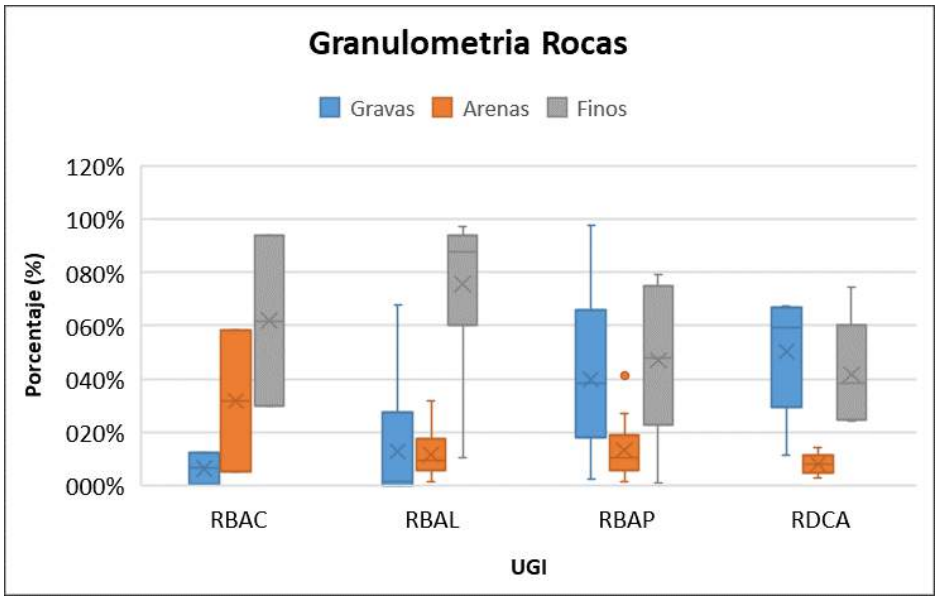


Figura 10.80 Diagrama cajas y bigotes Unidades Rocas

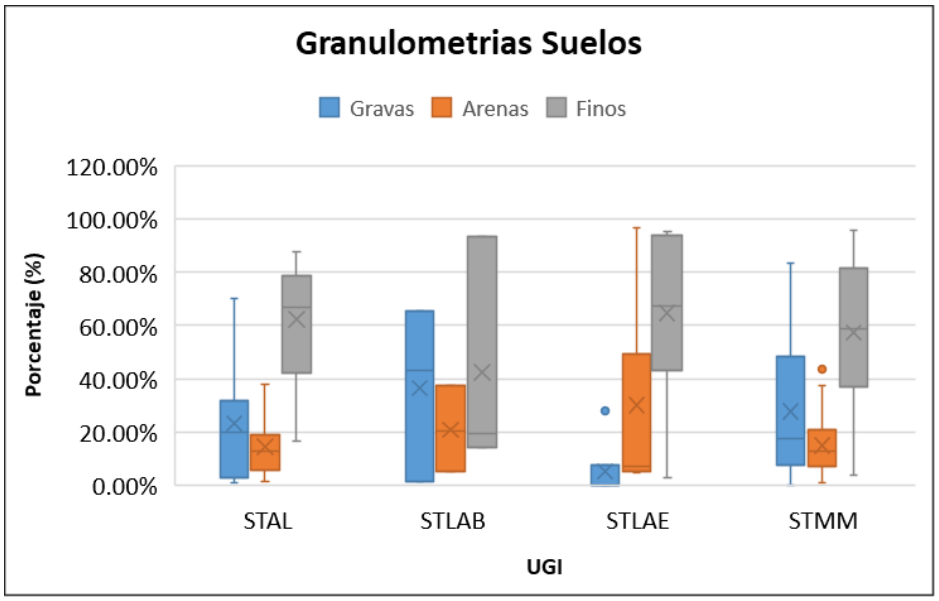


Figura 10.81 Diagrama de caja y bigotes Unidades Suelos

Tabla 10.17 Promedios de tamaño de partículas

GRANULOMETRÍAS PROMEDIOS			
UGI	GRAVAS	ARENAS	FINOS
RBAC	6.41%	31.73%	61.87%
RBAL	12.77%	11.61%	75.63%
RBAP	39.81%	13.26%	46.93%
RDCA	50.34%	7.99%	41.67%
STAL	23.28%	14.41%	62.31%
STLAB	36.61%	20.95%	42.44%
STLAE	5.16%	30.12%	64.72%
STMM	27.76%	14.87%	57.32%

10.4.1.5 Lavado Tamiz 200

El lavado sobre tamiz 200 consiste en tomar una cantidad significativa de muestra y realizar una división de partículas por tamaño, separando específicamente el material fino (limo y arcillas) del material grueso (gravas y arenas) Con este ensayo se pude realizar un balance granulométrico preliminar de las muestras. Los resultados se presentan como se muestra a continuación:

Peso recipiente	109.60	g
Masa inicial + Recipiente	503.96	g
Masa final + Recipiente	501.00	g
% Finos	0.8%	g
% Muestra retenida tamiz 200	99.2%	g

Figura 10.82 Resultados lavado sobre Tamiz 200

10.4.1.6 Hidrometría

EL ensayo de hidrometría nos permite realizar una gradación de todo el material fino encontrado en una muestra, es un complemento del ensayo de granulometría. Este ensayo funciona a partir de la ley de Stokes, en la cual se determina que la velocidad de sedimentación de una partícula, en un fluido con condiciones específicas, está directamente correlacionada con el tamaño de este. Por tanto, la muestra se diluye en agua y se toman tiempos de lectura en los cuales se determina la cantidad de muestra que se ha sedimentado. Los limos son los primeros en sedimentar y luego las arcillas.

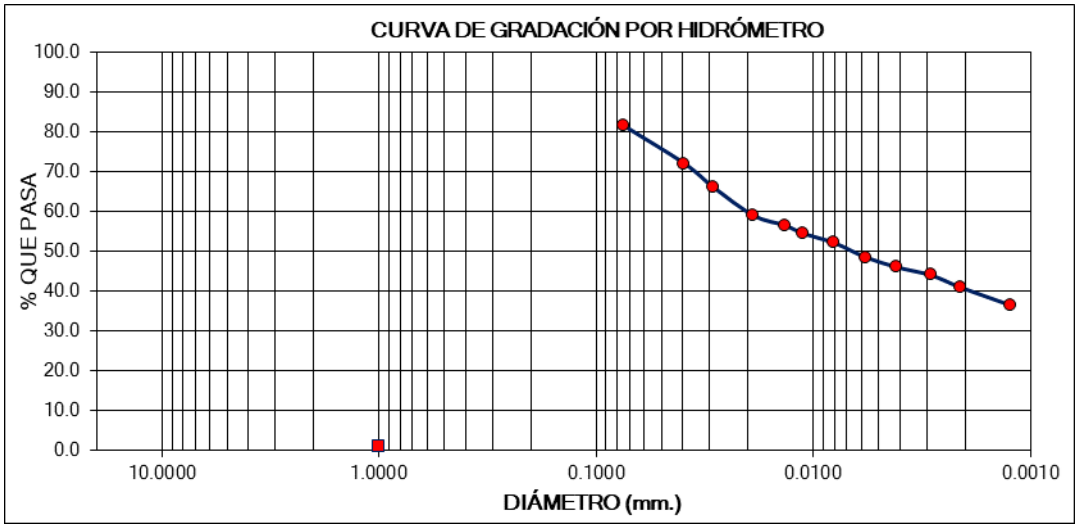


Figura 10.83 Resultados ensayo de Hidrometría

10.4.1.7 Peso Unitario

Se realiza la medición del peso por unidad de volumen (densidad) de los diferentes materiales identificados en la exploración, uno de los insumos necesarios para los posteriores análisis del comportamiento del suelo. Las mediciones del peso unitario se realizan sobre muestras regulares e irregulares, lo cual permite tener un mayor acercamiento a este parámetro del suelo en materiales heterogéneos como los presentes en la zona de estudio. El procedimiento en el caso de las muestras regulares consiste en tomar una sección continua de la muestra inalterada, realizar mediciones de diámetro y altura para hallar así el volumen, realizar la medición de la masa de la muestra y, posteriormente, encontrar por medio de la relación entre estos dos valores el peso por unidad de volumen.

Para el caso de las muestras irregulares, se toma una sección representativa de la muestra, se registra el peso y se recubre con parafina de tal forma que cubra la totalidad de la superficie de la muestra con el fin de impermeabilizarla. Posteriormente se registra el peso de la muestra ya parafinada y se sumerge en agua, de tal forma que esta queda totalmente cubierta de agua pero sin tener contacto con las superficie interna del reciente que contiene el agua, este procedimiento se realiza sobre una balanza con el fin de medir la reacción correspondiente a las fuerzas de empuje dadas por la flotabilidad de la muestra de suelo parafinada, aplicando el concepto de flotabilidad de Arquímedes, relacionando el peso del agua y el volumen desplazado, así como descontando el efecto de la capa de parafina, se logra encontrar el volumen correspondiente a la muestra de suelo, con lo cual es posible encontrar por medio de la relación entre la masa y el volumen (irregular), el peso unitario del suelo. De la Figura 10.84 a la Figura 10.91 se pueden encontrar los resultados encontrados.

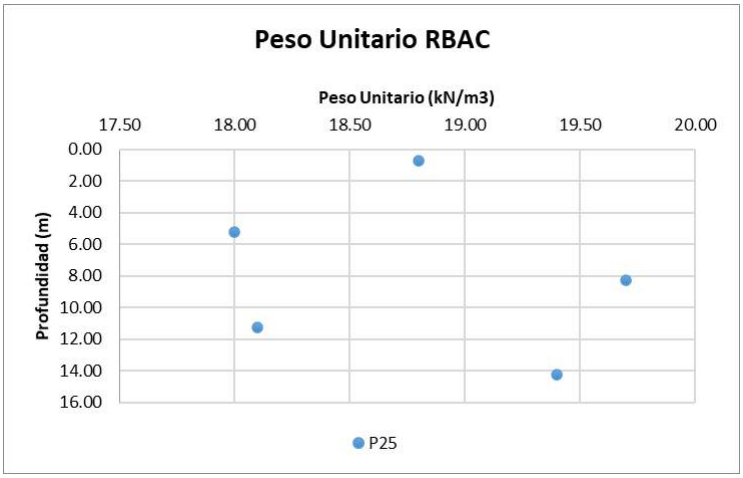


Figura 10.84 Resultados ensayo de Peso Unitario Roca Blanda Areniscas Cuarzosas

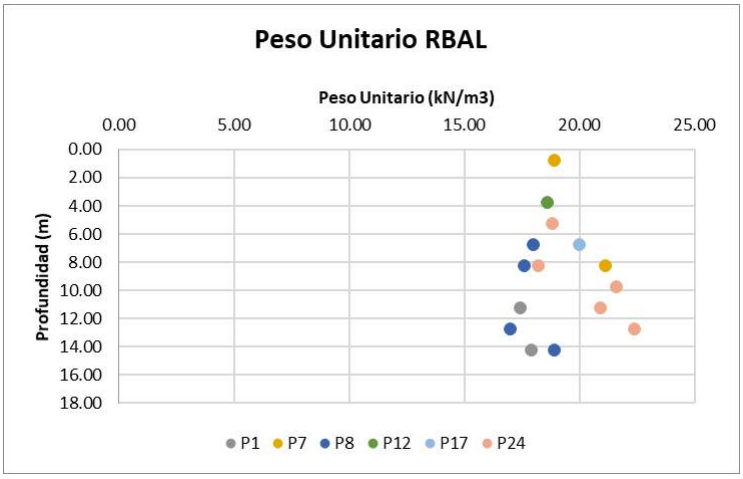


Figura 10.85 Resultados ensayo de Peso Unitario Roca Blanda Arcillolitas laminadas

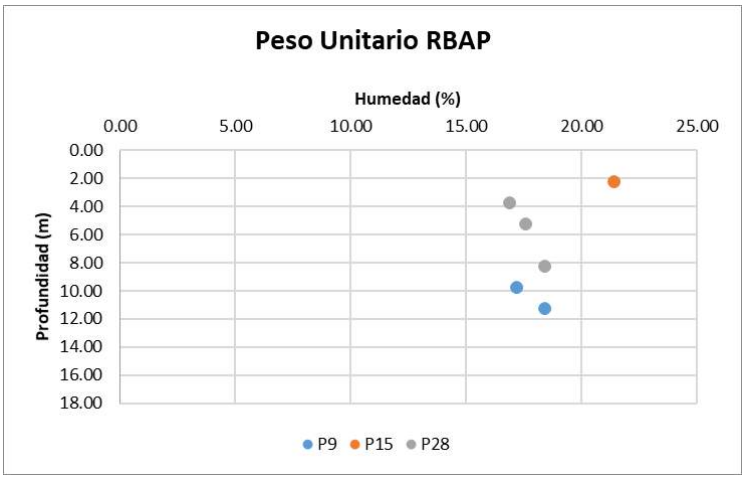


Figura 10.86 Resultados ensayo de Peso Unitario Roca Blanda Arcillolitas Calcáreas

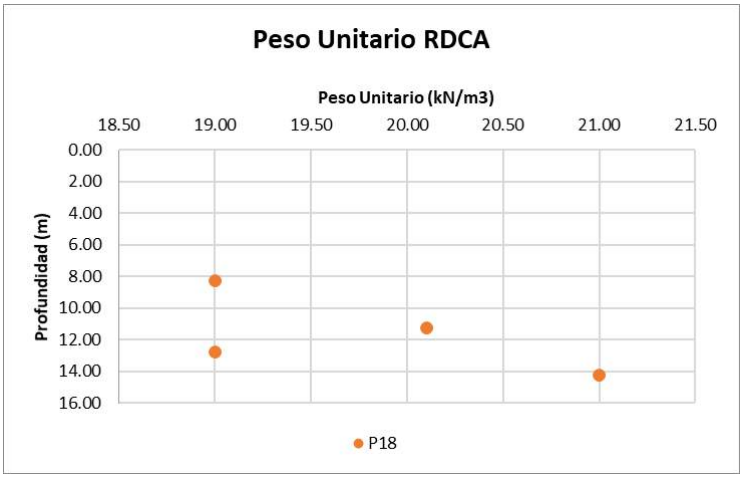


Figura 10.87 Resultados ensayo de Peso Unitario Roca Dura Calizas Arrecifales



Figura 10.88 Resultados ensayo de Peso Unitario Suelos transportados de cauces activos y terrazas aluviales

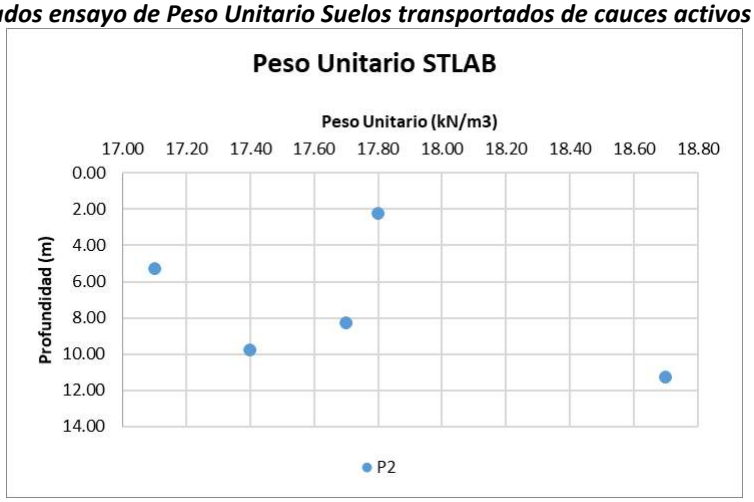


Figura 10.89 Resultados ensayo de Peso Unitario Suelos transportados de llenos antrópicos de escombros y basuras

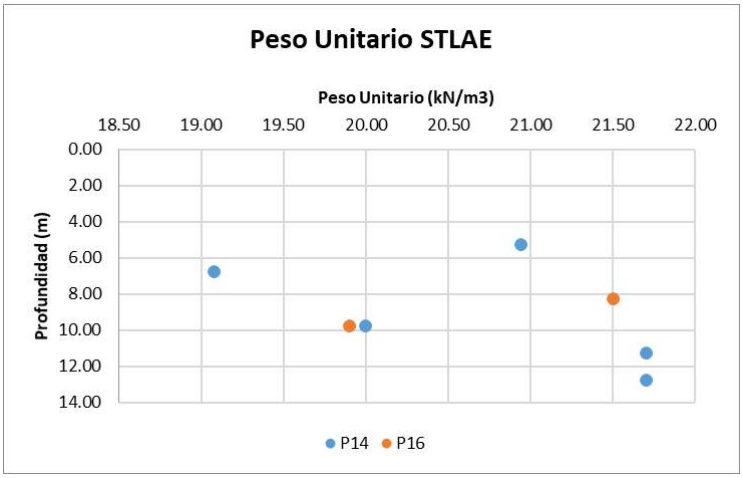


Figura 10.90 Resultados ensayo de Peso Unitario Suelos transportados de llenos antrópicos de desechos de minería y escombros

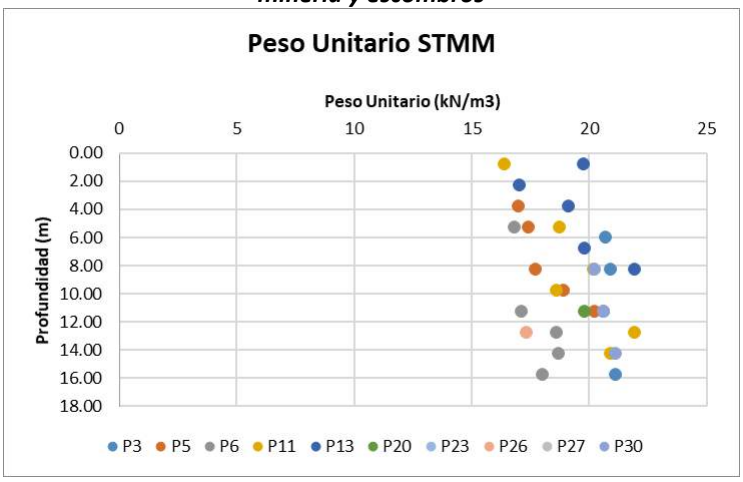


Figura 10.91 Resultados ensayo de Peso Unitario Suelos transportados de movimientos en masa

10.4.1.8 Peso Específico

Con este ensayo se pretende establecer la relación de la masa de un volumen de sólidos que pasan el Tamiz N°4 (4.755 mm), y la masa del mismo volumen de agua destilada y libre de gases, a la misma temperatura. Esto permite calcular relaciones de fases en los materiales testeados. Los resultados obtenidos se presentan a continuación:



Figura 10.92 Resultados ensayo de Peso Específico Roca Blanda Arcillolitas laminadas

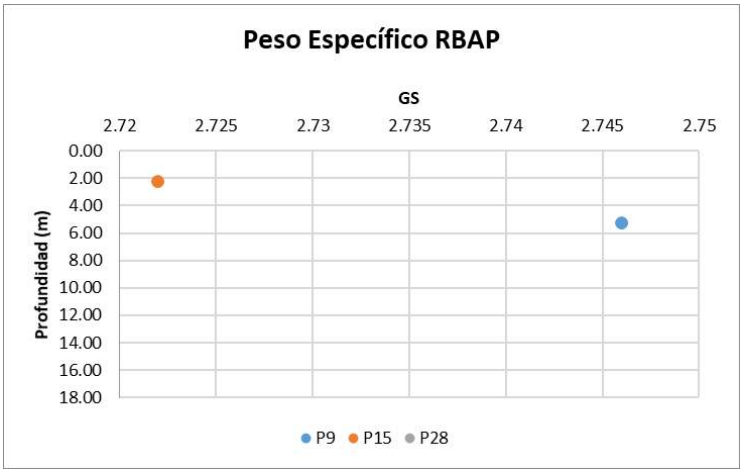


Figura 10.93 Resultados ensayo de Peso Específico Roca Blanda Arcillolitas Calcáreas



Figura 10.94 Resultados ensayo de Peso Específico Suelos transportados de cauces activos y terrazas aluviales



Figura 10.95 Resultados ensayo de Peso Unitario Específicos transportados de llenos antrópicos de desechos de minería y escombros



Figura 10.96 Resultados ensayo de Peso Específico Suelos transportados de movimientos en masa

10.4.1.9 Compresión inconfinada de suelos

Este ensayo se efectúa sobre muestras de suelos cohesivos, y permite conocer la resistencia a la compresión inconfinada (qu) del material muestreado, que es el menor esfuerzo de compresión al que falla el suelo que se somete a la prueba. Se expresa como la máxima carga sobre unidad de área que se logra antes de la falla o de alcanzar un 15% de deformación axial en la muestra cilíndrica (lo que ocurra primero). La Figura 10.97 ilustra los datos obtenidos con el ensayo de compresión inconfinada al que se sometió la muestra 5 de la perforación 5.

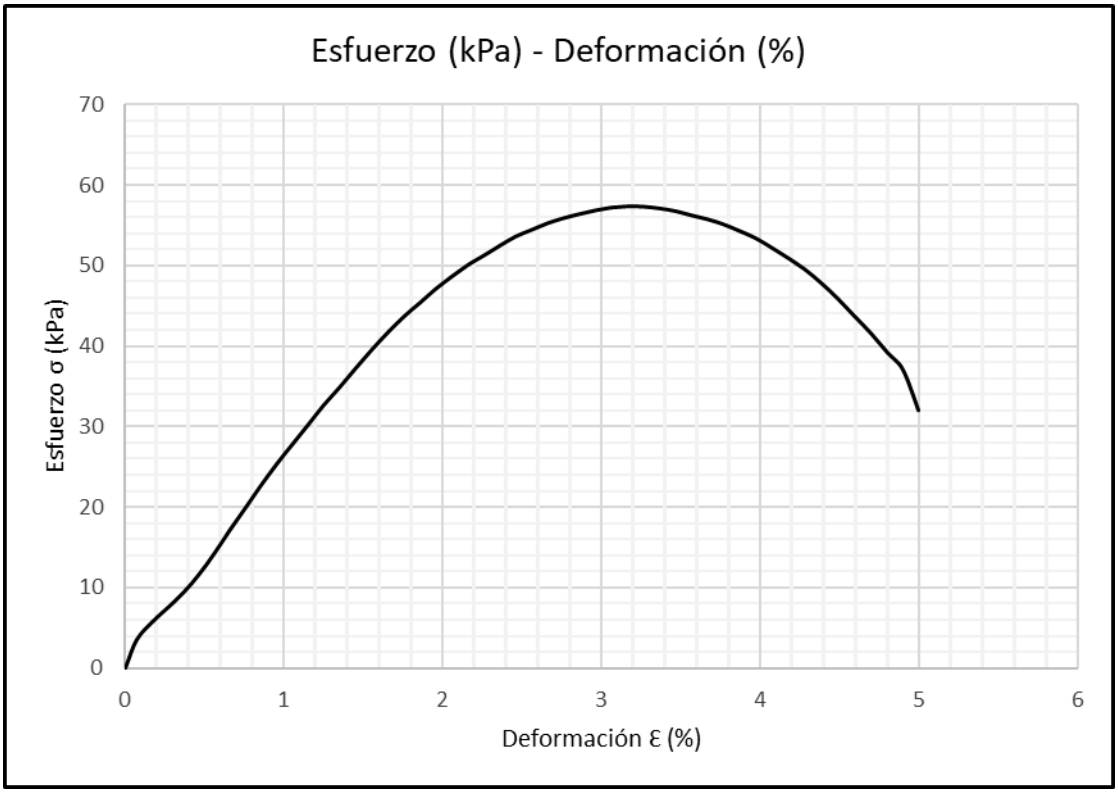


Figura 10.97 Gráfico de la etapa de falla del ensayo de Compresión Inconfinada de la muestra 5 de la Perforación 5

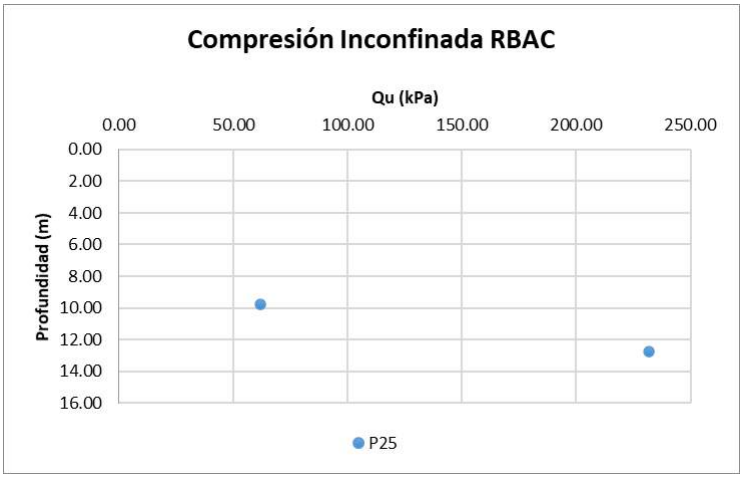


Figura 10.98 Resultados ensayo de compresión inconfinada Roca Blanda Areniscas Cuarzosas

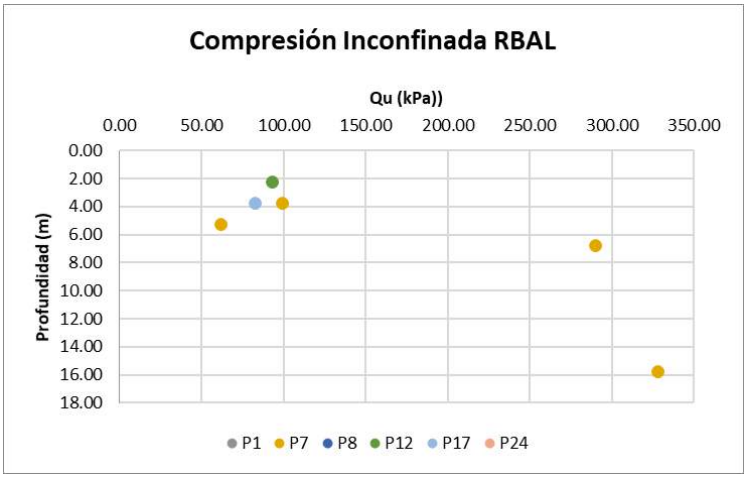


Figura 10.99 Resultados ensayo de compresión inconfinada Roca Blanda Arcillolitas laminadas

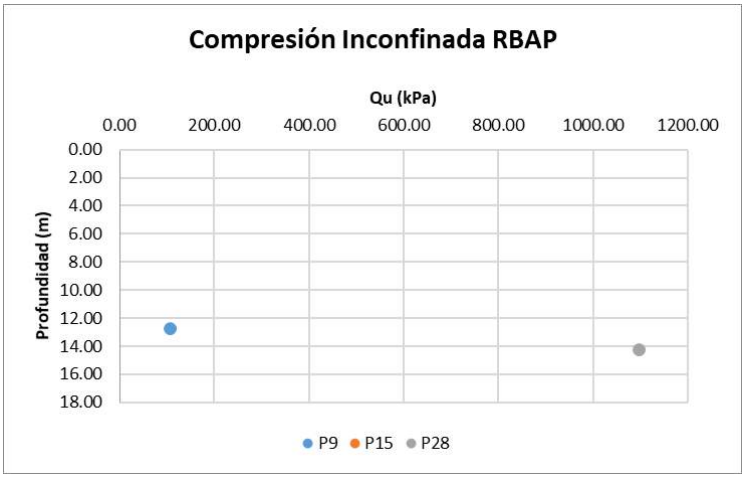


Figura 10.100 Resultados ensayo de compresión inconfinada Roca Blanda Arcillolitas Calcáreas

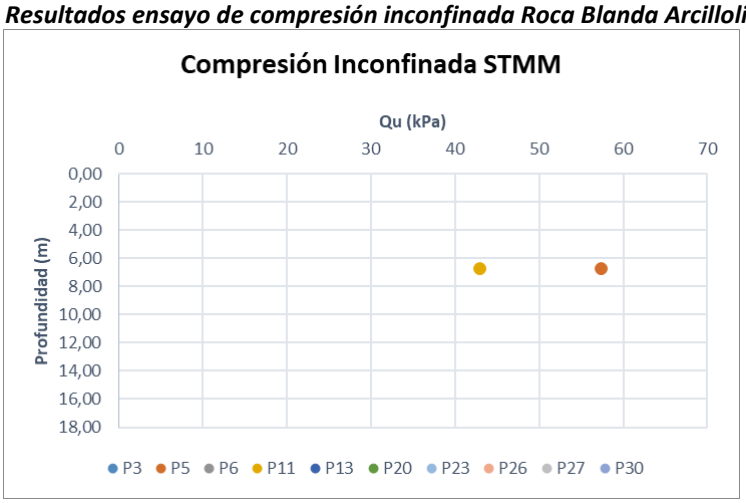


Figura 10.101 Resultados ensayo de compresión inconfinada Suelos transportados de movimientos en masa

En la Figura 10.98 a la Figura 10.101 se muestran los resultados de los ensayos de Compresión Inconfinada de las muestras de suelos para diferentes profundidades y diferentes formaciones.

10.4.1.10 Corte Directo

Con el ánimo de estimar los parámetros de resistencia al corte (cohesión y ángulo de fricción) de los materiales recuperados en la exploración directa ejecutada en el área de estudio, algunas de las pruebas que se realizaron son los ensayos de corte directo. El ensayo se efectúa bajo condiciones drenadas permitiendo obtener la envolvente de resistencia de los materiales y, por ende, los parámetros que permitan definir su comportamiento frente a los esfuerzos. A manera de ejemplo, en la Figura 10.102 se puede apreciar la función que representa el comportamiento del material en uno de los cortes realizados.

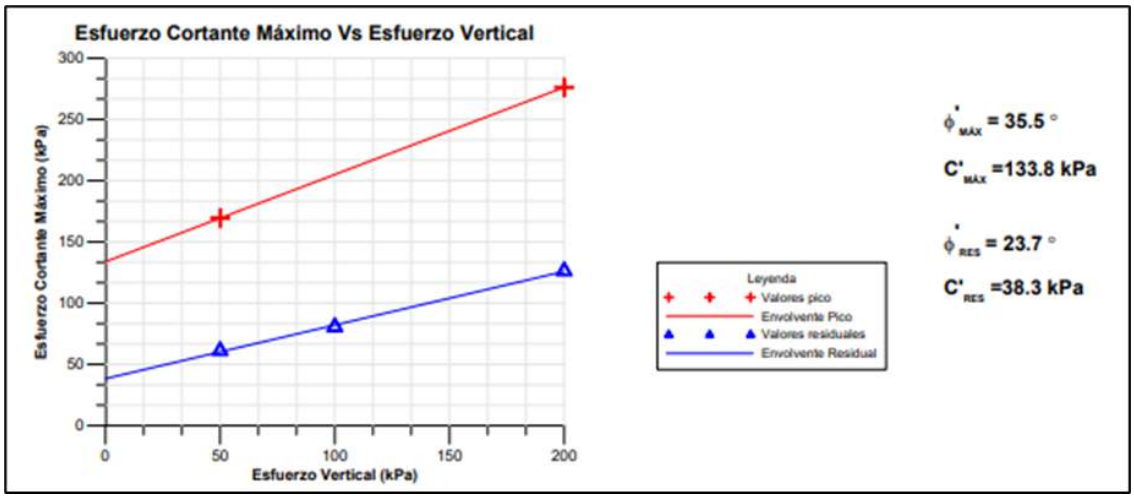


Figura 10.102 Esfuerzo cortante máximo vs Esfuerzo vertical

En la Figura 10.103 a la Figura 10.110 se muestran los resultados de cohesión y ángulo de fricción de los ensayos ejecutados.

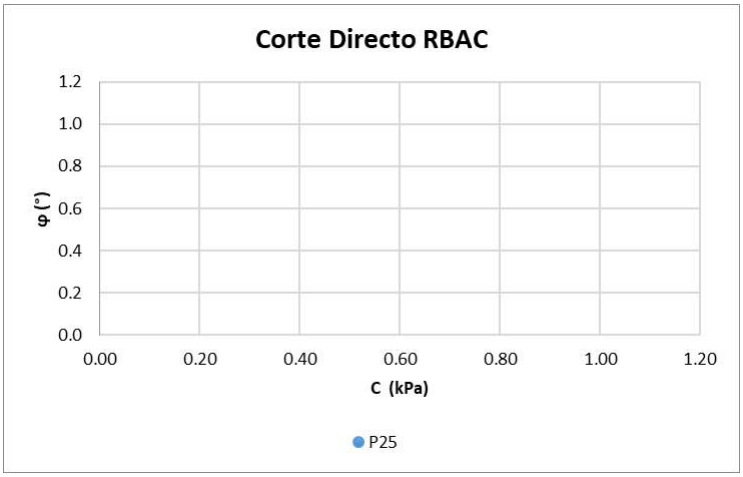


Figura 10.103 Cohesión vs Angulo de Fricción Roca Blanda Areniscas Cuarzosas

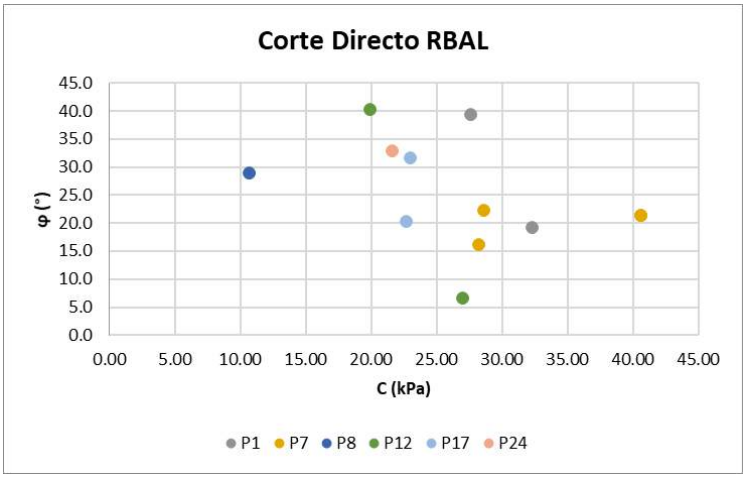


Figura 10.104 Cohesión vs Angulo de Fricción Roca Blanda Arcillolitas laminadas

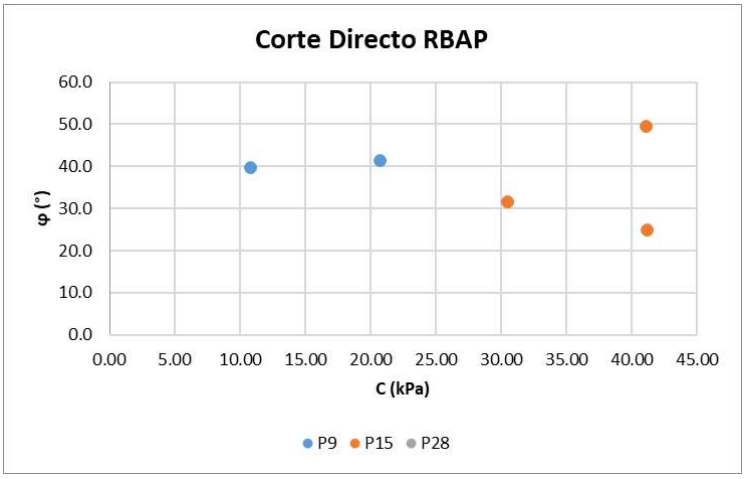


Figura 10.105 Cohesión vs Angulo de Fricción Roca Blanda Arcillolitas Calcáreas

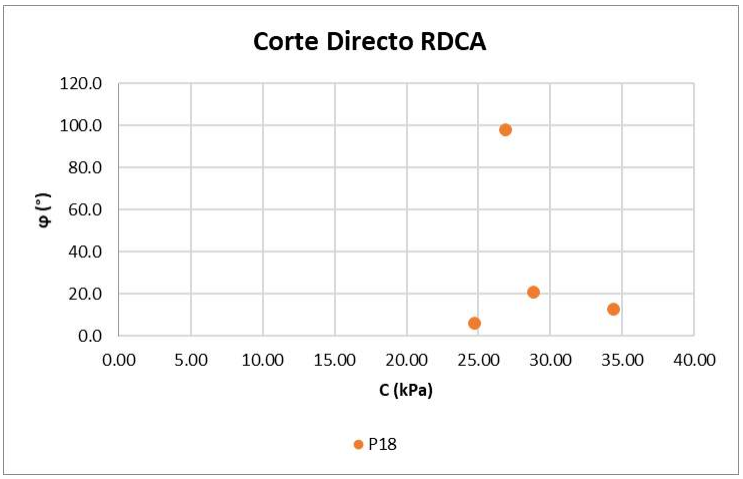


Figura 10.106 Cohesión vs Angulo de Fricción Roca Dura Calizas Arrecifales

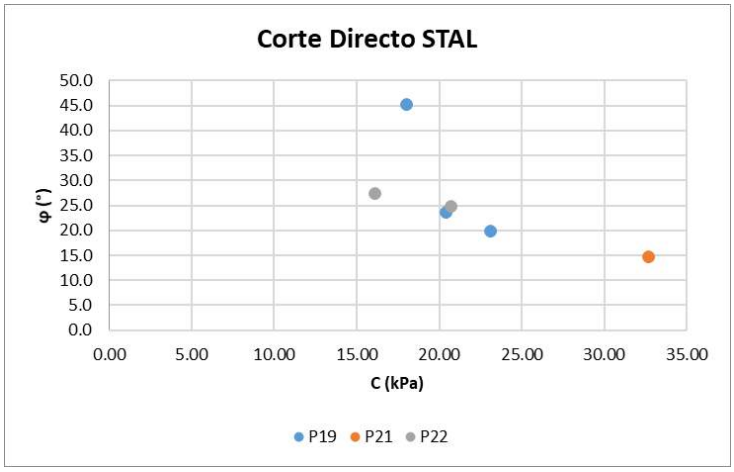


Figura 10.107 Cohesión vs Angulo de Fricción Suelos transportados de cauces activos y terrazas aluviales

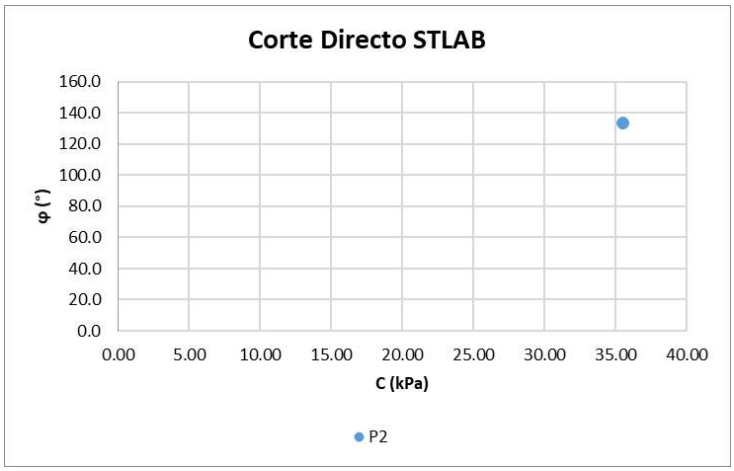


Figura 10.108 Cohesión vs Angulo de Fricción Suelos transportados de llenos antrópicos de escombros y basuras

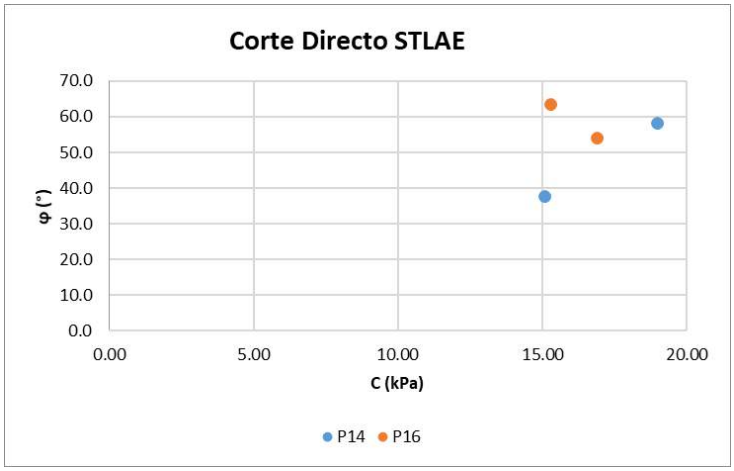


Figura 10.109 Cohesión vs Angulo de Fricción Suelos transportados de llenos antrópicos de desechos de minería y escombros

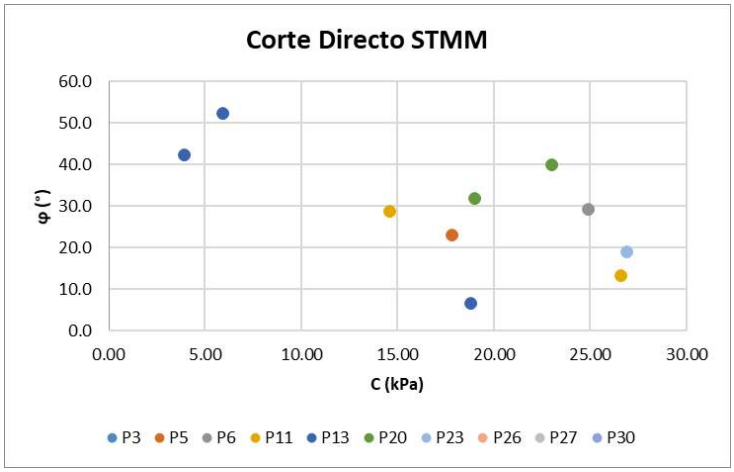


Figura 10.110 Cohesión vs Angulo de Fricción Suelos transportados de movimientos en masa

10.4.1.11 Triaxial Cíclico

El ensayo de triaxial cíclico, permite emular las condiciones de esfuerzo en el campo de una muestra de suelo, a la cual se le ha de determinar su comportamiento frente a cargas dinámicas (principalmente sismos). Por ello, a la muestra a ensayar se le aplican cargas de compresión y extensión a pequeñas deformaciones y a una frecuencia establecida, con el fin de medir la degradación de sus propiedades elásticas frente a dichos fenómenos.

Con respecto a la condición de deformación de la muestra, el ensayo se realiza siguiendo el procedimiento estipulado en la norma ASTM D3999 – 11 "Standard Test Methods for the Determination of the Modulus and Damping Properties of Soils Using the Cyclic Triaxial Apparatus", en el cual se determina el desarrollo del ensayo en su modalidad de deformación controlada.

El ensayo se realiza sobre muestras inalteradas a las que se les asignaron ciclos de carga con porcentajes de deformación de 0.001%, 0.002%, 0.004%, 0.008%, 0.016%, 0.025%, 0.050%, 0.075%, 0.100%, 0.250% y 0.500%; aplicadas a una frecuencia constante de 1 Hz

10.4.1.12 Consolidación

La consolidación de un suelo refiere al proceso de reducción de su volumen por efecto de una carga vertical aplicada sobre el eje axial, mientras el material está confinado lateralmente. Sea el suelo parcial o totalmente saturado, la consolidación implica la reacomodación de las partículas sólidas y la evacuación de gases y líquidos que ocupan los vacíos, mientras la estructura del suelo es la que varía, pues los sólidos se consideran prácticamente indeformables para el análisis.

El ensayo permite determinar la magnitud de la deformación y la velocidad a la que esta se da, frente a incrementos de carga sucesivos con esfuerzos controlados y registrados en el tiempo. En la Figura 10.111 se muestra la gráfica de relación de vacíos contra esfuerzo y de manera gráfica se establece el esfuerzo de preconsolidación.

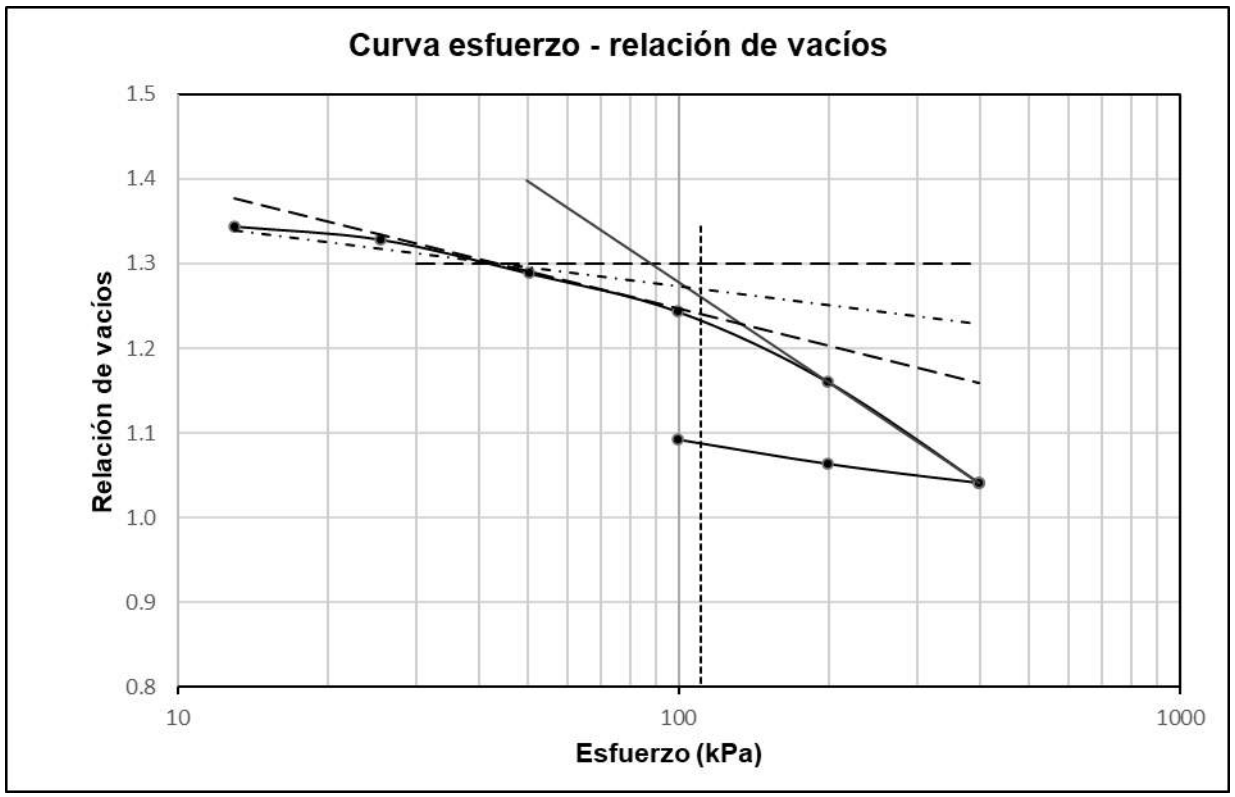


Figura 10.111 Relación de vacíos vs Esfuerzo muestra P1-M3B

10.4.1.13 Expansión

El ensayo de expansión se realiza en muestras arcillosas que sufren cambios volumétricos considerables al encontrarse saturadas. Este ensayo consiste en cargar las muestras y calculas el esfuerzo expansivo de estas. Esto hasta llegar al punto de equilibrio de la muestra o hasta que esta se comience a consolidar. Para determinar estos esfuerzos se utilizan la graficas como la que se muestra en Figura 10.112 donde se correlaciona el esfuerzo contra el tiempo que demora en consolidar.

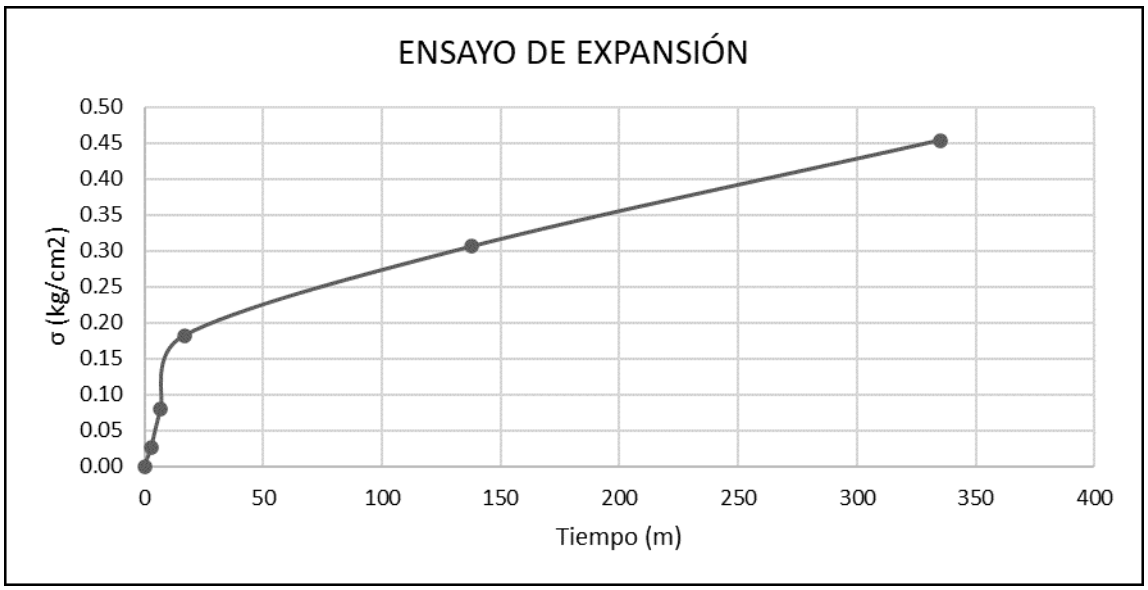


Figura 10.112 Esfuerzo vs Tiempo de consolidación AP-03

10.4.1.14 Compresión en Roca

Este ensayo se efectúa sobre muestras en roca permite conocer la resistencia a la compresión inconfinada (qu) del material muestreado, que es el menor esfuerzo de compresión al que falla el suelo que se somete a la prueba. Se expresa como la máxima carga sobre unidad de área que se logra antes de la falla o de alcanzar un 15% de deformación axial en la muestra cilíndrica (lo que ocurra primero).

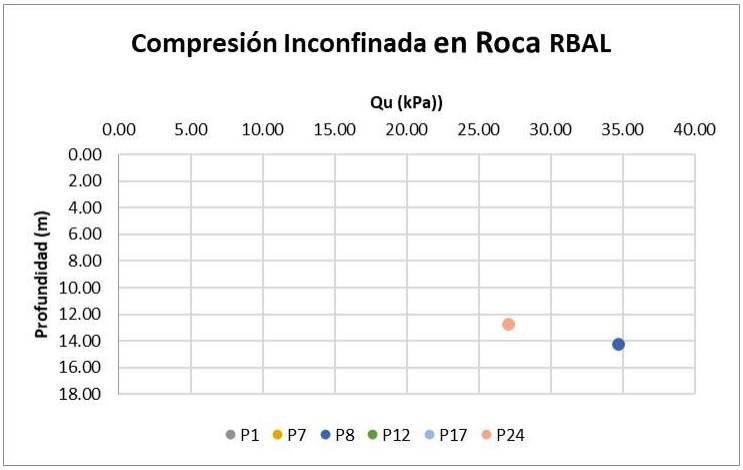


Figura 10.113 Resultados compresión Inconfinada en Roca Blanda Arcillolitas laminadas

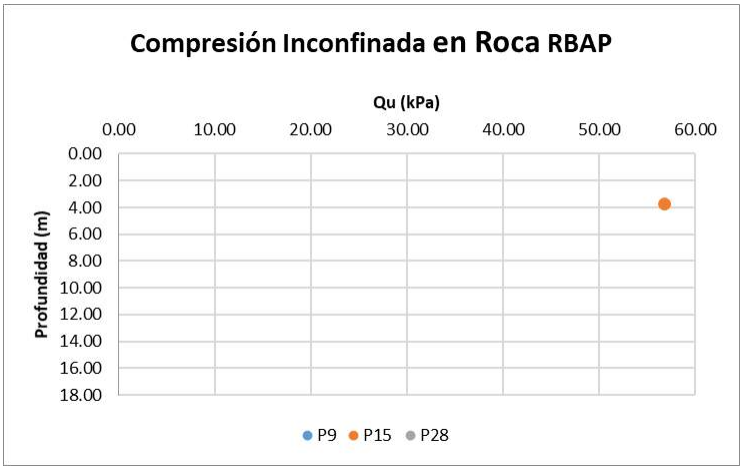


Figura 10.114 Resultados compresión Inconfinada en Roca Blanda Arcillolitas Calcáreas

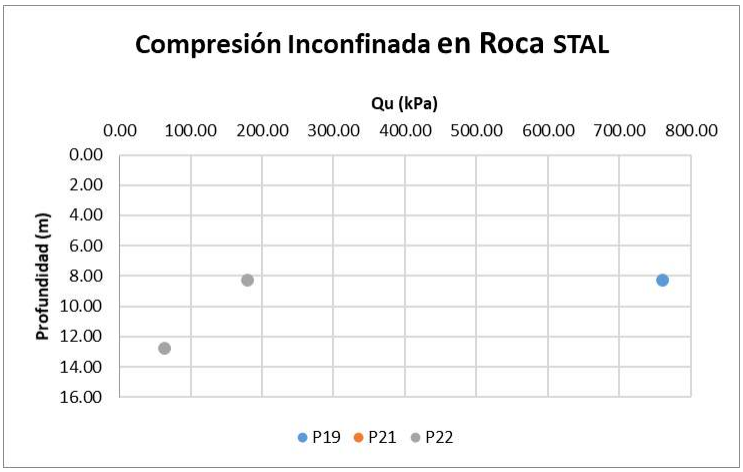


Figura 10.115 Resultados compresión Inconfinada en roca de Suelos transportados de cauces activos y terrazas aluviales

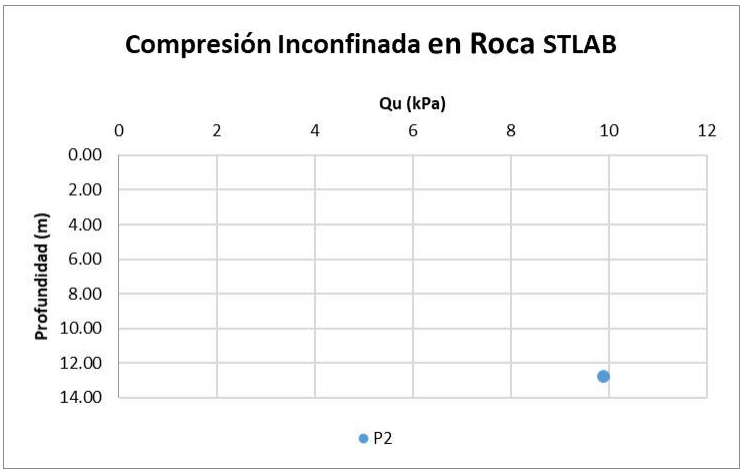


Figura 10.116 Resultados compresión inconfinada en roca en Suelos transportados de llenos antrópicos de escombros y basuras

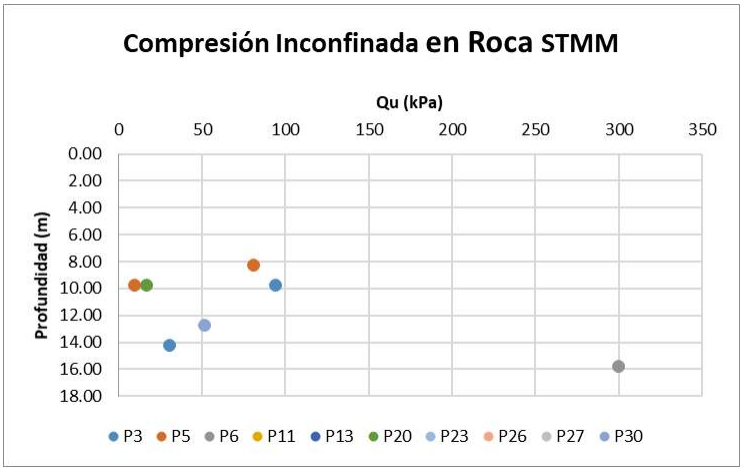


Figura 10.117 Resultados compresión inconfinada en roca de Suelos transportados de movimientos en masa

Tabla 10.18 Resumen de ensayos de laboratorio

Perforacion	Muestra	Profundidad (m)			UGI	Wn (%)	Gs	PU (kN/m3)	Límites de consistencia				Granulometría			Hidrometría					Compresión Inconfinada en suelo			Compresión Inconfinada en roca		Corte directo				Carga puntual	Contenido Orgánico	Consolidación			TRIAXIAL ESTÁTICO	
		De	A	Media					LL (%)	LP (%)	IP (%)	uscs	G (%)	S (%)	F (%)	G (%)	S (%)	F (%)			qu (kPa)	Su (kPa)	E (kPa)	qu (kPa)	E (kPa)	φ' max (°)	C' max (kPa)	φ' (°)	C' (kPa)	Is (MPa)	MateriaOrganica (%)	e0	σ'p (kPa)	Cc	C'(kPa)	ϕ'(°)
																		% Limo M	% Arcilla C	Total															
P1	M1	0,00	1,50	0,75	RBAL	38,80			65	18	47	CH o OH																						
P1	M2	3,00	4,50	3,75	RBAL																													
P1	M3	4,50	6,00	5,25	RBAL	49,60			76	31	45	CH o OH																			1,12	103	0,3392		
P1	M4	6,00	7,50	6,75	RBAL	41,90			85	35	50	CH o OH	23,82%	15,95%	60,24%																			
P1	M5	7,50	9,00	8,25	RBAL	45,00	2,666		65	41	24	MH o OH	3,14%	31,93%	64,93%											27,60	39,4							
P1	M6	9,00	10,50	9,75	RBAL	42,20			70	42	28	MH o OH	2,60%	17,89%	79,50%																			
P1	M7	10,50	12,00	11,25	RBAL	49,10		17,40	82	33	49	CH o OH	38,81%	20,72%	40,47%																			
P1	M8	12,00	13,50	12,75	RBAL	45,30			75	38	37	MH o OH	0,00%	11,72%	88,28%											32,30	19,3	22,9	18,5					
P1	M9	13,50	15,00	14,25	RBAL			17,90																										
P2	M1	0,00	1,50	0,75	STLAB	8,50																												
P2	M2	1,50	3,00	2,25	STLAB	47,60		17,80	91	41	50	MH o OH	1,29%	5,05%	93,65%																			
P2	M3	4,50	6,00	5,25	STLAB	41,90		17,10																										
P2	M4	6,00	7,50	6,75	STLAB	36,30							42,98%	37,67%	19,35%																			
P2	M5	7,50	9,00	8,25	STLAB	41,10		17,70	84	38	46	MH o OH	65,55%	20,13%	14,31%																			
P2	M6	9,00	10,50	9,75	STLAB	35,30		17,40																										
P2	M7	10,50	12,00	11,25	STLAB	35,50		18,7																										
P2	M8	12,00	13,50	12,75	STLAB	34,40			77	35	42	CH o OH												9,9	1470	35,50	133,8	23,7	38,3					
P3	M1	1,50	3,00	2,25	STMM																													
P3	M2	3,00	4,50	3,75	STMM								81,64%	0,96%	17,40%																			
P3	M3	4,50	7,50	6,00	STMM	26,90		20,70	132	21	111	CH o OH	1,83%	2,86%	95,31%																			
P3	M4	7,50	9,00	8,25	STMM	22,50		20,90																										
P3	M5	9,00	10,50	9,75	STMM																			93,9	8190									
P3	M6	10,50	12,00	11,25	STMM			20,60																										
P3	M7	12,00	13,50	12,75	STMM																													
P3	M8	13,50	15,00	14,25	STMM																			30,4	3560									
P3	M9	15,00	16,50	15,75	STMM			21,10																										
P5	M1	0,00	1,50	0,75	STMM																													
P5	M2	1,50	3,00	2,25	STMM	35,30							6,30%	12,13%	81,57%																			
P5	M3	3,00	4,50	3,75	STMM	41,00		16,97	84	36	48	CH o OH	8,28%	21,63%	70,09%											17,80	23	10,6	16,5					
P5	M4	4,50	6,00	5,25	STMM	32,60		17,40																										
P5	M5	6,00	7,50	6,75	STMM	43,79							12,73%	9,83%	77,44%						57,42	28,71	2007,3											
					STMM	45,10																												
P5	M6	7,50	9,00	8,25	STMM			17,70																80,7	8360									
P5	M7	9,00	10,50	9,75	STMM			18,90																9,3	1670									
P5	M8	10,50	12,00	11,25	STMM			20,20																										
P5	M9	12,00	13,50	12,75	STMM																													
P6	M1	1,50	3,00	2,25	STMM								56,24%	12,55%	31,21%																			
P6	M2	4,50	6,00	5,25	STMM	58,10		16,80	101	41	60	CH o OH	8,16%	16,16%	75,68%																			
P6	M3	7,50	9,00	8,25	STMM	47,60	2,678		99	36	63	CH o OH	7,97%	26,00%	66,03%											24,90	29,2	10,2	29					
P6	M4	10,50	12,00	11,25	STMM	57,90		17,10	99	33	66	CH o OH	34,11%	16,30%	49,59%																			
P6	M5	12,00	13,50	12,75	STMM	37,30		18,60																										
P6	M6	13,50	15,00	14,25	STMM			18,70					83,46%	9,77%	6,77%																			
P6	M7	15,00	16,50	15,75	STMM			18,00																299,80	66720,00									
P7	M1	0,00	1,50	0,75	RBAL	38,80		18,89	47	19	28	CL o OL	38,70%	21,17%	40,13%																			
P7	M2	1,50	3,00	2,25	RBAL	39,40	2,695		70	33	37	CH o OH	0,00%	5,02%	94,98%											28,20	16,10	23,80	10,7			1	33	0,1828		
P7	M3	3,00	4,50	3,75	RBAL	28,09			83	21	62	CH o OH	1,71%	14,51%	83,78%						99,04	49,52	3073,29								0,06	150	0,1691		
					RBAL	32,40																												
P7	M4	4,50	6,00	5,25	RBAL	31,61			70	26	44	CH o OH									61,86	30,93	1240,17			28,60	22,20	9,90	15,3					
					RBAL	29,30																												
P7	M5	6,00	7,50	6,75	RBAL	23,93							0,00%	4,34%	95,66%						290,08	145,04	7524,15											
					RBAL	20,60																												
P7	M6	7,50	9,00	8,25	RBAL	25,70	2,754	21,10	61	24	37	CH o OH	0,00%	6,27%	93,73%																			
P7	M7	9,00	10,50	9,75	RBAL	9,30	2,729		37	13	24	CL o OL														40,60	21,30	28,60	7,1					
P7	M8	10,50	12,00	11,25	RBAL																													
P7	M9	12,00	13,50	12,75	RBAL																													
P7	M10	13,50	15,00	14,25	RBAL																													
P7	M11	15,00	16,50	15,75	RBAL	0,18															327,84	163,92	26090,00											

Perforacion	Muestra	Profundidad (m)			UGI	Wn (%)	Gs	PU (kN/m3)	Limites de consistencia				Granulometría			Hidrometría					Compresión Inconfinada en suelo			Compresión Inconfinada en roca		Corte directo				Carga puntual	Contenido Orgánico	Consolidación			TRIAXIAL ESTÁTICO	
		De	A	Media					LL (%)	LP (%)	IP (%)	uscs	G (%)	S (%)	F (%)	G (%)	S (%)	F (%)			qu (kPa)	Su (kPa)	E (kPa)	qu (kPa)	E (kPa)	φ' max (°)	C' max (kPa)	φ' (°)	C' (kPa)	Is (MPa)	MateriaOrganica (%)	e0	σ'p (kPa)	Cc	C'(kPa)	ϕ'(°)
																		% Limo M	% Arcilla C	Total														
P8	M1	0,00	1,50	0,75	RBAL																													
P8	M2	1,50	3,00	2,25	RBAL																													
P8	M3	4,50	6,00	5,25	RBAL																													
P8	M4	6,00	7,50	6,75	RBAL	37,10		18,00																										
P8	M5	7,50	9,00	8,25	RBAL	38,30		17,61																										
P8	M6	9,00	10,50	9,75	RBAL	43,80			95	29	66	CH o OH	0,00%	2,83%	97,17%											10,70	28,90	11,40	13,8						
P8	M7	10,50	12,00	11,25	RBAL	43,20	2,712																								0,9	200	0,4		
P8	M8	12,00	13,50	12,75	RBAL	45,50		17,00					37,79%	17,67%	44,54%																				
P8	M9	13,50	15,00	14,25	RBAL			18,90																34,70	3180,00										
P8	M10	15,00	16,50	15,75	RBAL																													
P9	M1	1,50	3,00	2,25	RBAP	55,50			96	25	71	CH o OH	16,55%	8,06%	75,39%																				
P9	M2	3,00	4,50	3,75	RBAP	46,50							7,31%	13,36%	79,33%																				
P9	M3	4,50	6,00	5,25	RBAP	48,60	2,746		93	34	59	CH o OH	2,40%	22,61%	74,99%											10,80	39,70	6,60	32,9			1,38	40	0,2996		
P9	M4	6,00	7,50	6,75	RBAP	51,60			74	41	33	MH o OH																				1,14	145	0,1387		
P9	M5	7,50	9,00	8,25	RBAP	39,90			60	38	22	MH o OH	19,68%	41,29%	39,03%											20,70	41,50	9,40	40							
P9	M6	9,00	10,50	9,75	RBAP	43,00		17,20					67,81%	11,01%	21,18%																				
P9	M7	10,50	12,00	11,25	RBAP	38,10		18,40					66,62%	14,87%	18,51%																				
P9	M8	12,00	13,50	12,75	RBAP	22,58			63	38	25	MH o OH	20,56%	26,90%	52,55%						107,78	53,89	2770,00												
					RBAP	41,90		17,90																												
P9	M9	13,50	15,00	14,25	RBAP																													
P9	M10	15,00	16,50	15,75	RBAP								65,38%	10,20%	24,42%																				
P11	M1	0,00	1,50	0,75	STMM	32,30		16,40					1,96%	16,00%	82,04%																				
P11	M2	1,50	3,00	2,25	STMM	41,80	2,733		78	27	51	CH o OH	0,00%	8,33%	91,67%											14,60	28,80	11,30	18,1			0,64	70	0,532		
																																0,77	85	0,3443		
P11	M3	3,00	4,50	3,75	STMM	29,80			59	20	39	CH o OH	0,00%	10,32%	89,68%											26,60	13,30	20,10	7,3							
P11	M4	4,50	6,00	5,25	STMM	40,60		18,74					25,03%	11,35%	63,63%																				
P11	M5	6,00	7,50	6,75	STMM	46,92			114	25	89	CH o OH	0,13%	4,25%	95,62%						42,94	21,47	1160,00												
					STMM	46,90																														
P11	M6	7,50	9,00	8,25	STMM			20,16																												
P11	M7	9,00	10,50	9,75	STMM			18,60	72	27	45	CH o OH	16,50%	8,08%	75,42%																				
P11	M8	10,50	12,00	11,25	STMM																													
P11	M9	12,00	13,50	12,75	STMM			21,90																										
P11	M10	13,50	15,00	14,25	STMM			20,90																										
P12	M1	0,00	1,50	0,75	RBAL	29,50			82	25	57	CH o OH	0,69%	11,71%	87,61%																				
						28,30			78	20		CH o OH																								
P12	M2	1,50	3,00	2,25	RBAL	30,29	2,708		85	20	65	CH o OH	0,78%	8,00%	91,22%						93,06	46,53	2262,76												
					RBAL	24,40					0																								
P12	M3	3,00	4,50	3,75	RBAL	31,30		18,60	73	18	55	CH o OH	0,79%	4,81%	94,40%											27,00	6,70	14,50	6,2							
					RBAL																					19,90	40,30	19,50	12,7							
P12	M4	4,50	6,00	5,25	RBAL	38,40			74	23	51	CH o OH														16,00	30,10	6,00	28							
P12	M5	6,00	7,50	6,75	RBAL																													
P12	M6	7,50	9,00	8,25	RBAL																													
P12	M7	9,00	10,50	9,75	RBAL																													
P12	M8	10,50	11,00	10,75	RBAL	25,20																												
P13	M1	0,00	1,50	0,75	STMM	24,90		19,74	71	18	53	CH o OH																						
P13	M2	1,50	3,00	2,25	STMM	29,70		17,01	62	20	42	CH o OH	1,05%	3,33%	95,62%											17,00	14,10	11,50	10			0,74	95	0,1746		
P13	M3	3,00	4,50	3,75	STMM	26,70		19,11	65	19	46	CH o OH														3,90	42,30	6,10	18,2							
P13	M4	4,50	6,00	5,25	STMM	27,60			72	21	51	CH o OH	7,70%	2,83%	89,46%																	0,6	100	0,3073		
P13	M5	6,00	7,50	6,75	STMM	24,30		19,80																										
P13	M6	7,50	9,00	8,25	STMM			21,90																		5,90	52,30	5,80	30,6							
P13	M7	9,00	10,50	9,75	STMM																													
P13	M8	10,50	12,00	11,25	STMM	18,80																				18,80	6,70	11,00	6,5							
P14	M1	0,00	1,50	0,75	STLAE																													
P14	M2	1,50	3,00	2,25	STLAE								0,00%	97,00%	3,00%																				
P14	M3	3,00	4,50	3,75	STLAE	18,50			46	14	32	CL o OL	7,58%	49,32%	43,10%																				
P14	M4	4,50	6,00	5,25	STLAE	20,30		20,94	76	24	52	CH o OH	0,00%	41,46%	58,54%											15,10	37,50	14,60	12,8							
P14	M5	6,00	7,50	6,75	STLAE	28,80		19,08	73	22	51	CH o OH	0,00%	6,26%	93,74%											19,00	58,10	13,90	30,3							
						31,70																														
P14	M6	9,00	10,50	9,75	STLAE			20,00					27,86%	5,02%	67,12%																				
P14	M7	10,50	12,00	11,25	STLAE			21,70																										
P14	M8	12,00	13,50	12,75	STLAE			21,70																										
P15	M1	0,00	1,50	0,75	RBAP																													
P15	M2	1,50	3,00	2,25	RBAP	16,70			46	14	32	CL o OL	20,45%	4,84%	74,72%											41,20	24,80	25,70	6,5							
P15	M3	3,00	4,50	3,75	RBAP		2,722	21,40	36	13	23	CL o OL	51,29%	3,06%	45,65%											41,10	49,40	23,10	25,2			0,44	125	0,1104		
P15	M4	4,50	6,00	5,25	RBAP	15,40			53	16	37	CH o OH																						
P15	M5	6,00	7,50	6,75	RBAP																			56,80	13720,00										
P15	M6	9,00	10,50	9,75	RBAP																													
P15	M7	10,50	12,00	11,25	RBAP	17,30			50	16	34	CL o OL														30,50	31,50	21,80	12,5							
P15	M8	13,50	15,00	14,25	RBAP																													

Perforacion	Muestra	Profundidad (m)			UGI	Wn (%)	Gs	PU (kN/m3)	Límites de consistencia				Granulometría			Hidrometría					Compresión Inconfinada en suelo			Compresión Inconfinada en roca		Corte directo				Carga puntual	Contenido Orgánico	Consolidación			TRIAXIAL ESTÁTICO	
		De	A	Media					LL (%)	LP (%)	IP (%)	uscs	G (%)	S (%)	F (%)	G (%)	S (%)	F (%)			qu (kPa)	Su (kPa)	E (kPa)	qu (kPa)	E (kPa)	φ' max (°)	C' max (kPa)	φ' (°)	C' (kPa)	Is (MPa)	MateriaOrganica (%)	e0	σ'p (kPa)	Cc	C'(kPa)	φ'(°)
																		% Limo M	% Arcilla C	Total															
P16	M1	0,00	1,50	0,75	STLAE																														
P16	M2	1,50	3,00	2,25	STLAE																														
P16	M3	3,00	4,50	3,75	STLAE																														
P16	M4	6,00	7,50	6,75	STLAE	17,60	2,74		57	16	41	CH o OH	0,00%	4,73%	95,27%											16,90	54,10	16,40	17,9			0,44	140	0,1821		
P16	M5	7,50	9,00	8,25	STLAE			21,50	53	17	36	CH o OH	0,70%	7,05%	92,25%																				
P16	M6	9,00	10,50	9,75	STLAE			19,90	64	21	43	CH o OH														15,30	63,50	13,30	18,1							
P16	M7	10,50	12,00	11,25	STLAE																			54,70	1430,00										
P17	M1	0,00	1,50	0,75	RBAL																														
P17	M2	1,50	3,00	2,25	RBAL								67,99%	21,54%	10,47%																				
P17	M3	3,00	4,50	3,75	RBAL	23,80			80,00	21,00	59	CH o OH	0,00%	6,32%	93,68%						82,64	41,32	3916,05			22,70	20,30	8,30	18			0,61	145	0,3293		
					RBAL	33,30																														
P17	M4	4,50	6,00	5,25	RBAL	27,60			79,00	22,00	57	CH o OH	0,00%	5,89%	94,11%											23,00	31,70	14,20	14,2							
P17	M5	6,00	7,50	6,75	RBAL			20,00	81,00	20,00	61	CH o OH	56,99%	4,46%	38,56%																				
P17	M6	7,50	9,00	8,25	RBAL																														
P17	M7	9,00	10,50	9,75	RBAL																			7,20	1090,00										
P17	M8	12,00	13,50	12,75	RBAL																			100,98	7460,00										
P18	M1	0,00	0,50	0,25	RDCA																														
P18	M2	1,50	3,00	2,25	RDCA	36,30			96,00	31,00	65	CH o OH	11,24%	14,36%	74,40%											28,80	20,70	19,80	15,6							
P18	M3	3,00	4,50	3,75	RDCA	37,20			82,00	29,00	53	CH o OH														24,70	6,40									
P18	M4	4,50	6,00	5,25	RDCA	43,70			93,00	31,00	62	CH o OH	66,79%	8,00%	25,22%											34,40	12,70	20,20	11,1							
P18	M5	6,00	7,50	6,75	RDCA	34,60							47,02%	6,63%	46,35%																				
P18	M6	7,50	9,00	8,25	RDCA	32,20		19,00					59,26%	2,56%	38,18%																				
P18	M7	9,00	10,50	9,75	RDCA																														
P18	M8	10,50	12,00	11,25	RDCA			20,10																		26,90	97,80	9,10	30,5							
P18	M9	12,00	13,50	12,75	RDCA			19,00					67,40%	8,38%	24,22%																				
P18	M10	13,50	15,00	14,25	RDCA	21,00		21,00																											
P19	M1	0,00	1,50	0,75	STAL	26,50			51,00	17,00	34	CH o OH	1,02%	11,17%	87,81%											23,10	19,80	21,50	10,2							
P19	M2	3,00	4,50	3,75	STAL	26,90	2,721		71,00	26,00	45	CH o OH	15,69%	5,57%	78,74%											20,40	23,60	15,30	18,9			0,62	124	0,2762		
P19	M3	6,00	7,50	6,75	STAL	30,10			62,00	21,00	41	CH o OH	31,80%	1,50%	66,71%											18,00	45,30	11,70	40,2							
P19	M4	7,50	9,00	8,25	STAL																			760,00	500,00										
P19	M5	9,00	10,50	9,75	STAL			22,00																											
P19	M6	10,50	12,00	11,25	STAL																														
P19	M7	13,50	15,00	14,25	STAL																														
P20	M1	0,00	1,50	0,75	STMM																														
P20	M2	1,50	3,00	2,25	STMM	26,80			69,00	22,00	47	CH o OH	7,67%	7,25%	85,08%											19,00	31,90	3,60	25,3							
P20	M3	4,50	6,00	5,25	STMM	28,30							12,39%	6,04%	81,57%											23,00	40,00	12,50	18			0,75	105	0,2539		
P20	M4	6,00	7,50	6,75	STMM																														
P20	M5	7,50	9,00	8,25	STMM								83,01%	9,94%	7,05%																				
P20	M6	9,00	10,50	9,75	STMM																			16,80	4160,00										
P20	M7	10,50	12,00	11,25	STMM			19,80																											
P20	M8	12,00	13,50	12,75	STMM																														
P20	M9	13,50	15,00	14,25	STMM																														
P20	M10	15,00	16,50	15,75	STMM																														
P21	M1	0,00	1,50	0,75	STAL																														
P21	M2	1,50	3,00	2,25	STAL																														
P21	M3	3,00	4,50	3,75	STAL	17,10			30	13	17	CL o OL	20,01%	37,86%	42,13%											32,70	14,80	32,20	5,1							
P21	M4	7,50	9,00	8,25	STAL								70,41%	12,81%	16,78%																				
P21	M5	9,00	10,50	9,75	STAL																														
P21	M6	10,50	12,00	11,25	STAL																														
P21	M7	12,00	13,50	12,75	STAL																														
P21	M8	13,50	15,00	14,25	STAL																														
P22	M1	0,00	1,50	0,75	STAL																														
P22	M2	1,50	3,00	2,25	STAL	29,40			63	17	46	CH o OH	2,61%	18,86%	78,52%											20,70	24,90	16,50	15,2			0,66	100	0,3892		
																																1,02	100	0,3557		
P22	M3	3,00	4,50	3,75	STAL	34,70			105	30	75	CH o OH	21,39%	13,11%	65,49%											16,10	27,30	4,30	25,9							
P22	M4	6,00	7,50	6,75	STAL																														
P22	M5	7,50	9,00	8,25	STAL																			179,80	15990,00										
P22	M6	9,00	10,50	9,75	STAL																														
P22	M7	10,50	12,00	11,25	STAL																														
P22	M8	12,00	13,50	12,75	STAL																			62,90	3350,00										
P23	M1	0,00	1,50	0,75	STMM																														
P23	M2	3,00	4,50	3,75	STMM	37,50	2,694		88	31	57	CH o OH	17,07%	43,56%	37,37%											26,90	19,10	17,80	17,5							
P23	M3	4,50	6,00	5,25	STMM	37,30																													
P23	M4	7,50	9,00	8,25	STMM																														
P23	M5	9,00	10,50	9,75	STMM				103	32	71	CH o OH	49,63%	21,42%	28,95%																				
P23	M6	10,50	12,00	11,25	STMM																														
P23	M7	12,00	13,50	12,75	STMM																														

Perforacion	Muestra	Profundidad (m)			UGI	Wn (%)	Gs	PU (kN/m3)	Límites de consistencia				Granulometría			Hidrometría					Compresión Inconfinada en suelo			Compresión Inconfinada en roca		Corte directo				Carga puntual	Contenido Orgánico	Consolidación			TRIAXIAL ESTÁTICO	
		De	A	Media					LL (%)	LP (%)	IP (%)	uscs	G (%)	S (%)	F (%)	G (%)	S (%)	F (%)			qu (kPa)	Su (kPa)	E (kPa)	qu (kPa)	E (kPa)	φ' max (°)	C' max (kPa)	φ' (°)	C' (kPa)	Is (MPa)	MateriaOrganica (%)	e0	σ'p (kPa)	Cc	C'(kPa)	ϕ'(°)
																		% Limo M	% Arcilla C	Total														
P24	M1	0,00	1,50	0,75	RBAL	26,60			76	23	53	CH o OH	0,00%	10,16%	89,84%											21,60	32,90	11,40	17,5							
P24	M2	1,50	3,00	2,25	RBAL	26,70	2,715		73	17	56	CH o OH	0,00%	9,33%	90,67%											29,70	12,70	17,30	4,8			0,68	104	0,1758		
P24	M3	3,00	4,50	3,75	RBAL	32,40	2,7		71	21	50	CH o OH	3,19%	25,98%	70,83%											25,60	18,40	19,10	17,7			0,74	83	0,3458		
P24	M4	4,50	6,00	5,25	RBAL	38,40		18,81	89	25	64	CH o OH	0,00%	6,62%	93,38%																					
P24	M5	6,00	7,50	6,75	RBAL	37,60			84	19	65	CH o OH	2,49%	6,32%	91,19%																					
P24	M6	7,50	9,00	8,25	RBAL	39,80		18,20	75	26	49	CH o OH	13,60%	9,23%	77,17%																					
P24	M7	9,00	10,50	9,75	RBAL			21,60																												
P24	M8	10,50	12,00	11,25	RBAL	19,00		20,90	80	34	46	CH o OH	38,84%	1,45%	59,71%																					
P24	M9	12,00	13,50	12,75	RBAL			22,40																27,10	1170,00										
P25	M1	0,00	1,50	0,75	RBAC	30,70		18,80	96	33	63	CH o OH	0,53%	5,34%	94,13%											39,20	9,70	30,60	2							
P25	M2	1,50	3,00	2,25	RBAC	25,90																														
P25	M3	4,50	6,00	5,25	RBAC			18,00																												
P25	M4	6,00	7,50	6,75	RBAC																															
P25	M5	7,50	9,00	8,25	RBAC			19,70																												
P25	M6	9,00	10,50	9,75	RBAC	25,91							12,28%	58,12%	29,60%						61,74	30,87	1236,97													
P25	M7	10,50	12,00	11,25	RBAC			18,10																												
P25	M8	12,00	13,50	12,75	RBAC	21,24															231,77	115,89	40666,90												
P25	M9	13,50	15,00	14,25	RBAC			19,40																												
P26	M1	0,00	1,50	0,75	STMM																															
P26	M2	1,50	3,00	2,25	STMM	38,60			53	22	31	CH o OH	61,40%	14,66%	23,94%																					
P26	M3	3,00	4,50	3,75	STMM	31,20	2,724		57	38	19	MH o OH	28,50%	34,59%	36,91%											24,40	42,80	17,50	42,4			0,9	90	0,3151		
P26	M4	4,50	6,00	5,25	STMM	41,20			64	42	22	MH o OH	17,53%	37,46%	45,00%																	1,19	100	0,1203		
P26	M5	6,00	7,50	6,75	STMM	39,00	2,755		105	39	66	CH o OH	20,24%	20,84%	58,91%											19,90	73,50	9,20	58,8			1	195	0,4877		
P26	M6	7,50	9,00	8,25	STMM	38,50	2,745		91	39	52	CH o OH	28,84%	28,44%	42,72%											22,70	17,60	10,40	15			1,12	203	0,3551		
P26	M7	9,00	10,50	9,75	STMM																															
P26	M8	10,50	12,00	11,25	STMM	36,80			68	41	27	MH o OH	15,00%	32,27%	52,73%																	1	100	0,4451		
P26	M9	12,00	13,50	12,75	STMM	33,10		17,30	86	37	49	CH o OH	70,87%	17,51%	11,62%																					
P26	M10	13,50	15,00	14,25	STMM																															
P26	M11	15,00	16,50	15,75	STMM								80,92%	15,23%	3,85%																					
P27	M1	0,00	1,50	0,75	STMM	38,30																														
P27	M2	1,50	3,00	2,25	STMM																															
P27	M3	3,00	4,50	3,75	STMM																															
P27	M4	4,50	6,00	5,25	STMM	40,40																														
P27	M5	9,00	10,50	9,75	STMM	35,60			80	38	42	MH o OH																								
P27	M6	10,50	12,00	11,25	STMM	39,10			104	36	68	CH o OH	29,95%	16,94%	53,11%																					
P27	M7	12,00	13,50	12,75	STMM	48,10			62	21	41	CH o OH	24,45%	21,23%	54,32%																					
P27	M8	12,50	14,00	13,25	STMM	37,70			90	38	52	CH o OH	0,00%	5,70%	94,30%											35,10	29,60	15,80	18,2							
P28	M1	0,00	1,50	0,75	RBAP																															
P28	M2	1,50	3,00	2,25	RBAP																															
P28	M3	3,00	4,50	3,75	RBAP	41,40		16,90	75	34	41	CH o OH	43,45%	8,46%	48,09%																					
P28	M4	4,50	6,00	5,25	RBAP	39,20		17,60					38,39%	6,28%	55,33%																					
P28	M5	6,00	7,50	6,75	RBAP																															
P28	M6	7,50	9,00	8,25	RBAP	29,70		18,40	75	34	41	CH o OH	97,67%	1,41%	0,92%											21,70	84,90	18,70	38,2							
P28	M7	9,00	10,50	9,75	RBAP																															
P28	M8	10,50	12,00	11,25	RBAP																															
P28	M9	12,00	13,50	12,75	RBAP																															
P28	M10	13,50	15,00	14,25	RBAP	26,08															1097,51	548,75	113412,49													
P29	M1	0,00	1,50	0,75	STMM																															
P29	M2	1,50	3,00	2,25	STMM																															
P29	M3	6,00	7,50	6,75	STMM																															
P29	M4	7,50	9,00	8,25	STMM																															
P29	M5	9,00	10,50	9,75	STMM			20,30																												
P29	M6	10,50	12,00	11,25	STMM			20,80																												
P29	M7	12,00	13,50	12,75	STMM			18,30					46,95%	13,90%	39,14%																					
P29	M8	13,50	15,00	14,25	STMM																															
P29	M9	15,00	16,50	15,75	STMM			22,80																												
P29	M10	16,50	18,00	17,25	STMM			21,30																												
P30	M1	0,00	1,50	0,75	STMM																															
P30	M2	1,50	3,00	2,25	STMM																															
P30	M3	3,00	4,50	3,75	STMM																															
P30	M4	4,50	6,00	5,25	STMM																															
P30	M5	6,00	7,50	6,75	STMM																															
P30	M6	7,50	9,00	8,25	STMM	23,80		20,20					53,95%	6,49%	39,56%																					
P30	M7	9,00	10,50	9,75	STMM	23,30			63	30	33	CH o OH	25,52%	4,18%	70,31%											20,00	96,70	12,20	47,3							
P30	M8	10,50	12,00	11,25	STMM			20,60																												
P30	M9	12,00	13,50	12,75	STMM																			51,40	2520,00										
P30	M10	13,50	15,00	14,25	STMM			21,10																												

Perforacion	Muestra	Profundidad (m)			UGI	Wn (%)	Gs	PU (kN/m3)	Límites de consistencia				Granulometría			Hidrometría					Compresión Inconfinada en suelo			Compresión Inconfinada en roca		Corte directo				Carga puntual	Contenido Orgánico	Consolidación			TRIAXIAL ESTÁTICO	
		De	A	Media					LL (%)	LP (%)	IP (%)	uscs	G (%)	S (%)	F (%)	G (%)	S (%)	F (%)			qu (kPa)	Su (kPa)	E (kPa)	qu (kPa)	E (kPa)	φ' max (°)	C' max (kPa)	φ' (°)	C' (kPa)	Is (MPa)	MateriaOrganica (%)	e0	σ'p (kPa)	Cc	C'(kPa)	ϕ'(°)
																		% Limo M	% Arcilla C	Total														
AP-01	M1	0,00	2,00	1,00	STMM	5,70		20,30																										
AP-02	M1	0,00	2,00	1,00	STLAB	4,60		15,09																										
AP-03	M1	0,00	2,00	1,00	STMM	29,50		19,10	67	32	34	CH o OH																						
AP-04	M1	0,00	2,00	1,00	STMM	22,50		18,90	75	27	48	CH o OH																						
AP-05	M1	0,00	2,00	1,00	STMM	3,70			No Limite																									
AP-06	M1	0,00	2,00	1,00	STMM	18,00			No Limite																									
AP-07	M1	0,00	2,00	1,00	STMM	24,00		20,70	62	26	36	CH o OH																						
AP-08	M1	0,00	2,00	1,00	STMM	31,70		19,20	61	18	42	CH o OH																						
AP-09	M1	0,00	2,00	1,00	STMM	28,70		19,34	84	35	49	CH o OH																						
AP-10	M1	0,00	2,00	1,00	STMM	25,00		19,80	75	25	51	CH o OH																						
AP-11	M1	0,00	2,00	1,00	STMM	46,00		17,85	87	42	45	MH o OH																						
AP-12	M1	0,00	2,00	1,00	STMM	26,80			59	33	26	MH o OH																						
AP-13	M1	0,00	2,00	1,00	STMM	21,00																												
AP-14	M1	0,00	1,20	0,60	STMM	19,80																												
AP-15	M1	0,00	1,50	0,75	STMM	13,00																												
AP-16	M1	0,00	1,50	0,75	STLAE	22,30			60	21	39	CH o OH																						
AP-17	M1	0,00	1,50	0,75	STLAE	7,20																												
AP-18	M1	0,00	1,50	0,75	STLAE	10,30																												
AP-19	M1	0,00	1,50	0,75	STLAE	15,80			38	23	15	CL o OL																						
AP-20	M1	0,00	1,50	0,75	STAL	14,20			31	13	18	CL o OL																						
AP-21	M1	0,00	1,30	0,65	STAL	23,00			79	30	49	CH o OH																						
AP-22	M1	0,00	1,30	0,65	STAL	7,60																												
AP-23	M1	0,00	1,50	0,75	MASPE	2,40																												
AP-24	M1	0,00	1,60	0,80	RDCA	8,60																												
AP-25	M1	0,00	1,10	0,55	RBAL	14,20			72	35	38	MH o OH																						
AP-26	M1	0,00	1,30	0,65	STAL	3,60																												
AP-27	M1	0,00	1,30	0,65	RBAL	22,30		17,86	67	21	47	CH o OH																						
AP-28	M1	0,00	1,00	0,50	STLAE	24,50																												
AP-29	M1	0,00	1,00	0,50	MASPE	6,70																												
AP-30	M1	0,00	1,50	0,75	RBAP	23,00			99	37	62	CH o OH																						

11 COBERTURA Y USO DEL SUELO

La cobertura y uso de suelo hace parte de los insumos en estudios hidrológicos y geotécnicos, los cuales determinan el riesgo por movimientos en masa a los que se puede ver expuesto un terreno por determinadas razonas. La cobertura y uso del suelo se determina por medio de la metodología europea Corine Land Cover, adaptada en 2010 por el IDEAM con el objetivo de unificar los métodos que se usan desde escalas regionales hasta nacionales.

El método Corine Land Cover consiste en un proceso interpretación, clasificación y comparación digital por medio de imágenes satelitales. Este método se utiliza generalmente en escalas mayores a 1:10000, por la calidad que presentan las imágenes que están disponibles para el acceso público. Dado que la escala de este proyecto es detallada, se hace el respectivo proceso de adaptación con las imágenes de alta fidelidad.

11.1 METODOLOGÍA

De acuerdo con los parámetros establecidos con anterioridad, se utilizó la metodología Corine Land Cover adaptada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. En la Figura 11.1 se muestra el flujograma con las actividades realizadas para la obtención de la información espacial, con la cual se determinó y clasifico cada una de las coberturas de suelos y unidades homogéneas de cobertura.

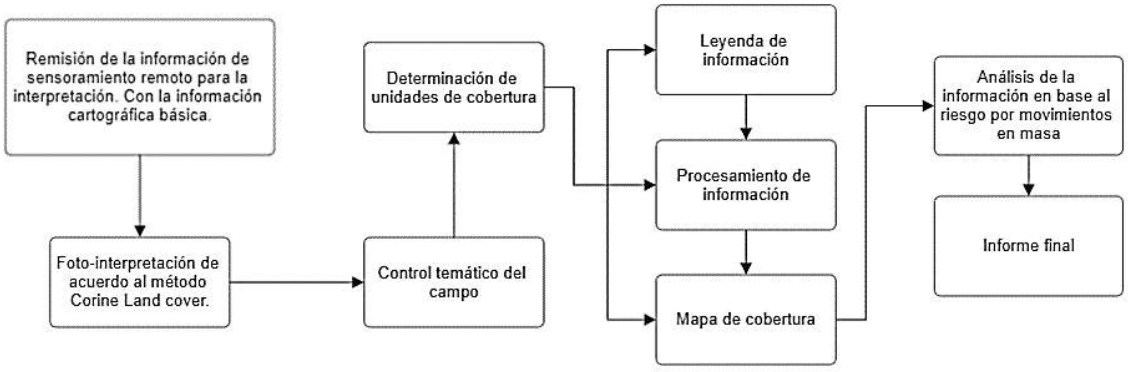


Figura 11.1 Flujograma método para el levantamiento de la cobertura y usos del suelo

Dado al tamaño del proyecto se trabajará con un método modificado, los polígonos se trabajarán a escala 1:5000 en los que elementos de más de 5 metros son cartografiables y serán tomados en cuenta para el mapa de cobertura y uso del suelo.

11.2 CLASIFICACIÓN Y CATEGORIZACIÓN

La clasificación del IDEAM se separa en 5 grandes grupos: Territorios artificiados, todas aquellas coberturas correspondientes a cambios o estructuras realizadas a mano del ser humano; Territorios agrícolas, cultivos manejados por el ser humano y de crecimiento controlado; Bosques y áreas seminaturales, territorios con poco o sin contacto con el ser humano, áreas húmedas, todos los territorios correspondientes a zonas inundadas sean artificiadas o no; por último, Superficies de agua, todo los elementos correspondientes a mares ríos, lagunas, etc. De estas categorías se derivan diferentes categorías más específicas y que tienen su propia representación gráfica, esto se puede ver en Tabla 11.1.

En este informe se manejará hasta el nivel 3 de cobertura, todos los códigos de cobertura contendrán 3 dígitos que indicaran su clasificación dependiendo lo encontrado en la ortofoto y corroborado en las visitas de campo, los colores son asignados de acuerdo con las características mostradas en Figura 11.2.

Tabla 11.1 Coberturas y usos del suelo IDEAM

LEYENDA NACIONAL DE COBERTURAS DE LA TIERRA - COLOMBIA	
1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	**3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES**
1.1. Zonas urbanizadas	**3.1. Bosques**
1.1.1. Tejido urbano continuo	3.1.1. Bosque denso
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	3.1.1.1.1. Bosque denso alto de tierra firme
1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	3.1.1.1.2. Bosque denso alto inundable
1.2.1. Zonas industriales o comerciales	3.1.1.2.1. Bosque denso bajo de tierra firme
1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	3.1.1.2.2. Bosque denso bajo inundable
1.2.3. Zonas portuarias	3.1.2. Bosque abierto
1.2.4. Aeropuertos	3.1.2.1.1. Bosque abierto alto de tierra firme
1.2.5. Obras hidráulicas	3.1.2.1.2. Bosque abierto alto inundable
1.3. Zonas de extracción minera y escombreras	3.1.2.2.1. Bosque abierto bajo de tierra firme
1.3.1. Zonas de extracción minera	3.1.2.2.2. Bosque abierto bajo inundable
1.3.2. Zonas de disposición de residuos	3.1.3. Bosque fragmentado
1.4. Zonas verdes artificializadas, no agrícolas	3.1.4. Bosque de galería y ripario
1.4.1. Zonas verdes urbanas	3.1.5. Plantación forestal
1.4.2. Instalaciones recreativa	**3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva**
	3.2.1.1. Herbazal denso
2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS	3.2.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme no arbolado
2.1. Cultivos transitorios	3.2.1.1.2. Herbazal denso de tierra firme arbolado
2.1.1. Otros cultivos transitorios	3.2.1.1.3. Herbazal denso de tierra firme con arbustos
2.1.2. Cereales	3.2.1.2.1. Herbazal denso inundable no arbolado
2.1.3. Oleaginosas y leguminosas	3.2.1.2.2. Herbazal denso inundable arbolado
2.1.4. Hortalizas	3.2.1.2.3. Arracachal
2.1.5. Tubérculos	3.2.1.2.4. Helechal
2.2. Cultivos permanentes	3.2.1.2. Herbazal abierto
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	3.2.1.2.1. Herbazal abierto arenoso
2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos	3.2.1.2.2. Herbazal abierto rocoso
2.2.1.2. Caña	3.2.2.1. Arbustal denso
2.2.1.3. Plátano y banano	3.2.2.2. Arbustal abierto
2.2.1.4. Tabaco	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición
2.2.1.5. Papaya	**3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación**
2.2.1.6. Amapola	3.3.1. Zonas arenosas naturales
2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	3.3.2. Afloramientos rocosos
2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos	3.3.3. Tierras desnudas y degradadas
2.2.2.2. Café	3.3.4. Zonas quemadas
2.2.2.3. Cacao	3.3.5. Zonas glaciares y nivales
2.2.2.4. Viñedos	**4. AREAS HÚMEDAS**
2.2.2.5. Coca	**4.1. Áreas húmedas continentales**
2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	4.1.1. Zonas Pantanosas
2.2.3.1. Otros cultivos permanentes arbóreos	4.1.2. Turberas
2.2.3.2. Palma de aceite	4.1.3. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua
2.2.3.3. Cítricos	**4.2. Áreas húmedas costeras**
2.2.3.4. Mango	4.2.1. Pantanos costeros
2.2.4. Cultivos agroforestales	4.2.2. Salitral
2.2.5. Cultivos confinados	4.2.3. Sedimentos expuestos en bajamar
2.3. Pastos	**5. SUPERFICIES DE AGUA**
2.3.1. Pastos limpios	**5.1. Aguas continentales**
2.3.2. Pastos arbolados	5.1.1. Ríos (50 m)
2.3.3. Pastos enmalezados	5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales
2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	5.1.3. Canales
2.4.1. Mosaico de cultivos	5.1.4. Cuerpos de agua artificiales
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	**5.2. Aguas marítimas**
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	5.2.1. Lagunas costeras
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	5.2.2. Mares y océanos
2.4.5. Mosaico de cultivos y espacios naturales	5.2.3. Estanques para acuicultura marina

Fuente: Tomado y adaptado IDEAM 2010

NIVEL 1	ROJO (%)	ROJO (/255)	VERDE (%)	VERDE (/255)	AZUL (%)	AZUL (/255)	MUESTRA
111	80,00	204	0,00	0	0,00	0	
112	97,25	248	0,00	0	0,00	0	
121	80,00	204	30,20	77	16,47	42	
122	85,10	217	39,61	101	27,06	69	
123	100,00	225	65,10	132	100,00	107	
124	100,00	231	30,20	156	100,00	135	
125	93,33	238	72,55	185	66,66	170	
131	65,10	166	0,00	0	80,00	204	
132	82,74	211	9,10	23	0,00	255	
141	100,00	255	50,20	128	50,20	128	
142	100,00	255	68,63	175	68,63	175	
211	100,00	255	100,00	255	65,10	166	
212	100,00	255	100,00	255	37,25	95	
213	93,33	238	90,98	232	0,00	0	
214	82,35	210	80,39	205	0,00	0	
221	94,90	242	80,00	204	65,10	166	
222	92,94	237	71,76	183	50,59	129	
223	90,59	231	62,74	160	34,90	89	
224	89,02	227	55,29	141	21,57	55	
225	83,92	214	47,84	122	11,76	30	
226	78,43	200	44,71	114	10,98	28	
227	72,16	184	41,18	105	10,20	26	
228	61,18	156	34,92	89	8,63	22	
229	50,98	130	29,02	74	7,06	18	
231	80,00	204	100,00	255	80,00	204	
232	62,35	159	100,00	255	62,35	159	
233	61,57	157	100,00	255	78,43	200	
241	100,00	255	90,20	230	65,10	166	
242	100,00	255	84,71	216	45,88	117	
243	100,00	255	78,82	201	25,49	65	
244	99,61	254	70,98	181	0,00	0	
311	50,20	128	100,00	255	0,00	0	
312	43,92	112	87,84	224	0,00	0	
313	38,04	97	76,08	194	0,00	0	
314	33,73	86	67,45	172	0,00	0	
315	28,24	72	56,47	144	0,00	0	
321	80,00	204	94,90	242	30,20	77	
322	67,06	171	86,27	220	6,27	16	
323	58,82	150	75,29	192	5,49	14	
324	50,20	128	64,31	164	4,70	12	
325	42,35	108	54,12	138	3,92	10	
331	76,08	194	76,08	194	76,08	194	
332	70,20	179	70,20	179	70,20	179	
333	61,96	158	61,96	158	61,96	158	
334	53,73	137	53,73	137	53,73	137	
335	39,61	101	39,61	101	70,59	180	
411	65,10	166	65,10	166	100,00	255	
412	30,20	77	56,86	145	100,00	255	
413	45,10	115	45,10	115	100,00	255	
414	33,37	80	31,37	80	100,00	255	
421	80,00	204	80,00	204	100,00	255	
422	71,76	183	71,76	183	100,00	255	
423	65,49	167	65,49	167	100,00	255	
511	0,00	0	80,00	204	94,90	242	
512	27,06	69	87,84	224	100,00	255	
513	58,43	149	92,94	237	100,00	255	
514	80,39	205	96,86	247	100,00	255	
521	0,00	0	100,00	255	65,10	166	
522	40,39	103	100,00	255	78,20	201	
523	67,06	171	100,00	255	88,24	225	
524	83,53	213	100,00	255	94,12	240	

Figura 11.2 Guía de colores para Cobertura y Uso del suelo
Fuente: IDEAM 2010

11.3 ESTUDIOS ANTERIORES

A continuación, se mencionan algunos estudios realizados por entidades nacionales y departamentales en la zona de estudio.

11.3.1 Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica de la Ciénaga de Mallorquín

En 2010 la Corporación Autónoma Regional del Atlántico y la Universidad del Magdalena aunaron esfuerzos para generar un plan de ordenamiento y manejo de la cuenca hidrográfica de la ciénaga de Mallorquín. La cuenca de la ciénaga de Mallorquín hace parte del Delta del rio Magdalena, en esta se encuentra una gran parte de la zona urbana de la ciudad de Barranquilla y el correspondiente polígono de estudio de este proyecto. El estudio realizado por CRA tiene una escala de estudio de 1:10.000.

El mapa de cobertura y uso producto del estudio de 2010 se muestra en la Figura 11.3 como se puede ver y por la escala de estudio la zona se ve marcada como una zona urbana. También se puede apreciar los principales cuerpos de aguada en la ciudad de Barranquilla.

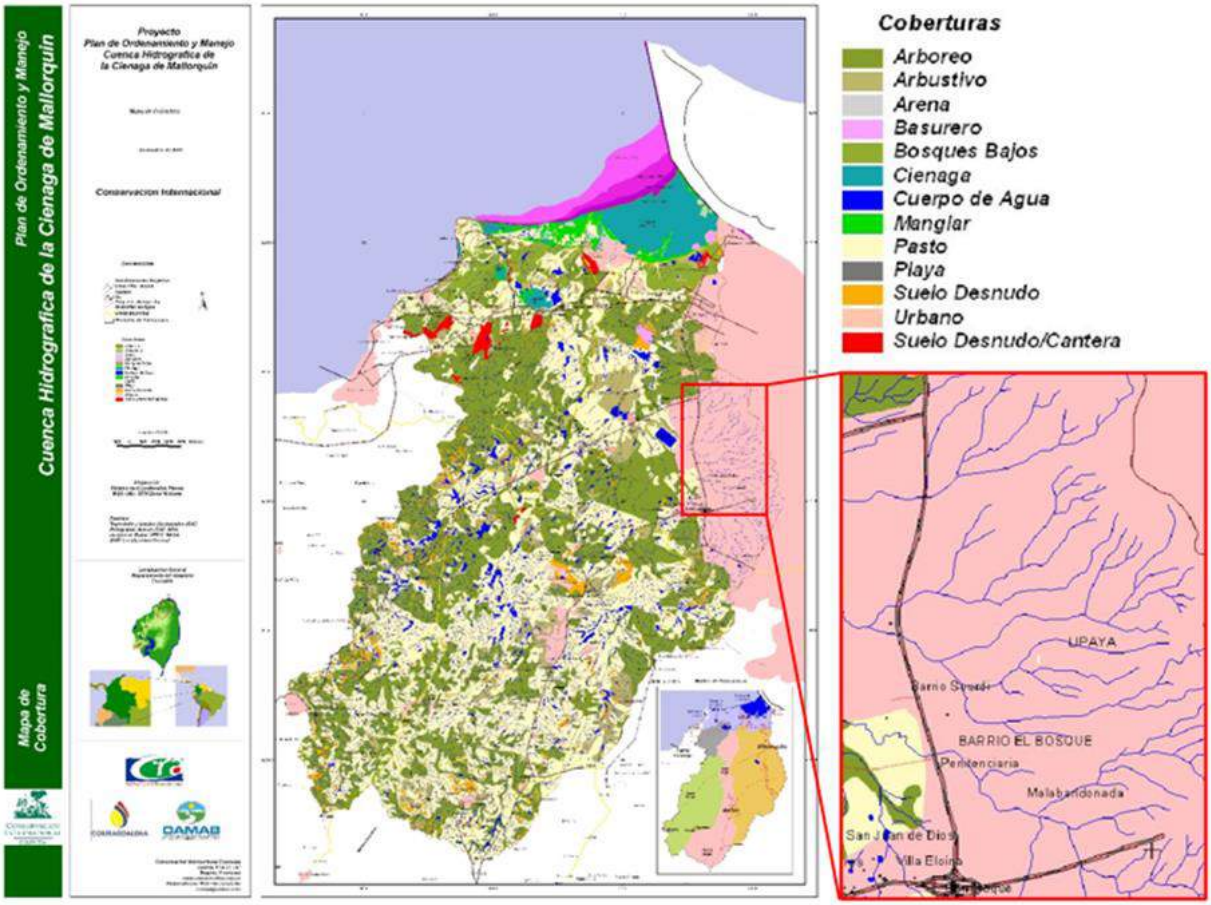


Figura 11.3 Cobertura y uso del suelo cuenca Mallorquin 2010
Fuente: CRA 2010

En 2017 se realizó una actualización del plan de ordenamiento y manejo, esto de acuerdo con nueva información obtenida y utilizando los parámetros de la leyenda nacional de coberturas. En este plano no se logran obtener grandes diferencias dado a la escala de trabajo, como se puede ver en la Figura 11.4 la zona de estudio se categoriza como tejido urbano continuo.

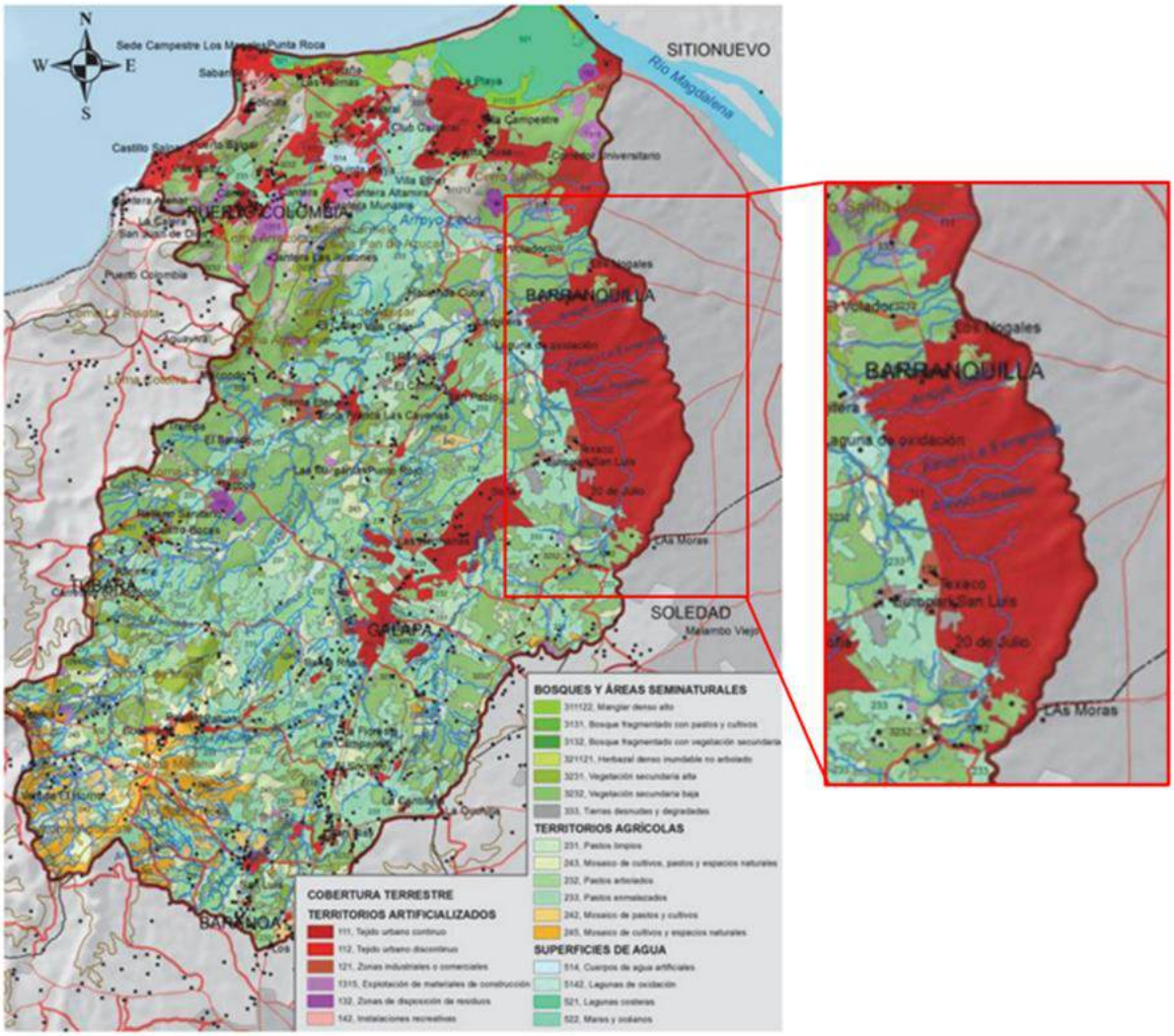


Figura 11.4 Cobertura y uso del suelo cuenca Mallorquin 2017
Fuente: CRA 2017

Las variaciones de las coberturas fueron presentadas en el informe con imágenes y ortomosaicos correspondientes a 1980 y 2010. De entre los resultados más relevantes encontrados en el informe es que se ha generado una gran urbanización de la cuenca mallorquín, lo que traduce en una disminución paulatina de las ciénagas. También se evidenciaron perdidas de algunos cuerpos de agua en la cuenca.

11.3.2 Ingeominas 2011

En 2011 el Ingeominas realizó una zonificación de amenaza en las laderas de Barranquilla, esto debido al persistente problema con movimientos en masa de la región occidental. Uno de los insumos para esa zonificación es la cobertura y uso del suelo. Este se realizó a una escala 1:5000, en este se

determinó que la mayor unidad de cobertura en la zona de estudio fueron las construcciones urbanas.



Figura 11.5 Cobertura y uso del suelo Laderas occidentales de Barranquilla 2011
Fuente: INGEOMINAS 2011

Los colores morados, naranjas y verdes representan construcciones urbanas continuas y discontinuas. Los colores verdes claros representan zonas agrícolas, estas zonas se esperan ver disminuidas de acuerdo con el análisis multitemporal realizado por la CRA para el plan de manejo de la cuenca.

Esto debido a la constante expansión urbana que se ha presentado en la ciudad de Barranquilla, perdiéndose espacio en la ciénaga y aumentando las coberturas de tejido urbano.

11.4 COBERTURA Y USO DEL SUELO ESCALA 1:5.000

Se realizó el mapa de cobertura de la tierra por el método Corinne Land Cover a escala 1:5000 en los dos polígonos de estudio con su correspondiente trabajo de campo (Plano 1a, plano 1b y Figura 11.6), el cual valida temáticamente la foto previamente interpretada. Posteriormente se llevó a cabo la validación cartográfica (topología) en formato shape, con su correspondiente tabla de atributos y leyenda, las cuales son expuestas también en la Figura 11.2.

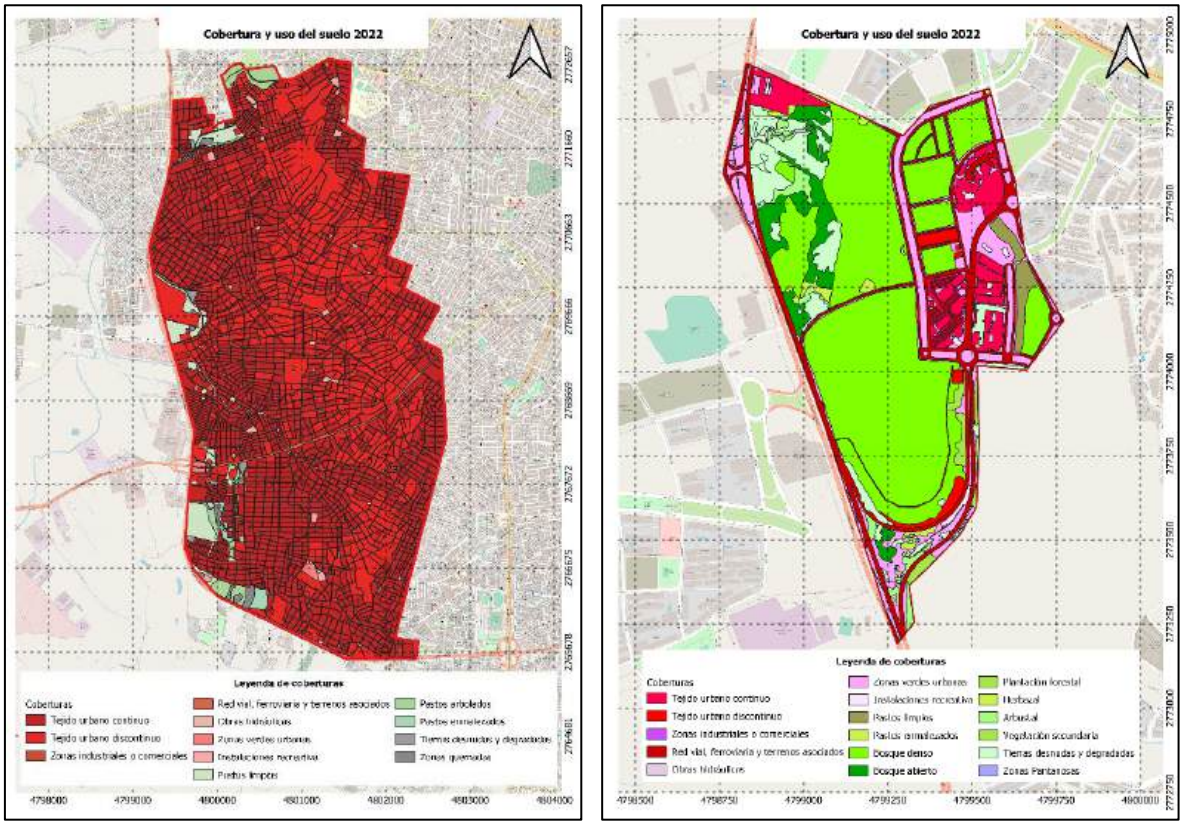


Figura 11.6 Zonificación de la cobertura y usos del suelo

Tabla 11.2 Distribución del área del polígono sur

CÓDIGO	COBERTURA	PORCENTAJE	ÁREA (M)	ÁREA (HA)
1.1.1	Tejido urbano continuo	49,43%	8984624,03	898,46
1.1.2	Tejido urbano discontinuo	31,23%	5676972,269	567,69
1.2.1	Zonas industriales o comerciales	0,11%	19834,99402	1,98
1.2.2	Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	12,67%	2301989,439	230,19
1.2.5	Obras hidráulicas	0,90%	164120,3607	16,41
1.4.1	Zonas verdes urbanas	0,40%	71862,58446	7,18
1.4.2	Instalaciones recreativas	0,81%	146705,108	14,67
2.3.1	Pastos limpios	2,04%	370580,1869	37,05
2.3.2	Pastos arbolados	1,34%	242732,2609	24,27
2.3.3	Pastos enmalezados	0,41%	73621,91589	7,36
3.3.3	Tierras desnudas y degradadas	0,22%	39697,13416	3,96
3.3.4	Zonas quemadas	0,46%	82839,62393	8,28
TOTAL		**100,00%**	**18175579,91**	**1817,55**

Como se puede observar el polígono norte corresponde principalmente a tejido urbano, estas dos unidades de cobertura representan más del 80% de área del polígono de estudio. La siguiente unidad más importante es la red vial que representa el 12% del polígono. Esto es razonable dado a que el polígono se encuentra en una zona muy urbanizada de Barranquilla, donde los pocos lugares de bosques y áreas seminaturales son lotes vacíos.

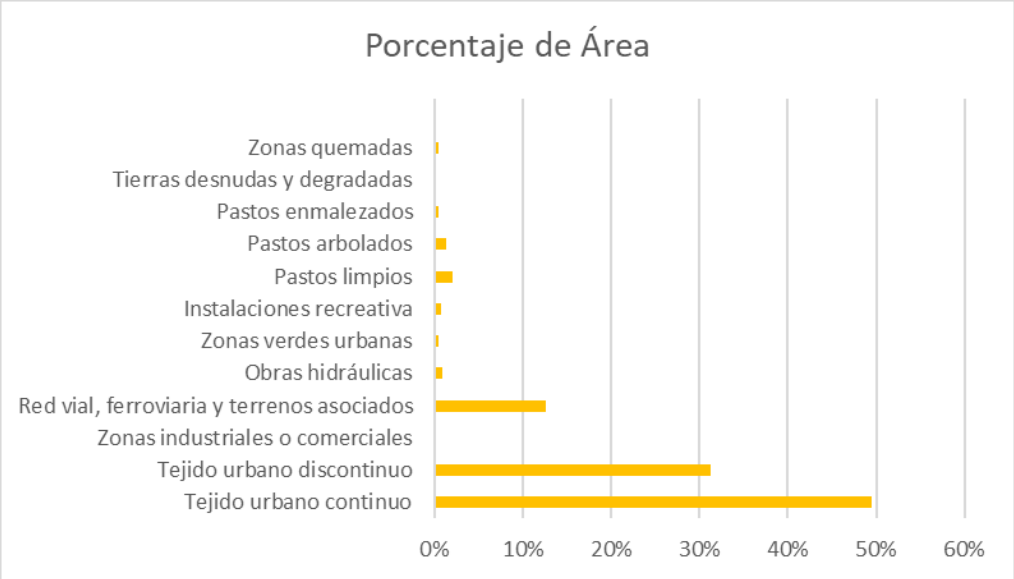


Figura 11.7 Porcentaje de área de polígono sur

Tabla 11.3 Distribución del área del polígono Norte

CÓDIGO	COBERTURA	PORCENTAJE	ÁREA (M)	ÁREA (HA)
1.1.1	Tejido urbano continuo	12,90%	63521,272	6,35
1.1.2	Tejido urbano discontinuo	2,81%	13831,698	1,38
1.2.1	Zonas industriales o comerciales	0,01%	73,539	0,00
1.2.2	Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	21,56%	106174,58	10,61
1.2.5	Obras hidráulicas	0,67%	3284,295	0,32
1.4.1	Zonas verdes urbanas	37,10%	182692,614	18,26
1.4.2	Instalaciones recreativas	1,17%	5763,972	0,57
2.3.1	Pastos limpios	2,82%	13865,311	1,38
2.3.3	Pastos enmalezados	0,42%	2052,812	0,20
3.1.5	Plantación forestal	2,21%	10878,268	1,08
3.2.1	Herbazal	1,45%	7160,253	0,71
3.2.2	Arbustal	3,53%	17371,92	1,73
3.3.3	Tierras desnudas y degradada	13,34%	65677,733	6,56
4.1.1	Zonas Pantanosas	0,03%	141,339	0,01
TOTAL		**100,00%**	**492489,606**	**49,24**

El polígono Norte, a diferencia del sur, tiene un buen porcentaje de áreas de bosques y seminaturales, esto dado a los problemas de movimientos en masa que ha presentado la zona y por lo cual la alcaldía no ha dado vía libre para una ampliación de la urbanización en la zona.

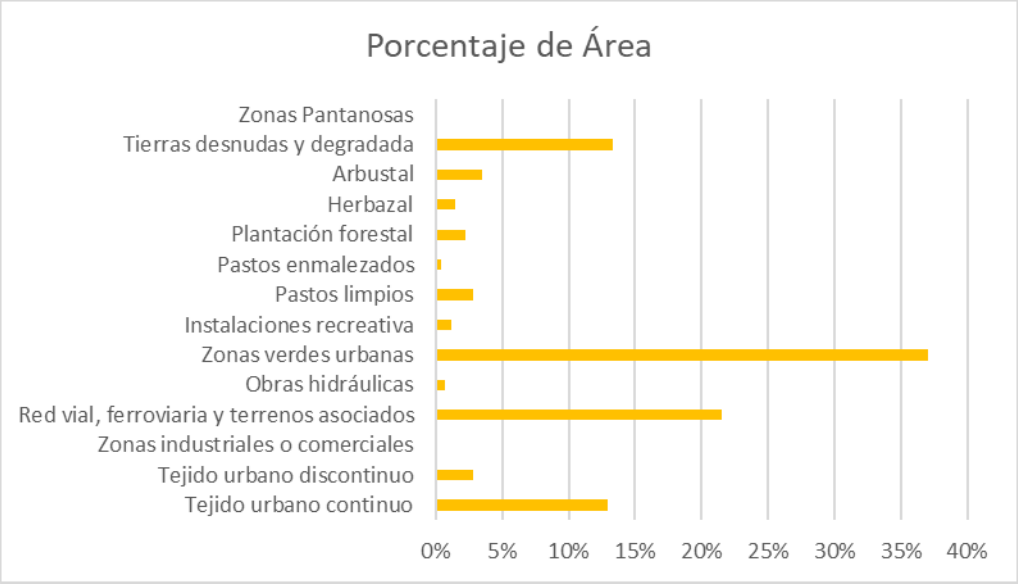


Figura 11.8 Porcentaje de área de polígono Norte

11.5 PATRONES DE COBERTURA

A manera ilustrativa y como ayuda visual para el estudio de las unidades de cobertura de la tierra, se presentan en la Tabla 11.4 los principales patrones de cobertura cartografiados en campo.

Tabla 11.4 Patrones de Cobertura

FOTO	CÓDIGO	COBERTURA
	1.1.1	Tejido urbano continuo
	1.1.2	Tejido urbano discontinuo
	1.2.1	Zonas industriales o comerciales

FOTO	CÓDIGO	COBERTURA
	1.2.2	Red vial, ferroviaria y terrenos asociados
	1.2.5	Obras hidráulicas
	1.4.1	Zonas verdes urbanas
	1.4.2	Instalaciones recreativas

FOTO	CÓDIGO	COBERTURA
	2.3.2	Pastos arbolados
	2.3.3	Pastos enmalezados
	3.1.5	Plantación forestal
	3.2.1	Herbazal

FOTO	CÓDIGO	COBERTURA
	3.2.2	Arbustal
	3.3.3	Tierras desnudas y degradada
	3.3.4	Zonas Quemadas

11.6 ESPECÍMENES VEGETALES DE LA ZONA

Fueron encontradas las especies que mencionan se presentan en la Tabla 11.5, en donde se identifica desde plantas nativas hasta algunas invasivas, un ejemplo de estas últimas es cafeto. Algunas de estas especies se han desarrollado debido a plantaciones antropomórficas.

Tabla 11.5 Especímenes vegetales de la zona

ESPECIES	NOMBRE COMÚN
Alistonia	Tonduzia stenophylla
Clemón	Thespesia populnea
Roble morado	Tabebuia rosea
Acacia	Acacia mangium
Olivo verde	Olea europaea
Lluvia de oro	Cassia fistula
Uva playa	Coccoloba uvifera

11.6.1 Alistonia

Árbol de gran altura, puede alcanzar hasta 40 metros de altura, pueden alcanzar hasta 30 cm de diámetro. Su tasa de crecimiento es media y tiene una longevidad de entre 30 y 60 años. Raíces de contra fuerte que se caracterizan por tener un ancho pequeño a comparación a la altura.

11.6.2 Clemón

Árbol de media altura, alcanza 20 metros de altura con un diámetro de tronco de 20 cm. Sistema radicular mediano, longevidad media perduran entre 30 y 60 años.

11.6.3 Roble Morado

Árbol de media altura, alcanza hasta 20 metros de altura. Muy común en la ciudad de Barranquilla por su floración. El diámetro de tronco puede alcanzar entre los 15 y 20 cm. Longevidad media de entre 30 a 60 años.

11.6.4 Acacia

Árbol de mediana altura, puede alcanzar hasta 30 metros de altura, diámetro de hasta 60 cm. Longevidad baja desde 0 hasta 35 años. Se utiliza como espécimen de reforestación.

11.6.5 Olivo Verde

Árbol de pequeña altura, puede alcanzar entre 8 y 10 metros de altura. Diámetro de hasta 20 cm. Su tronco crece de manera torcida.

11.6.6 Lluvia de Oro

Árbol de altura media, alcanza hasta 15 metros de altura. Común en Barranquilla por sus colores amarillos. Alcanzan diámetros de hasta 25 cm.

11.6.7 Uva Playa

Árbol de altura media, alcanza hasta 15 metros de altura. Tronco grueso que alcanza hasta 50 cm. Longevidad alta, de hasta 60 años.

11.7 PROFUNDIDAD EFECTIVA

La profundidad efectiva es un atributo del sistema radicular que determina hasta que profundidad llegan las raíces en el suelo. Las raíces actúan como refuerzo y sostén del suelo incrementando la resistencia al cortante y la resistencia a la fuerza tractiva del agua. La forma como las raíces actúan en cada caso está determinada por el tipo de planta y por las condiciones del suelo. En la Tabla 11.6 se presenta la clasificación de la profundidad efectiva de acuerdo con su incidencia en la generación de movimientos en masa.

Tabla 11.6 Clasificación de la profundidad efectiva

PROFUNDIDAD EFECTIVA	RANGO (CM)	SUSCEPTIBILIDAD
Muy Superficial	Menos de 25	5 - Muy Alta
Superficial	25-50	4 - Alta
Moderadamente Profundo	50-100	3 - Media
Profundo	110-150	2 - Baja
Muy Profundo	Mayor de 150	1 - Muy Baja

Fuente: FAO 2006.

De acuerdo con el anterior criterio y apoyados con el manual de evapotranspiración del cultivo de la FAO (2006), en la Tabla 11.7 se relacionan las coberturas de la tierra identificadas en el área de estudio con su correspondiente atributo de profundidad efectiva.

Tabla 11.7 Profundidad efectiva según cobertura polígono sur

COBERTURA	ÁREA (HA)	ÁREA (%)	PROFUNDIDAD EFECTIVA	SUSCEPTIBILIDAD
Tejido urbano continuo	898,46	49,43%	0	5
Tejido urbano discontinuo	567,70	31,23%	0	5
Zonas industriales o comerciales	1,98	0,11%	0	5
Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	230,20	12,67%	0	5
Obras hidráulicas	16,41	0,90%	0	5
Zonas verdes urbanas	7,19	0,40%	1	3
Instalaciones recreativas	14,67	0,81%	0	5
Pastos limpios	37,06	2,04%	1	3
Pastos arbolados	24,27	1,34%	3	1
Pastos enmalezados	7,36	0,41%	2	1
Tierras desnudas y degradadas	3,97	0,22%	0	5
Zonas quemadas	8,28	0,46%	0	5

Tabla 11.8 Profundidad efectiva según cobertura polígono Norte

COBERTURA	ÁREA (HA)	ÁREA (%)	PROFUNDIDAD EFECTIVA	SUSCEPTIBILIDAD
Tejido urbano continuo	6,35	12,90%	0	5
Tejido urbano discontinuo	1,38	2,81%	0	5
Zonas industriales o comerciales	0,01	0,01%	0	5
Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	10,62	21,56%	0	5
Obras hidráulicas	0,33	0,67%	0	5
Zonas verdes urbanas	18,27	37,10%	1	3
Instalaciones recreativas	0,58	1,17%	0	5

COBERTURA	ÁREA (HA)	ÁREA (%)	PROFUNDIDAD EFECTIVA	SUSCEPTIBILIDAD
Pastos limpios	1,39	2,82%	1	3
Pastos enmalezados	0,21	0,42%	2	1
Plantación forestal	1,09	2,21%	3	1
Herbazal	0,72	1,45%	3	1
Arbustal	1,74	3,53%	2	1
Tierras desnudas y degradada	6,57	13,34%	0	5
Zonas Pantanosas	0,01	0,03%	0	5

Las coberturas que presentan muy alta susceptibilidad a los movimientos en masa son las zonas que presentan baja vegetación en general. Las zonas con más vegetación obtienen resistencia adicional al esfuerzo cortante dado a la profundidad de las raíces que se encuentran en la zona.

12 AMENAZA SÍSMICA REGIONAL

La Ciudad de Barranquilla se ubica en una zona de amenaza sísmica baja, calificación soportada por recientes investigaciones geológicas, sismológicas, neotectónicas y de sismicidad histórica a nivel nacional, realizadas principalmente por el Servicio Geológico Colombiano-SGC, la Universidad Nacional, la Universidad de los Andes y la Asociación de Ingeniería Sísmica-AIS, entre otros. Tales investigaciones han sido complementadas y verificadas con los registros instrumentales de la Red Sismológica Nacional de Colombia-RSNC y la Red Nacional de Acelerógrafos de Colombia-RNAC, una y otra operada por el SGC.

En particular, de acuerdo a la Actualización del Mapa Nacional de Amenaza Sísmica de Colombia (SGC & U.Nal, 2010), se estimó para Barranquilla una aceleración máxima del terreno-PGA (a nivel de roca) de 93 cm/seg² correspondiente a un tiempo de exposición de 75 años con una probabilidad de excedencia del 7.0% (lo que se traduce en un periodo de retorno de aproximadamente 975 años), identificando que las fuentes sismogénicas que controlan la amenaza para la ciudad se asocian a los sistemas de fallas relacionados en la Tabla 12.1 (Ver Figura 12.1).

En la Figura 12.2 se pueden apreciar las curvas individuales de tasa de excedencia para cada una de las fuentes consideradas en el mencionado estudio, así como la curva de excedencia total (en negrilla) para la ciudad de Barranquilla en términos del PGA, observándose también las curvas específicas de excedencia de las cinco fuentes que más contribuyen a la amenaza para la ciudad.

Tabla 12.1 Fuentes sismogénicas que controlan el nivel de amenaza sísmica en el municipio de Barranquilla para Tr = 1000 años

CIUDAD	PGA (gales)	FUENTES CONTRIBUYENTES				
		CODIGO	FUENTE	PGA (gales)	ESTRUCTURAS ASOCIADAS	Mw max.
Barranquilla	93	7	rosm	78	María La Baja_Romeral	6,7
		46	nor	62	Norte	6,0
		2	carw	26	CaribeW	6,7
		6	stam	26	Santa Marta	6,7
		4	ocac	17	Oca	6,7

Fuente: Alvarado C., 2010 en SGC & U. Nal, 2010

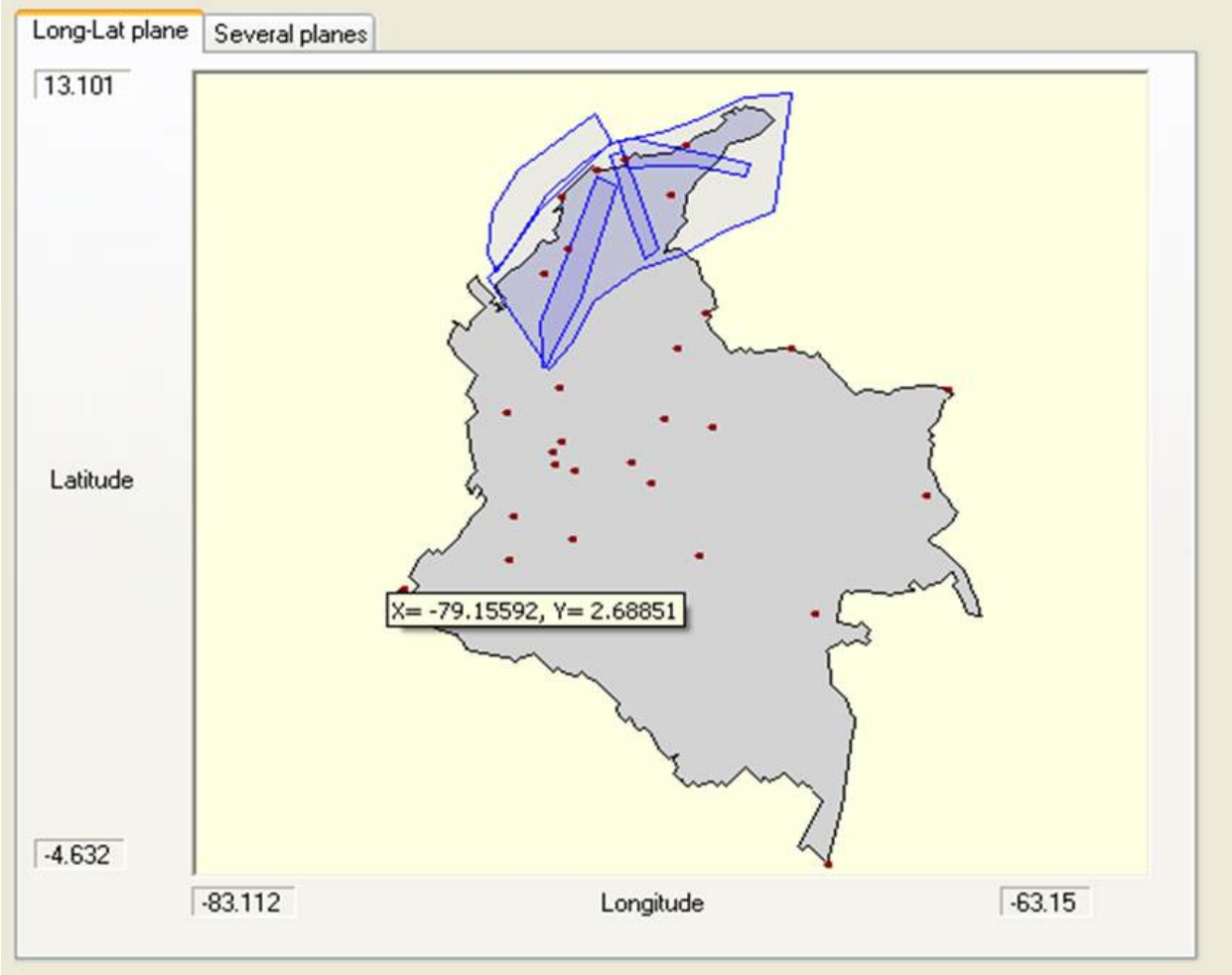


Figura 12.1 Fuentes sismogénicas que más contribuyen al nivel de amenaza sísmica de la ciudad de Barranquilla

Fuente: Alvarado C., 2010 en SGC & U. Nal, 2010

Además, con base en los resultados de dicho estudio se dispone de la siguiente información de referencia:

- Espectros Uniformes de Amenaza (UHS) para diferentes periodos de retorno, a nivel de roca, los cuales se presentan en la Figura 12.3. En particular, como se ha mencionado anteriormente, se observa que el PGA es de 93 cm/seg² para un periodo de retorno de 975 años. Este resultado es congruente con el parámetro de "Aceleración Pico Horizontal-PGA" que establece la Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP14 (AIS, 2014), en su Sección 3-Numeral 3.10.2.1, el cual para la ciudad de Barranquilla es de 0.10g para un periodo de retorno de 1000 años aproximadamente.
- Con base en la Desagregación de la Amenaza, se estima que el escenario sísmico de diseño más probable, en términos de PGA (en roca), se asocia a una magnitud 6.3 < Mw < 6.8 y a una distancia 40 < d < 45 Km.

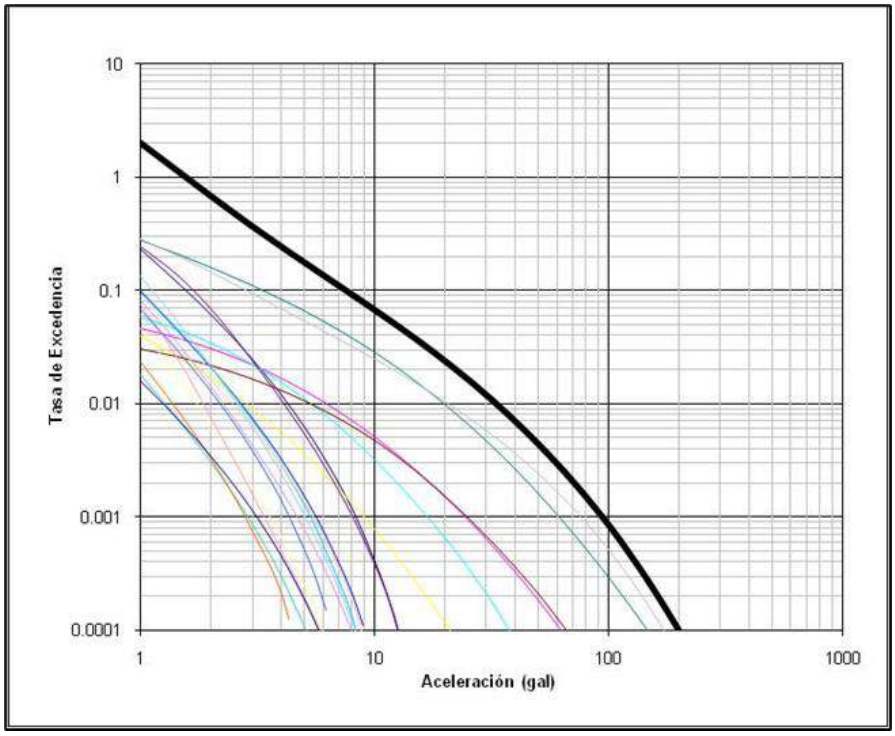


Figura 12.2 Curvas de Tasa de excedencia total e individual por fuente sísmica en términos del PGA para la ciudad de Barranquilla

Fuente: Alvarado C., 2010 en SGC & U. Nal, 2010

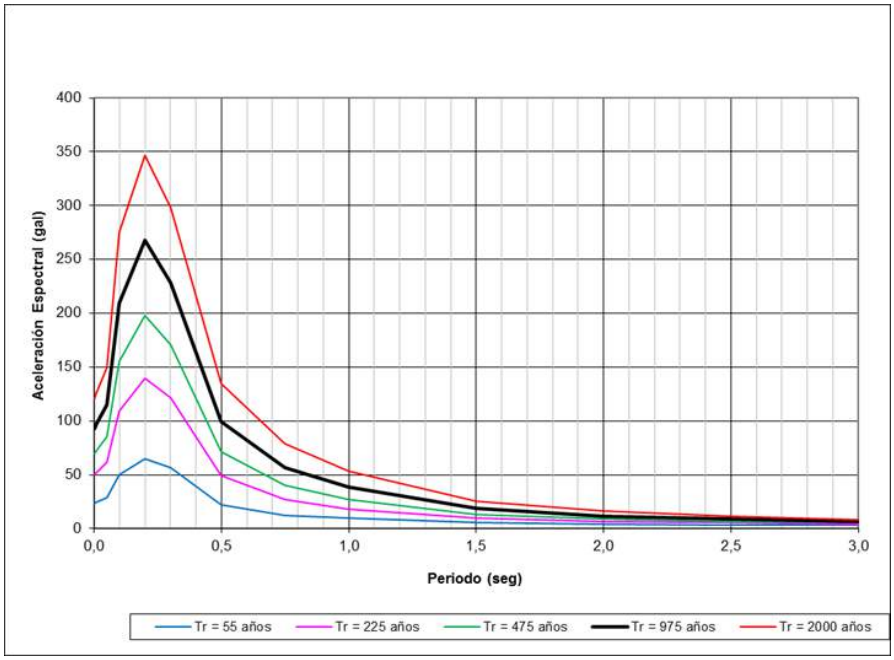


Figura 12.3 UHS a nivel de roca, en función del periodo de retorno para la ciudad de Barranquilla

Fuente: Alvarado C., 2010 en SGC & U. Nal, 2010

Los anteriores resultados obedecen a una escala de trabajo regional, proporcionando valores de aceleración a nivel de roca, sin tener en cuenta detalles geológicos y geotécnicos que para un sitio en particular podrían ser relevantes. Por consiguiente, los niveles de aceleración a nivel de la superficie del terreno podrían ser mayores debido a efectos de amplificación y de licuación por los tipos de material que conforman el perfil estratigráfico del subsuelo en el sitio de implantación del puente, aspecto que se presenta a continuación.

12.1 SELECCIÓN DE SEÑALES DE DISEÑO

Como es bien conocido los resultados de un estudio de amenaza sísmica probabilística, incluyen la interacción simultanea de muchos eventos a diferentes distancias, esto conlleva a que los resultados obtenidos correspondan a la agregación de la amenaza potencial de las diferentes fuentes incluidas en el análisis, por lo tanto, los resultados obtenidos a través de un análisis probabilístico de amenaza no están asociados con una magnitud particular y distancia de ocurrencia de un sismo, sin embargo, para propósitos de ingeniería sísmica y estudios de microzonificación sísmica, resulta muy útil determinar que combinación de magnitud y distancia controlan el escenario de amenaza sísmica de un lugar en particular, pues esto permite seleccionar y/o generar señales sísmicas que sean consistentes con el escenario de amenaza, para después ser utilizadas en la evaluación de la respuesta sísmica local del subsuelo.

La selección de registros de movimientos fuertes o señales “reales”, en roca, obedece a la definición más apropiada del escenario sísmico compatible con la amenaza, como función de la magnitud de la fuente y su distancia a la ciudad. Como se mencionó anteriormente, para el presente estudio se utilizará una pareja magnitud – distancia asociada a un escenario sísmico más probable de $6.3 < Mw < 6.8$, y, $40 < d < 45$ Km. En este orden de ideas, se consideró el procedimiento planteado por Bommer et al. (2000), asociando la amenaza a diferentes parámetros de movimiento fuerte, en especial la aceleración máxima y la aceleración espectral para algunos periodos de interés.

De esta forma y teniendo en cuenta recientes trabajos al respecto, los criterios de selección establecidos fueren los siguientes:

- ✓ $6.0 < M < 6.8$
- ✓ $d < 50$ Km
- ✓ PGA < 150 cm/seg²
- ✓ Terreno = Roca
- ✓ Fuente: Cortical

De esta forma, se buscaron acelerogramas en bases de datos de registros reales, como los de la Red Nacional de Acelerógrafos y de otros países, los cuales se escalaron a un valor de referencia de PGA de 0,10g, de acuerdo con los valores establecidos por la Norma CCP14, como se ha mencionado anteriormente. Tales señales junto con sus características más relevantes se presentan en la Tabla 12.2 y Figura 12.4.

Tabla 12.2 Señales utilizadas compatibles con el escenario de amenaza sísmica para Barranquilla

YEAR	MONTH	DAY	NAME	Ms	Mw	Ml	mb	STATION	R-E	R-F	PGA	PGV	AI
1935	10	31	HELENA	6,0				CARR.COLL.	2,0	8,0	0,142	6,84	0,075
1976	9	15	FRIULI	6,0	6,0	6,1	5,4	ROBIC	39,3	12,0	0,086	2,74	0,043
1999	1	25	QUINDIO			6,2		CBOCA	34,0	42,0	0,084		

Nota: R-E: Ms: Magnitud de Superficie, Mw: Magnitud de Momento, Ml: Magnitud local (Richter), mb: Magnitud de Cuerpo, R-E: Distancia Epicentral (Km), R-F: Distancia Focal (Km), PGA: Aceleración Pico del Terreno, PGV: Velocidad Pico del Terreno, AI: Intensidad de Arias

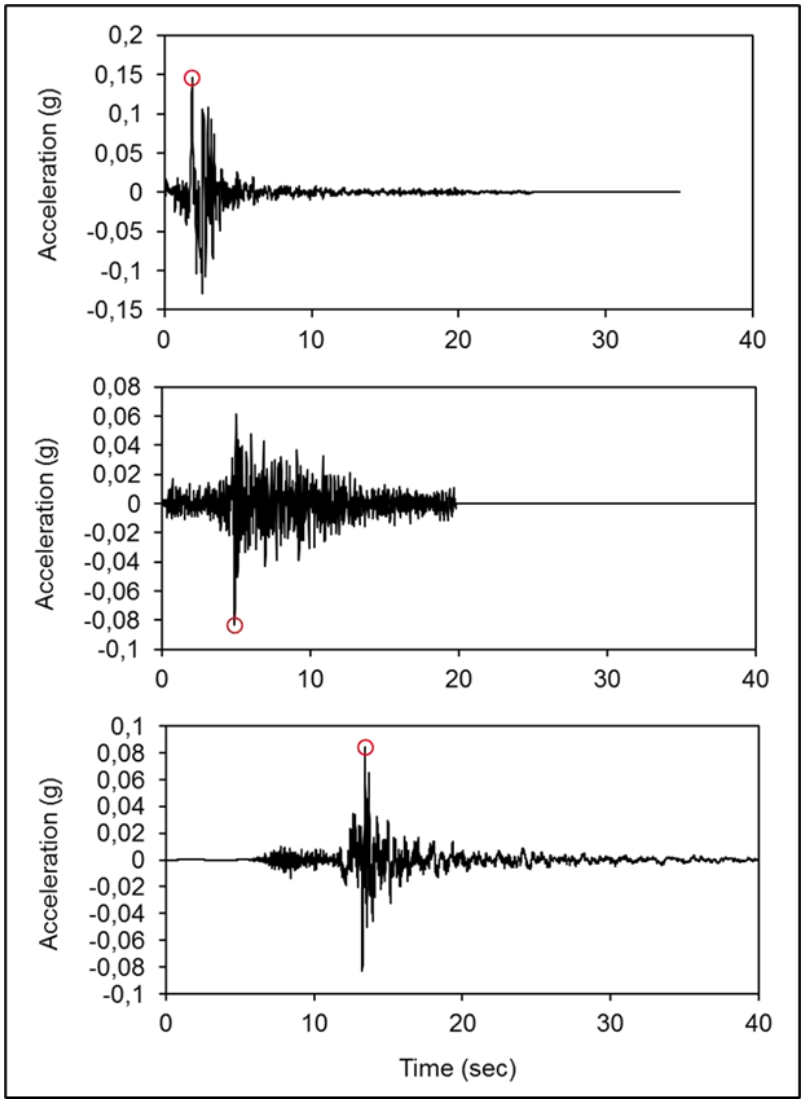


Figura 12.4 Señales de diseño (acelerogramas de movimientos fuertes) utilizadas en la modelación de respuesta sísmica local

i) Sismo de Helena (arriba), ii) Sismo de Friulli (medio), y iii) Sismo del Quindío (abajo)

13 MODELO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO

El modelo geológico geotécnico corresponde a un plano que compila aspectos geológicos, geomorfológicos, tipo de materiales, espesores, propiedades geotécnicas de los materiales, que permiten evaluar la estabilidad para obtener la amenaza por remoción en masa de manera probabilística. Realizando los anteriores análisis se obtiene el mapa de zonificación geotécnica, en la que se han caracterizado y asignado propiedades geotécnicas a los diferentes materiales aflorantes en la zona de estudio. Para tal fin hemos partido de los estudios de geología y geomorfología, realizados previamente.

Para efectos de caracterización se ha mantenido la misma simbología del mapa de unidades geológicas superficiales, pero se ha adicionado una pequeña descripción de tipo geotécnica.

A continuación, se realiza una descripción de las principales Unidades Geotécnicas aflorantes en la zona de estudio:

13.1 ARENAS DE LA FORMACIÓN PERDICES

Son arenas sueltas a pobremente compactadas asociadas a los estratos de la Formación Las Perdices, se componen de arenas de grano fino a grueso, deleznable, compuesta por granos subangulares a subredondeados, de color gris amarillento, con tintes rojizos de oxidación, se intercalan lentes de arena gravosa con granos subredondeados constituidos por cuarzo y chert. Las gravas se componen de cantos subredondeados, de cuarzo con forma de huevos de pato y chert. En general presenta un ángulo de fricción pico de 21 grados y en condición residual es de 15 grados. Debido a su estado suelto, no se mantienen taludes superiores a los 15 grados.

13.2 ARCILLOLITAS LÁMINAS DE LA FORMACIÓN PERDICES

Está constituida principalmente por arcillolitas y shales (arcillolita fisil) de color verde oliva a gris verdoso, con algunas intercalaciones de limolitas y areniscas de grano muy fino a fino, color gris amarillento, friables. Las arcillolitas son de color gris oscuro, verde oliva y pardo amarillento, con yeso diseminado en láminas delgadas, se encuentran interestratificadas con areniscas friables, de grano fino a grueso, con capas entre 5 centímetros y 1 metro de espesor. En algunos sectores las arcillolitas pasan a ser arenosas con lentes de gravas, adquiriendo consistencia dura. Presentan laminación plana paralela a suavemente ondulada. Estas rocas generan un suelo residual arcillo arenoso de color marrón, de consistencia media, plástico y expansivo.

Estas arcillolitas cuando están inalteradas, en general son duras, compactas, de consistencia alta, se parten en pequeños nódulos y tienen fractura concoidal. Cuando se encuentran alteradas desarrollan suelos residuales arcillosos, de color café a gris oscuro, de poco espesor, menor a 1 metro, muy plásticos y adquieren propiedades expansibles, observándose que la mayor parte de las viviendas ubicadas sobre estos materiales presentan problemas de agrietamientos y hundimientos. También se caracterizan por que en laderas con pendientes moderadas tienden a reptar y generar

movimientos en masa al saturarse. En general, una vez estas arcillas se mueven llegan a la condición residual muy rápidamente, con valores de fricción cercanos a los 10 grados. Una vez saturados pueden llegar a comportarse como un flujo.

13.3 ARCILLOLITAS CALCÁREAS DE LA FORMACIÓN LA POPA

Se caracteriza por estar compuesta por arcillolitas calcáreas masivas (margas), color gris verdoso a gris amarillento, con presencia esporádica de fragmentos calcáreos). Se presentan esporádicamente intercalaciones delgadas de areniscas arcillosas, friables, de grano medio, color amarillo. (INGEOMINAS 2011). En condición inalterada, pueden tener una resistencia al corte no drenado de hasta 600 kPa.

13.4 SUELOS DE CAUCE Y TERRAZAS ALUVIALES

Son sedimentos recientes que han sido transportados y depositados por los ríos y quebradas, conformando los cauces activos y abandonados, llanuras de inundación, terrazas bajas y medias.

Estos materiales presentan diferente composición y textura, dependiendo del tipo del material que ha sido erodado por las corrientes superficiales. Se componen de arenas ricas en cuarzo y feldespato, de grano medio a grueso que varían a arcillas lodosas y arenosas, con cantos de caliza arrecifal, arenisca y arcillolita. El espesor de estos depósitos en los canales de los arroyos principales no sobrepasa los 3 metros. (INGEOMINAS 2011). Se caracterizan por presentar un peso unitario bajo (alrededor de 18 kPa), se encuentra en general muy suelto y se caracteriza por su baja resistencia y alta compresibilidad.

En algunos los cauces de los arroyos han sido rellenados para construcción de vías y viviendas como por ejemplo el de la calle 86 en el sector del parque residencial Balcones de La Colina. En otros sectores el cauce ha sido reducido por efecto de botaderos de basura y canalizaciones de estos

13.5 LLENOS ANTRÓPICOS DE ESCOMBROS Y BASURAS

Corresponden a acumulación de desechos domésticos sólidos, orgánicos e inorgánicos, así como escombros de construcción, dispuestos de manera caótica sobre laderas, cauces de arroyos y zonas planas y sobre algunos de éstos se han construido viviendas que se localizan principalmente hacia el oriente de la zona estudiada, hacia la parte media y alta de las laderas asociadas con los escarpes de las Calizas Arrecifales de La Formación La Popa. Estos materiales presentan poca compactación, son altamente compresibles, con alta porosidad y permeabilidad saturándose fácilmente y en laderas han generado movimientos en masa, en general presentan valores de cohesión y ángulos de fricción bajos, los que los hace altamente susceptibles a los movimientos en masa. Esporádicamente se encuentran valores altos de fricción, que son ocasionados por la presencia de pequeños fragmentos tipo grava.

13.6 LLENOS ANTRÓPICOS DE DESECHOS DE MINERÍA Y ESCOMBROS

Estos llenos están compuestos principalmente por materiales calcáreos de tamaño arena, arcilla, grava y bloques, producto de excavaciones para minería y residuos de construcción (ladrillos, concreto, asfaltos, etc). La morfología que se desarrolla a partir de estos depósitos en la adecuación de terrenos para construcción en general es moderada a plana (INGEOMINAS 2011).

Se encuentran a lo largo de toda la zona de estudio, en alrededores de la avenida circunvalar al suroccidente de los arroyos Santo Domingo y El Salado; también al norte del barrio Villa San Carlos y al occidental del centro comercial Miramar. Presentan alta porosidad y permeabilidad, con buena capacidad de soporte cuando se disponen en capas compactadas. Sin embargo, se destaca que el botadero proveniente de la actividad minera en Miramar, se encuentra muy suelto y se caracteriza por los bajos valores de resistencia (el ángulo de fricción promedio es de 16 grados, pero eventualmente puede llegar a valores de 7 grados).

13.7 CALIZAS ARRECIFALES DE LA FORMACIÓN LA POPA

La unidad de Roca Dura de Calizas Arrecifales está asociada al Conjunto Superior de la Formación La Popa y se caracteriza por la presencia de calizas arrecifales porosas, de color amarillo a crema, compuestas por fragmentos de conchas de bivalvos, interestratificadas, en estratos plano paralelos que varían entre 2 y 5 centímetros de espesor, conformando bancos hasta de 6 metros de altura. Esta unidad geotécnica hace parte de la zona de plataforma de abrasión, localizada principalmente en la parte alta, al oriente del área de estudio, generando una morfología suave a moderada que en algunos sectores sirven de límite superior a movimientos en masa como se observa los barrios La Ceiba y barrio 7 de Abril. Presenta unos parámetros de resistencia relativamente altos, pero su elevada porosidad, disminuye de manera drástica los parámetros del material inalterado.

13.8 ARCILLAS EXPANSIVAS

la presencia de arcillas expansivas que han generado importantes problemas de agrietamiento en viviendas de uno y dos pisos, donde la en la generalidad de los casos, no existe una adecuada cimentación de las viviendas.

Las arcillas expansivas en general corresponden a arcillas con un potencial de expansión alto, pudiendo llegar a valores de expansión del orden de 5.0 a 12.0 ton/m^2. Estos terrenos se caracterizan por su intenso agrietamiento, lo cual se manifiesta en afectaciones a viviendas que presentan deficiencias constructivas (viviendas de un piso).

Las arcillas expansivas se detectaron en su totalidad, en la formación perdices (conjuntos superior e inferior), constituidas por arcillas de color carmelito de alta plasticidad, con contenidos de humedad que fluctúan entre el 15% y 50%, límite líquido entre 50 %y 75%, y un {índice de plasticidad que varía entre 25% y 40%. Los resultados de expansión libre muestran expansiones superiores al 100%, lo cual es comprobable utilizando la metodología de Seed (1962).

Los resultados de los ensayos de laboratorio muestran que las arcillas de la formación Perdices clasifican como de media a alta expansión, con capacidad de cambios volumétricos altos. Este aspecto

está directamente relacionado con la existencia de minerales expansivos tipo montmorillonita y la predominancia de partículas tamaño arcilla. De igual manera se caracteriza por ángulos de fricción muy bajos (inferiores a 10 grados), lo que hace que en presencia de agua tienda a fluir. Este tipo de arcillas se encuentran ampliamente distribuidas en toda la zona de estudio.

13.9 ARENISCAS CUARZOSAS DE LA FORMACIÓN LA POPA

Está compuesta de arenisca de grano fino, cuarzosa, deleznable, con nódulos hasta de 10 centímetros de limonita y delgadas capas, muy duras, de arenisca cuarzosa, de grano medio a fino, de color amarillento, la matriz es arcillosa, de color marrón con presencia de hierro. Los granos son subangulares, compuestos por cuarzo cristalino y lechoso, feldespato y líticos. Hacia la base presenta capas de arena arcillosa, intercaladas con estratos de arcilla arenosa. Presenta una resistencia a la compresión uniaxial relativamente, alta, llegando a valores de hasta 140 kPa, pero la presencia de diaclasas rellenas de arcilla y limonita que debilita de manera importante la resistencia del material.

13.10 MOVIMIENTOS EN MASA

Son depósitos de materiales sueltos y heterogéneos, de suelos y/o fragmentos de roca angulares a subangulares, escombro de construcción y basuras depositados por la gravedad, reptación o movimientos de remoción en masa. Se caracterizan por ser materiales clasto-soportados o matriz-soportados según su origen, presentando fragmentos de calizas arrecifales, areniscas cuarzosas y arcillolitas, de tamaños variables entre pocos centímetros y varios metros, embebidos en una matriz arcillo arenosa variando a areno arcillosa.

En general estos depósitos de movimientos en masa son poco compactos y desarrollan una morfología de laderas moderadas, ocasionando abombamientos y hundimientos diferenciales del terreno donde en época de lluvias se acumula e infiltra el agua acelerando los procesos de inestabilidad. Este material presenta un ángulo de fricción residual de aproximadamente 11 grados, pero en algunas ocasiones puede llegar hasta los 7 grados, lo cual los hace muy susceptible a los deslizamientos en presencia de agua.

Finalmente, en la Tabla 13.1 se presenta un resumen de los principales parámetros de las diferentes unidades geotécnicas identificadas en la zona de estudio.

Tabla 13.1 Caracterización de la Unidades Geotécnicas

UGI	CODIGO	Humedad Nat (%)		Peso Unitario (kN/m3)		Resistencia a la compresión (kPa)		Resistencia al corte (kPa)	
		Promedio	Desviación	Promedio	Desviación	Promedio	Desviación	Promedio	Desviación
Arenas de la formación perdices	MASPE	11.76	8.842	18.400	1.800	40.000	4.000	-	-
Areniscas cuarzosas	RBAC	25.94	3.862	18.800	0.758	146.755	120.229	73.380	60.118
Arcillolitas laminadas formación perdices	RBAL	31.44	11.355	19.073	1.635	159.087	117.388	79.543	58.694
Arcillolitas calcareas formación la popa	RBAP	35.09	12.882	18.257	1.497	602.645	349.919	301.320	349.919
Calizas arrecifales formación la popa	RDCA	30.51	11.849	19.775	0.967	-	-	-	-
Suelos de cauce y terrazas aluviales	STAL	18.33	10.829	22.000	-	-	-	-	-
Llenos antropicos de escombros y basuras	STLAB	31.69	14.890	17.298	1.209	9.900	-	-	-
Llenos antropicos de desechos de minería y escombros	STLAE	16.27	8.462	20.335	1.386	54.700	-	-	-
Movimientos en masa	STMM	32.16	11.621	19.334	1.678	75.851	88.392	25.090	5.119

UGI	CODIGO	Angulo de fricción		Cohesión drenada (kPa)		Angulo de fricción Residual (°)		Cohesión drenada Residual (kPa)		Esfuerzo de preconsolidación	
		Promedio	Desviación	Promedio	Desviación	Promedio	Desviación	Promedio	Desviación	Promedio	Desviación
Arenas de la formación perdices	MASPE	21.000	5.000	0.000	-	15.000	-	0.000		-	-
Areniscas cuarzosas	RBAC	39.200	-	9.700	-	30.600	-	2.000	-	-	-
Arcillolitas laminadas formación perdices	RBAL	25.250	7.256	23.954	9.877	15.915	6.677	14.192	6.226	116.857	53.757
Arcillolitas calcareas formación la popa	RBAP	33.625	9.403	47.650	9.403	22.325	2.910	20.600	14.087	103.333	55.752
Calizas arrecifales formación la popa	RDCA	28.700	4.153	34.400	42.670	16.367	6.296	19.067	10.154	-	-
Suelos de cauce y terrazas aluviales	STAL	21.833	5.841	25.950	10.440	16.917	9.421	19.250	12.504	108	13.856
Llenos antropicos de escombros y basuras	STLAB	35.500	-	133.800	-	23.700	-	38.300	-	-	-
Llenos antropicos de desechos de mineria y escombros	STLAE	13.260	1.856	53.300	11.215	14.550	1.343	19.775	7.433	140	-
Movimientos en masa	STMM	20.031	7.669	35.056	23.447	11.320	4.504	23.669	14.742	116.917	51.412

13.11 PERFILES GEOLÓGICO – GEOTÉCNICOS

A partir de la topografía, las coberturas geológicas, la geomorfología, las perforaciones, los niveles freáticos encontrados en la exploración y los resultados de ensayos de laboratorio se definen en la planta de la zona perfiles de análisis en los sitios de interés identificados. Los perfiles fueron trazados considerando laderas homogéneas en la zona y previendo que pudieran ser utilizados luego para la implantación de obras de mitigación.

La vista en planta de la ubicación de los perfiles para el polígono norte (Miramar) se muestra en la Figura 13.1 y para el polígono sur (Ladera) en la Figura 13.2:



Figura 13.1 Vista en planta de los perfiles del sector del polígono norte.

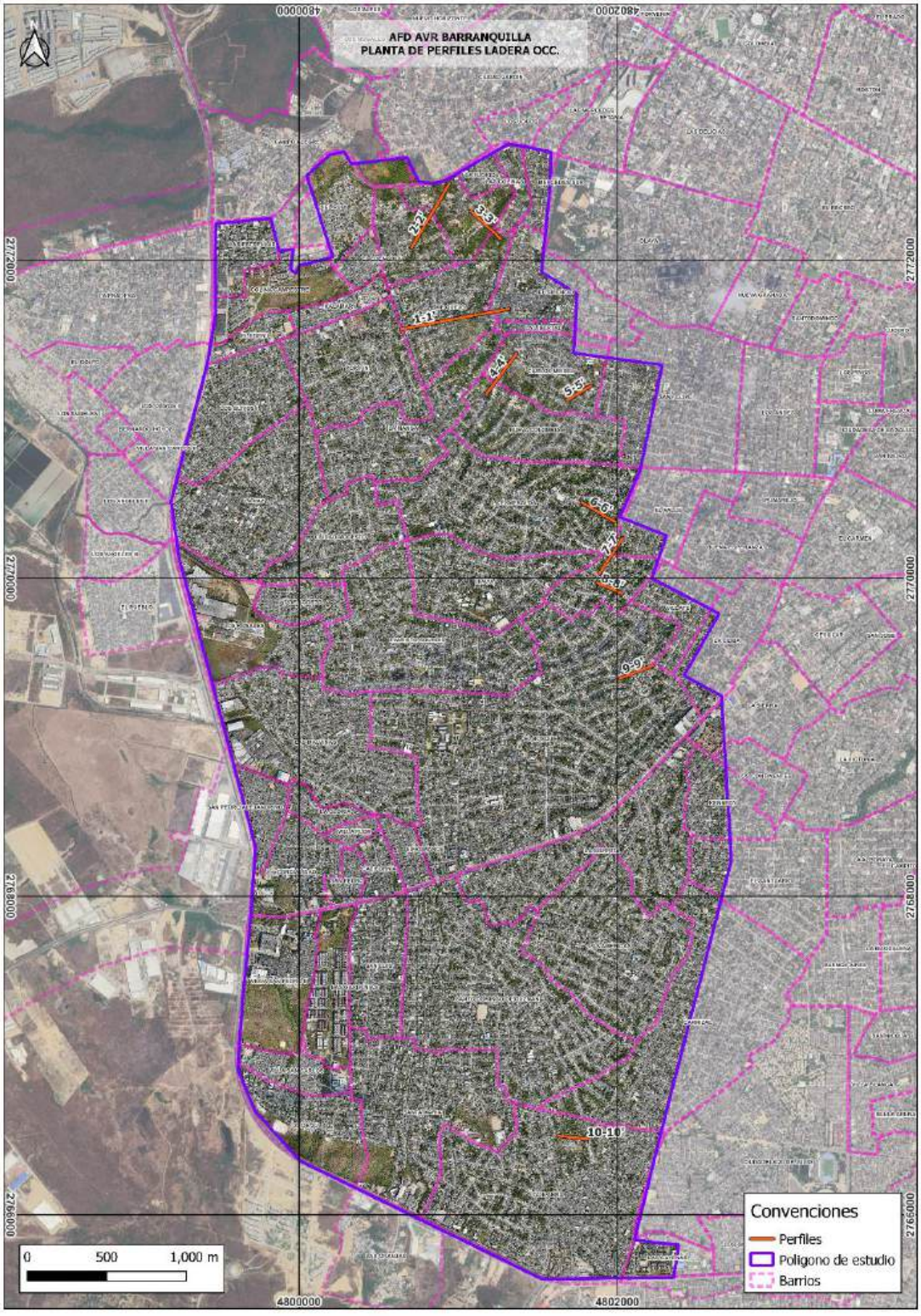


Figura 13.2 Vista en planta de los perfiles del sector del polígono sur.

Los modelos geológico – geotécnicos de los perfiles se presentan de la Figura 13.3 a la Figura 13.19:

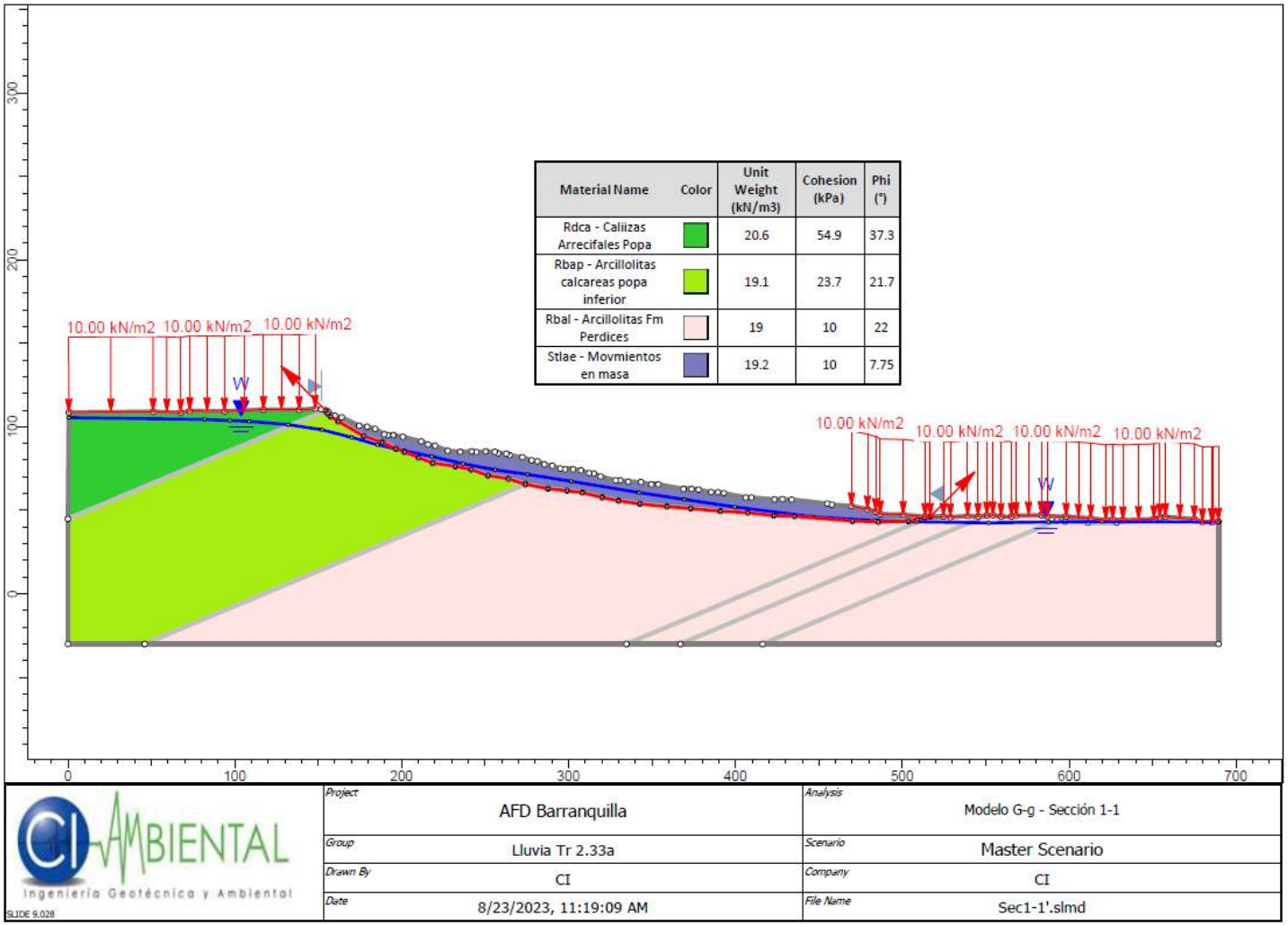


Figura 13.3 Perfil geológico-geotécnico Ladera Sección 1-1'.

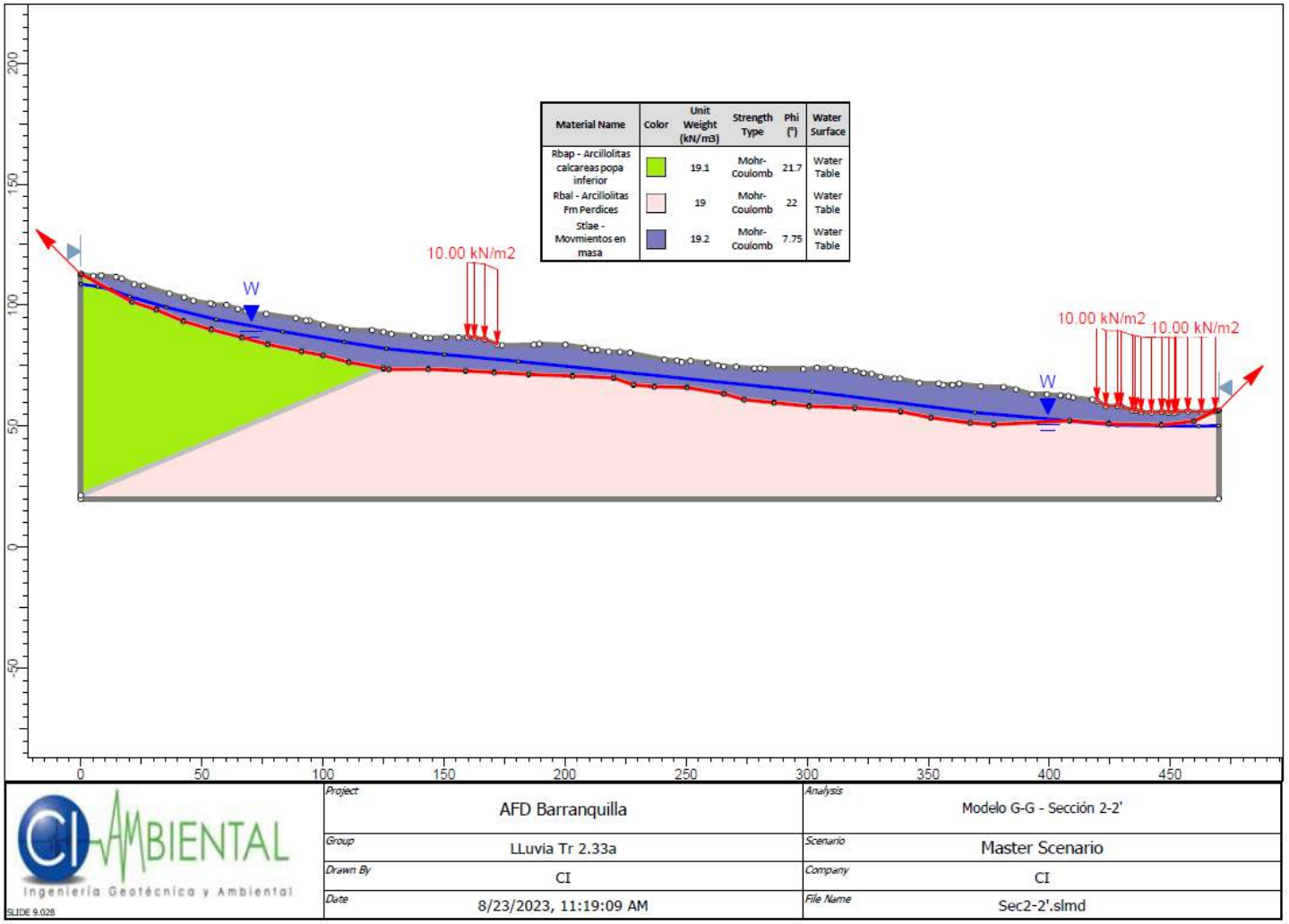


Figura 13.4 Perfil geológico-geotécnico Ladera Sección 2-2'.

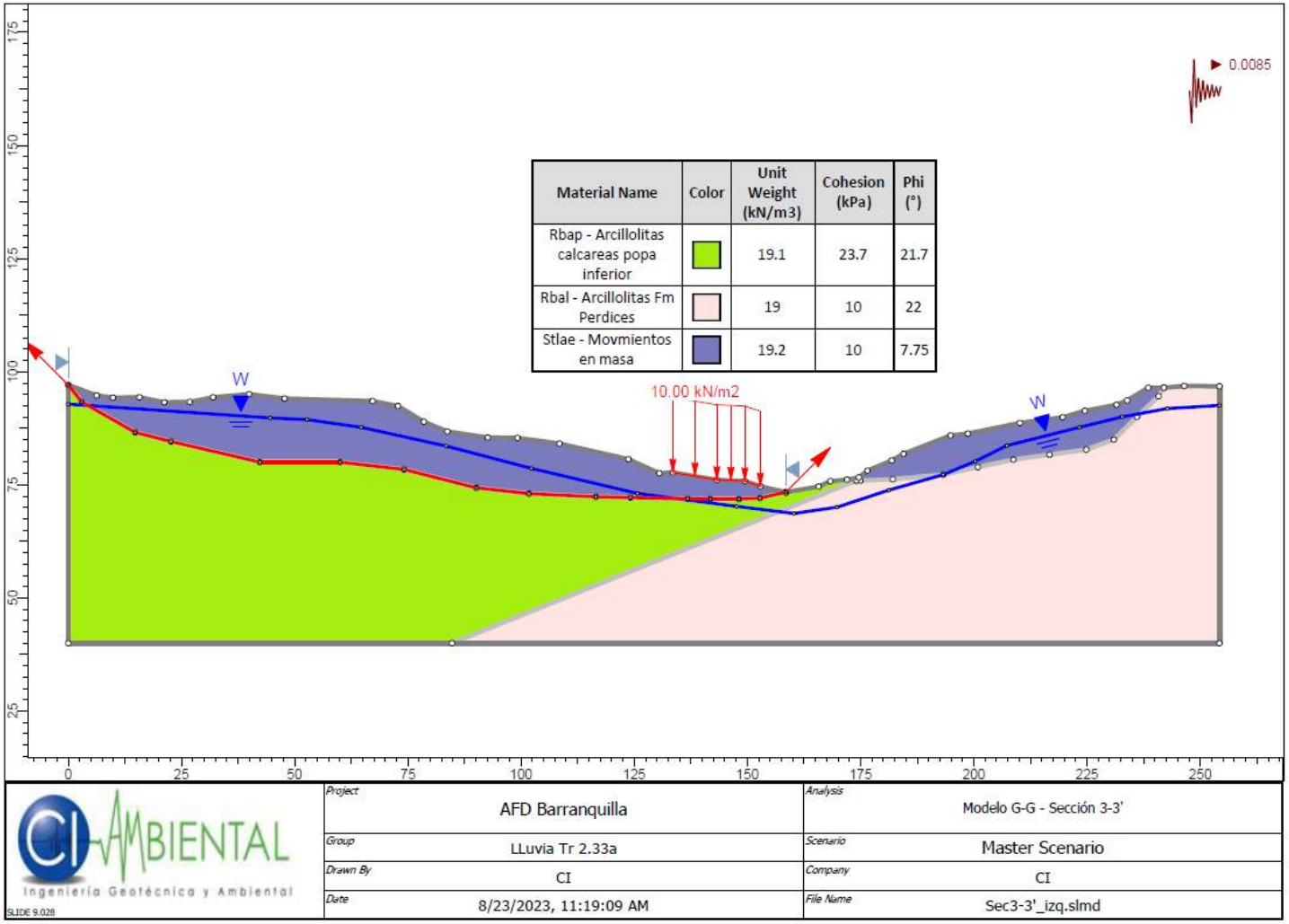


Figura 13.5 Perfil geológico-geotécnico Ladera Sección 3-3'.

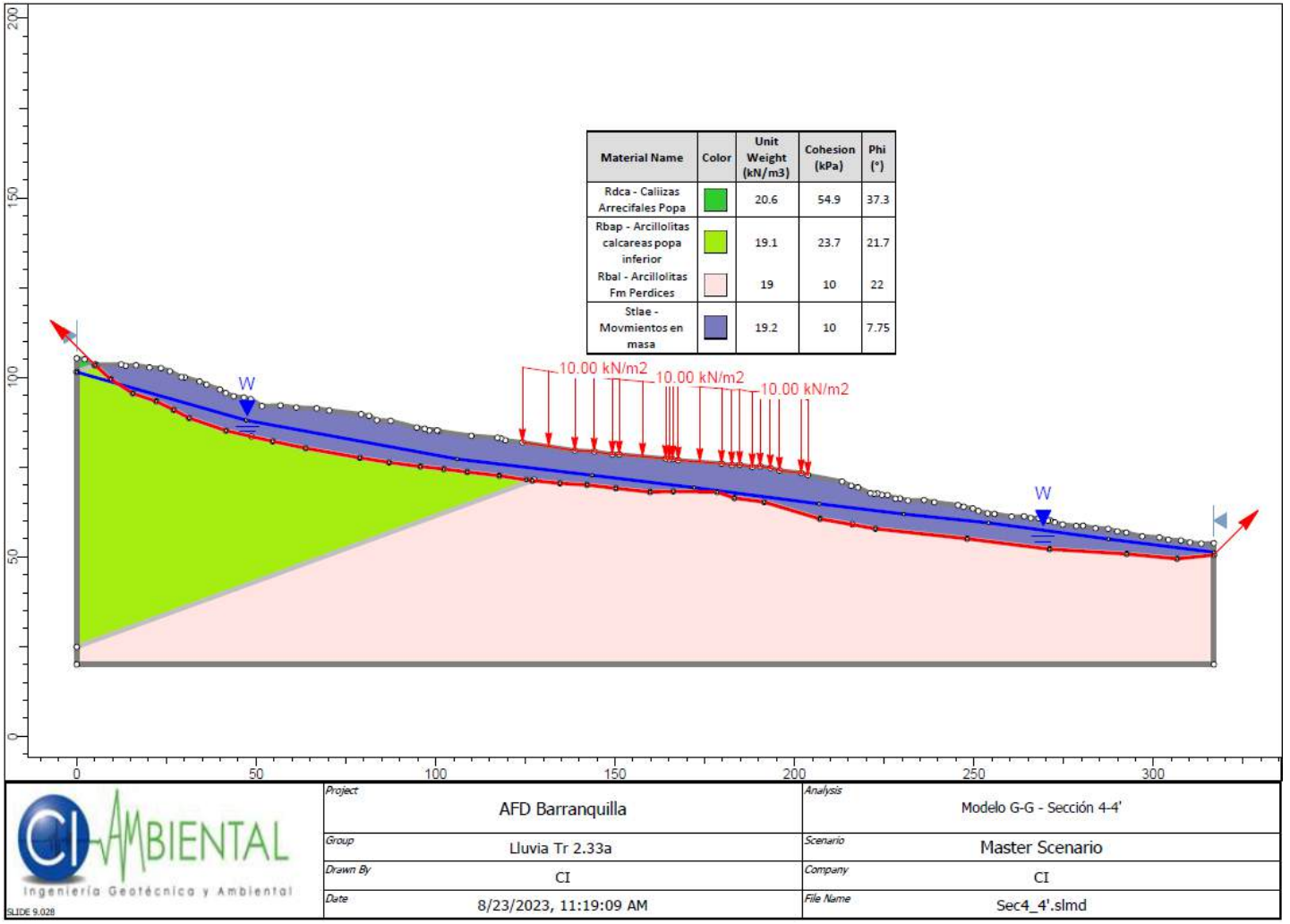


Figura 13.6 Perfil geológico-geotécnico Ladera Sección 4-4'.

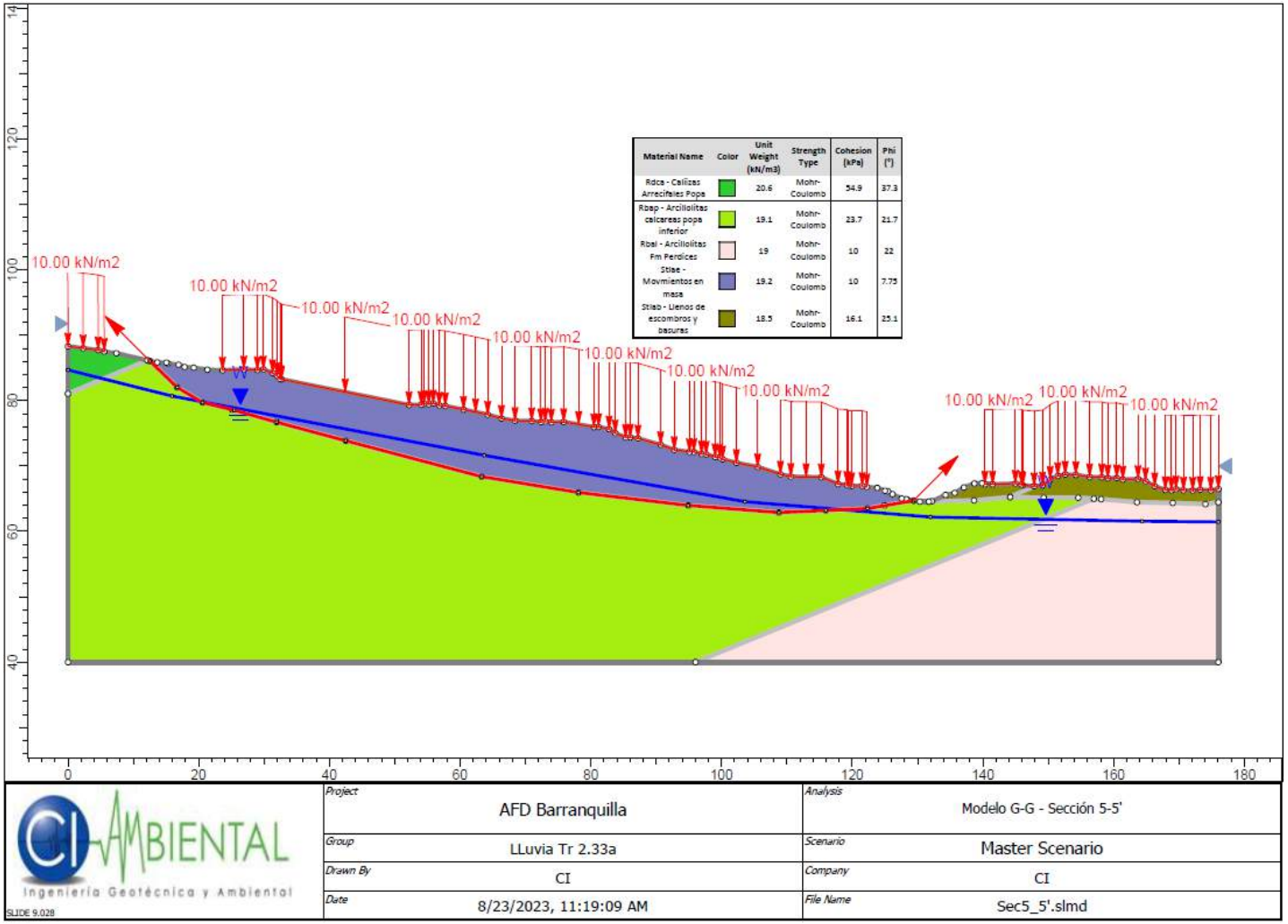


Figura 13.7 Perfil geológico-geotécnico Ladera Sección 5-5'.

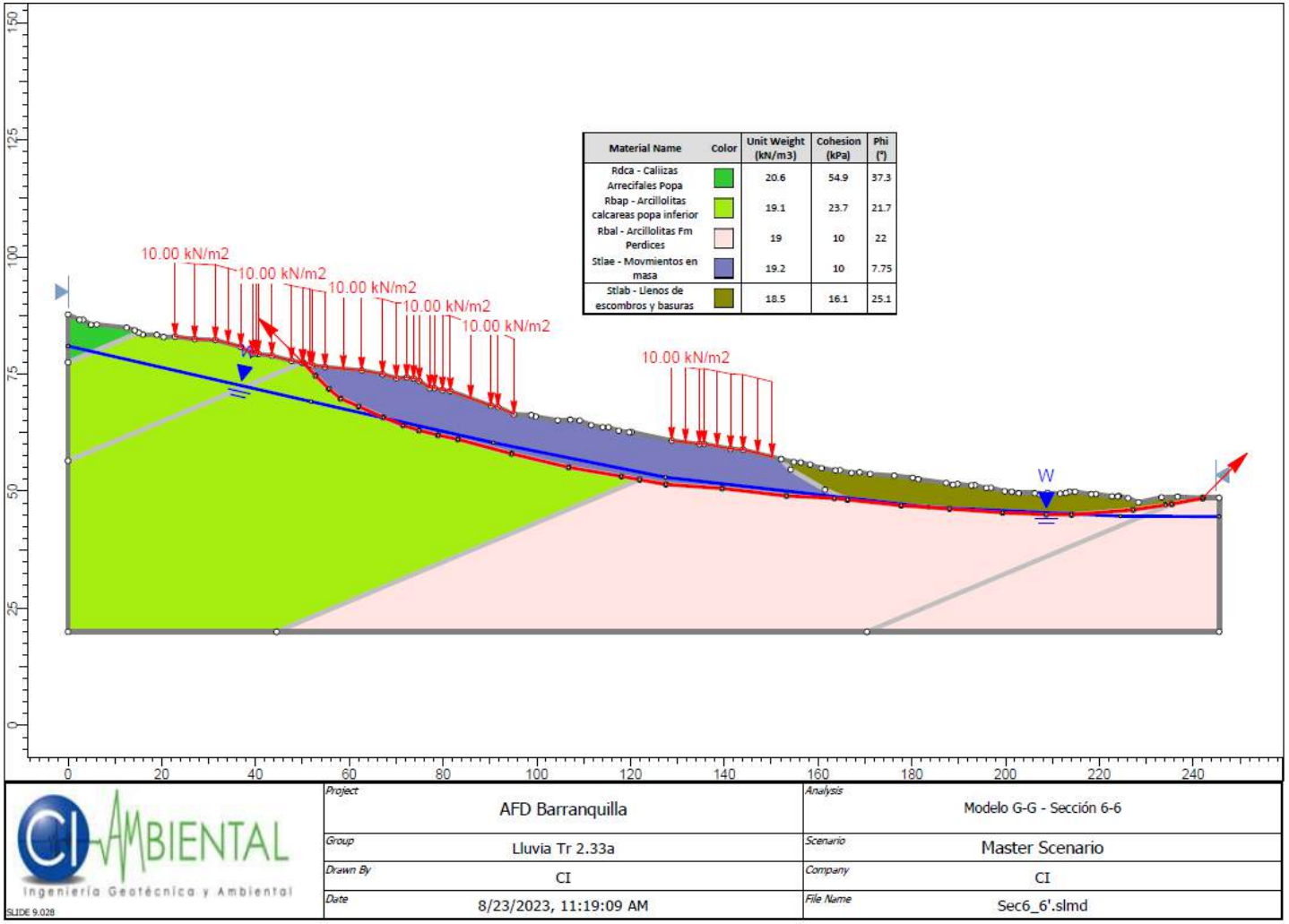


Figura 13.8 Perfil geológico-geotécnico Ladera Sección 6-6'.

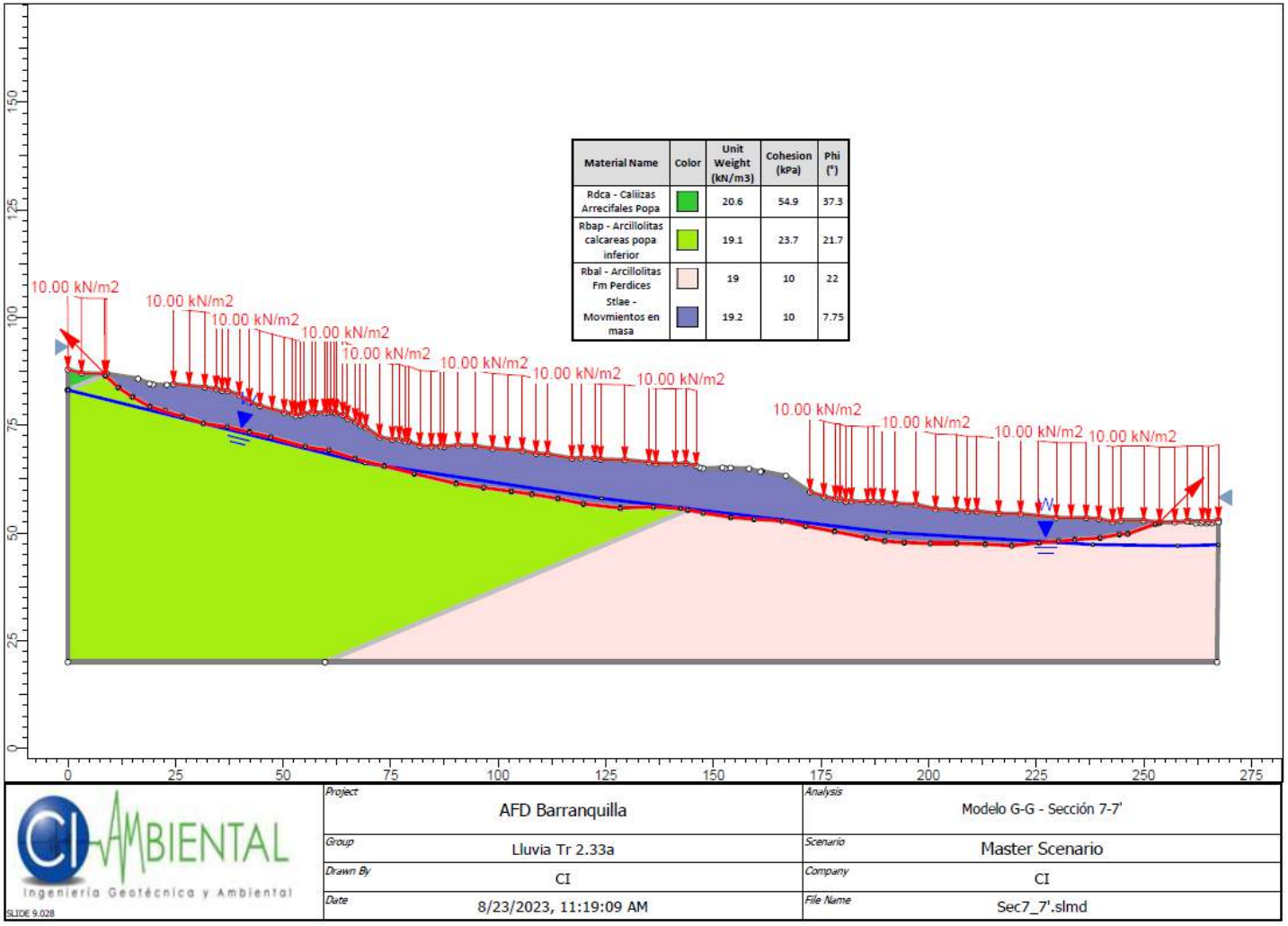


Figura 13.9 Perfil geológico-geotécnico Ladera Sección 7-7'.

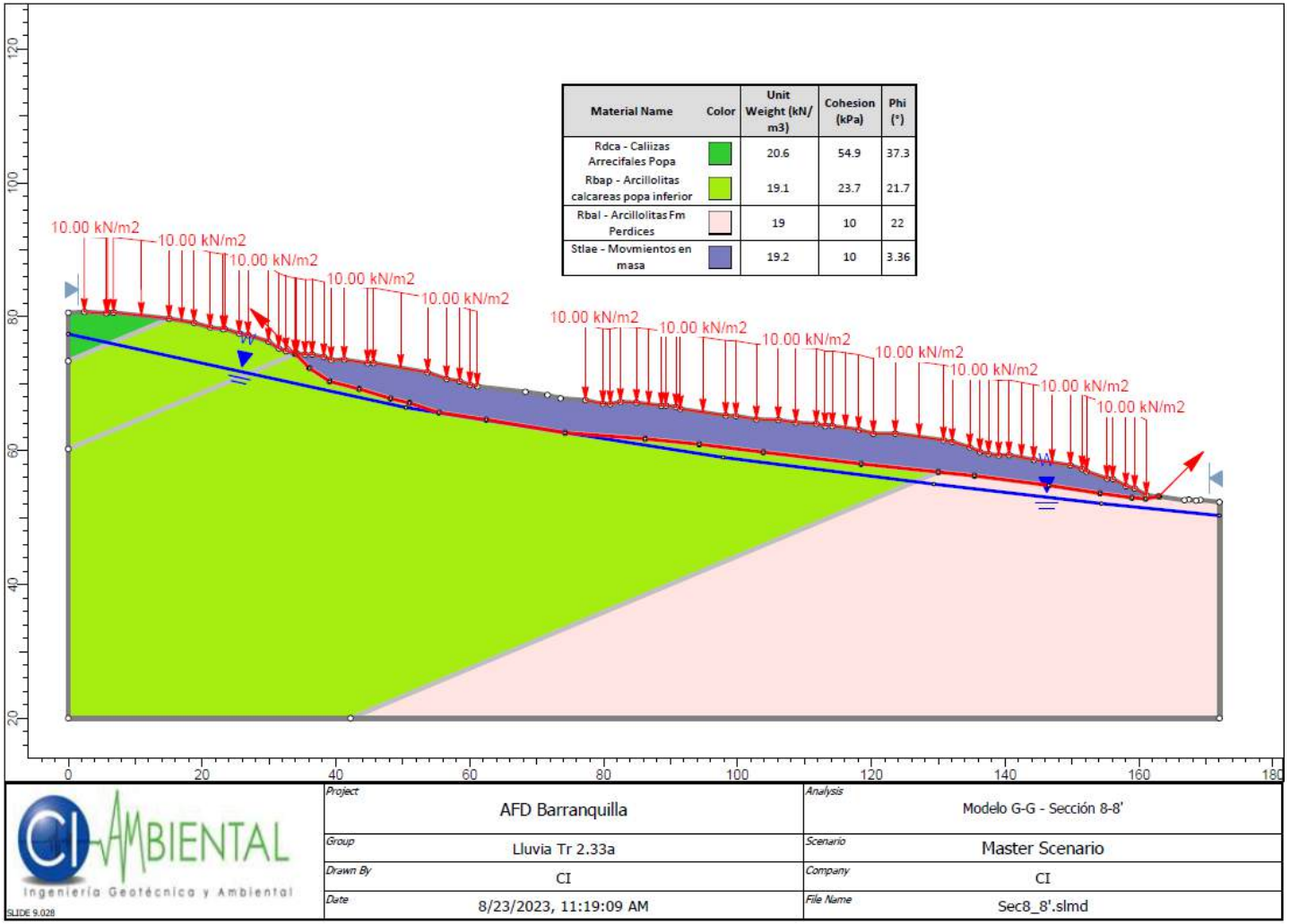


Figura 13.10 Perfil geológico-geotécnico Ladera Sección 8-8'.

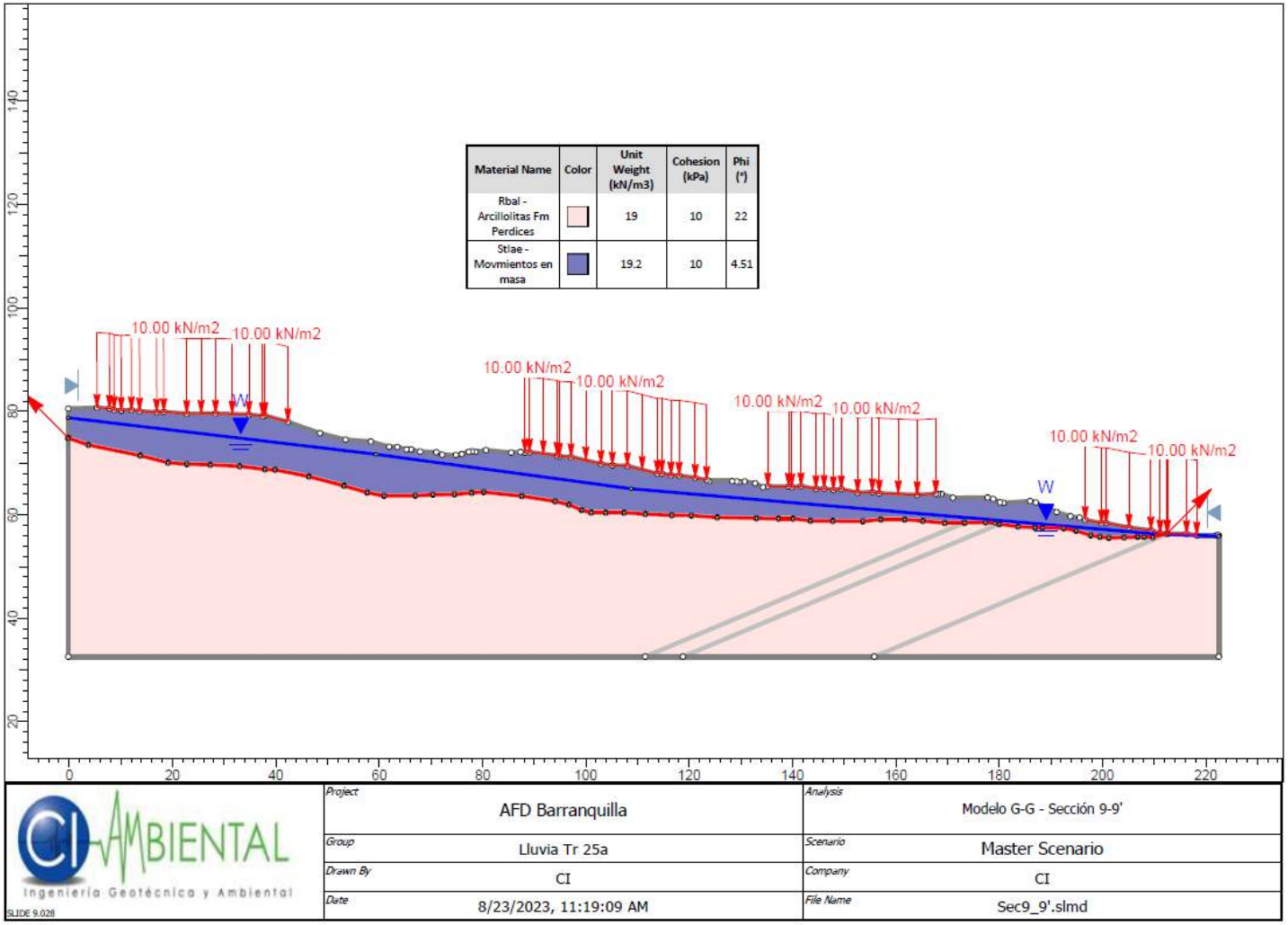


Figura 13.11 Perfil geológico-geotécnico Ladera Sección 9-9'.

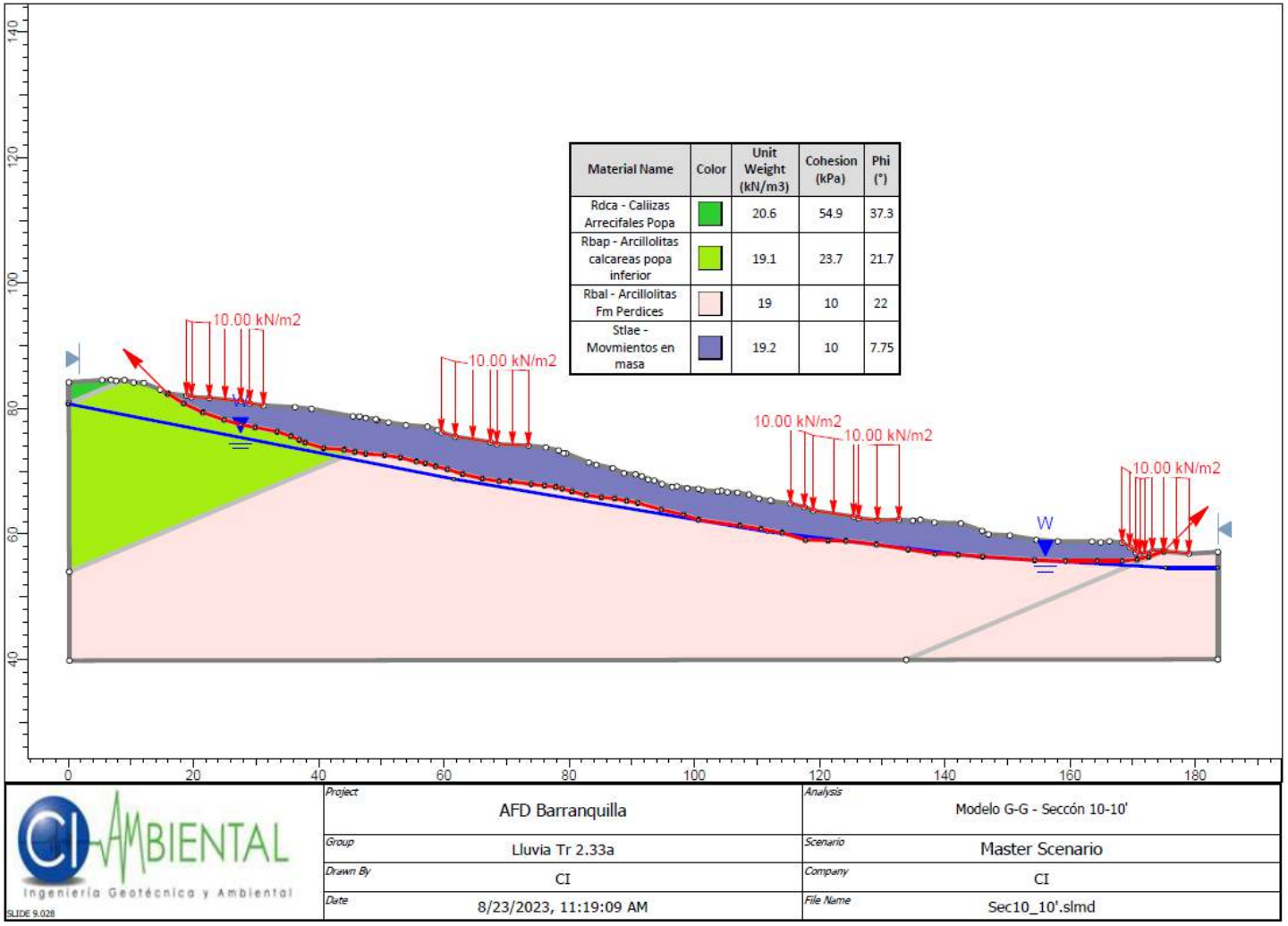


Figura 13.12 Perfil geológico-geotécnico Ladera Sección 10-10'.

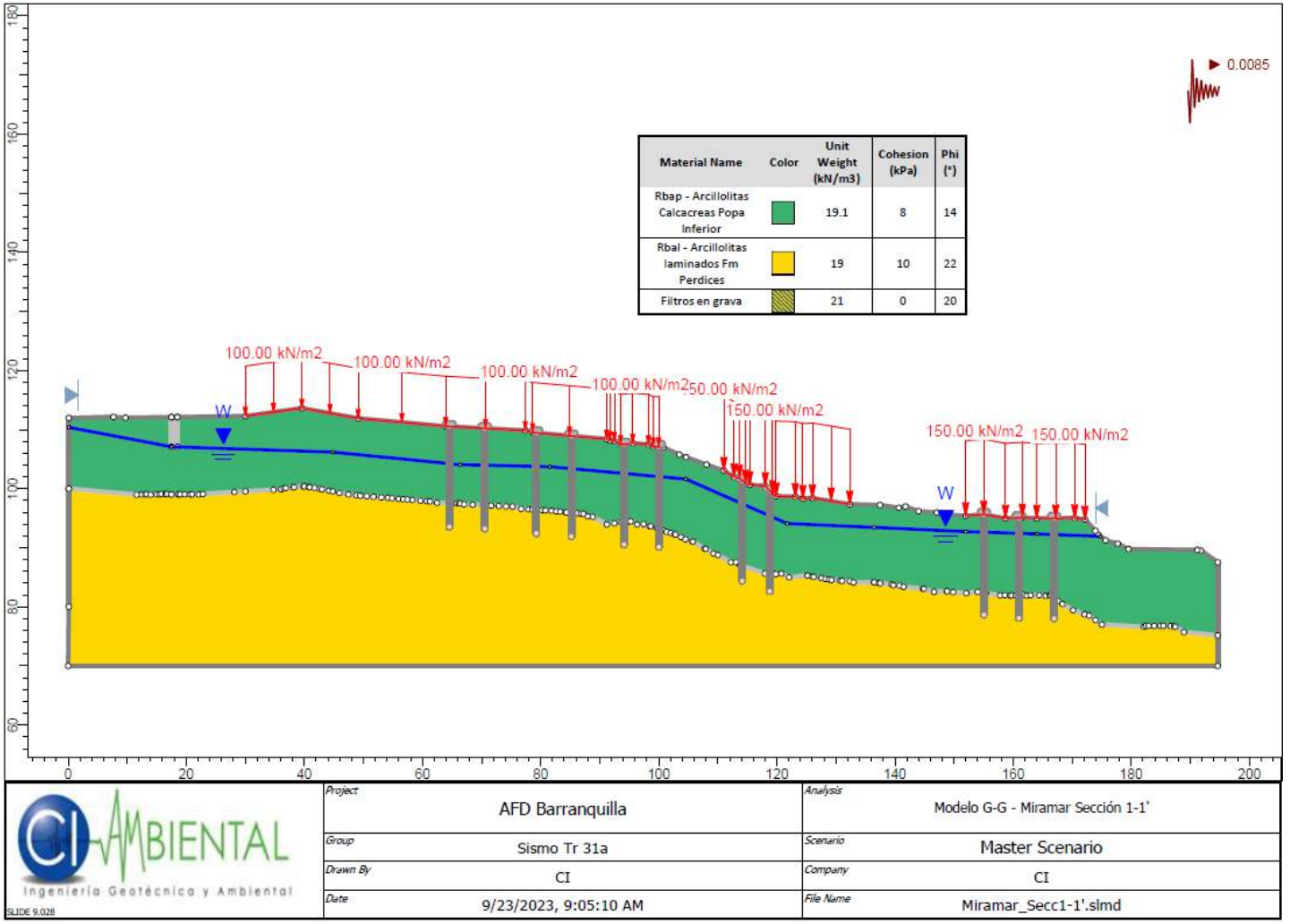


Figura 13.13 Perfil geológico-geotécnico Miramar Sección 1-1'.

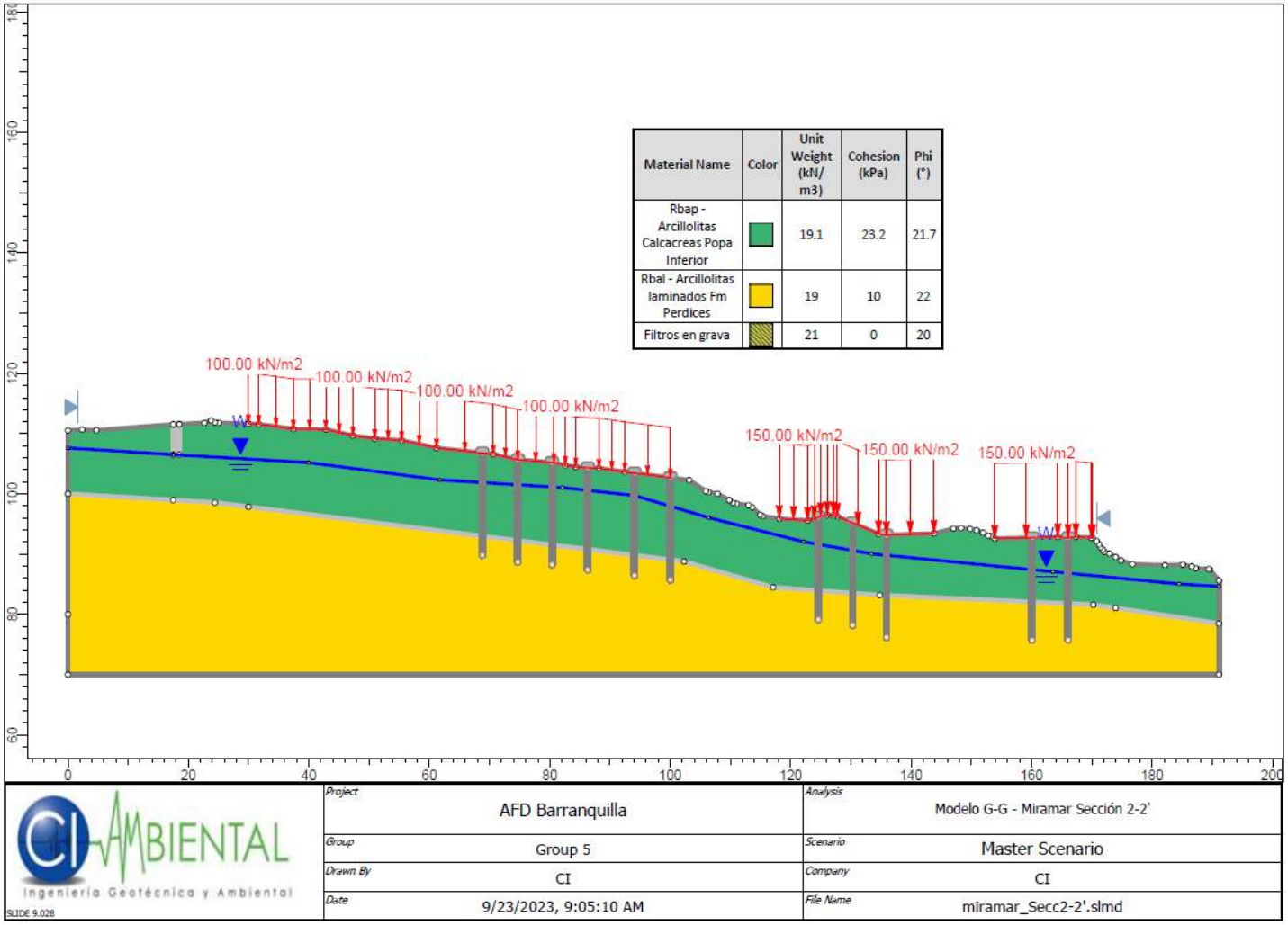


Figura 13.14 Perfil geológico-geotécnico Miramar Sección 2-2'.

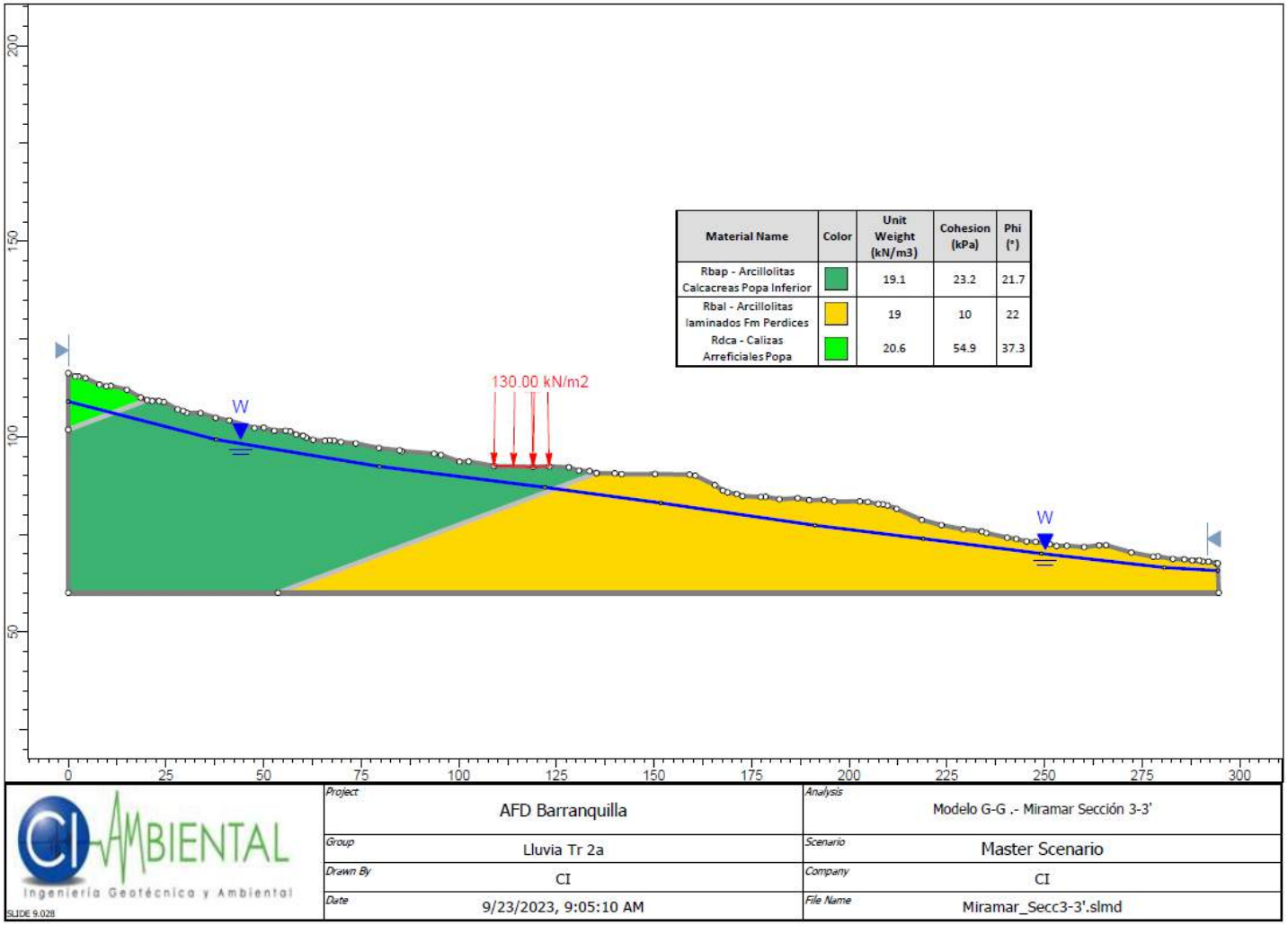


Figura 13.15 Perfil geológico-geotécnico Miramar Sección 3-3'.

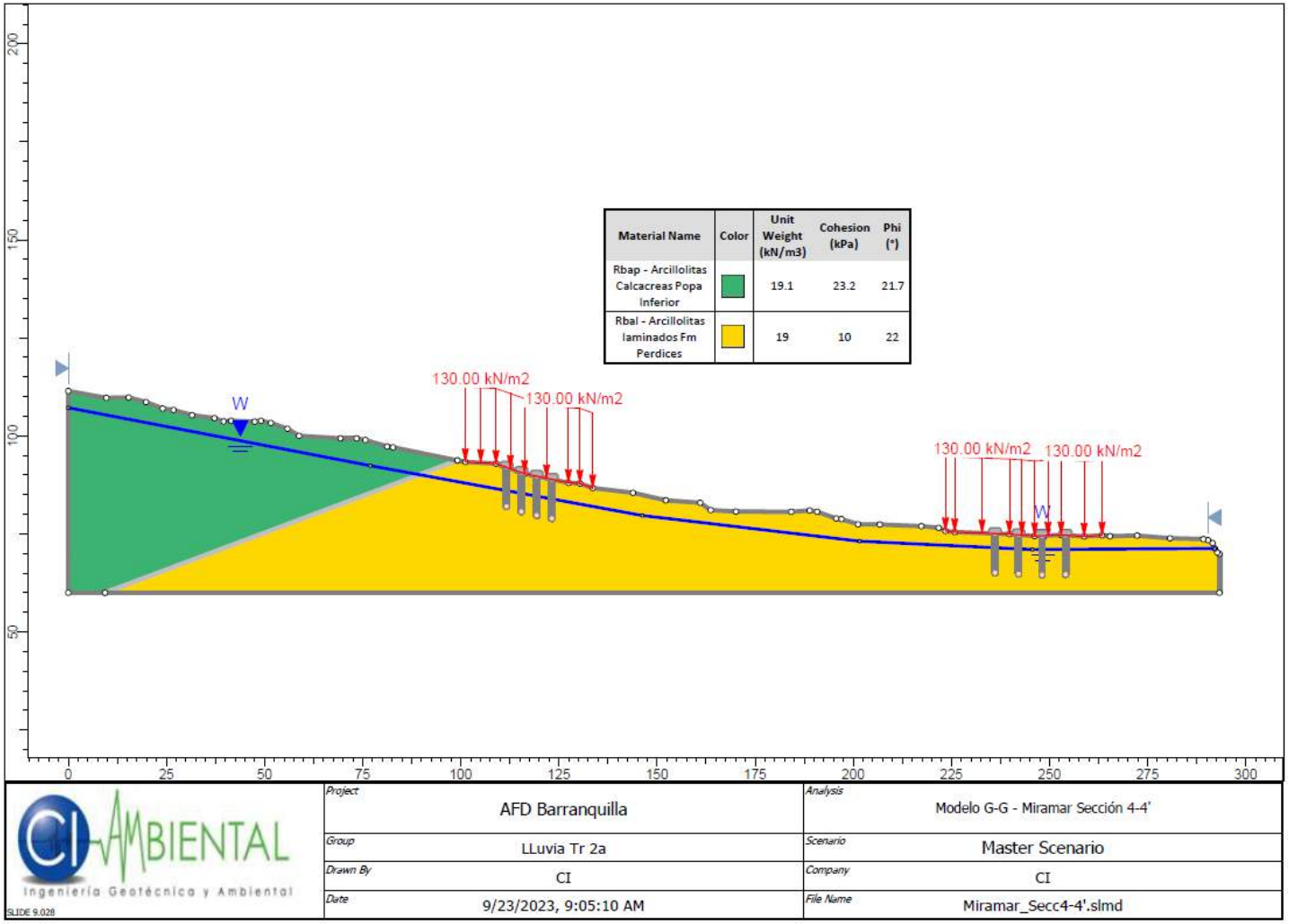


Figura 13.16 Perfil geológico-geotécnico Miramar Sección 4-4'.

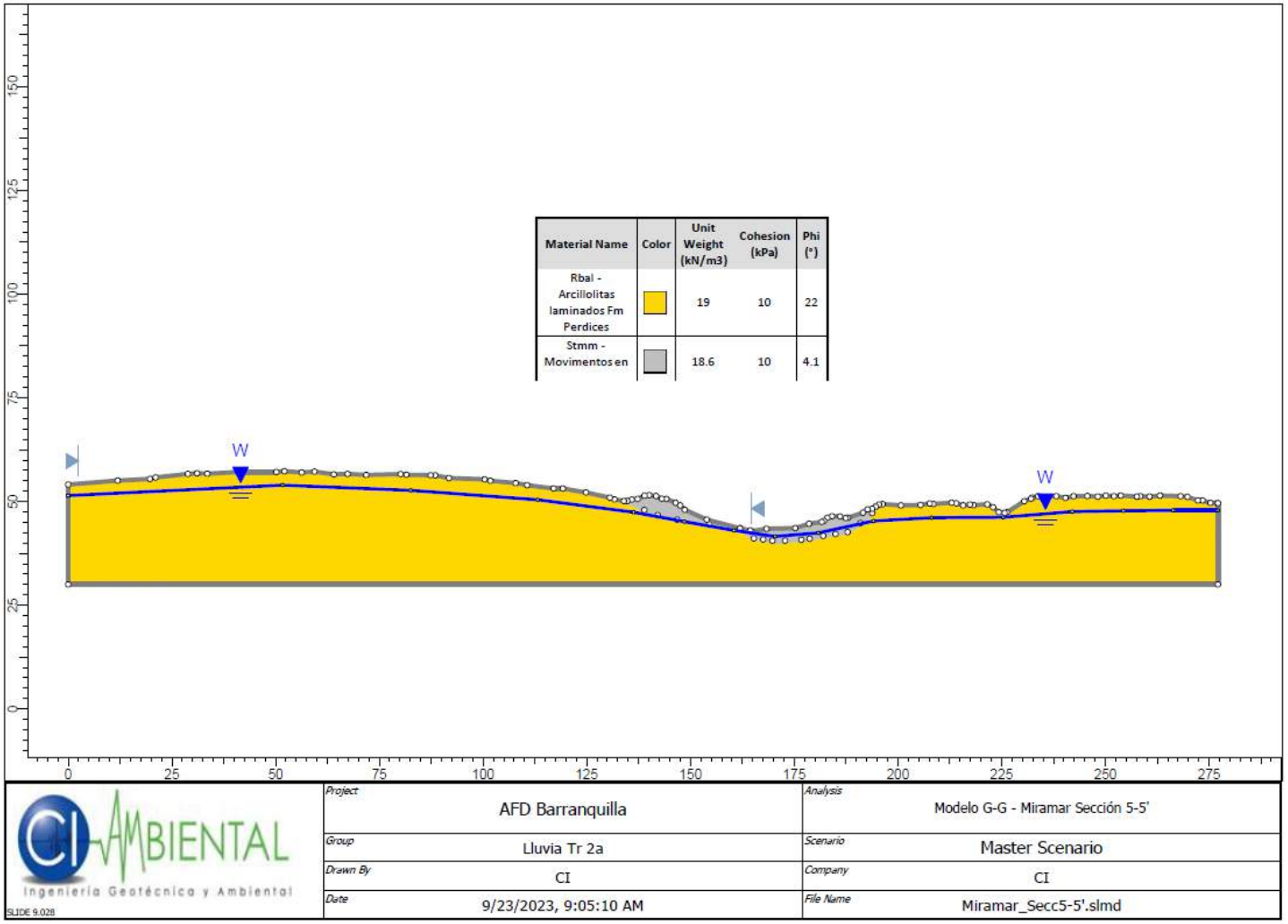


Figura 13.17 Perfil geológico-geotécnico Miramar Sección 5-5'.

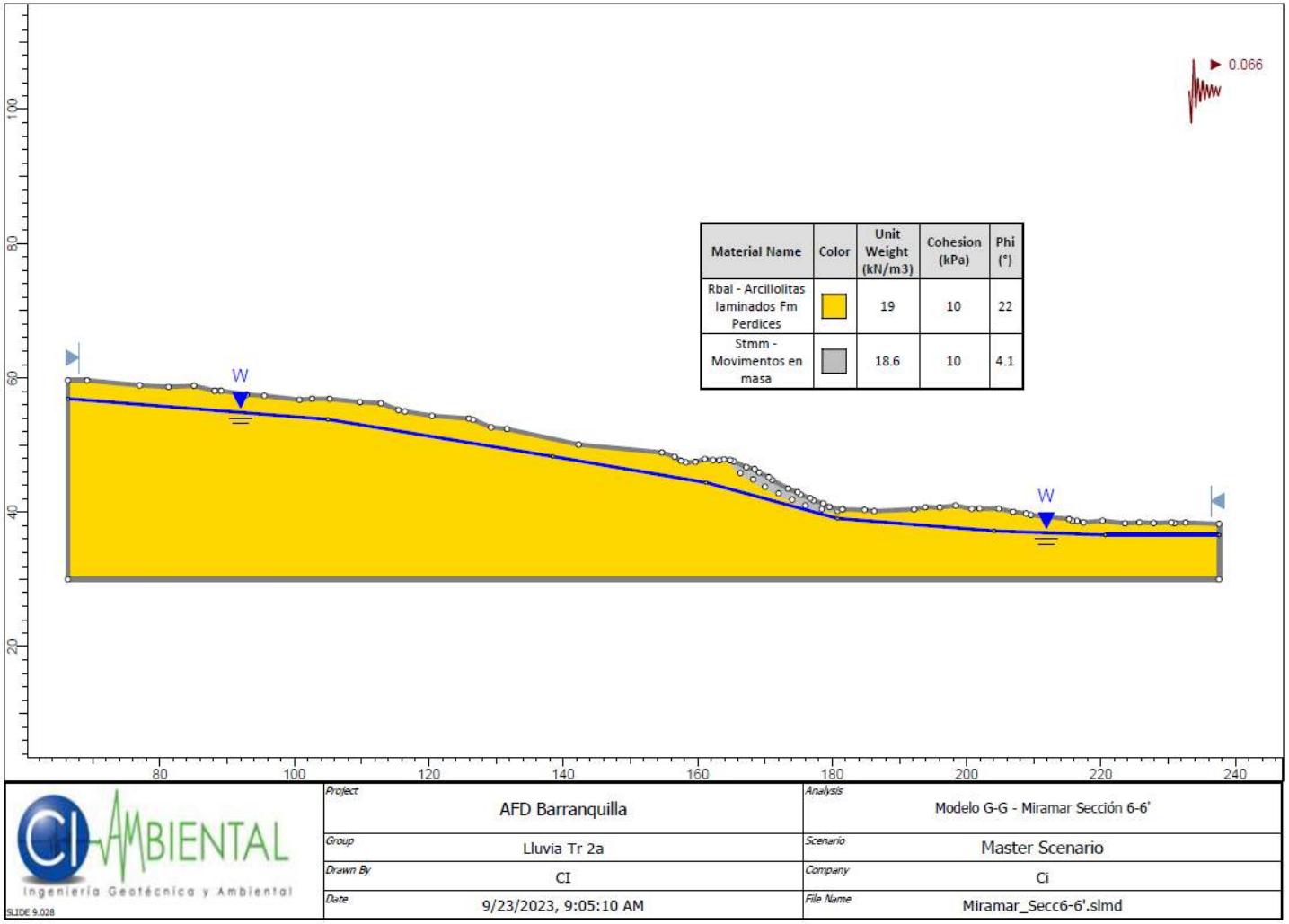


Figura 13.18 Perfil geológico-geotécnico Miramar Sección 6-6'.

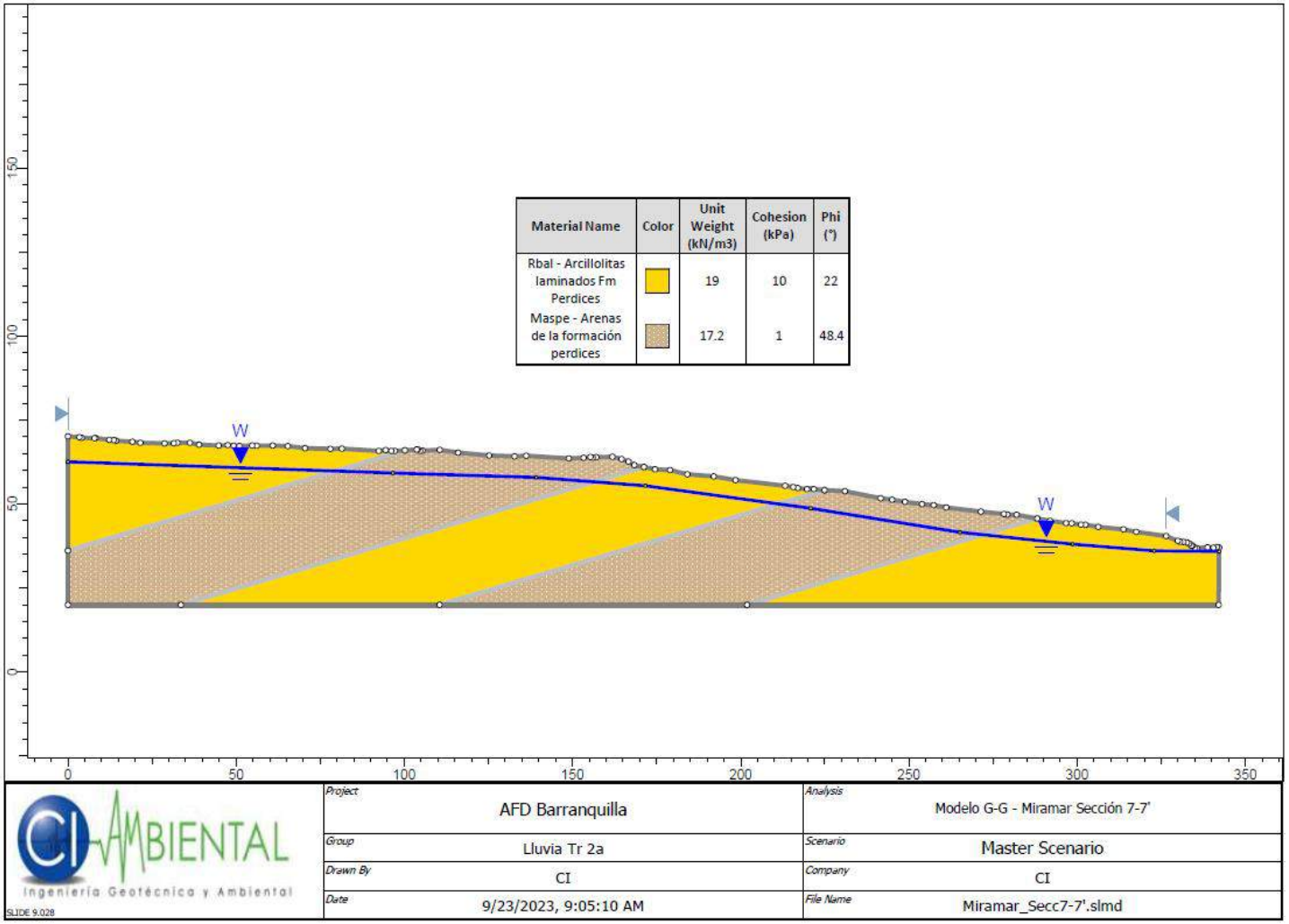


Figura 13.19 Perfil geológico-geotécnico Miramar Sección 7-7'..

14 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA

Este documento recoge los pormenores que enmarcan la evaluación de la amenaza por movimientos en masa, y reporta los resultados obtenidos.

14.1 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA

Este capítulo tiene por objeto exponer las mayores relevancias en la evaluación de la amenaza en el área de estudio, para lo que se recurre al análisis probabilístico sobre la estimación de la condición de amenaza por equilibrio límite por diferentes métodos, para diferentes configuraciones de lluvias y sismos, que en últimas son los agentes detonantes, para los deslizamientos que se suelen presentar en Barranquilla.

En lo que sigue se exhiben las bases teóricas de la metodología utilizada, y los respectivos resultados del análisis.

14.1.1 Evaluación de Amenaza

Colectada la información primaria y secundaria, y reconocidos los componentes geológico, geomorfológico, hidrogeológico, hidroclimatológico y geotécnico, se procede a efectuar la evaluación de la amenaza por movimientos en masa para los polígonos de estudio.

Como base para la generación de la amenaza, se han tomado los deslizamientos que se han presentado sobre las laderas occidentales dentro de los cuales se destacan: la manga, cuchilla de Villate, 7 de abril, loma roja, entre otros, los cuales ha servido de referencia para calibrar los respectivos modelos numéricos. Por esto, los análisis de estabilidad se enfocan en buena medida en el estudio del modo y la posibilidad de movilización de los cuaternarios por los mecanismos de falla traslacional (deslizamientos traslacionales y planares, evaluados por el método del talud infinito), para lo que se aborda la respuesta pseudo-estática de los estados probables de movilización de los materiales de suelos identificados (según la geometría de las laderas, el material, su disposición estratigráfica y las condiciones del drenaje).

Los resultados del análisis representan la probabilidad condicional de falla en consideración de los detonantes contemplados, a partir de la que se establecen los niveles de amenaza para la zona.

14.1.2 Método de Análisis

Una vez identificado el mecanismo de falla a considerar (traslacional-planar) y realizada la respectiva exploración y caracterización geotécnica de los materiales, se estableció el modelo geológico-geotécnico, base para la realización de los análisis de estabilidad (modelación numérica).

Los trabajos de reconocimiento geomorfológico involucran la cartografía de los procesos morfodinámicos presentes en el área de estudio, encontrándose que la mayor parte está asociada a deslizamientos, detonados por eventos climáticos adversos, acción erosiva y procesos antrópicos.

Para efectos de evaluar la estabilidad en el sector en estudio, se procedió a realizar el análisis sobre los materiales aflorantes en consideración del mecanismo de falla traslacional por equilibrio límite, con la evaluación de la falla planar por talud infinito y en dos dimensiones.

Para esto, se analiza el espectro de posibilidades que se pueden obtener variando los parámetros de resistencia de los materiales, es decir, utilizando los parámetros seleccionados y corroborados a partir de los ensayos de laboratorio y la desviación estándar (σ) para cada uno de ellos. Además, se configuró el escenario de análisis considerando los niveles de intensidad de los potenciales agentes detonantes considerados (lluvia y sismo), para diferentes periodos de retorno, lo anterior acorde con la Metodología planteada por el SGC (2016) para este tipo de casos.

En el presente estudio y como respuesta a los requerimientos, se presentan los resultados en función de la probabilidad de falla total de las laderas, para los escenarios considerados. Para esto, es necesario evaluar los aspectos o condiciones que pueden afectar la estabilidad de estos (mecanismos de falla), requiriendo el tratamiento previo de las siguientes hipótesis:

- ✓ Modelo geológico-geotécnico, modelo de elevaciones y mapa de pendientes.
- ✓ Parámetros de resistencia de los materiales involucrados.
- ✓ Agentes detonantes.
- ✓ Método de análisis.

Por lo anterior, se procedió a analizar el espectro de posibilidades que se pueden obtener variando los parámetros de resistencia de los materiales y el nivel de intensidad de los agentes detonantes considerados (lluvia y sismo). De esta manera, los análisis de estabilidad en términos de probabilidad de falla se tornan más representativos que el reporte de un factor de seguridad, el cual es el simbolismo numérico de uno de los múltiples eventos factibles.

Sin embargo, la deducción de la probabilidad de falla implica conocer la distribución estadística del factor de seguridad (González, 2001), específicamente la de sus dos primeros momentos: µFS y σFS, es decir, la media y la desviación estándar. La solución a la relación predictiva entre estas dos variables (P_f y FS) y la obtención de ellas, se plantea aquí, específicamente mediante el método de simulación de Monte Carlo.

En este orden de ideas, la probabilidad de ocurrencia de un evento particular, en este caso los movimientos en masa, se evalúa en términos de sus eventos condicionantes, a través de la ley de probabilidades totales. En este sentido, la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento para eventos definidos de eventos detonantes está definida por la siguiente ecuación:

$$p_f = p(FS \leq 1{,}0)$$

Ahora considerando los escenarios de los eventos detonantes, en este caso lluvia y sismo, la probabilidad de falla se calcula como la probabilidad de que el factor de seguridad sea inferior a 1, dada la lluvia y sismo determinados, multiplicando por la probabilidad de que ocurran dichos eventos, así:

$$p_f = p(FS \leq 1{,}0|h_w|k)p(h_w)p(k)$$

Donde h_w y k corresponden a los eventos de lluvia y sismo considerados, respectivamente.

P(hw) y p(k), corresponde a la probabilidad de ocurrencia de la lluvia y el sismo para un tiempo de exposición TE dado.

La probabilidad de falla total combinando los diferentes escenarios de análisis se calculó con la siguiente expresión:

$$p_t = 1 - \prod_{i=1}^{n}(1 - p_i)$$

Donde

p_t es la probabilidad de falla total combinada

p_i es la probabilidad de falla para el escenario i. Cada escenario, como se mencionó con anterioridad corresponde a la combinación de lluvia y sismo, según los escenarios definidos anteriormente para un total de n escenarios.

14.2 MODELO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO

Con el fin de realizar la evaluación de estabilidad considerando la condición de falla traslacional, se estableció un modelo geológico-geotécnico de análisis, representativo de la condición actual del terreno en su horizonte más superficial. En este orden de ideas, el mecanismo de falla corresponde básicamente a una falla planar en talud infinito.

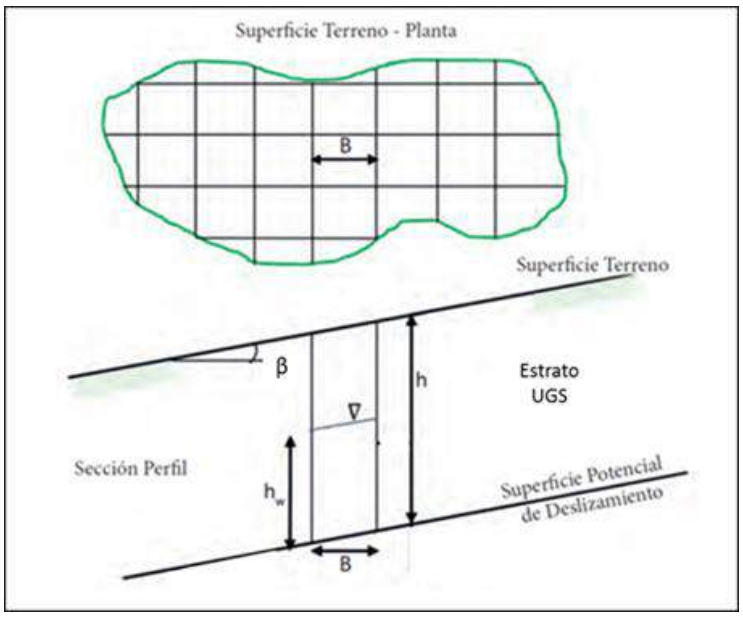


Figura 14.1 Esquema del Mecanismo de Falla por Talud Infinito

Fuente: Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, SGC, 2015

Por lo anterior, se optó por utilizar el método con celdas de tamaño B de 2 m, que pueden representar de manera adecuada los fenómenos locales de inestabilidad a la escala de trabajo del presente estudio. La Figura 14.1 muestra el esquema gráfico de la aplicación del método. Para este análisis se evalúa el factor de seguridad de la ladera mediante una rutina implementada en plataforma SIG de acuerdo con la siguiente expresión:

$$FS = \frac{c' + \left(\gamma h \cos^2 \beta - \alpha h \gamma \sin \beta \cos \beta - m \gamma_w h \cos^2 \beta\right) \tan \phi'}{\gamma h \sin \beta \cos \beta + \alpha \gamma h \cos^2 \beta}$$

Dónde:

c'= Cohesión efectiva

Φ' = Ángulo efectivo de fricción

β = Pendiente del terreno

γ = Peso unitario del suelo

γ_w = Peso unitario del agua

h = Espesor de estrato deslizante

h_w = Posición del nivel freático

m= (h_w/h) = Proporción del estrato deslizante que se encuentra saturado

α = Coeficiente de aceleración sísmica horizontal.

Ahora bien, el modelo geológico – geotécnico se construye en uso de la información topográfica, geológica de superficie y en profundidad, que se han colectado en esta investigación. El destino del modelo es ser involucrado en el análisis de estabilidad en dos dimensiones. Para la ejecución de este último, se adopta la teoría de falla de Morh-Coulomb, y se recurre a los métodos de equilibrio límite Bishop simplificado, GLE-Morgestern-Price, Janbú simplificado y Spencer. Dicho análisis se efectúa en provecho del software Slide 2.

14.3 PARÁMETROS DE RESISTENCIA

El análisis estadístico de los resultados de los ensayos de laboratorio ha permitido prever los parámetros de respuesta de los materiales con participación en el área de estudio, y dada la variabilidad intrínseca de los parámetros de resistencia de los materiales, se toman las variaciones estadísticas recomendadas en el Eurocode, que establece valores para la incertidumbre asociada de los parámetros de resistencia (véase la Tabla 14.1).

En resumidas cuentas, la selección de los parámetros geomecánicos se funda en el resultado del plan de ensayos de laboratorio y en la revisión bibliográfica. Posteriormente, esta parametrización se valida y justifica con el retroanálisis (expuesto en los párrafos siguientes).

Tabla 14.1 Valoración Incertidumbre - Coeficientes de Variación Según Eurocode

PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DE MODELACIÓN	VAR (%)
Tangente del ángulo de Fricción	10
Cohesión	35
Peso Unitario	10

Estimados los parámetros geomecánicos, en provecho de la información topográfica previa y posterior a la detonación del movimiento en masa en La Feria, y en contemplación de lo que se considera la condición de los detonantes (posición del agua subsuperficial e intensidad del sismo) se efectúa el retroanálisis, con el que se procura validar la fiabilidad de los parámetros geomecánicos previstos, para obtener un elemento de juicio muy útil en la validación del ángulo de fricción y la cohesión efectivos para los materiales cuaternarios.

14.4 AGENTES DETONANTES

Una vez definidos los parámetros geomecánicos a implementar en el análisis de estabilidad, se definen los agentes detonantes que se han de considerar en la previsión de la condición de amenaza para los polígonos de estudio. Dentro de los agentes detonantes que pueden afectar la estabilidad de las laderas en el área de estudio, se considera la presencia de agua en el subsuelo en función de su grado de saturación. Por otro lado, se contempla el detonante sismo en el escenario de análisis.

14.4.1 Sismo

Las evaluaciones de amenaza sísmica elaboradas para todo el territorio nacional, realizados recientemente por el SGC, permiten la obtención de puntos con información de valores de aceleración pico (PGA) para diferentes periodos de retorno. De éstos, se consideran los valores de aceleración para los periodos de retorno de 31, 225, 475 y 975 años.

El mapa de amenaza sísmica ubica la zona en niveles de amenaza alta, con valores de excedencia de aceleraciones pico a nivel de suelo (PGA) para periodos de retorno de sismos como se ve en la Tabla 14.2. La aceleración horizontal por involucrar en los análisis pseudo-estáticos de estabilidad será de kh=2/3*PGA, considerando las recomendaciones de la NSR-10 título H y que es ligeramente mayor al coeficiente recomendado por Kramer (1996) basado en los resultados de Hynes-Griffin y Franklin (1984) correspondiente a un coeficiente de 0.5.

Tabla 14.2 Aceleraciones Pico PGA para Diferentes Periodos de Retorno

Tr (años)	PGA	(2/3) PGA
31	0.0655	0.0437
225	0.1914	0.1276
475	0.2620	0.1746
975	0.3478	0.2318

14.4.2 Niveles de Aguas Freáticas

Si bien, los resultados del análisis hidrogeológico realizado en el marco de este estudio son explicados con detalle en el aparte destinado a este fin, es conveniente mencionar que en contemplación del importante espesor de los cuaternarios y de los análisis de columna en modelo parcialmente saturado, se ha establecido que, con la condición de permeabilidad del suelo, y frente a su exposición a un régimen de lluvias, es de esperar estados no saturados en la mayor parte del tiempo.

14.4.2.1 Efectos de las Lluvias sobre el Nivel Freático

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

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

Esquemáticamente lo anterior se puede expresar como se muestra en la Figura 14.2:

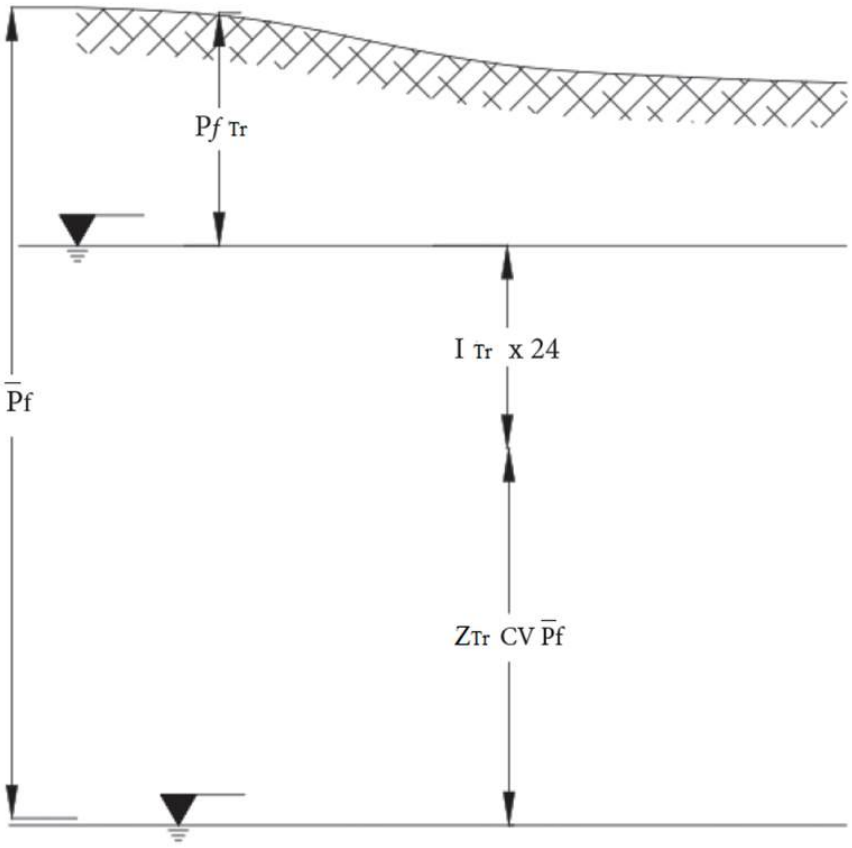


Figura 14.2 Esquema del método de cálculo de ascenso del nivel freático

La ubicación del nivel freático fue definida mediante las ecuaciones propuestas de la Guía del SGC, considerando la profundidad actual del nivel freático y a partir de esta se afecta su ubicación mediante los valores de infiltración de las lluvias antecedentes y de las precipitaciones críticas asociadas a la recurrencia de los eventos de lluvia detonantes. La selección de lluvia crítica de 2.00 años en vez de 2.33 años se definió debido a que es usada en el marco del análisis de Vulnerabilidad al Cambio Climático, la cual tiene mejor sentido al corresponder a una probabilidad de recurrencia anual del 50%.

La ecuación para el cálculo de la posición del nivel freático es:

$$P_{fTr} = P_f - P_i = P_f - (I_a + F_a) = P_f - \left(z * C_v * P_f + I_{Tr} * 24\right)$$
$$= \left(P_f - z * C_v * P_f\right) - (I_{Tr} * 24)$$

Donde:

P_{fTr} es la profundidad del nivel freático para un periodo de retorno T_r dado

P_f es la profundidad media del nivel freático

P_i es la precipitación total infiltrada

I_a es la infiltración antecedente

F_a es la infiltración por lluvia crítica de 24 horas

z es el valor de la inversa de la distribución normal estándar para la probabilidad anual del evento $p(z) = 1/T_r$

C_v es el coeficiente de variación de la precipitación antecedente

I_{Tr} es la intensidad en mm/hr de la lluvia crítica de duración 24 horas periodo de retorno T_r

Ejemplo del anterior cálculo se presenta en la página 52 de la guía donde se indica para un Tr=20 años, el z corresponde a la normal inversa de 0.05 es decir $\Phi(0.05) = 1.65$.

Para el cálculo de la ubicación del nivel freático no se involucra entonces el valor de exposición a 50 años sino la probabilidad anual ($1/T_r$). El tiempo de exposición a 10 o 50 años (o cualquier periodo de interés) se involucra para el cálculo de las probabilidades de falla de los escenarios. Cuando se analiza la probabilidad de falla por un escenario determinado por la recurrencia de detonantes, los resultados corresponden a una probabilidad de falla condicionada, donde se obtiene $p(f|k * hw)$, por lo que la probabilidad de falla del escenario queda como:

$$p(f) = p(f|k * h_w) * p(k) * p(h_w)$$

Donde:
$p(f)$ es la probabilidad de falla
$p(f|k * h_w)$ es la probabilidad de falla condicionada a los detonantes
$p(k)$ es la probabilidad de ocurrencia del sismo $p(k) = 1 - e^{-\frac{L}{T_r}}$
$p(h_w)$ es la probabilidad de ocurrencia de la lluvia crítica $p(h_w) = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_r}\right)^L$

En resumidas cuentas, el tiempo de exposición se usa para el cálculo de la probabilidad de falla de los escenarios, pero no afecta el cálculo de ubicación de los niveles freáticos.

Así las cosas, la ecuación que se usaría para el cálculo de la profundidad esperada del nivel freático es:

$$Pf_{Tr} = \overline{Pf} - Z_{Tr} \cdot CV \cdot \overline{Pf} - I_{Tr} \cdot 24$$

Donde,

Pf_{Tr}, corresponde a la profundidad del nivel freático para un periodo de retorno Tren años.

$\overline{Pf}$, corresponde al nivel freático medio (se asume el encontrado en la exploración),

Z_{Tr}, corresponde al valor de z de la distribución normal estándar en que el área a la izquierda de la curva corresponde a p(z)=1/Tr,

CV, corresponde al coeficiente de variación de las aguas infiltradas,

I_{Tr}, corresponde a la intensidad de lluvia de duración 24 h para un periodo de retorno Tr.

Tabla 14.3 Profundidad del nivel freático para lluvias críticas de diferentes periodos de retorno Ladera.

CAMBIO DE LA PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO

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

Pf_{Tr}	Pf del NF para un perido de retorno	
Pf	Valor medio del Nf (mm)	**3000**
z	Valor asociado al periodo de retorno	
Cv	Coeficiente de variación del Pi	**0.36**
$I_{i\,Tr}$	Intensidad del periodo de retorno en 24 h (mm/	

Tr (años)	2	5	10	25	50	100
Z	0.00000	0.84162	1.28155	1.75069	2.05375	2.32635

Cálculo de Variación del Nivel Freático

Tr (años)	2	5	10	25	50	100
$I_{i\,Tr}$ (mm/h)	2.40	3.11	3.57	4.16	4.62	5.05
Pf_{Tr}(mm)	2942.49	2014.58	1527.45	1005.48	666.59	361.17
Pf_{Tr} (m)	**2.94**	**2.01**	**1.53**	**1.01**	**0.67**	**0.36**

Proporción suelo saturado	0.02	0.33	0.49	0.66	0.78	0.88

Tabla 14.4 Profundidad del nivel freático para lluvias críticas de diferentes periodos de retorno Miramar.

CAMBIO DE LA PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO - MIRAMAR BAQ

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

Pf_{Tr}	Pf del NF para un perido de retorno	
Pf	Valor medio del Nf (mm)	**3000**
z	Valor asociado al periodo de retorno	
Cv	Coeficiente de variación del Pi	**0.44**
$I_{i\,Tr}$	Intensidad del periodo de retorno en 24 h (mm/	

Tr (años)	2	5	10	25	50	100
Z	0.00000	0.84162	1.28155	1.75069	2.05375	2.32635

Cálculo de Variación del Nivel Freático

Tr (años)	2	5	10	25	50	100
$I_{i\,Tr}$ (mm/h)	2.40	3.11	3.57	4.16	4.62	5.05
Pf_{Tr}(mm)	2942.49	1818.11	1228.28	596.79	187.15	-181.90
Pf_{Tr} (m)	**2.94**	**1.82**	**1.23**	**0.60**	**0.19**	**0.00**

Proporción suelo saturado	0.02	0.39	0.59	0.80	0.94	1.00

Para el efecto de la lluvia como agente detonante, se utilizó la metodología propuesta por la guía metodológica partiendo de niveles freáticos registrados en las perforaciones (sección 3.1.3.1), de la guía. De igual manera se aclara, que efectivamente los análisis se realizaron para periodo de retorno de 2.0 y no 2.33 años, debido a que los modelos de cambio climático global exigen partir de referencia con el periodo de retorno de dos años. Como el objeto final del estudio es la vulnerabilidad al cambio climático fue necesario realizar este cambio. Se aclara, sin embargo, que los resultados entre la lluvia de 2.0 y 2.33 años es prácticamente la misma.

14.5 ESCENARIOS DE ANÁLISIS

Para los análisis de estabilidad se consideraron 24 escenarios de análisis, de acuerdo con las indicaciones dadas por SGC (2016), en los cuales se incluyó la variabilidad de los parámetros geotécnicos. A continuación, se detallan los tiempos de retorno para cada evento detonante considerado, así como su probabilidad de ocurrencia anual asociada:

14.6 MÉTODOS NUMÉRICOS DE ANÁLISIS

Los métodos de análisis utilizados están basados en la teoría de equilibrio límite, aplicando como modelo constitutivo el criterio de resistencia de Mohr – Coulomb para los materiales de suelo involucrados. Para efectos de cálculo, se utilizó una rutina en plataforma SIG que soporta el modelo de talud infinito. Bajo los lineamientos anteriores y con el fin de adelantar la tarea de evaluación de estabilidad, se utilizaron los parámetros de resistencia definidos para el escenario establecido.

Estos análisis se realizaron sobre los horizontes superficiales, que se consideran variables en el área de acuerdo con la unidad geológica y los registros estratigráficos. Para llevar a cabo estos análisis se necesitó del desarrollo de las siguientes matrices de valores, todas de igual tamaño (m x n): i) matriz de pendientes (se desarrolla haciendo uso de las herramientas de GIS), y ii) matrices de valores de cohesión, ángulo de fricción y peso unitario del suelo, datos provenientes de la cartografía geológica y caracterización geotécnica. Para el tratamiento de tales datos, se creó un código iterativo donde se genera una matriz de tamaño (m x n) que contiene además los valores de factor de seguridad calculados para cada píxel del mapa. Para generar el modelo de amenazas se tuvo en cuenta:

14.6.1 Modelo de Pendientes del Terreno

Un aspecto de suma importancia dentro del modelo de amenaza corresponde a la inclinación del terreno. Esto es debido a que la mayor parte de los deslizamientos detectados en Barranquilla, están íntimamente relacionados con la inclinación del terreno. Para tal fin se generó el respectivo mapa de pendientes para los dos sectores de estudio los cuales se ilustran en la Figura 14.3 y la Figura 14.4, destacándose los siguientes aspectos:

- El 32% de Miramar, presenta pendientes que oscilas entre 5 y 10 grados, pero en general se han mantenido estables.
- Un 25% de Miramar, presenta pendientes que oscilan entre los 10 y 15 grados. Estos sectores en general se han caracterizado por presentar problemas de inestabilidad en el pasado.

- El 9.9% del área de estudio presenta pendientes que oscilan entre 15 y 20 grados, y corresponde a sectores donde se han detectado problemas de inestabilidad, a manera de ejemplo, los detectados en los cortes realizados sobre la carrera 43.
- Finalmente, los sectores más empinados en Miramar, corresponden a los sectores con pendientes superiores a los 20 grados, representan el 2% de Miramar.
- Por el lado de los cerros nor-occidentales, la condición es un poco más crítica, ya que la mayor parte de los deslizamientos detectados, se presentaron en zonas cuya pendiente fluctuaba entre 10 y 15 grados. Si bien el área es pequeña (1 %), los daños han afectado barrios enteros.

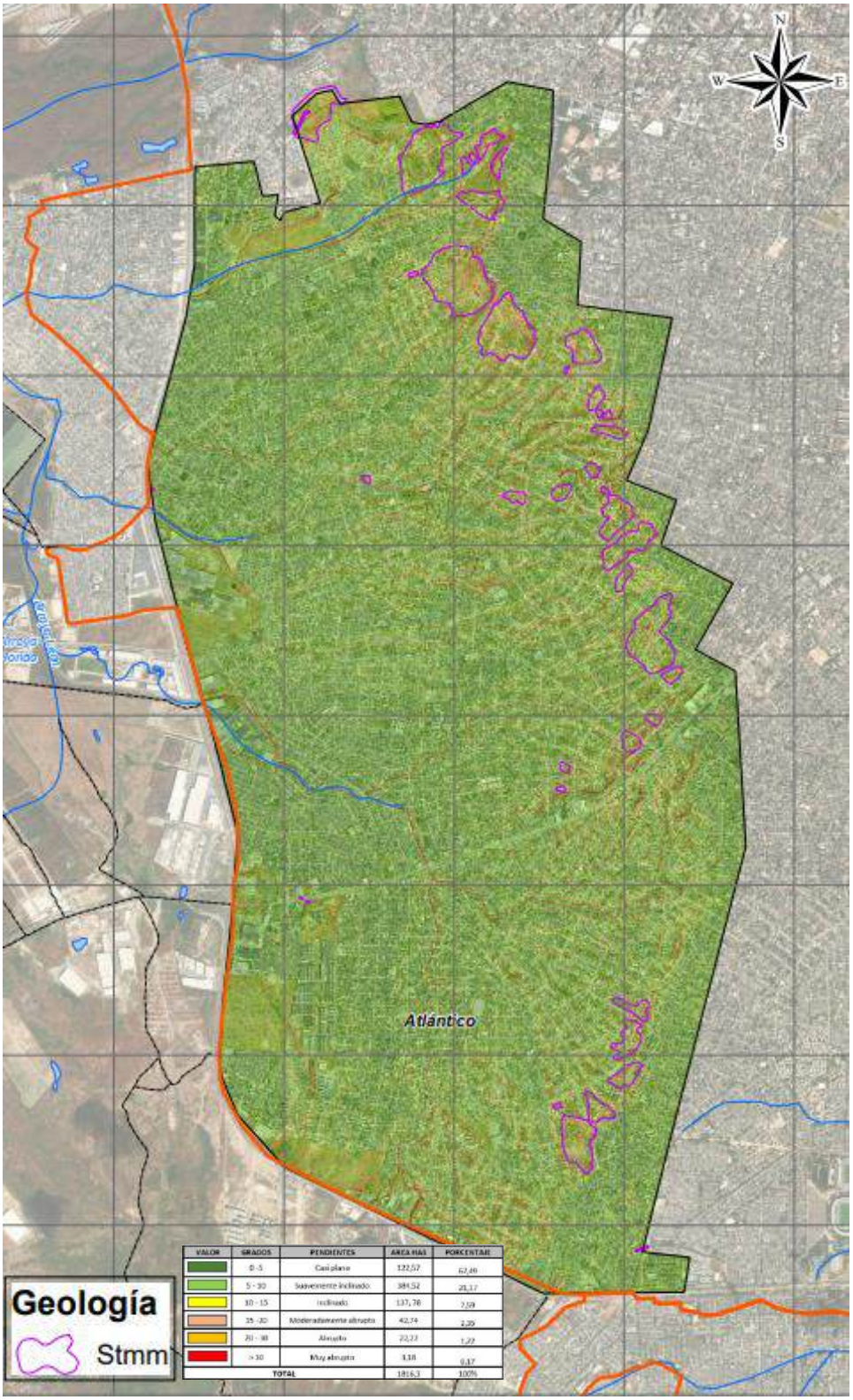


Figura 14.3 Pendiente del terreno ladera occidental



VALOR	GRADOS	PENDIENTES	AREA HAS	PORCENTAJE
	0 - 5	Casi plano	122,57	67,69
	5 - 10	Suavemente inclinado	384,52	21,17
	10 - 15	Inclinado	137, 78	7,59
	15 - 20	Moderadamente abrupto	42,74	2,35
	20 - 30	Abrupto	22,22	1,22
	> 30	Muy abrupto	3,18	0,17
TOTAL			1816,3	100%

Figura 14.4 Pendiente del terreno Miramar

14.6.2 Uso del Método de Monte Carlo

Como el objetivo es desarrollar un mapa de amenaza en función de las variaciones de las variables explicadas previamente, se desarrollaron las matrices de los parámetros del suelo, haciendo uso del Método de Monte Carlo simulándolos bajo una distribución normal (los parámetros geotécnicos se comportan normalmente según varios autores), mientras que para el espesor del estrato deslizante se ha tomado un valor fijo (frente de saturación).

Generación de una matriz (m x n) con m x n valores a partir de una distribución normal:

$$r = (randn(m,n) * sd) + mu$$

Dónde:

Sd = Desviación estándar del parámetro geotécnico (ángulo de fricción, cohesión o peso unitario).

Mu = Media del parámetro geotécnico (ángulo de fricción, cohesión o peso unitario).

Randn = Función que genera valores aleatorios que se comportan acorde a una Distribución Normal Estándar (μ=0 y σ=1)

Generación de una matriz (m x n) con m x n valores a partir de una distribución uniforme:

$$r = a + rand(m,n) * (b - a)$$

Dónde:

a = valor mínimo del espesor de estrato deslizante.

b = valor máximo del espesor de estrato deslizante.

Rand = Función que genera valores aleatorios de 0 a 1 distribuidos uniformemente.

Haciendo uso de las anteriores expresiones en el código iterativo, se obtienen las matrices de los parámetros geotécnicos basados en el método de Monte Carlo. Seguidamente, a partir del modelo de elevación digital, se desarrolló una matriz o un ráster de pendientes haciendo uso de las herramientas GIS, según lo mencionado en el anterior numeral.

De esta manera, se crea una matriz (m x n) con el fin de evaluar la expresión de F.S. en cada pixel del mapa de pendientes, haciéndose necesario que el número de iteraciones esté dentro del rango de 2000 a 10000 (Heuveilin, 1993), obteniéndose así para cada celda (o pixel) un vector, en este caso de tamaño [10000,1]. Posteriormente, se analizaron los datos de cada vector para determinar el comportamiento de los valores del factor de seguridad (FS), calculando sus respectivos: valor promedio de factor de seguridad, y su probabilidad de falla asociada.

Por último, con el fin de visualizar los valores de FS, se genera un archivo ASCII que luego se exporta al Sistema de Información Geográfica.

14.7 EVALUACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA

En este numeral se presenta el establecimiento del nivel de amenaza a que se encuentra expuesta el área de estudio, para los escenarios de análisis establecido previamente. Partiendo de los resultados "crudos" de probabilidad de falla, se someten a un proceso de categorización de acuerdo con los lineamientos establecidos en la Guía Metodológica para Estudios de Amenaza (SGC, 2016), pero dado que el cálculo de la amenaza se incluyó el cálculo de probabilidades anuales de falla, se optó por utilizar los valores de PF recomendados por la USACE en el documento "Risk-based analysis in Geotechnical Engineering for Support of Planning Studies, Engineering and Design" de 1997 (Figura 14.5) y la comparación de probabilidad de falla anual vs pérdidas propuesta por Baecher (1982) , con rangos de probabilidad de falla presentados en la Tabla 14.5 en los que se mantienen los niveles de la guía para TE=10 y 50 años pero se mofican a los de la USACE para TE=1 año.

De esta forma, se obtienen los mapas de amenaza, que integran los resultados de los análisis de estabilidad realizados, que además de considerar los resultados de falla total para los 24 escenarios evaluados por talud infinito. Dicho de otra manera, el resultado es una zonificación del territorio en función de la categoría de amenaza ante movimientos en masa, correspondiente a la conjunción de múltiples escenarios de eventos detonantes y considerando diferentes mecanismos de falla. Esta zonificación constituye el resultado de referencia con fines de aplicación para la obtención de la vulnerabilidad (solicitación) y riesgo en la zona. Es importante destacar que los resultados obtenidos se han calibrado con el levantamiento en campo realizado por los geólogos.

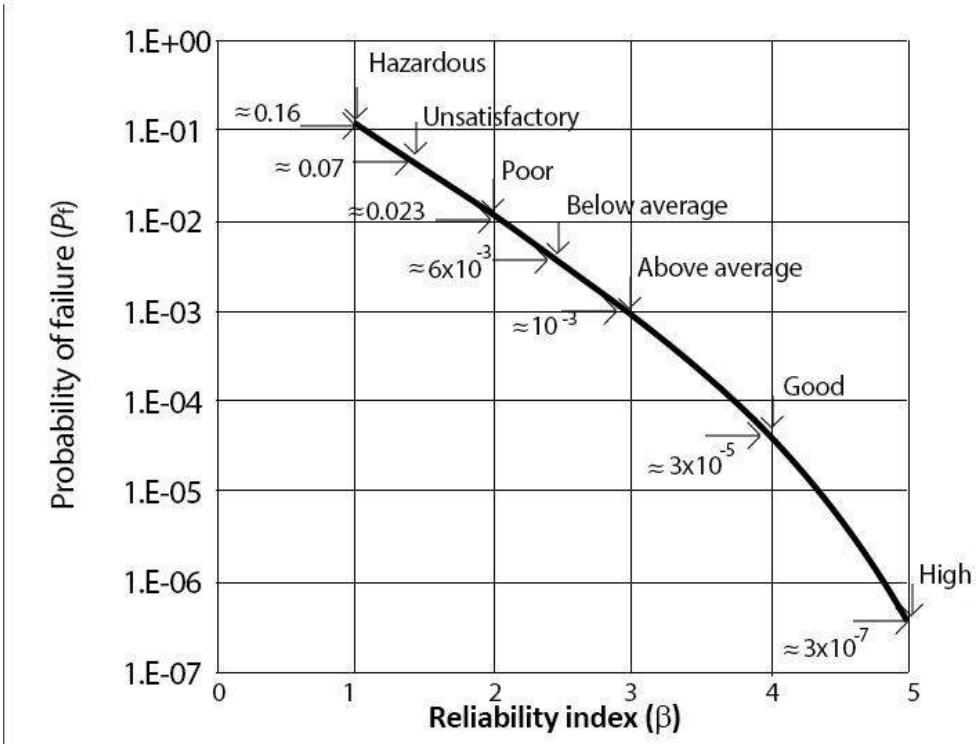


Figura 14.5 Rangos de probabilidad de falla anual e índice de confiabilidad comparados con niveles de desempeño
USACE (1997)

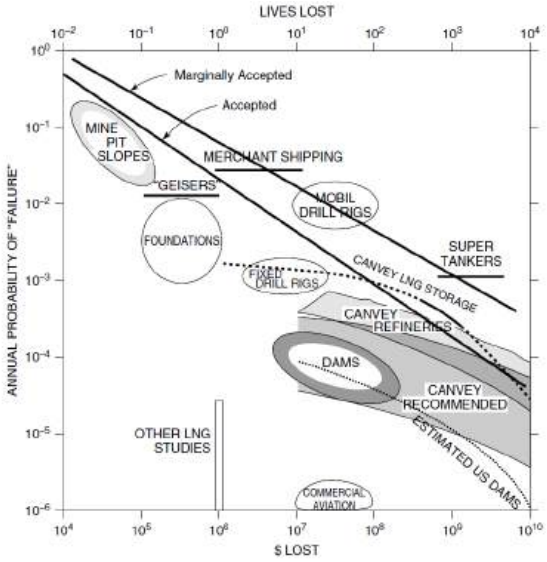


Figura 14.6 Gráfico de comparación de probabilidad anual de falla vs pérdidas, y niveles de aceptación para diferentes tipos de proyectos
Baecher (1982)

Tabla 14.5 Criterio para la clasificación de la amenaza por movimientos en masa en función de la probabilidad de falla

Nivel de amenaza	Probabilidad de falla anual TE= 1 año (USACE)	Probabilidad de falla TE=10 y 50 años (Guía SGC)
Baja	0.0%-0.1%	0.0%-0.1%
Media	0.1%-0.6%	0.1%-16%
Alta	>0.6%	>16%

Como se mencionó anteriormente, el cálculo de la probabilidad de falla se realizó mediante el análisis de talud infinito para la zona total de interés. Por cada una de las celdas de estudio de 2m de lado acorde a la escala detallada del estudio se calcula la probabilidad de falla combinada generando así el resultado para la totalidad del área.

A continuación, se presentan los resultados de los diferentes escenarios de amenaza analizados de la Figura 14.7 a la Figura 14.14.

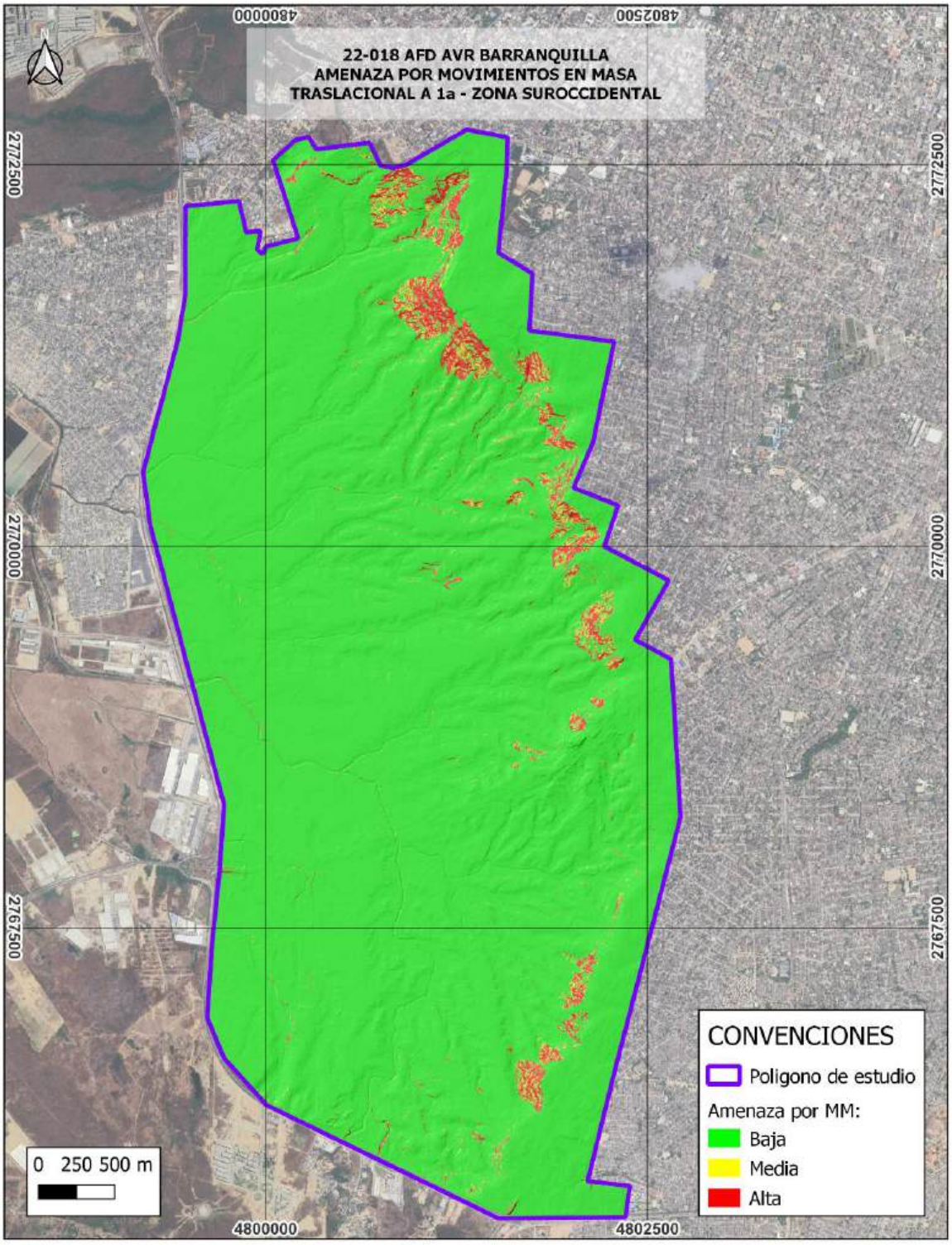


Figura 14.7 Amenaza por Movimientos en masa TE=1 año zona Ladera.

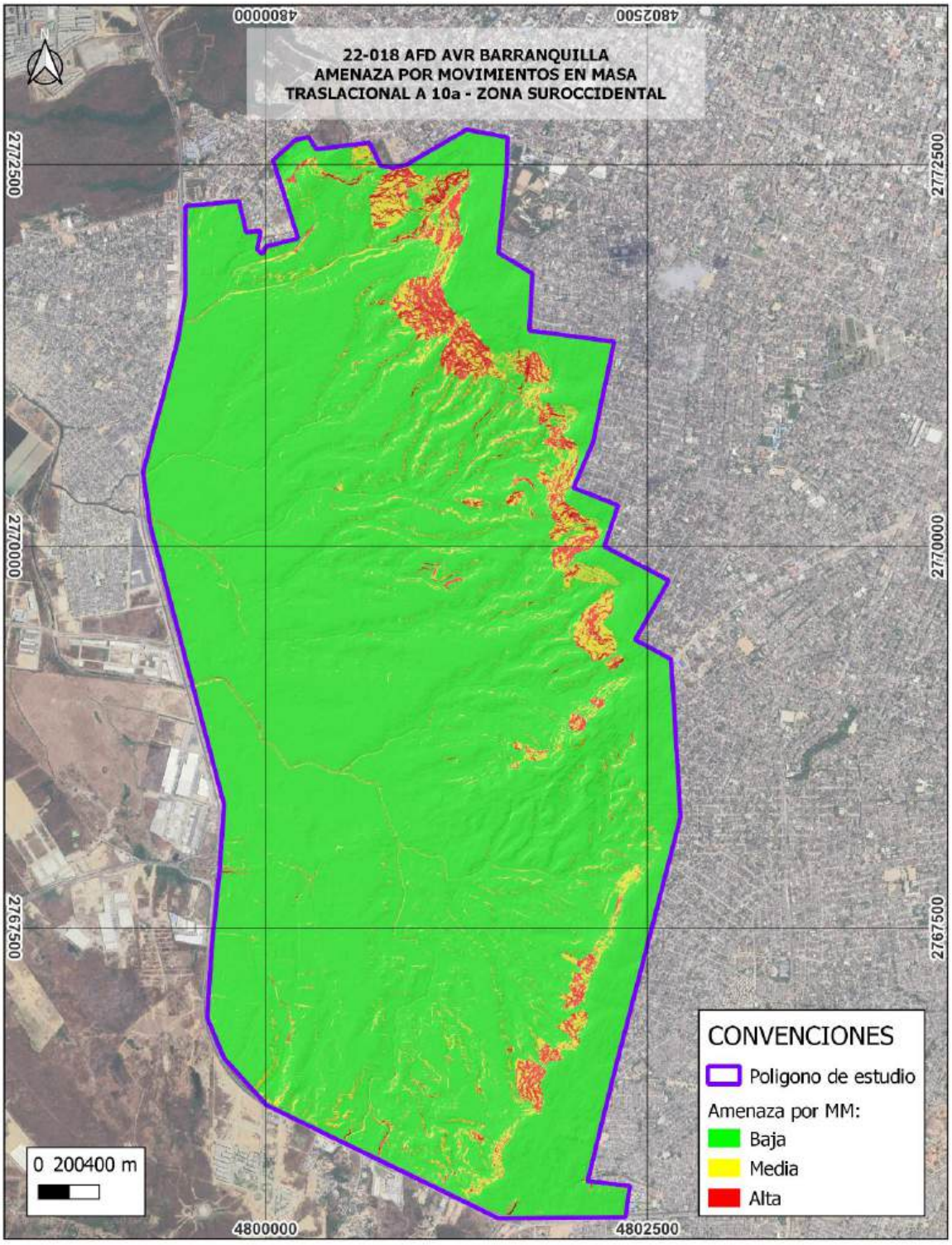


Figura 14.8 Amenaza por Movimientos en masa TE=10 años zona Ladera.

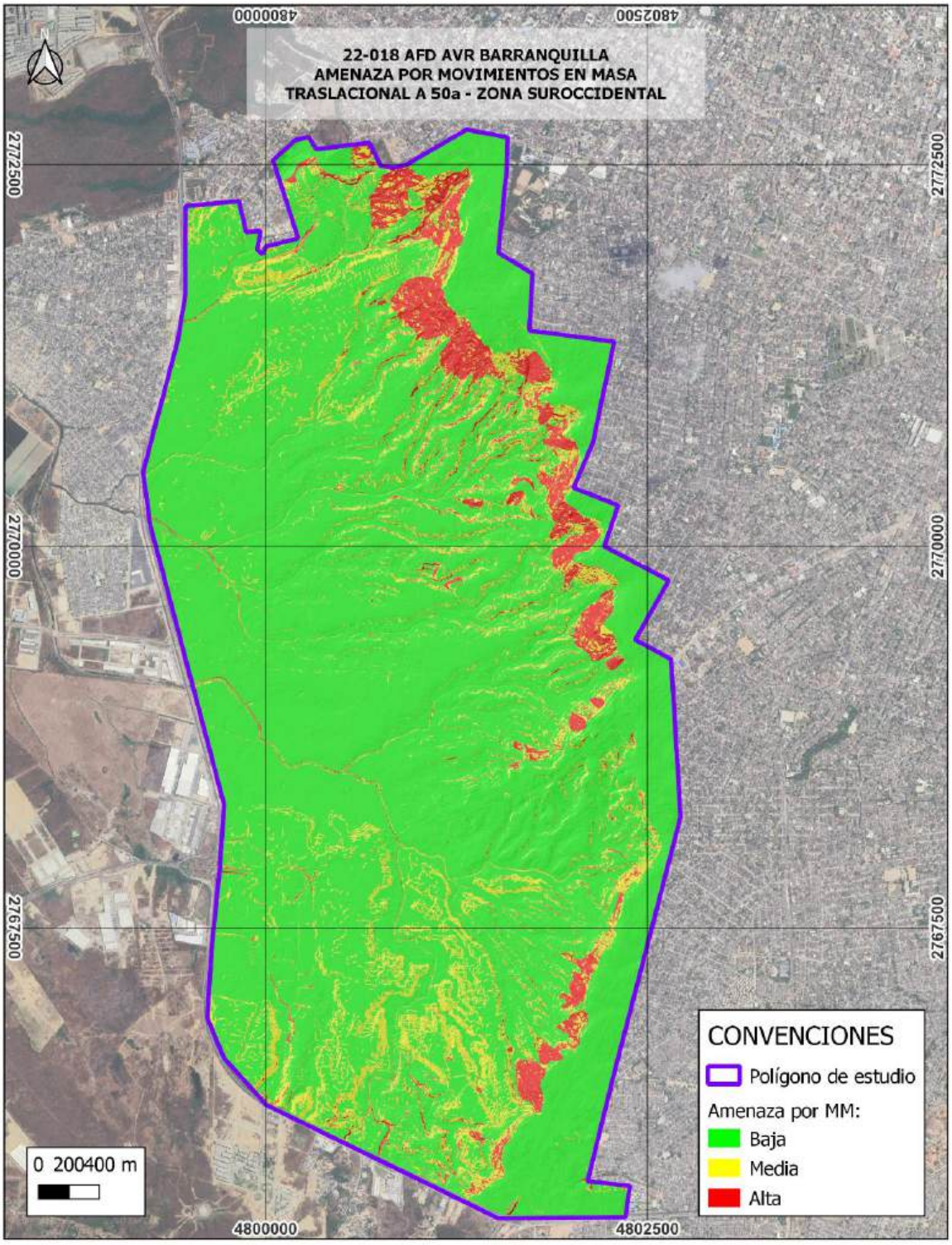


Figura 14.9 Amenaza por Movimientos en masa TE=50 años zona Ladera.

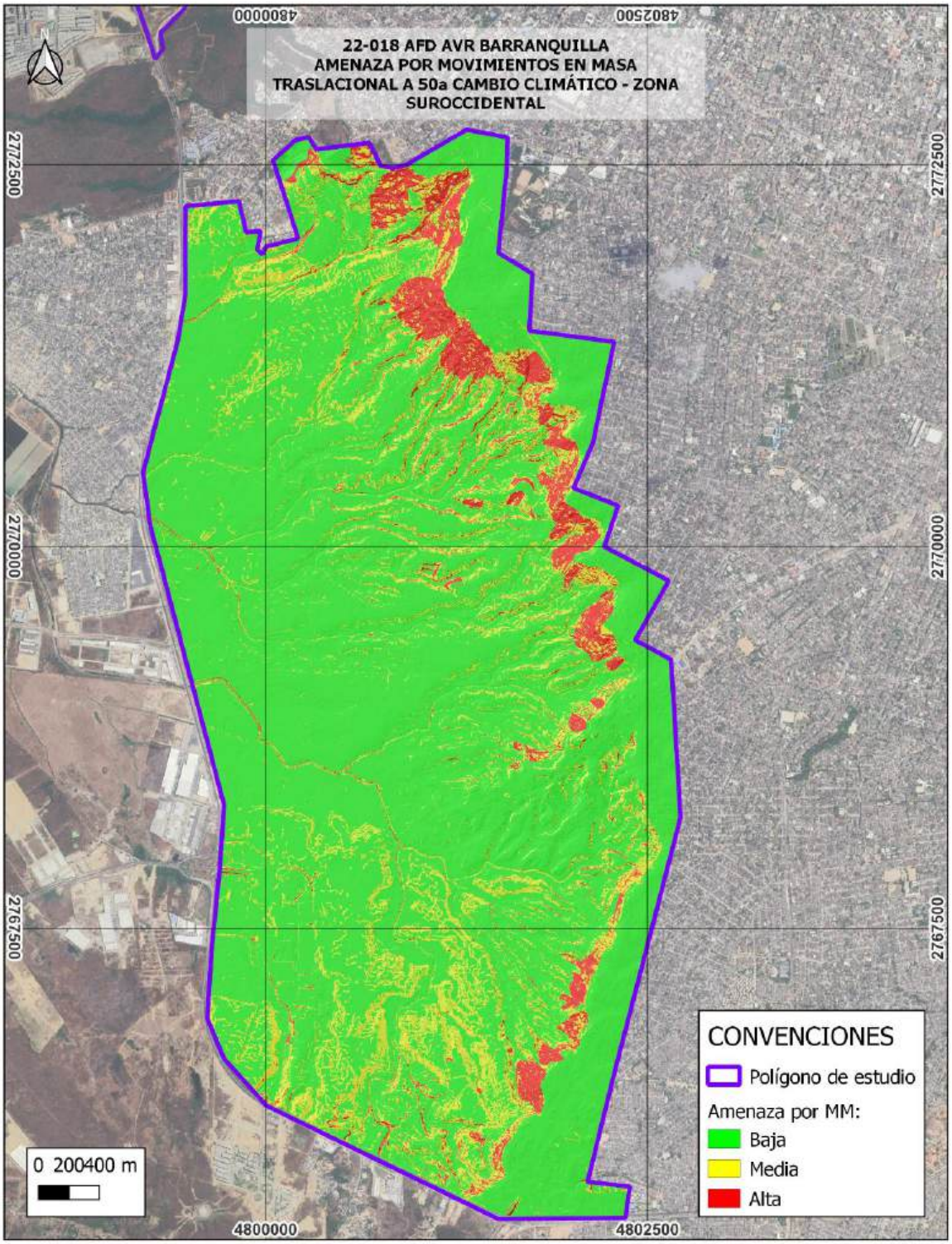


Figura 14.10 Amenaza por Movimientos en masa TE=50 años con Cambio climático zona Ladera.

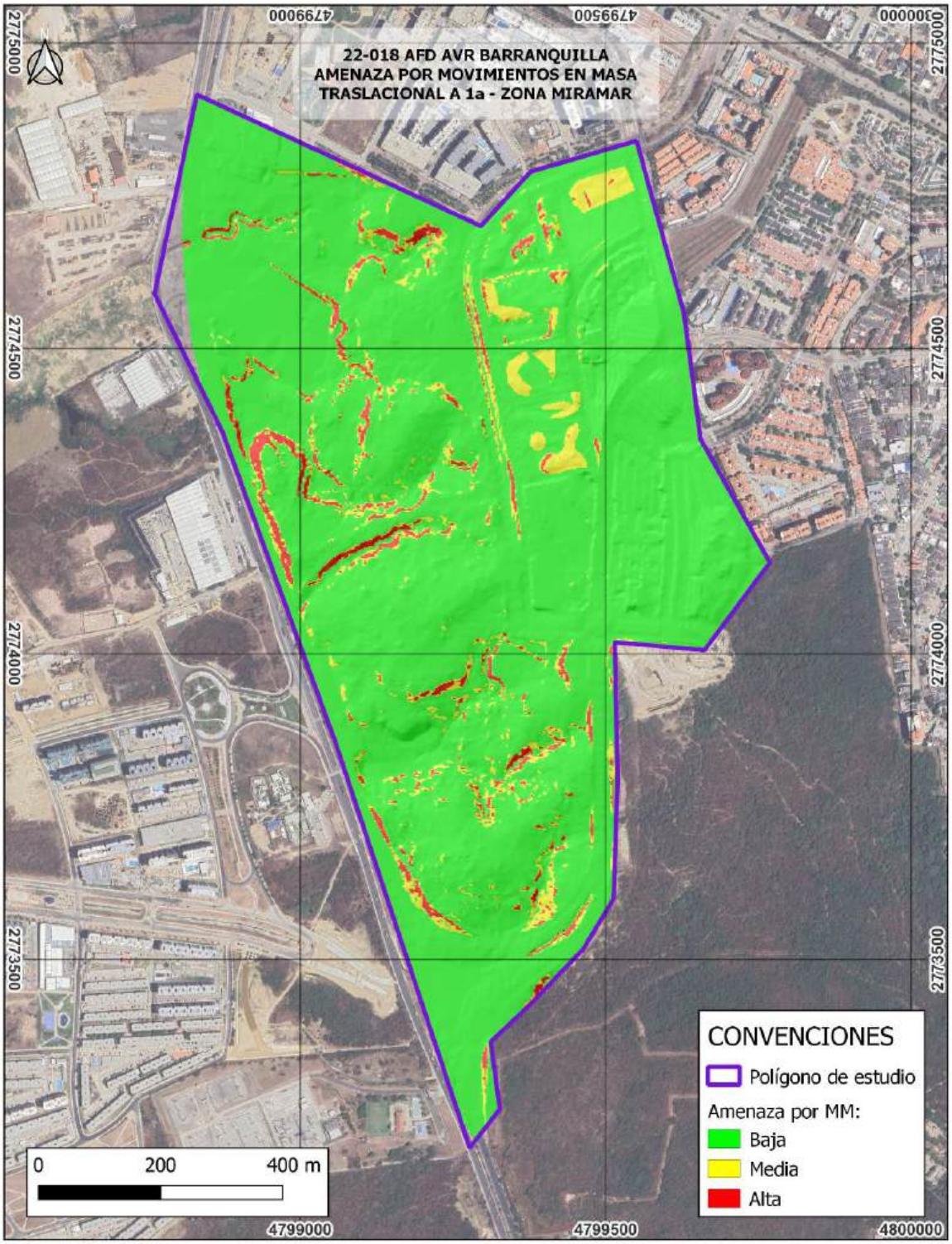


Figura 14.11 Amenaza por Movimientos en masa TE=1 año zona Miramar.

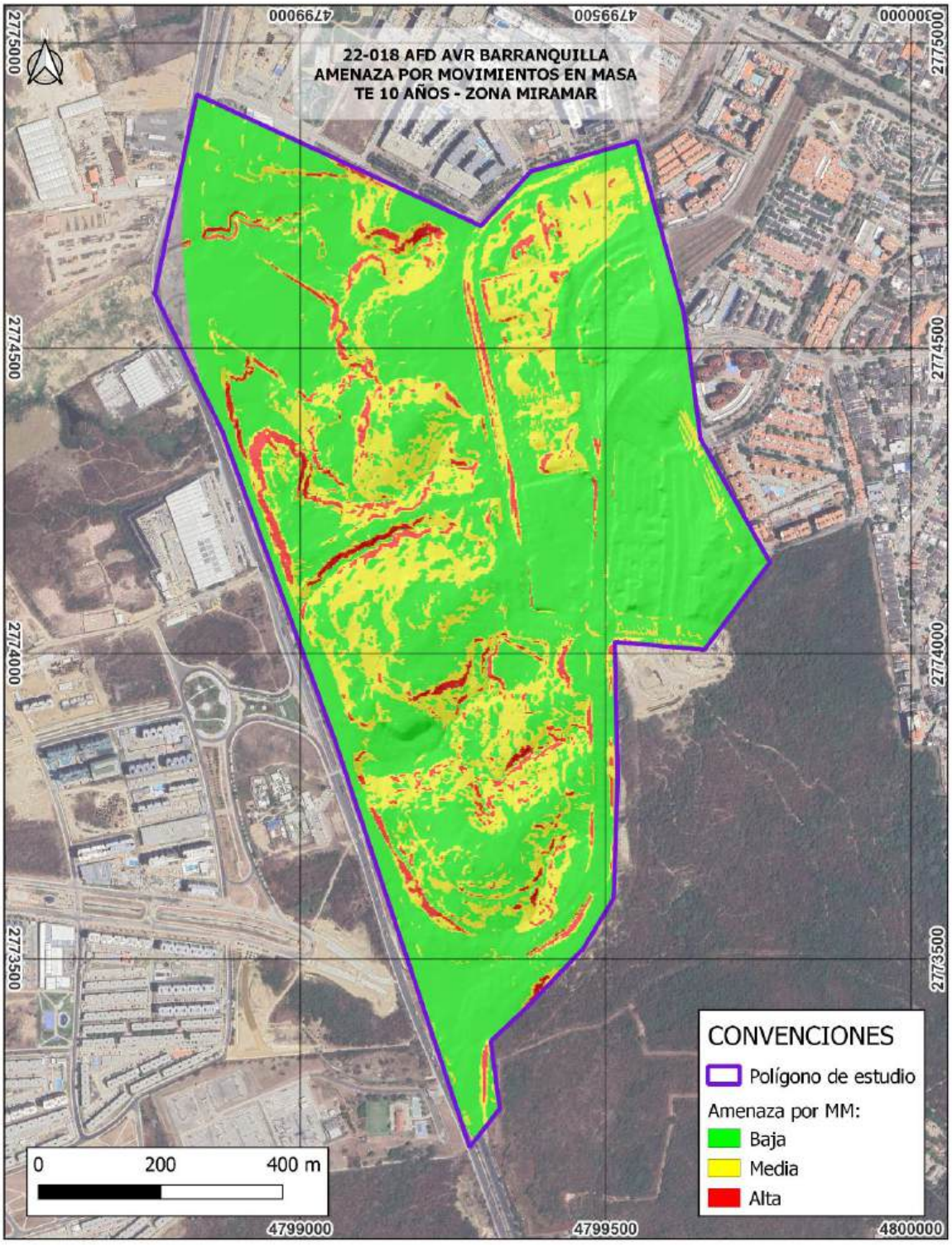


Figura 14.12 Amenaza por Movimientos en masa TE=10 años zona Miramar.

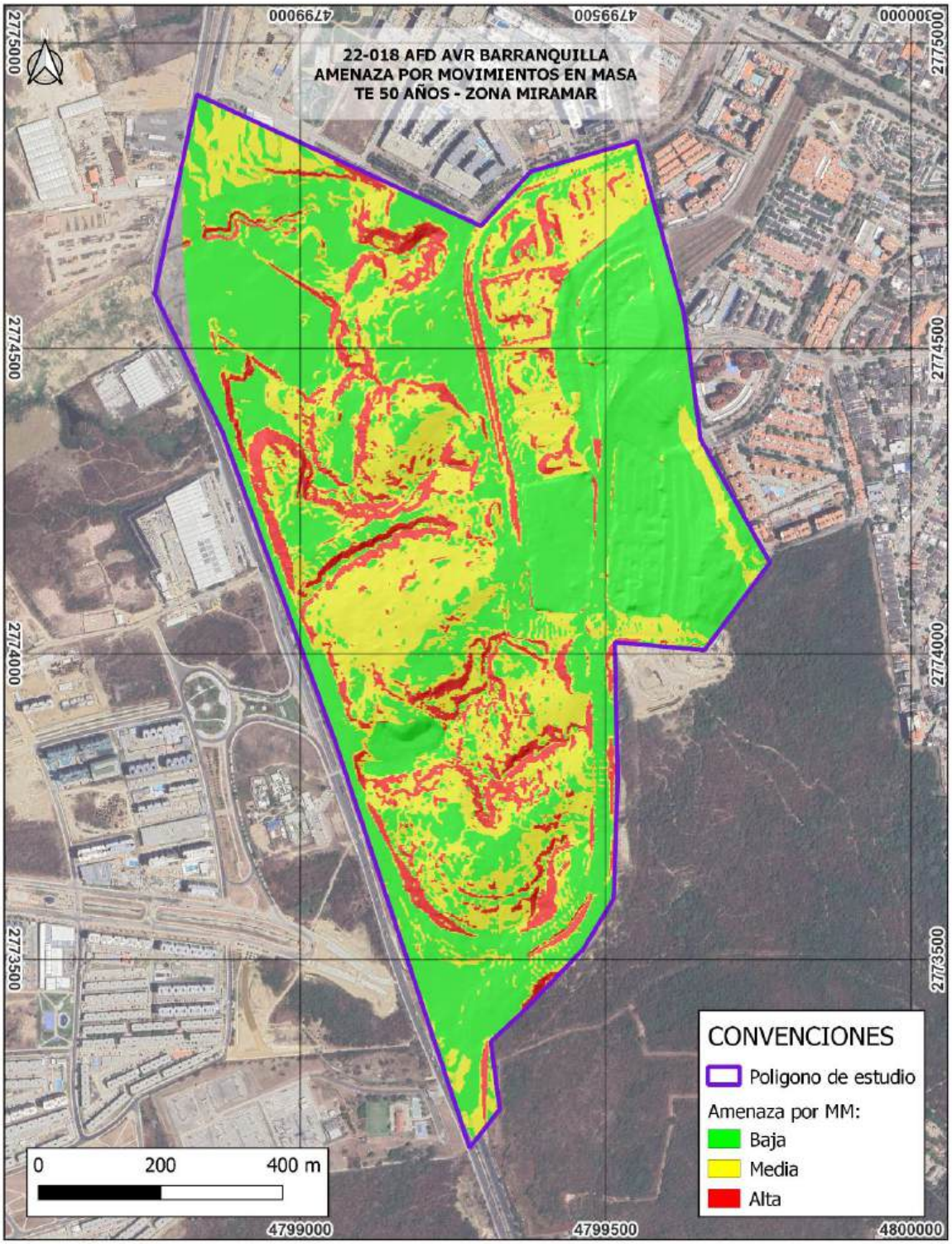


Figura 14.13 Amenaza por Movimientos en masa TE=50 años zona Miramar.

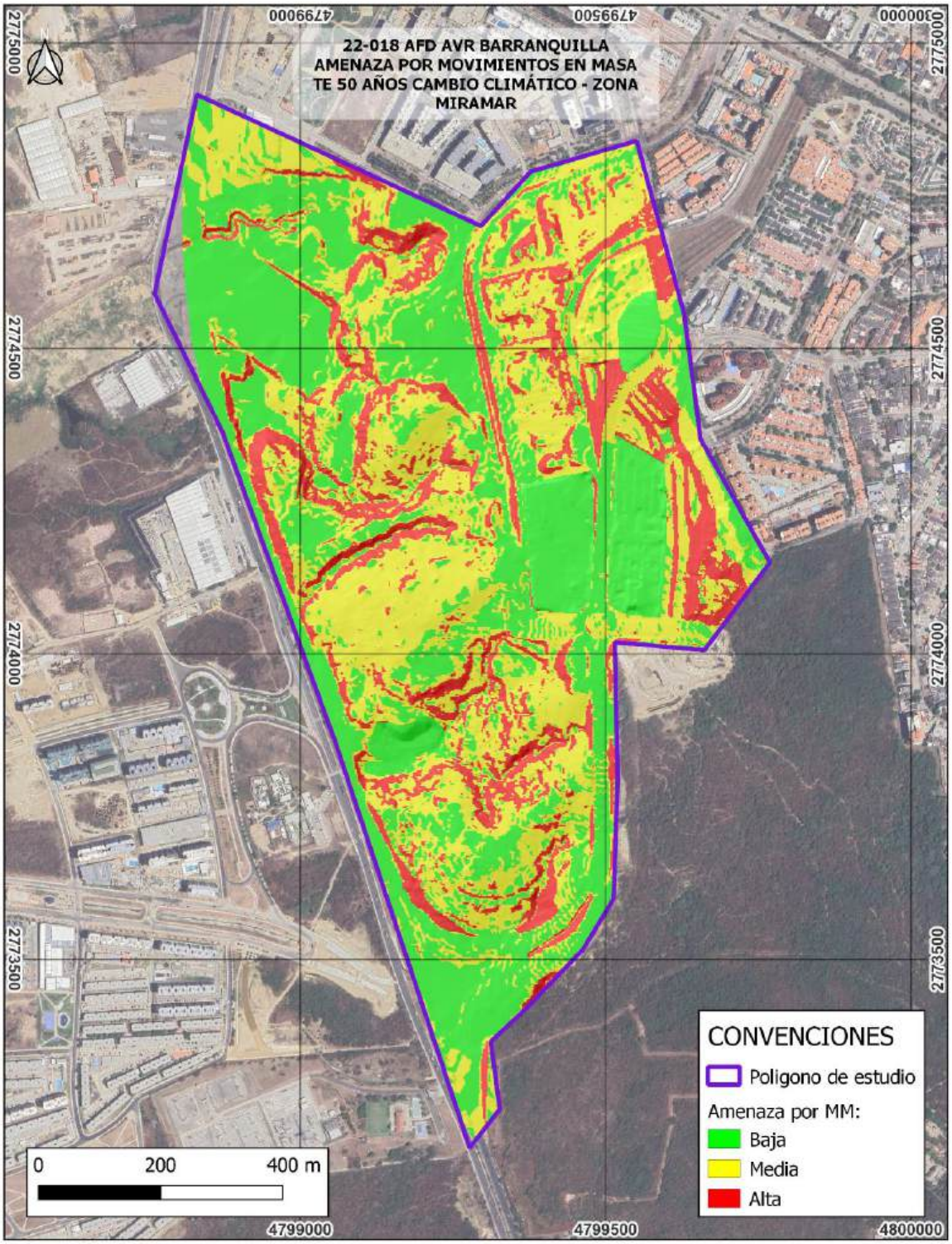


Figura 14.14 Amenaza por Movimientos en masa TE=50 años con Cambio climático zona Miramar.

14.7.1 Evaluación de Amenaza para Periodo de Exposición de 1 Año

La valoración de la amenaza para periodo de exposición de un año corresponde a los sectores identificados donde anualmente se esperan problemas de inestabilidad del terreno, originado en la mayoría de los casos por lluvias fuertes y prolongadas. Es importante destacar, sin embargo, que los anteriores problemas de inestabilidad han sido acelerados por las siguientes causas:

- Ausencia de sistema de alcantarillado que permita la correcta recolección y evacuación de las aguas negras.
- Sistema de acueducto conformado muchas veces por mangueras en mal estado que inyectan de manera continua agua al talud.
- Presencia de cortes y rellenos de mala calidad, utilizados para la implantación de viviendas vulnerables.

Teniendo en cuenta lo anterior, se generó el mapa de amenaza por remoción en masa, para periodo de exposición de un año, cuya distribución por áreas se ilustra en la Figura 14.15 y la Figura 14.16 (Planos 10 y 10a), destacándose los siguientes aspectos:

- **AMENAZA BAJA:** La mayor parte del área de estudio se encuentra ubicado en amenaza baja. Corresponde a las zonas de pendiente baja (menor a 10 grados). La distribución porcentual por área de estudio es la siguiente:
  - Zona Miramar: 79.11 Ha
  - Zona Nor-occidental: 1727 Ha

- **AMENAZA MEDIA:**
  - Zona Miramar: 5.31 Ha
  - Zona Nor-occidental: 38 Ha

- **AMENAZA ALTA:**
  - Zona Miramar: 2.85 Ha
  - Zona Nor-occidental: 45 Ha



Figura 14.15 Distribución de los niveles de amenaza para periodo de exposición de un año sector Miramar



Figura 14.16 Distribución de los niveles de amenaza para periodo de exposición de un año sector Nor – Occidental

14.7.2 Evaluación de Amenaza para el Periodo de Exposición de 10 Años

Corresponde a los eventos que se esperan se presenten para para un periodo de exposición de 10 años. Dado que corresponden a condiciones más desfavorables, las áreas de amenaza alta sufrirán un incremento importante, en el evento de no tomarse los correctivos necesarios. La distribución de la amenaza es la siguiente:

- **AMENAZA BAJA:** La mayor parte del área de estudio se encuentra ubicado en amenaza baja. Corresponde a las zonas de pendiente baja (menor a 10 grados). La distribución porcentual por área de estudio es la siguiente:
  - Zona Miramar: 60.12 Ha
  - Zona Nor-occidental: 1622 Ha
- **AMENAZA MEDIA:**
  - Zona Miramar: 22.5 Ha
  - Zona Nor-occidental: 135 Ha
- **AMENAZA ALTA:**
  - Zona Miramar: 4.58 Ha
  - Zona Nor-occidental: 53.4 Ha



Figura 14.17 Distribución de los niveles de amenaza para periodo de exposición de 10 años sector Miramar



Figura 14.18 Distribución de los niveles de amenaza para periodo de exposición de 10 años sector Nor-Occidental

14.7.3 Evaluación de la Amenaza para Periodo de Exposición de 50 Años

Este escenario es el recomendado en la guía metodológica del SGC (2016), correspondiente al periodo de exposición de 50 años. Corresponde a la condición más crítica de los anteriores escenarios, dado que para esta condición se produce un incremento significativo en los niveles de amenaza alta. Este mapa es el que se recomienda para la incorporación en el POT de Barranquilla. Las principales características son las siguientes:

- **AMENAZA BAJA**: La mayor parte del área de estudio se encuentra ubicado en amenaza baja. Corresponde a las zonas de pendiente baja (menor a 10 grados). La distribución porcentual por área de estudio es la siguiente:
  - Zona Miramar: 44.7 Ha
  - Zona Nor-occidental: 1463 Ha

- **AMENAZA MEDIA:**
  - Zona Miramar: 30.3 Ha
  - Zona Nor-occidental: 242.7 Ha

- **AMENAZA ALTA:**
  - Zona Miramar: 12.2 Ha
  - Zona Nor-occidental: 104.9 Ha

Para este periodo de exposición se observa un incremento significativo en las áreas de amenaza, lo cual genera la necesidad de desarrollar un plan de intervención a largo plazo, para mitigar la amenaza en estos sectores vulnerables.



Figura 14.19 Distribución de los niveles de amenaza para periodo de exposición de 50 años sector Miramar

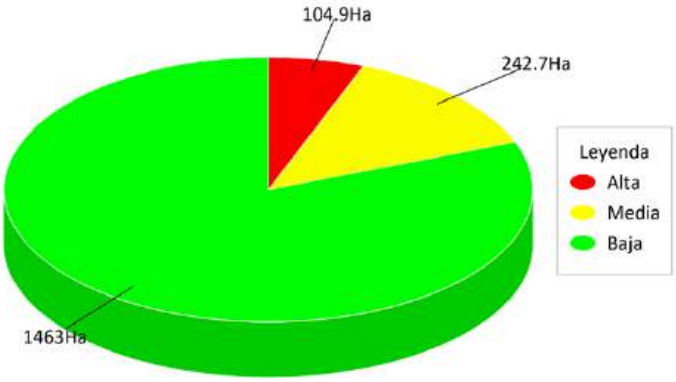


Figura 14.20 Distribución de los niveles de amenaza para periodo de exposición de 50 años sector Nor-Occidental

14.7.4 Evaluación de la Amenaza por Efecto de Cambio Climático. Periodo 2035 – 2070

El cambio climático tiene una influencia muy importante en el régimen de lluvias de Barranquilla, ya que los veranos serán más prolongados y las lluvias más intensas, tal como se ilustro en el volumen de vulnerabilidad al cambio climático. El cambio climático tendrá dos efectos adversos sobre las laderas:

- En primer lugar, los veranos prolongados, generarán un fuerte resecamiento del terreno, que se manifestará en agrietamientos hasta profundidades importantes, que facilitará el flujo de agua de escorrentía hacia el interior del talud.
- Las lluvias serán más intensas, lo cual a su vez implicará una fácil infiltración en un terreno que se encuentra muy agrietado. Eso a su vez, desencadenará en un incremento en el número de deslizamientos que se presentarán en la ciudad.

Este escenario corresponde al más crítico, ya que se ha generado a partir de unas nuevas curvas IDF, en las que se ha tenido en cuenta el efecto del cambio climático. La distribución de amenazas es la siguiente para el sector Nor-occidental que es el más crítico:

- **AMENAZA BAJA:** Se observa una disminución importante a nivel de las áreas de amenaza baja, esto como consecuencia del incremento de las áreas de amenaza alta y media. La mayor parte del área de estudio se encuentra ubicado en amenaza baja. La distribución porcentual por área de estudio es la siguiente: 1350 Ha
- **AMENAZA MEDIA:** 300 Ha
- **AMENAZA ALTA:** 150 Ha.

Es importante mencionar que los anteriores valores podrán variar, dependiendo de las medidas que se adopten a nivel de normatividad para la ciudad ante el cambio climático. De ahí, la importancia de abordar esta temática.

14.8 DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS DE AMENAZA

A continuación, se presenta la descripción de los diferentes niveles de amenaza por remoción en masa, detectados en la zona de estudio. Es importante destacar que la leyenda es la misma, pero la diferenciación corresponde a que dependiendo del periodo de exposición las áreas de amenaza variarán. De igual manera, es necesario tener presente las observaciones mencionadas con anterioridad, en cuanto a distribución espacial de los diferentes niveles de amenaza.

14.8.1 Zona de Amenaza Baja

Esta zona se caracteriza por la ausencia de deslizamientos. Los pocos que se han detectado, se presentan en los márgenes de los arroyos. Abarca la mayor parte de la zona de estudio, pero dependiendo del periodo de exposición, esta área se verá disminuida de manera ostensible, en la medida en que se incremente el periodo de exposición (ver Figura 14.21).

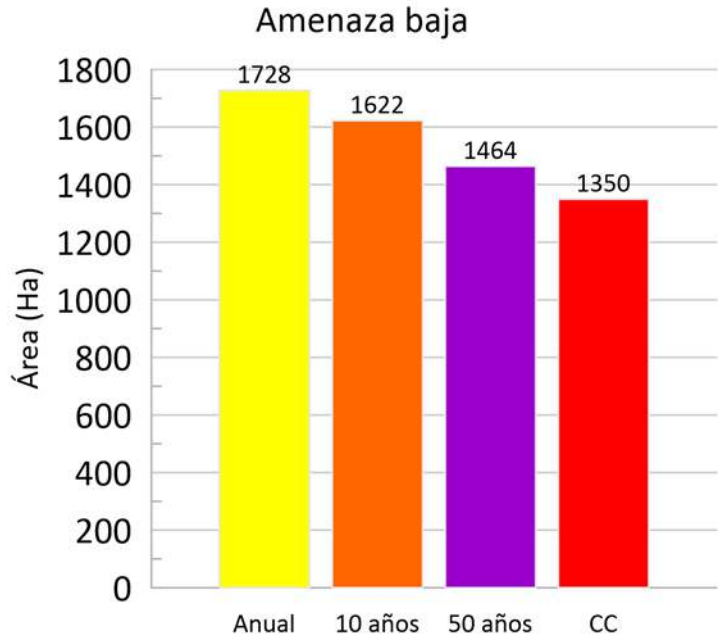


Figura 14.21 Fluctuación del nivel de amenaza baja con el periodo de exposición

De dicha figura se concluye que en la medida en que incrementamos el periodo de exposición, las áreas de los sectores de amenaza baja disminuyen, debido precisamente a que el área de amenaza alta se va incrementando.

Es importante destacar que en esa zona no se han registrado problemas de inestabilidad recientes, lo que califica las zonas como de potencial nulo a la ocurrencia de deslizamientos.

Desde el punto de vista geológico se observan principalmente reptaciones y flujos superficiales aislados. Los daños detectados corresponden básicamente a agrietamiento de las viviendas generados por la presencia de arcillas expansivas (en algunos casos estas presiones de expansión pueden llegar a ser del orden de 12 ton/m^2). Los sectores se caracterizan por presentar pendientes menores a 10°, conformando por lo general zonas planas a levemente inclinadas, y adicionalmente, presentan un moderado a bajo grado de meteorización y fracturamiento. Los materiales presentes en la zona corresponden a arcillolitas limosas laminadas de la Formación Las Perdices, arenas de la Formación Las Perdices y calizas arrecifales de la Formación La Popa. En menor proporción se encuentran depósitos de arena fina muy sueltas (medanos) y llenos antrópicos de escombros de construcción y estériles de minería provenientes de canteras activas. Es importante destacar que sobre esta zona se encuentran el mayor desarrollo urbanístico para uso residencial, al igual el equipamiento de infraestructura, entre ella colegios y centros de salud, en los que se detectaron problemas sanitarios e inundaciones asociados a deficiencias en los sistemas de alcantarillado y disposición de residuos sólidos. El modelo probabilístico de amenaza muestra que la zona es muy estable, (probabilidad de falla menor a 0.1%), pero dependiendo del periodo de exposición (1, 10 y 50 años), está área de amenaza baja se podrá ver reducida, en el entendido que es necesario estabilizar algunos de los sectores críticos detectados en el estudio. Finalmente, estas zonas se califican como de laderas estables.

Los principales problemas geotécnicos identificados en esta zona, que no están directamente relacionados con deslizamientos son los siguientes:

- Presencia de Arcillas expansivas. En general corresponden a arcillas con un potencial de expansión alto, pudiendo llegar a valores de expansión del orden de 5.0 a 12.0 ton/m^2. Estos terrenos se caracterizan por su intenso agrietamiento, lo cual se manifiesta en afectaciones a viviendas que presentan deficiencias constructivas.
- Existe una amplia zona caracterizada por el agrietamiento del terreno. Este fenómeno ha ocasionado el agrietamiento de numerosas viviendas, las cuales a su vez presentan serias deficiencias constructivas. Estos sectores se identifican por la presencia de arcillas expansivas, las cuales en época de verano sufren contracciones importantes, que se manifiestan en forma de fuertes agrietamientos del terreno. En invierno por otro lado, las grietas facilitan la infiltración del agua, presentándose incrementos en el volumen que las estructuras no están en capacidad de soportar.
- Zona de relleno. Se identificaron numerosas zonas, las cuales han sido rellenadas con materiales de mala calidad. Estos rellenos en general presentan una compactación deficiente, y son el resultado de materiales provenientes de excavaciones, desechos de

construcción y basureros. Estos rellenos se encuentran ubicados a media ladera, con el tiempo y periodos lluviosos tienden a fallar.

- Zona de depósitos de arenas sueltas. Estos depósitos se encuentran ubicados hacia el sector norte de la zona de estudio. Se caracteriza por la presencia de depósitos de arenas sueltas, cuyos resultados de laboratorio muestran que son potencialmente licuable. El espesor de estos depósitos no supera en general los 10.0 metros de profundidad. Estas arenas en algunos sectores forman médanos, cuya estabilidad es muy precaria ante agentes detonantes como la lluvia y el viento. Es importante proceder a la recuperación de estas zonas de médanos mediante la siembra de especies de la región. Esta actividad se ha llevado a cabo en algunos sectores de la ciudad con mucho éxito.
- Zonas Inundables. El hecho de que la zona sea plana genera otro tipo de problema relacionado con inundaciones en épocas invernales. Este tema, sin embargo, es tratado en detalle en el capítulo de amenaza por inundación.

14.8.2 Zona de Amenaza Media

Corresponde a sectores que presentan una morfología ondulada, donde son frecuentes los flujos, deslizamientos rotacionales y reptaciones. Se caracterizan por presentar una pendiente que fluctúa entre los 10 y 15 grados.

Comparando con el mapa del INGEOMINAS (2011), se comprueba un incremento significativo de los procesos de inestabilidad en los últimos 10 años. De igual manera, sectores que en el pasado eran de amenaza intermedia han pasado a amenaza alta. Los procesos de inestabilidad en este sector se han venido incrementando de manera dramática. Esta zona se encuentra por lo general en sectores donde se esperaría que la severidad de los daños sea de moderada a leve con base en la frecuencia de los procesos. Se destaca que muchos sectores de amenaza media en el 2010, ha sido ocupados y debido a la actividad antrópica los procesos de inestabilidad se han disparado. La zona presenta procesos denudativos incipientes; sin embargo, es necesario mantener el equilibrio, preservando la cobertura vegetal nativa, y emprendiendo campañas de protección ambiental. Son zonas con moderado grado de meteorización y fracturamiento, por lo general con pendientes menores a 15°, conformando por lo general laderas y colinas de morfologías cóncavas. Los materiales presentes están conformados predominantemente por arcillolitas limosas laminadas de la Formación Las Perdices, que se encuentran en estado de equilibrio incipiente, y a la menor alteración se podrán convertir en deslizamientos activos. Estas arcillolitas se caracterizan por desarrollar suelos residuales arcillosos de poco espesor, altamente plásticos y con alto potencial de expansividad (Barro Gallego). En menor proporción se encuentran afloramientos de arcillolitas calcáreas (margas) y calizas arrecifales de la Formación La Popa, así como arenas gravosas deleznables de la Formación Las Perdices, en buena parte cubierta por construcciones urbanas, especialmente residenciales antiguas, y por vegetación principalmente de arbustales y herbazales, en menor proporción se observan sectores con deterioro de los suelos y de los recursos naturales. Según el modelo probabilístico de estabilidad de falla total correspondiente a 24 escenarios de lluvia y sismo, muestran que en la medida en que se incrementa el periodo de exposición, el área de amenaza media se incrementará de 38 hectáreas a 242 hectáreas para los 50 años de exposición. El efecto del cambio climático para

periodo de exposición de 50 años, para el periodo comprendido entre 2035 y 2065, es aún más crítico, ya que el área se podría incrementaría a 300 hectáreas. Lo anterior implica un plan de gobierno robusto en el mediano y largo plazo, que implique planes de acción específicos para estos sectores de amenaza media.

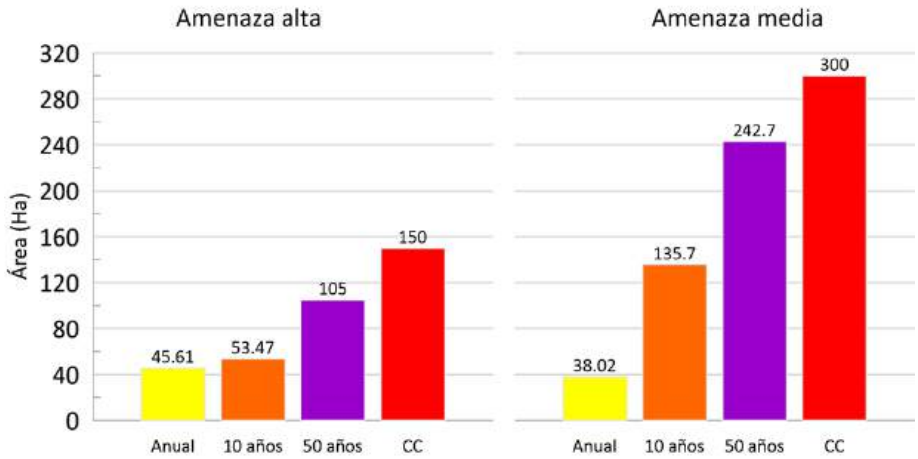


Figura 14.22 Fluctuación de los niveles de amenaza media y alta con el periodo de exposición

14.8.3 Zona de Amenaza Alto

Esta zona está conformada por los deslizamientos activos que se han venido presentado en la ciudad. Como consecuencia de estos deslizamientos activos se han visto afectaciones en amplios sectores de los barrios: las Terrazas, Villa del Rosario, El Edén, me Quejo, Carlos Meisel, Nueva Colombia, la Esmeralda, Cuchilla de Villate, El Bosque, las Américas, Santo Domingo de Guzmán y Siete de Abril. Esta zona está prácticamente concentrada en un corredor de norte a sur de manera casi continua sobre las laderas occidentales. Son numerosas las caídas, flujos, deslizamientos traslacionales y rotacionales, o la combinación de estos (movimientos complejos), que en conjunto con la frecuencia de los eventos pueden generar movimientos en masa de gran magnitud (como los observados en el presente estudio). En general, los efectos que se esperan en estas zonas son los más catastróficos y los que implicarían una mayor intervención de control, mitigación y recuperación. Los procesos denudativos son muy intensos, por lo cual es importante evaluar la viabilidad de la implementación de obras de corrección, mitigación y control en los sitios críticos identificados, así como un adecuado uso del suelo, el control de los procesos erosivos y un eficiente manejo de las aguas superficiales, entre otros, con el fin de impedir el aumento y/o la formación de nuevos procesos de inestabilidad, lo que la hace calificar con un alto potencial a la ocurrencia de movimientos en masa.

Es importante destacar que estos deslizamientos se caracterizan por su carácter retrogresivo, es decir, que, de no intervenirse el área afectada, esta se incrementará durante las épocas de lluvia. Esto, se pudo comprobar la realizar el análisis multitemporal entre los años 2010 y 2023. Para estos sectores se recomienda adelantar estudios de detalle que incluya: topografía de detalle, geología, exploración del subsuelo, monitoreo, ensayos de laboratorio (cortes directos y triaxiales consolidados no drenados midiendo presión de poros, pruebas de permeabilidad, etc.), diseños de obras de mitigación, etc. Posteriormente, se deberá construir las respectivas obras de mitigación propuestas

en los estudios. En general, una vez estabilizados estos sectores, no se deberá permitir futuros desarrollos urbanísticos o el asentamiento de personas de bajos recursos, ya que se pondrá en peligro la estabilidad de la obra de mitigación. Es muy importante que la Alcaldía defina nuevos sectores para el reasentamiento de estas personas, y definir estas áreas como suelo de protección.

Con el objeto de impedir el progresivo desarrollo de los actuales procesos inestables y el origen de nuevos focos de erosión, se sugiere emprender campañas de protección ambiental, el control de la erosión y un adecuado uso del suelo, así como la implementación de obras de mitigación y control en los sitios críticos identificados. Son zonas con alto grado de meteorización y fracturamiento, por lo general con pendientes entre 10° a 15° con dirección predominante NW a SW, conformando por lo general laderas de morfologías convexas a rectilíneas. Los materiales presentes están conformados principalmente por arcillolitas limosas laminadas de la Formación Las Perdices, las cuales desarrollan suelos residuales arcillosos de poco espesor, altamente plásticos y con alto potencial de expansividad (Barro Gallego); sin embargo se encuentran algunos depósitos recientes de movimientos en masa sueltos y altamente permeables, así como algunos llenos antrópicos de escombros de construcción y basuras, por lo general cubiertas por construcciones urbanas, especialmente residenciales antiguas, y por vegetación secundaria de tipo arbustos y herbazales, la cual en buena parte es el resultado de cambios de uso del suelo que han afectado las geoformas naturales y los drenajes de la zona. Desafortunadamente sectores que en el pasado fueron inestables, han sido ocupados nuevamente por familias de escasos recursos económicos.

Según el modelo probabilístico de estabilidad de falla total correspondiente a 24 escenarios de lluvia y sismo, muestran que en la medida en que se incrementa el periodo de exposición, el área de amenaza alta se incrementará de 45 hectáreas a 105 hectáreas para los 50 años de exposición. El efecto del cambio climático para un periodo de exposición de 50 años, para el espacio de tiempo comprendido entre 2035 y 2065, es aún más crítico, ya que el área se podría incrementaría hasta las 300 hectáreas. Lo anterior implica un plan de gobierno robusto en el mediano y largo plazo, que implique planes de acción específicos para estos sectores de amenaza alta.

Para el caso del sector de Miramar, se detectó la presencia de aguas subterráneas que han venido afectando los sótanos y vías de acceso a algunas edificaciones, las cuales es necesario tratar.

14.8.4 Probabilidad de falla a partir de análisis bidimensionales

Adicional al análisis de la probabilidad de falla mediante el análisis por el método de talud infinito, se realizaron cálculos de la probabilidad de falla para los diferentes perfiles analizados en los que por cada uno de los escenarios analizados se obtuvieron probabilidades de falla condicionadas a la ocurrencia de los eventos detonantes. La probabilidad condicionada de cada uno de los escenarios considerados es luego multiplicada por las probabilidades de los eventos críticos de sismo y lluvia considerados para cada escenario y finalmente se combinan todos los escenarios para obtener la probabilidad de falla combinada total. A continuación, se muestra en la Figura 14.23 el resultado para uno de los escenarios de la sección 8-8 de la zona de Ladera:

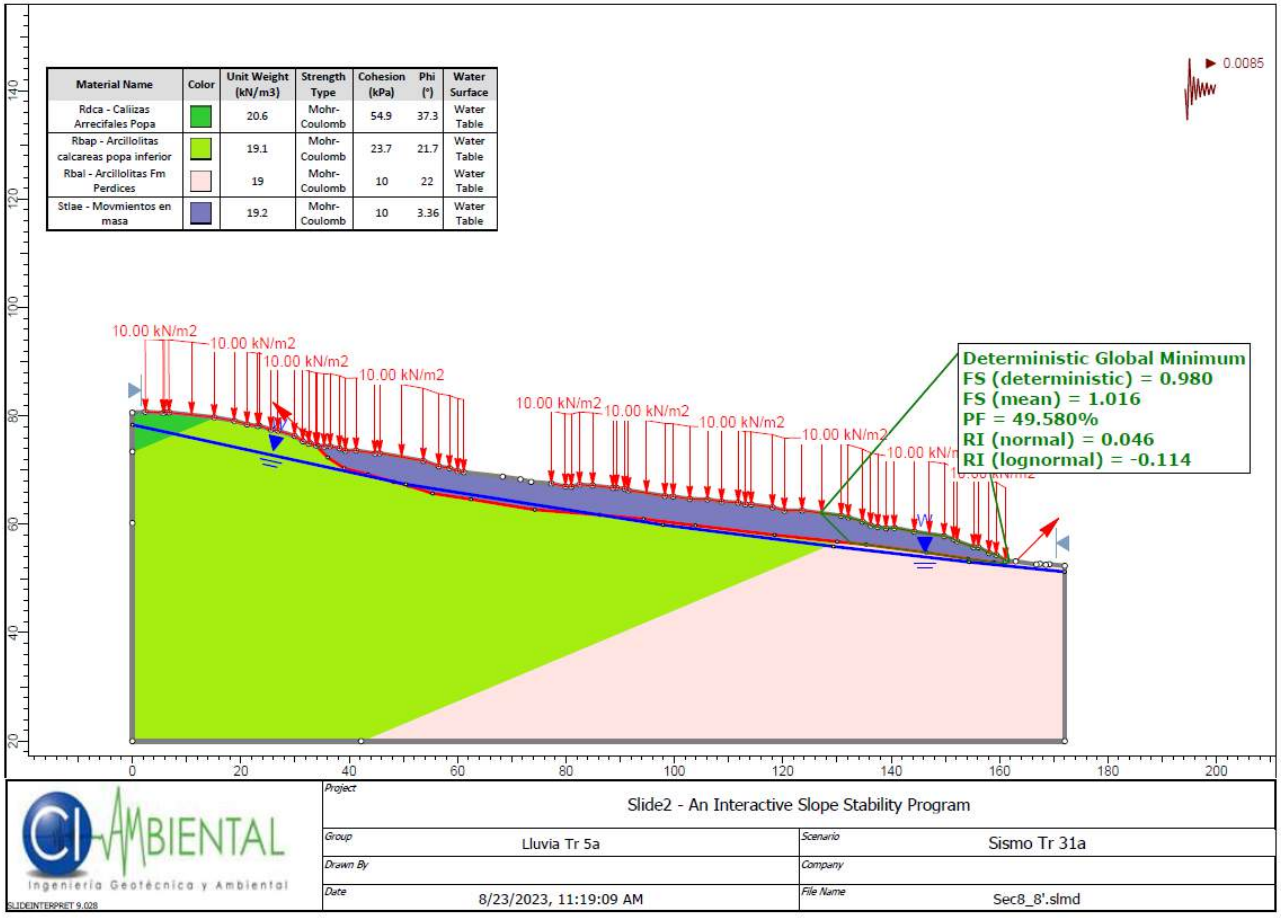


Figura 14.23 Resultados de estabilidad global para la sección 8-8 de la zona de Ladera escenario lluvia Tr=5 años y Sismo Tr=31 años.

Los demás resultados para los demás escenarios se presentan en los anexos. A continuación, se presenta en la Tabla 14.6 un ejemplo del cálculo de la probabilidad combinada total de falla para la sección 8-8 de la zona de Ladera:

Tabla 14.6 Cálculo de la probabilidad combinada de falla de la sección 8-8' de la zona de Ladera

L (años)	50	Probabilidad total de falla para la sección 7-7' - Tiempo de exposición de 50 años					
Tr Sismo	**Tr lluvia**	**P(k)**	**P(hw)**	**P(hw)P(k)**	**PF dado evento**	**PF escenario**	**1-P**
31	2,33	80,069%	100,000%	80,0692%	49,5800%	39,6983%	60,3017%
31	5	80,069%	99,999%	80,0680%	49,5800%	39,6977%	60,3023%
31	10	80,069%	99,485%	79,6565%	49,6400%	39,5415%	60,4585%
31	25	80,069%	87,011%	69,6693%	50,7000%	35,3224%	64,6776%
31	50	80,069%	63,583%	50,9104%	50,8000%	25,8625%	74,1375%
31	100	80,069%	39,499%	31,6268%	50,9000%	16,0981%	83,9019%
225	2,33	19,926%	100,000%	19,9263%	59,9800%	11,9518%	88,0482%
225	5	19,926%	99,999%	19,9260%	59,9800%	11,9516%	88,0484%
225	10	19,926%	99,485%	19,8236%	59,9800%	11,8902%	88,1098%
225	25	19,926%	87,011%	17,3381%	60,0400%	10,4098%	89,5902%
225	50	19,926%	63,583%	12,6697%	61,1200%	7,7437%	92,2563%
225	100	19,926%	39,499%	7,8708%	61,3800%	4,8311%	95,1689%
475	2,33	9,991%	100,000%	9,9912%	67,2200%	6,7161%	93,2839%
475	5	9,991%	99,999%	9,9911%	67,2200%	6,7160%	93,2840%
475	10	9,991%	99,485%	9,9397%	68,5600%	6,8147%	93,1853%
475	25	9,991%	87,011%	8,6935%	69,8600%	6,0733%	93,9267%
475	50	9,991%	63,583%	6,3527%	71,1600%	4,5206%	95,4794%
475	100	9,991%	39,499%	3,9465%	72,2600%	2,8517%	97,1483%
975	2,33	4,999%	100,000%	4,9989%	79,2400%	3,9612%	96,0388%
975	5	4,999%	99,999%	4,9989%	80,1000%	4,0041%	95,9959%
975	10	4,999%	99,485%	4,9732%	80,7000%	4,0133%	95,9867%
975	25	4,999%	87,011%	4,3496%	81,6800%	3,5528%	96,4472%
975	50	4,999%	63,583%	3,1785%	82,7200%	2,6292%	97,3708%
975	100	4,999%	39,499%	1,9745%	83,4400%	1,6476%	98,3524%
				Total Π(1-P)			**2,7442%**
				Total 1-Π(1-P)			**97,2558%**

Como se pudo observar la probabilidad de falla combinada total fue de 97.3%. De manera análoga se calculan las probabilidades de falla para las demás secciones y se presenta en los anexos.

14.9 PARÁMETROS DE INTENSIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA (MM)

Para el cálculo de la intensidad se consideraron diferentes factores para cada uno de los elementos expuestos, asociados a la amenaza percibida para cada uno de los mismos. En este sentido y siguiendo con la metodología propuesta por la Guía del SGC se asignan para cada predio los siguientes valores:

- **Zona del movimiento:** la zona del movimiento corresponde con la ubicación del elemento expuesto en función de las diferentes partes de un movimiento en masa activo. Las zonas a considerar se presentan en la Figura 14.24.

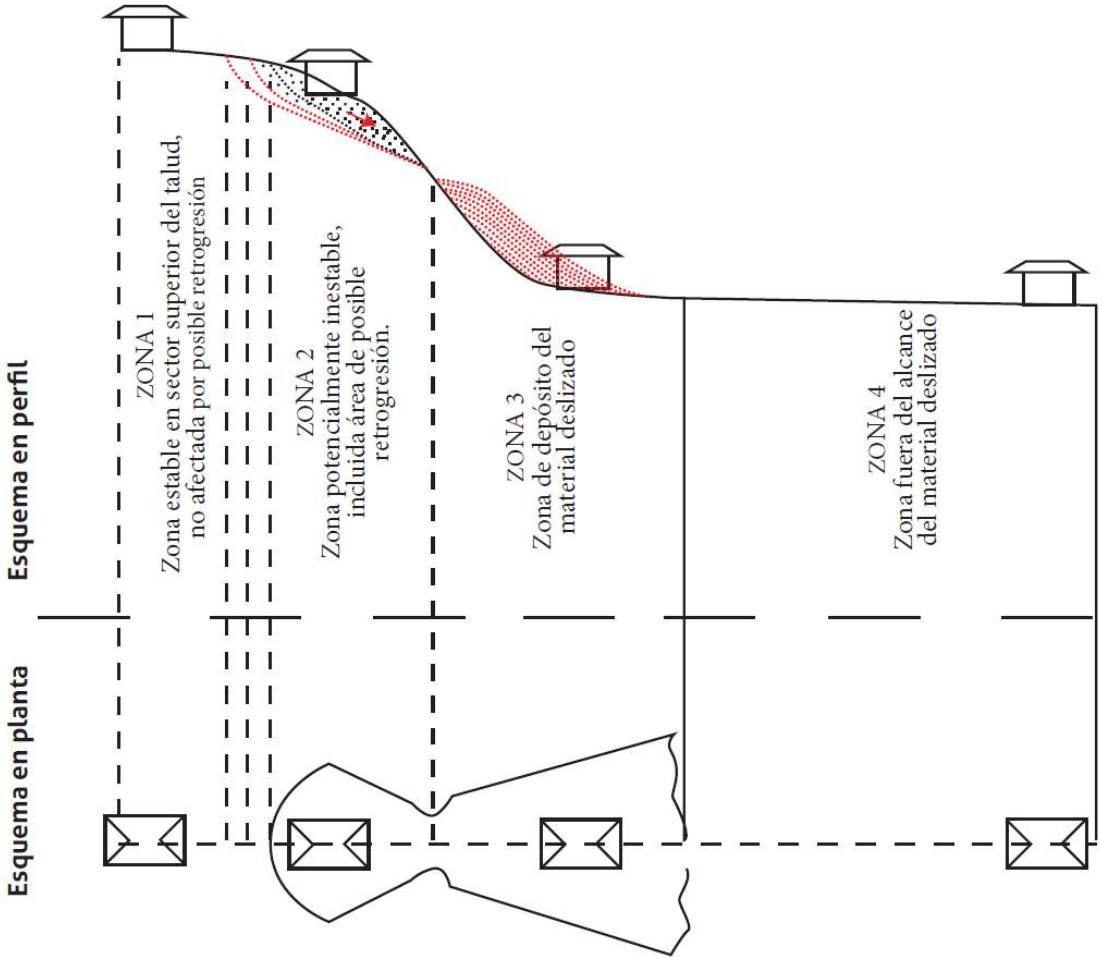


Figura 14.24 Zona de exposición de los elementos expuestos ante un deslizamiento (SGC, 2016)

El tipo de zona se asocia con la solicitación que se haría sobre la edificación, siendo que podría ser solicitada por medio de deformaciones verticales de importancia o por otro lado la solicitación sobre la vivienda podría darse en la forma de un empuje horizontal del material movilizado.

Con el fin de poder definir la zona de afectación 3, es necesario hacer el análisis de distancia de viajes de los deslizamientos. Se presenta el ejemplo de la sección Lad Secc4-4', de la cual se muestra la geometría del deslizamiento en la Figura 14.25..

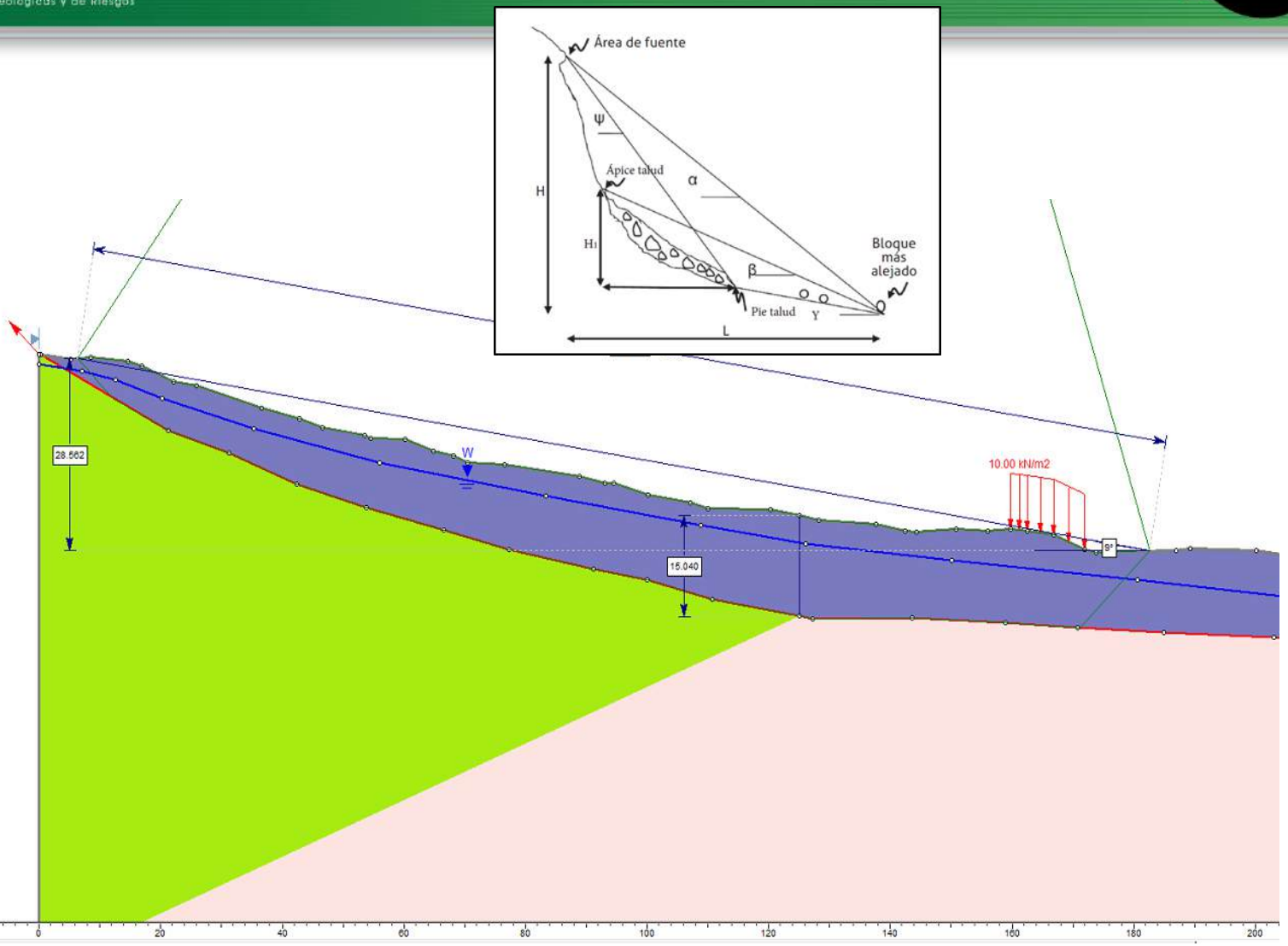


Figura 14.25 Variables geométricas del deslizamiento para la sección Lad_Secc4-4'.

El resumen de parámetros y el cálculo del volumen del deslizamiento (intensidad) se presenta en la Tabla 14.7:

Tabla 14.7 Cálculo del volumen y de los ángulos para la sección Lad_Secc2-2'.

CÁLCULO DEL VOLUMEN		
LR	178.598	m
DR	15.04	m
WR	52.944	m
FEXP	1.7	
V	126586.89	m3
H	146.425	m
Y	9	°
A	0.2	°

A partir de las ecuaciones de distancia de viaje de Corominas (1996) y Hungr et al. (2005), se define la distancia total de viaje como $\log(H/L) = A + B * \log(V)$, mediante los parámetros de la Tabla 14.7.

Tabla 14.8 Parámetros para el cálculo de distancia de deslizamiento según el tipo de mecanismo (SGC, 2016)

TIPO DE DESLIZAMIENTO	TRAYECTORIA	A	B	R2
Caída de rocas	Todo	0,210	- 0,109	0,76
	Obstruido	0,231	- 0,091	0,83
	Sin obstruir	0,167	- 0,119	0,92
Deslizamiento traslacional	Todo	- 0,159	- 0,068	0,67
	Obstruido	- 0,133	- 0,057	0,76
	Sin obstruir	- 0,143	- 0,080	0,80
Flujo de detritos	Todo	- 0,012	- 0,105	0,76
	Obstruido	- 0,049	- 0,108	0,85
	Sin obstruir	- 0,031	- 0,102	0,87
Flujos de tierra	Todo	- 0,214	- 0,070	0,65
	Sin obstruir	- 0,220	- 0,138	0,91

Tomando los parámetros para flujos de tierras sin obstruir, se obtiene una distancia de viaje desde la corona de 368.9 m, por lo que al tener un largo de 185.5m, el alcance del movimiento a partir de la pata del movimiento es de 183.4m.

14.10 PROBLEMÁTICA DE LAS ARCILLAS EXPANSIVAS EN BARRANQUILLA

Un problema detectado en el estudio del 2011, del INGEOMINAS (SGC), es la presencia de arcillas expansivas que han generado importantes problemas de agrietamiento en viviendas de uno y dos pisos, donde la en la generalidad de los casos, no existe una adecuada cimentación de las viviendas. Esta problemática en muchas ocasiones se ha atribuido de manera errónea a los fenómenos de remoción en masa, lo cual no es cierto. Lo cierto, es que, en las zonas de pendiente intermedia y baja, se detectó la presencia de arcillas expansivas, cuyas principales características son las siguientes:

- Las arcillas expansivas en general corresponden a arcillas con un potencial de expansión alto, pudiendo llegar a valores de expansión del orden de 5.0 a 12.0 ton/m^2. Estos terrenos se caracterizan por su intenso agrietamiento, lo cual se manifiesta en afectaciones a viviendas que presentan deficiencias constructivas (viviendas de un piso).
- Existe una amplia zona caracterizada por el agrietamiento del terreno. Este fenómeno ha ocasionado el agrietamiento de numerosas viviendas, las cuales a su vez presentan serias deficiencias constructivas. Estos sectores se identifican por la presencia de arcillas expansivas, las cuales en época de verano sufren contracciones importantes, que se manifiestan en forma de fuertes agrietamientos del terreno. En invierno por otro lado, las grietas facilitan la infiltración del agua, presentándose incrementos en el volumen que las estructuras no están en capacidad de soportar.
- Las arcillas expansivas se detectaron en su totalidad, en la formación perdices (conjuntos superior e inferior), constituidas por arcillas de color carmelito de alta plasticidad, con contenidos de humedad que fluctúan entre el 15% y 50%, límite líquido entre 50 %y 75%, y un {índice de plasticidad que varía entre 25% y 40%. Los resultados de expansión libre muestran expansiones superiores al 100%, lo cual es comprobable utilizando la metodología de Seed (1962).
- Mediante los ensayos de consolidación y expansión libre se pudo verificar que las presiones de expansión fluctúan entre 5.0 y 12.0 ton/m^2. Sin embargo, en el estudio adelantado por el INGEOMINAS (1997), registraron valores de expansión hasta de 30 t/m^2.
- Un resultado típico de una de las pruebas de expansión ejecutada en el presente estudio se ilustra en la Figura 14.26
- Finalmente, en la Figura 14.29, se presentan las zonas con presencia de arcillas expansivas, que abarca una cantidad importante de barrios. Los planos respectivos donde se identifican las arcillas expansivas corresponden a los planos 4b y 4c ubicados en el Anexo A.

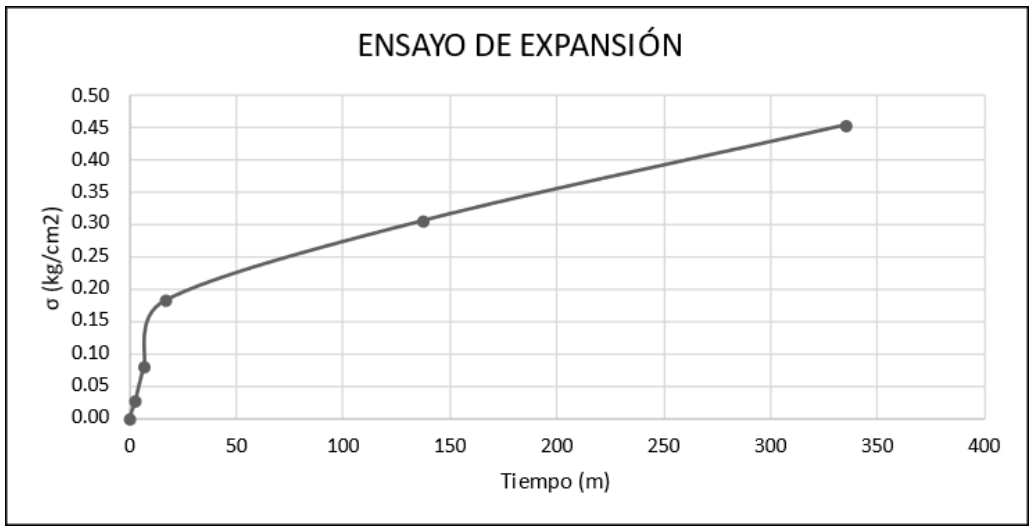


Figura 14.26 Resultado típico de una de las pruebas de expansión ejecutada

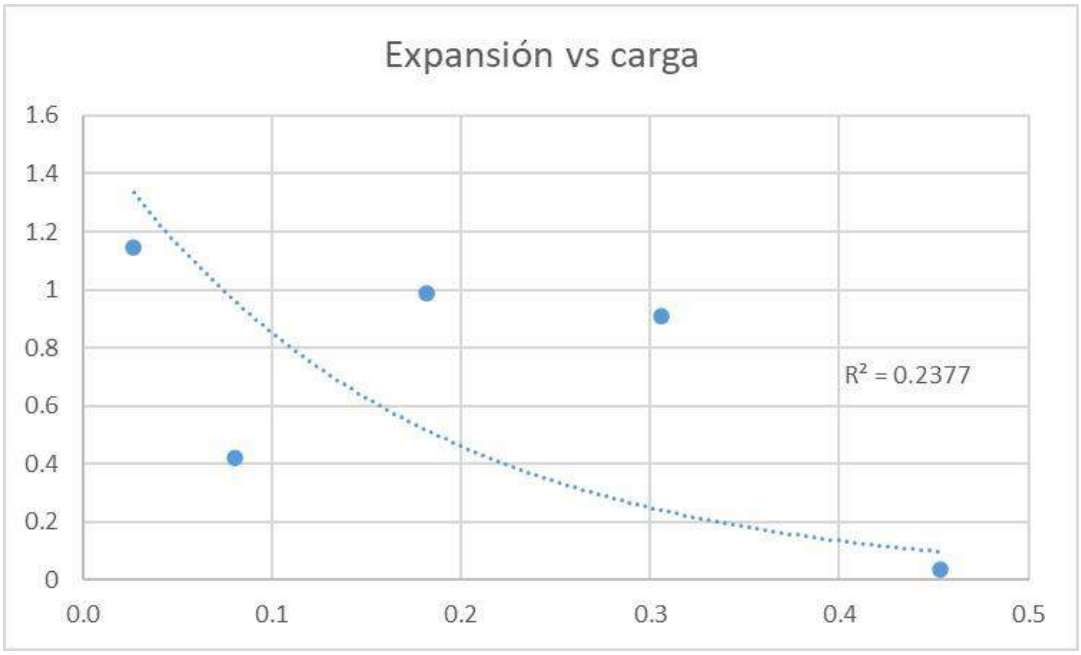


Figura 14.27 Resultados de prueba de expansión (AP03-M1)

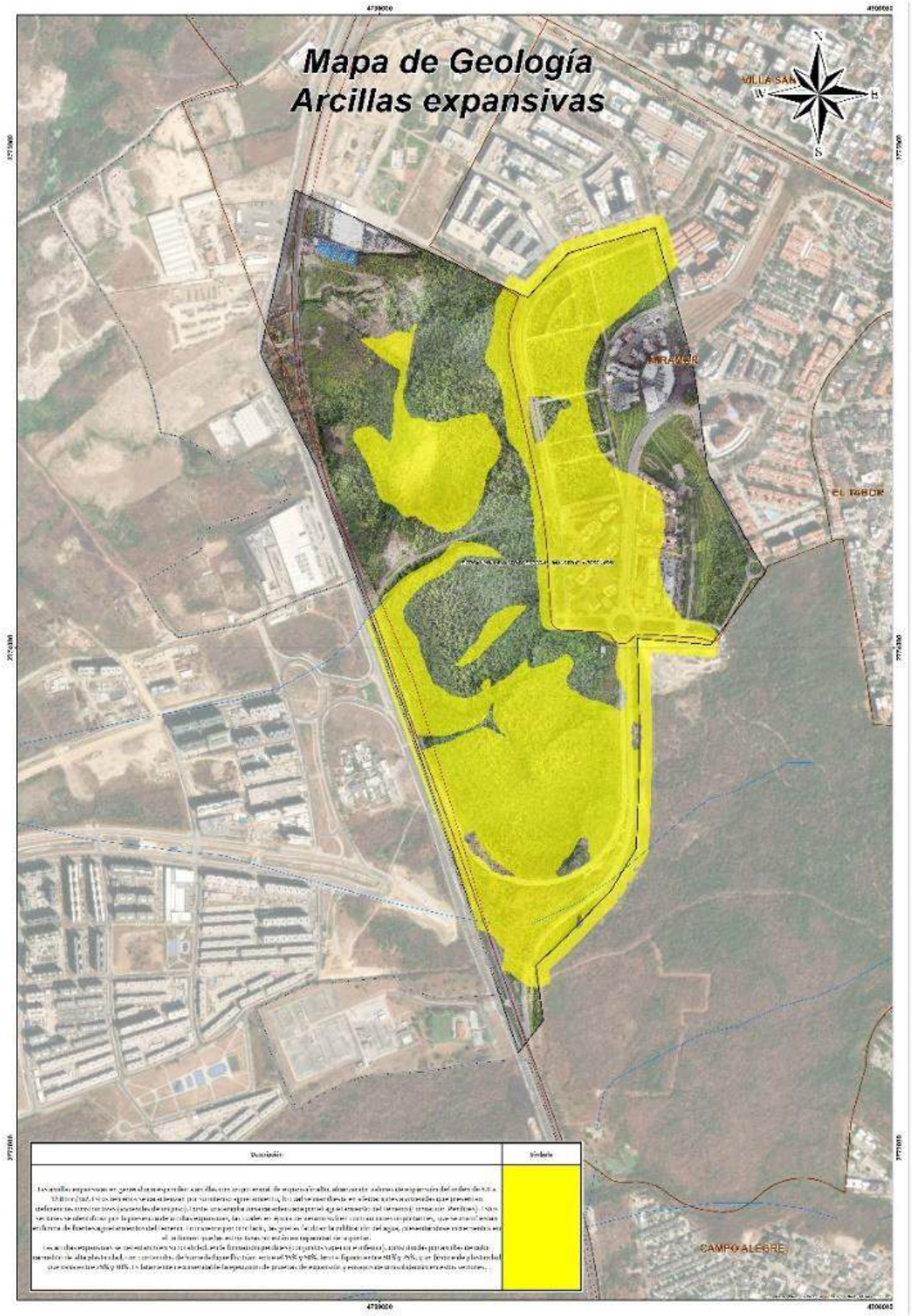


Figura 14.28 Distribución de arcillas expansivas en Miramar

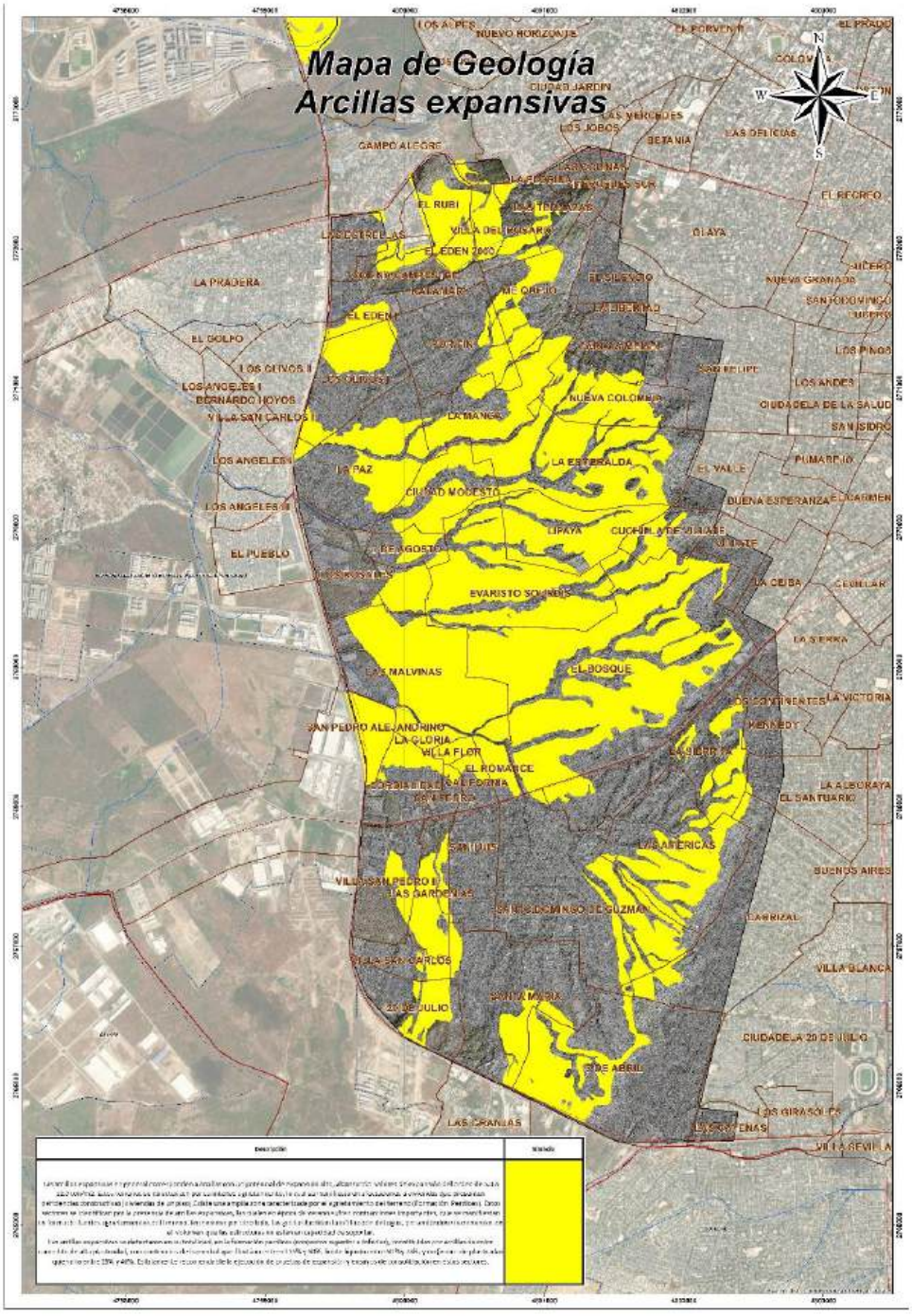


Figura 14.29 Distribución de arcillas expansivas en los cerros Nor-occidentales de Barranquilla

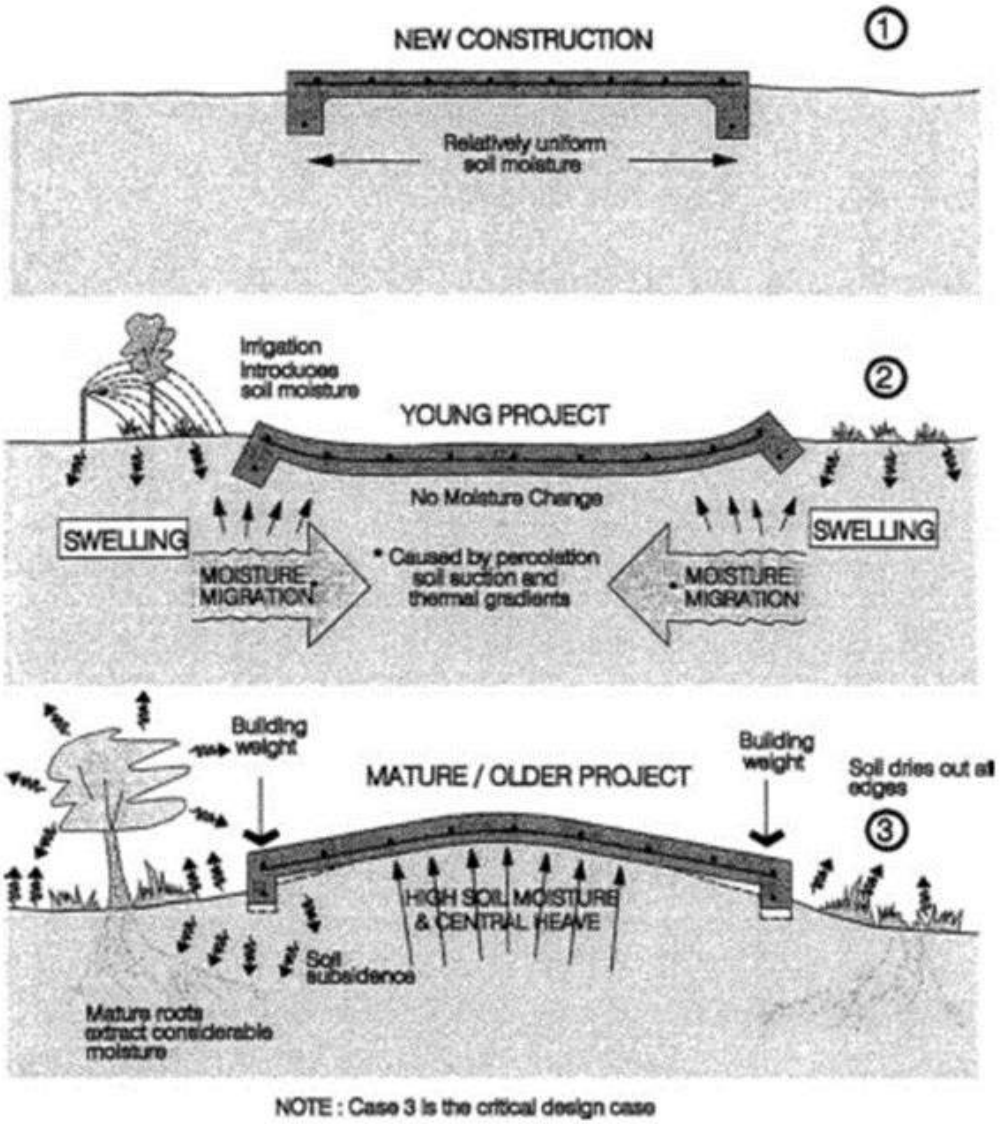


Figura 14.30 Daño progresivo por la presencia de arcillas expansivas.

1) Construcción de una nueva cimentación sobre suelos expansivos con un contenido de humedad uniforme. 2) Agua procedente de irrigación y lluvia que migra bajo la cimentación dando lugar al levantamiento del borde. 3) Para proyectos existentes, el agua puede eventualmente migrar hacia el centro del cimiento, generando el levantamiento del centro

15 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

15.1 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA

15.1.1 Identificación, Localización y Caracterización de los Elementos Expuestos

Los elementos expuestos incluyen tanto elementos físicos (bienes e infraestructura) como servicios ambientales, recursos económicos y sociales y bienes culturales, que por su localización pueden resultar afectados por la materialización de una amenaza (SGC, 2015) es por esto por lo que la vulnerabilidad física se evalúa desde los bienes físicos comprendidos por las edificaciones y líneas vitales y por las personas.

15.1.1.1 Caracterización y Evaluación de Edificaciones

Se presenta a continuación el análisis de resultados siguiendo las secciones del formato B-1 de la Guía Metodológica (SGC, 2015), teniendo en cuenta los datos obtenidos en campo para la caracterización realizada a 5126 predios correspondientes a el muestreo tomado de la ladera occidental de la ciudad de Barranquilla, Atlántico.

Lo 5126 predios corresponden a los siguientes barrios:

- 7 abril
- Carlos Meisel
- Carrizal
- Cuchilla de Villate
- El Bosque
- El Rubí
- El Valle
- Evaristo Sourdis
- La Esmeralda
- La Manga
- Las Américas
- Las Terrazas
- Lipaya
- Me Quejo
- Nueva Colombia
- Por Fin
- Santo Domingo De Guzman
- Villa del Rosario
- Miramar

Los elementos expuestos, particularmente asociados a las viviendas y demás edificaciones, fueron identificados predominantemente en las zonas de amenaza alta y en menor medida en zonas de amenaza media. Los resultados finales fueron definidos a nivel de manzana, por lo que finalmente,

no se detalla mapas de predios encuestados sino mapas con manzanas que incluyen información de vulnerabilidad y riesgo asociadas. Esto teniendo en cuenta que en las zonas de amenaza baja no se hace necesario identificar los elementos expuestos por cuanto no están en riesgo ante un evento amenazante de las naturalezas evaluadas en el proyecto.

Distribución de Uso Predominante

De acuerdo a el muestreo realizado en 5126 predios en la zona de estudio Ladera occidental, se tiene que el 94% corresponden a 4801 predios cuyo uso predominante es residencial, seguido por el 2% equivalente a 92 predios que comprenden los usos de otros o colapso, asimismo, un 2% de 91 predios de uso mixto con vivienda, un 1% de 62 predios de uso de comercio y otros o lote vacío, es decir, predios que se encuentran en proceso constructivo o lotes vacíos, y en menor representación por debajo del 1% se encuentran los usos de parqueaderos con 11 predios, educación o institucionales con 10 predios y finalmente 6 predios que corresponden a uso comerciales (Figura 15.1).

Para el barrio Miramar se tiene en mayor porcentaje de 83% como uso predominante residencial y un 17% de uso comerciales.

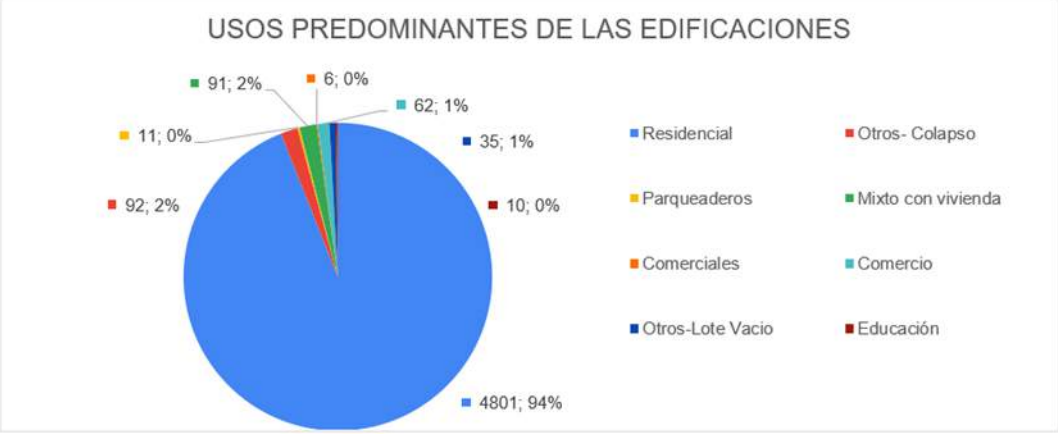


Figura 15.1 Uso predominante de las edificaciones

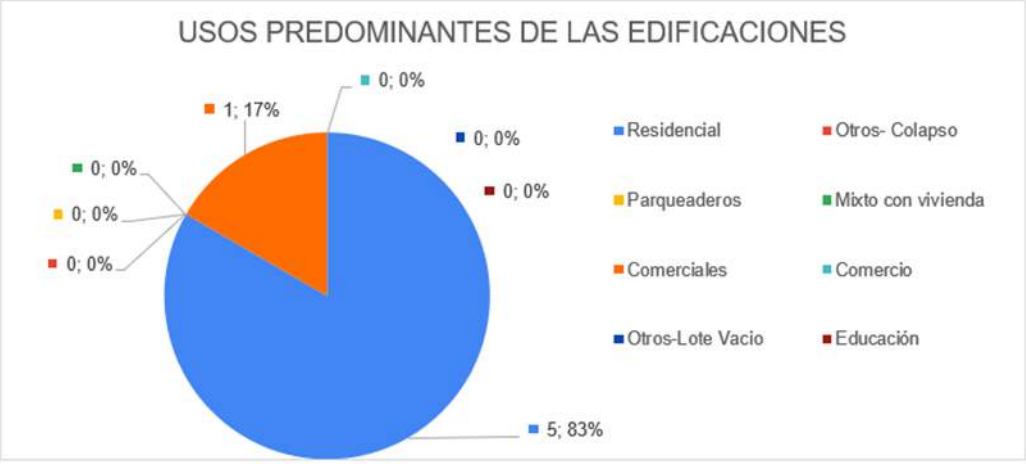


Figura 15.2 Uso predominante de las edificaciones – Miramar

Distribución por Número de Pisos

Para la identificación de número de pisos se analizó la existencia de sótanos y la cantidad de pisos sobre el nivel del terreno, para esta zona de estudio en específico, no hay existencia de sótano o niveles bajo el terreno, ya que para el análisis del cálculo de la fragilidad es de gran importancia.

El 94% de los predios, es decir, 4806 predios, corresponde a edificaciones que tienen únicamente un piso o un nivel sobre el terreno, seguido de un 3% equivalente a 179 predios que tienen 2 pisos sobre el nivel del terreno, luego, un 3% con 130 predios que corresponden a predios “sin pisos” es decir, lotes vacíos, y finalmente, 11 predios que corresponde a porcentajes menores al 1% para edificaciones de 3 pisos sobre el nivel del terreno como se muestra en la siguiente figura (Figura 15.3), para predios con existencia de sótanos o niveles bajo el terreno se tiene que en la zona de estudio las edificaciones no poseen sótanos o niveles bajo el nivel del terreno (Figura 15.5).

El barrio Miramar se clasifica de manera independiente, ya que las edificaciones que conformar dicho barrio, son predios correspondientes a conjuntos residenciales en su mayoría, es por ello que, el 50% de sus edificaciones contienen doce (12) pisos sobre el nivel del terreno, el 33% diez (10) niveles y el 17% tres (3) niveles sobre el nivel del terreno. Para los niveles bajo el nivel del terreno (sótanos) un 67% de las edificaciones tiene sótanos o niveles bajo el terreno y un 33% no tienen sótanos.



Figura 15.3 Número de pisos, sobre el nivel del terreno

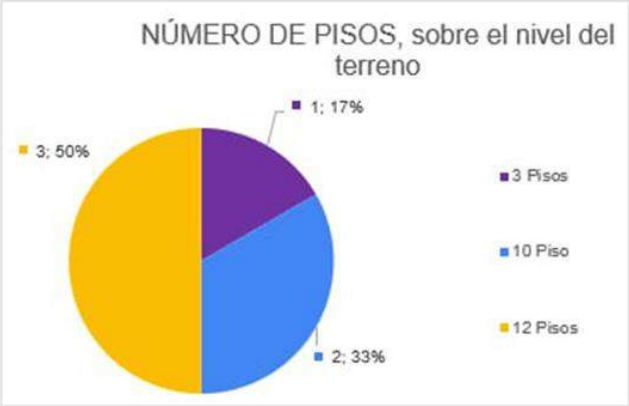


Figura 15.4 Número de pisos, sobre el nivel del terreno – Miramar

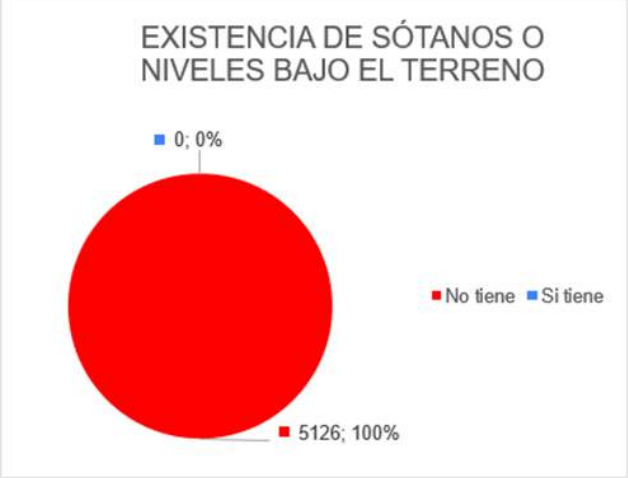


Figura 15.5 Existencia de sótanos o niveles bajo el terreno

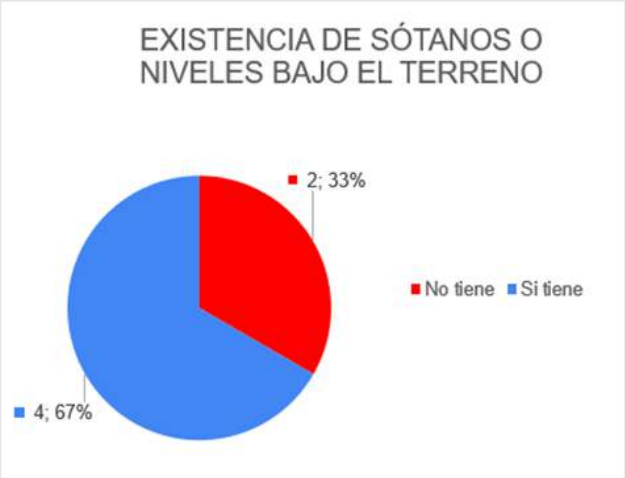


Figura 15.6 Existencia de sótanos o niveles bajo el terreno – Miramar

Distribución por Estado de la Construcción y Calidad de la Construcción

De acuerdo a la figura (Figura 15.7) se tiene que el 94% de las edificaciones corresponden a 4876 predios cuyo estado de la construcción es completa, es decir, que se encuentran construidas íntegramente, con cubierta y divisiones, además, al momento de realizar las inspecciones no se visualiza registro de ampliaciones o futuras ampliaciones, seguido de un 3% que corresponde a 129 predios de estado "No construido", es decir, que pertenecen a lotes vacíos, un 2% a 109 predios que son construcciones incompletas y menos de 1% a predios en construcción.

En la calidad de la construcción se identifica que el 100% de las construcciones son autoconstrucción, es decir que fueron construidas por personal no profesional en construcción, sin los conocimientos técnicos de las normas de construcción (Figura 15.8).



Figura 15.7 Estado de la Construcción



Figura 15.8 Calidad de la Construcción

Para el barrio Miramar, se tiene que el estado de su construcción en el área de estudio es en un 83% completa y un 17% en construcción y su calidad de la construcción es un 100% con supervisión, es decir, que todas sus construcciones fueron diseñadas y construidas por profesionales de la construcción Figura 15.10.

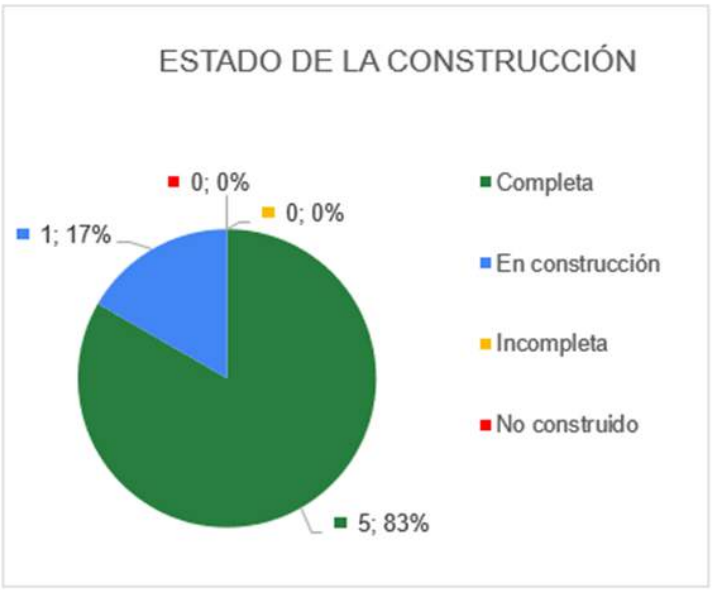


Figura 15.9 Estado de la Construcción – Miramar



Figura 15.10 Calidad de la Construcción - Miramar

Distribución de los Sistemas de Cimentación de las Edificaciones

Los sistemas de cimentación relacionados en el formato B-1 de la Guía Metodológica (SGC2015) se modificaron como consecuencia Los sistemas de cimentación relacionados en el formato B-1 de la Guía Metodológica (SGC2015) se modificaron como consecuencia de la información registrada en las visitas de campo, ya que, se evidenció que las edificaciones no presentaban sistemas estructurales complejos que indicaran cimentaciones como caissons, pilotes, sistemas mixtos, entre otros; razón por la cual se simplificó la captura de información registrando los sistemas de cimentación como superficiales, profundos, no existe o no es posible determinar.

De acuerdo con lo anterior, en la Figura 15.11, el 97% de las edificaciones no fue posible determinar el sistema de cimentación, los cual quiere decir que sus cimentaciones corresponden dependiendo a las tipologías constructivas de la zona de estudios, los cuales en su mayoría son edificaciones bajas, de un 1 piso como en la Figura 15.3, residenciales y realizadas en un 100% por medio de autoconstrucción.

Para el barrio Miramar el 100% de las edificaciones corresponde a un sistema estructural de cimentación profunda (Ver Figura 15.12)



Figura 15.11 Sistema de cimentación de las edificaciones



Figura 15.12 Sistema de cimentación de las edificaciones – Miramar

Distribución por Sistema Estructural

Para los 5126 predios se tiene que el 74% corresponde a 3752 predios cuyo sistema estructural es mampostería no reforzada (D), es decir, edificaciones con muros cargueros, pero sin confinamiento adecuado, asimismo, un 14% edificaciones de mampostería con confinamiento deficiente tipo D, en tercer lugar con el 7% construcción improvisada, aquellas construcciones de carácter improvisado, edificaciones construidas generalmente con materiales precarios o de recuperación, también edificaciones en proceso constructivo, estas se clasifican como “Construcciones simples (F), en cuarto lugar, un 2% correspondiente a lotes vacíos o que no fue posible clasificar su sistema estructural o se

encuentran en proceso constructivo y finalmente un 1% por cada sistema estructural de edificaciones cuyo sistema se clasifica en mixto, pórticos en concreto reforzado, mampostería reforzada y en menos porcentaje se encuentran los sistemas estructurales con confinamiento deficiente e híbridas tipo D, pórticos y paneles tipo F y sistema combinado en concreto reforzado tipo B. o anterior según la clasificación de tipología definidas a partir de los trabajos de Heinimann y Jam usados en la guía metodológica, (Figura 15.13).

Para el barrio Miramar su sistema estructural predominante corresponde a

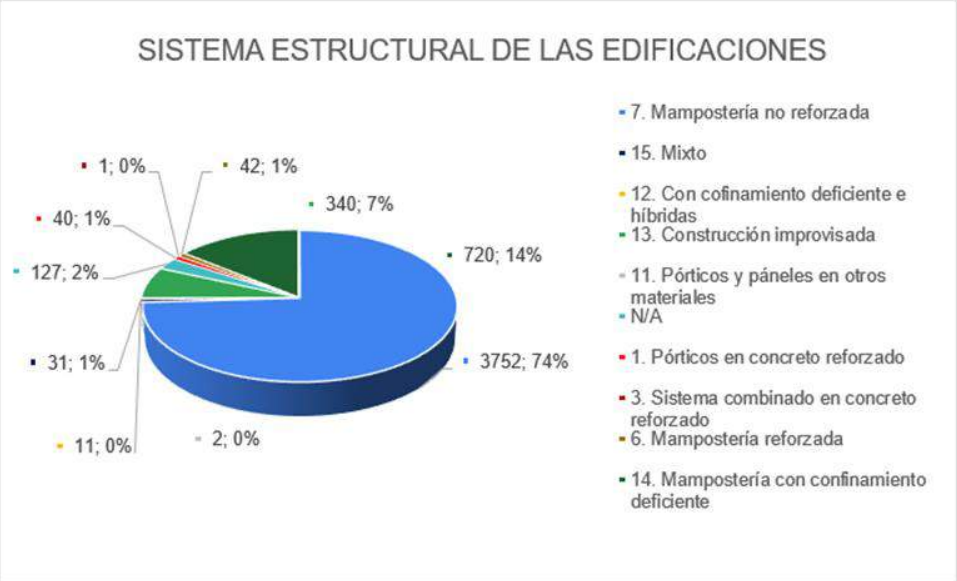


Figura 15.13 Sistema Estructural de las Edificaciones

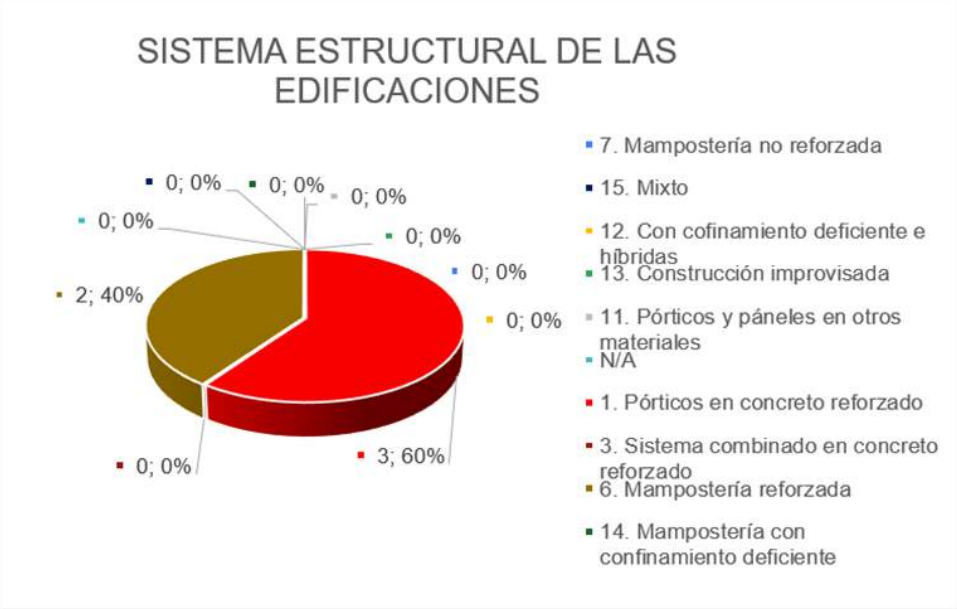


Figura 15.14 Sistema Estructural de las Edificaciones – Miramar

Distribución del Sistema de Entrepiso

La distribución de entrepisos predominante de las edificaciones, en primer lugar corresponden al 95%, es decir, 4856 predios en los que no aplica, ya que en la relación de número de pisos sobre el nivel del terreno se identifica que las edificaciones de la zona de estudio son en su mayoría de un (1) piso, en segundo lugar, el 3% de las edificaciones tiene placa en concreto, seguido de un 1% para edificaciones cuyo sistema de entrepiso es entramado en madera y finalmente un 1% sistemas de entrepiso aligerados en bloque.



Figura 15.15 Sistema Entrepiso predominante de las Edificaciones

Distribución del Sistema de Cubierta

En la caracterización de la cubierta se identifican 3 tipos; placa, teja y no aplica, es decir, que no se tiene una cubierta o representan lotes vacíos. De acuerdo con lo anterior, se tiene que un 96% corresponde a edificaciones cuya cubierta son tejas, un 2% equivalente a 130 predios no aplica y un 2% de 89 predios corresponden a placa en concreto o en aligerado con posible proyección de ampliación en altura (Figura 15.16).

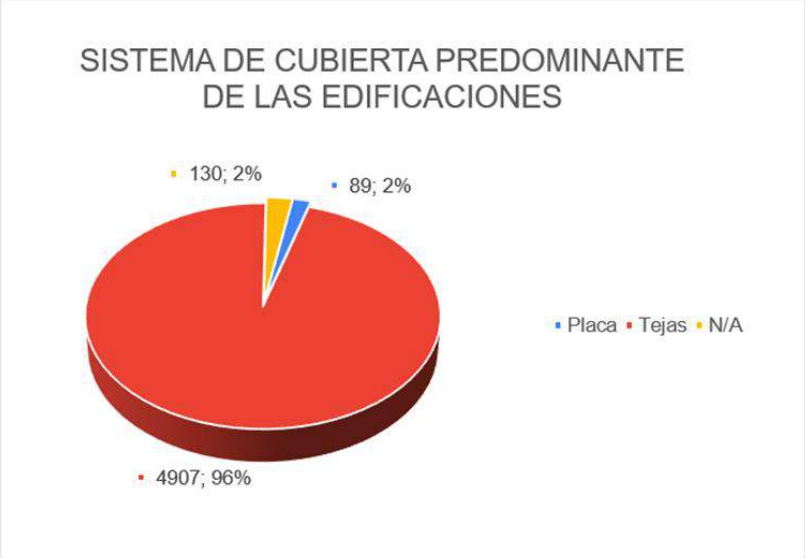


Figura 15.16 Sistema de Cubierta predominante de las Edificaciones

Distribución de la Tipología Estructural de la Edificación

La tipología estructural predomínate para la zona de estudio ladera occidental corresponde a estructuras con confinamiento deficiente, tipo D, con el 90% que abarca 4483 predios, luego el 7% construcciones simples que no poseen una estructura definida y construidas en materiales de recuperación, pórticos y paneles de madera y pórticos en madera y paneles en otros materiales y un 3% lotes vacíos o en construcción (Figura 15.17).

Para el barrio Miramar se tiene que el 67% de las edificaciones su tipología corresponde a edificaciones reforzadas y el 33% a edificaciones en mampostería reforzada Figura 15.18.



Figura 15.17 Tipología de la Estructura

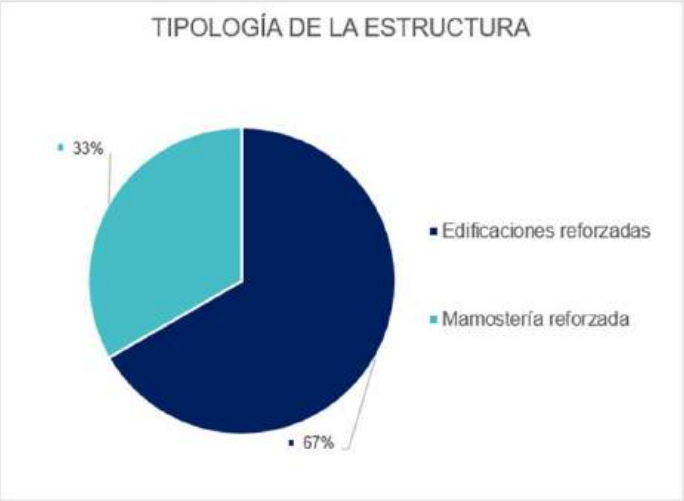


Figura 15.18 Tipología de la Estructura – Miramar

Distribución por Evaluación de Daños

Como resultado de la inspección y análisis visual de calificación de los elementos estructurales: verticales (columnas y muros de carga), horizontales (placas o cubierta) y los elementos no estructurales (muros divisorios o muros de fachada que no sean de carga), se concluye que las edificaciones de los predios en estudio presentan daños en elementos verticales que se clasifican en daños severos a ninguno, para lo cual predomina con un 48% edificaciones con daños leves, generalmente por fisuras y humedades, un 23% edificaciones que no presenta daños, seguido por un 18% en la categoría de moderado, un 7% catalogado como ”fuerte” debido a deficiencias constructivas y en menos porcentaje un 3% y 1% presenta daños severos y no aplica de acuerdo a los lotes vacíos (Figura 15.19).

Para el barrio Miramar se tiene que el 50% de los daños en elementos verticales se cataloga como leve, el 33% no presenta daños y el 17% presenta daños moderados Figura 15.20.

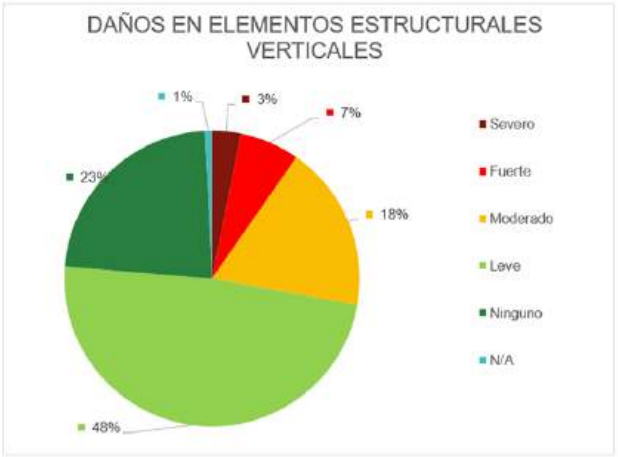


Figura 15.19 Daños en elementos estructurales verticales

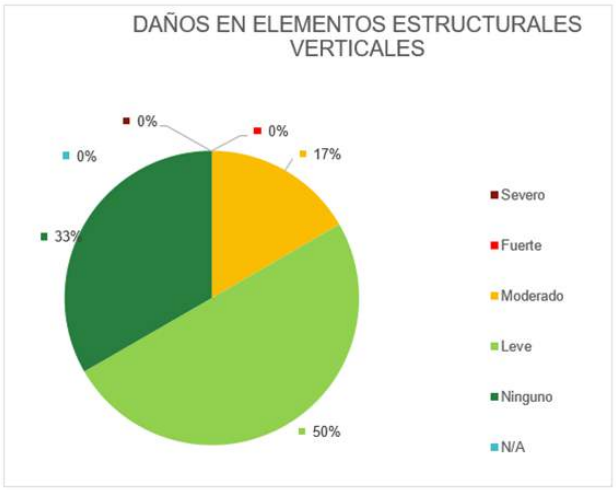


Figura 15.20 Daños en elementos estructurales verticales – Miramar

En los elementos horizontales, se tiene que el 48% presenta daños leves, el 23% no presenta daños, el 19% presenta daños moderados, 6% presentan daños fuertes y el 3% y 1% presentan daños severos a ninguno (Figura 15.21).

Para el barrio Miramar se tiene que el 34% de los daños en elementos horizontales se cataloga como moderado, el 33% como leve y el 33% no presenta daños Figura 15.22.

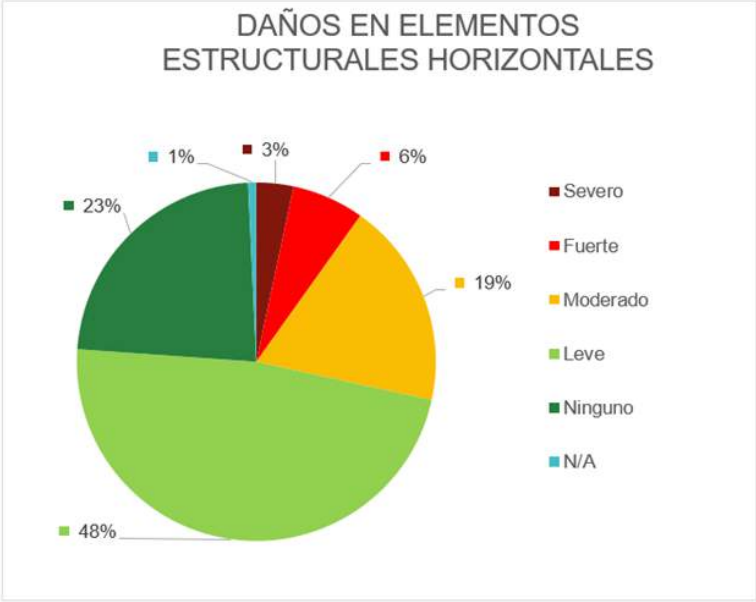


Figura 15.21 Daños en elementos estructurales horizontales

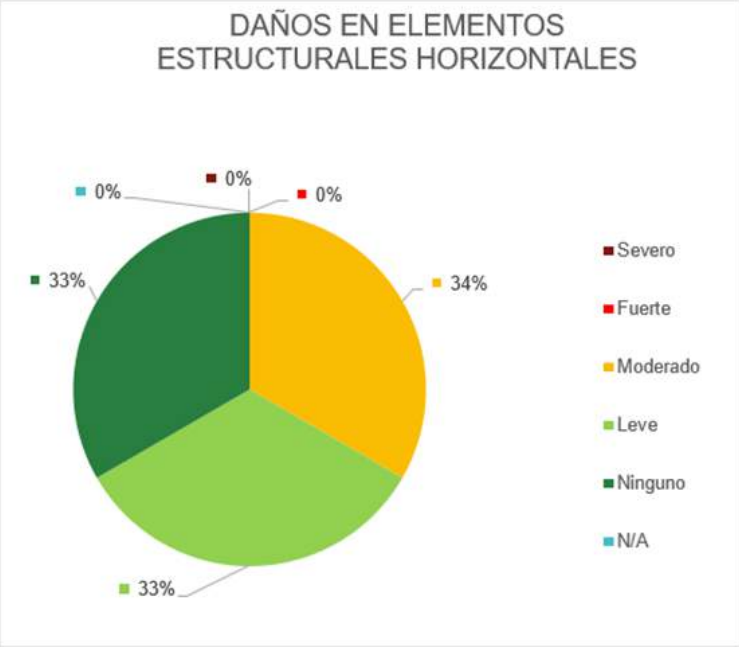


Figura 15.22 Daños en elementos estructurales horizontales – Miramar

En los elementos no estructurales, el 55% presenta daños moderados, que en su mayoría son por deficiencias constructivas, el 26% presenta daños leves, el 12% de las edificaciones presenta daños fuertes en sus elementos no estructurales, el 4% daños severos debido a identificación de roturas, grietas y en algunos casos colapsos parciales y el 2% y 1% no presenta daños o no aplica ya que son lotes vacíos (Figura 15.23).

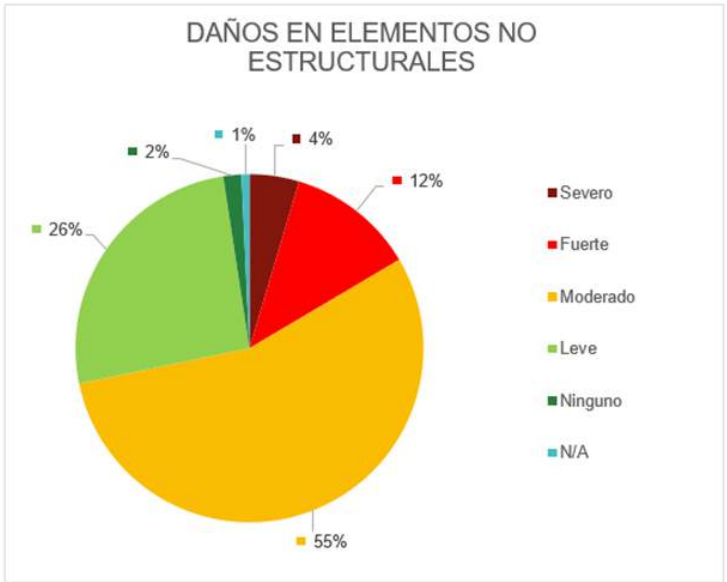


Figura 15.23 Daños en elementos no estructurales

Para el barrio Miramar, se tiene que el 33% de las edificaciones no presenta daños en sus elementos no estructurales, el 17% presenta daños moderados y el 33% presenta daños leves.

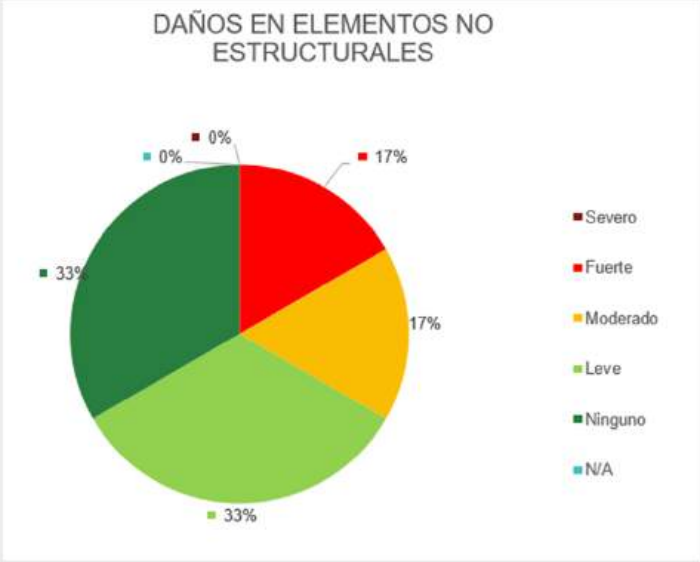


Figura 15.24 Daños en elementos no estructurales – Miramar

15.1.1.2 Personas

En la guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, se evalúa la vulnerabilidad física en estimaciones cuantitativas de riesgo, que incluye dos grupos de elementos expuestos: bienes físicos y personas. Como se indicó anteriormente en el levantamiento de información, la inspección se realizó al exterior de la edificación por lo que no se incorporó la información de habitantes por cada edificación, sin embargo, la Guía Metodológica propone evaluar la fragilidad de las personas como una función de la fragilidad de las edificaciones, por lo que será cuantificado de esta manera en el desarrollo de este estudio.

15.1.1.3 Líneas vitales

Adicional a la determinación de los elementos expuestos como edificaciones y personas, se deben considerar los elementos de redes viales y de servicios públicos, también conocidos como líneas vitales.

Las líneas vitales caracterizadas para el estudio correspondieron a:

- Red vial
- Red de acueducto
- Red de alcantarillado
- Red eléctrica

La información de los elementos fue obtenida a partir de varias fuentes entre las que se cuentan con las capas de cobertura del POT suministradas por la alcaldía, información encontrada en campo

durante los levantamientos de encuestas de vulnerabilidad y fuentes gráficas como lo son ortofotos o fotografías de Google Streetview.

Las líneas vitales consideradas de forma similar a lo realizado para el análisis de edificaciones correspondieron a aquellas encontradas en las zonas de amenaza alta, aunque al ser elementos lineales de gran longitud podían extenderse a zonas de amenaza media.

A continuación, se presenta en la Figura 15.25 la distribución de las líneas vitales en la zona de estudio. En general debido a la escala todas las líneas fueron asociadas a las vías.

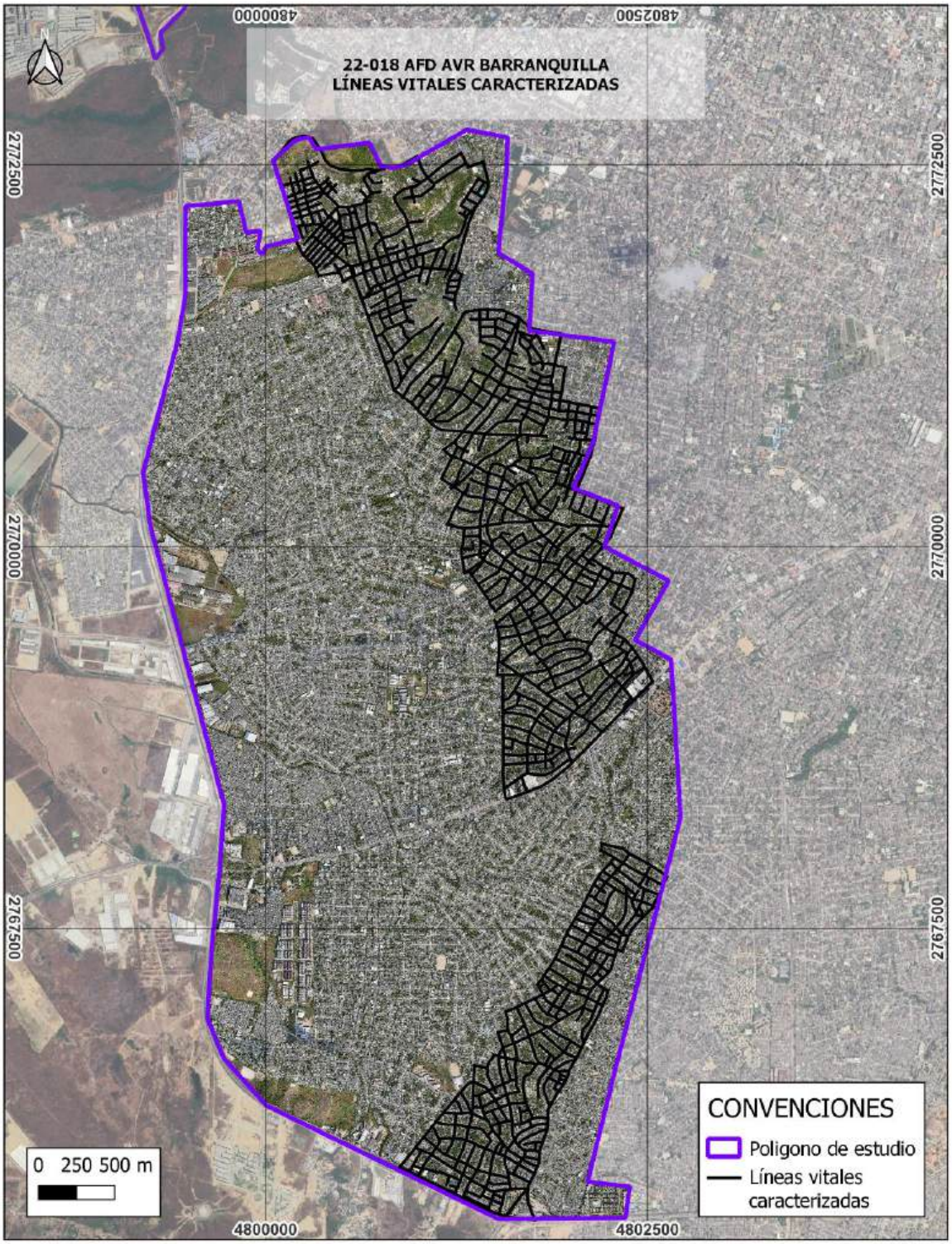


Figura 15.25 Líneas vitales caracterizadas en la zona de estudio.

15.1.2 Fragilidad

La fragilidad se define como el nivel de daño que un elemento dado puede sufrir frente a las solicitaciones generadas por la interacción de los movimientos en masa; en caso de los bienes materiales el nivel de daño depende de las propiedades del elemento expuesto y en el caso de las personas, el nivel de daño se relaciona con la pérdida de vidas humanas y las lesiones físicas sufridas producto de un evento o del área relacionada. Al evaluar la fragilidad en las edificaciones se tuvo en cuenta tres factores relacionados con; el tipo de estructura (Stip), su altura (Salt), su conservación (Scon), de acuerdo con la guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimiento en masa (SGC 2015).

15.1.2.1 Factor de fragilidad por Tipo de Estructura (Stip)

Fragilidad de las edificaciones por tipo de estructura se calcula con base en los factores de resistencia propuestos por Du et al. (2.013) a partir de las tipologías establecidas por Heinemann (1.999), de acuerdo con la guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa (SGC 2.015).

Tabla 15.1 Factores de fragilidad por tipología de estructuras

Tabla 4-10. Factores de fragilidad por tipología de estructuras

TIPOLOGÍA		FRAGILIDAD	S_{tip}
F	Construcciones simples	Muy alta	1,00
E	Estructuras ligeras	Alta	0,90
D	Estructuras con confinamiento deficiente	Media	0,70
C	Mampostería reforzada	Baja	0,50
B	Edificaciones reforzadas	Muy baja	0,30
A	Edificaciones con reforzamiento especial	Extremadamente baja	0,10

Fuente: Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa (SGC 2.015)

Para el barrio Camilo Torres el análisis del factor de fragilidad por tipo de estructura, se presenta como fragilidad moderada que es la más encontrada, con el 87%, es decir 4483 edificaciones se encuentran en este factor y corresponden a estructuras con confinamiento reforzado como se muestra en la Tabla 15.1 y Figura 15.16, el 7% representa 373 edificaciones relacionadas con fragilidad muy alta que corresponde a estructuras de tipología F “construcciones simples”, el 2% presenta fragilidad baja y corresponde de mampostería reforzada tipo C y muy baja a edificaciones reforzadas tipo B con el 1%.

Para el barrio Miramar, se tiene una fragilidad muy baja para tipologías tipo B, es decir, Edificaciones reforzadas y en menor porcentaje una fragilidad baja para edificaciones tipo C “Mampostería reforzada” como se muestra en la Figura 15.27.

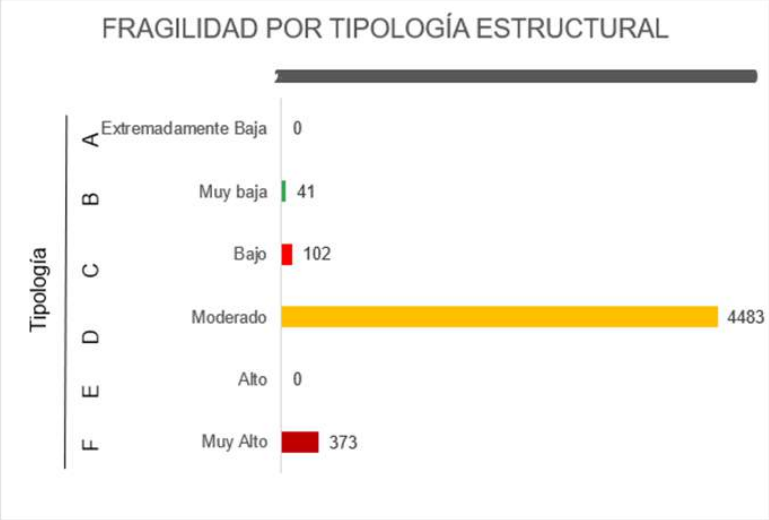


Figura 15.26 Fragilidad por Tipología estructural



Figura 15.27 Fragilidad por Tipología estructural – Miramar

15.1.2.2 Factor de fragilidad por Altura de la Estructura (Salt)

La fragilidad de la estructura por altura se evalúa en función de su número de pisos y la tipología estructural de la misma, los valores de los parámetros se dan con base en la propuesta de Li et al. (2.010), modificados con la cultura constructiva del país, según la guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimiento en masa (SGC 2015).

Tabla 15.2 Factores de fragilidad por Altura de la estructura (Salt)

Tabla 4-11. Factor de fragilidad por altura de la edificación

TIPOLOGÍA	NÚMERO DE PISOS	S_{alt}
E, F	≥2	0,90
D	≥4	0,90
D	2 y 3	0,60
Demás tipologías y alturas		0,05

Fuente: Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa (SGC 2.015)

La altura predominante en las edificaciones teniendo en cuenta la Tabla 15.2, que relaciona la tipología y el número de pisos. En primer lugar, se tiene un 98% el cual presenta fragilidad baja que corresponde a un factor Salt = 0,05, es decir, que son edificaciones que tienen un (1) piso sobre el nivel del terreno, el 2% fragilidad media con un factor Salt = 0,60 y menor a 1% fragilidad alta con un factor de Salt = 0,90 y un 100% de fragilidad baja por altura para el barrio Miramar Figura 15.29.

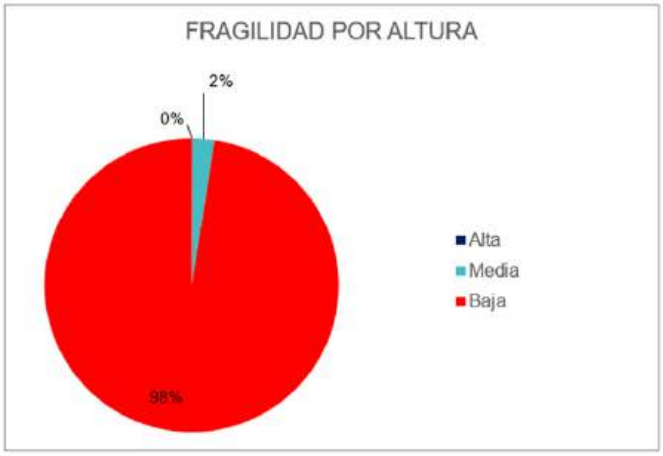


Figura 15.28 Fragilidad por Altura de la edificación

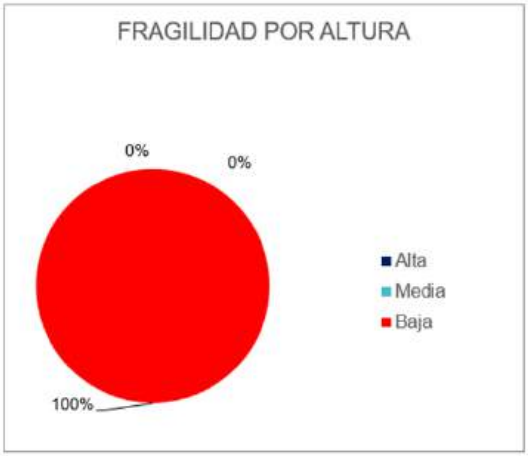


Figura 15.29 Fragilidad por Altura de la edificación - Miramar

15.1.2.3 Fragilidad por Estado de Conservación (Scon)

La evaluación del estado de conservación de la estructura se realiza con base en la descripción de los elementos estructurales horizontales y verticales y no estructurales.

Tabla 15.3 Factores de fragilidad por estado de conservación de la edificación (Scon)

Tabla 4-12. Factores de fragilidad por estado de conservación de la edificación

ESTADO DE CONSERVACIÓN	DESCRIPCIÓN	SEPARACIÓN GRIETAS (mm)	S_{con}
Muy bueno	No se observan deformaciones, agrietamiento o envejecimiento.	0	0,00
Bueno	Solo se observan daños superficiales leves en los acabados.	0-0,5	0,05
Deformaciones leves	Fisuras en juntas horizontales en los extremos superior e inferior de elementos verticales.	0,5-1,0	0,25
Deformaciones medias	Desplazamiento relativo o movimiento en el plano fuera de él (pandeo).	1,0-5,0	0,50
Deformaciones graves	Inclinaciones del elemento fuera de su plano vertical.	5,0-10,0	0,75
Deformaciones muy graves	Unidades de mampostería con fallas por aplastamiento. Concreto con fallas por aplastamiento.	>10,0	1,00

Fuente: Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa (SGC 2.015)

Se encontró que, en las inspecciones realizadas a las edificaciones de la muestra, el 49% de las edificaciones presenta deformaciones leves, el 24% de estado de conservación bueno, el 19% deformaciones medias con un factor Scon = 0,50, un 7% deformaciones graves, un 1% deformaciones muy graves con un factor de Scon 1,00.

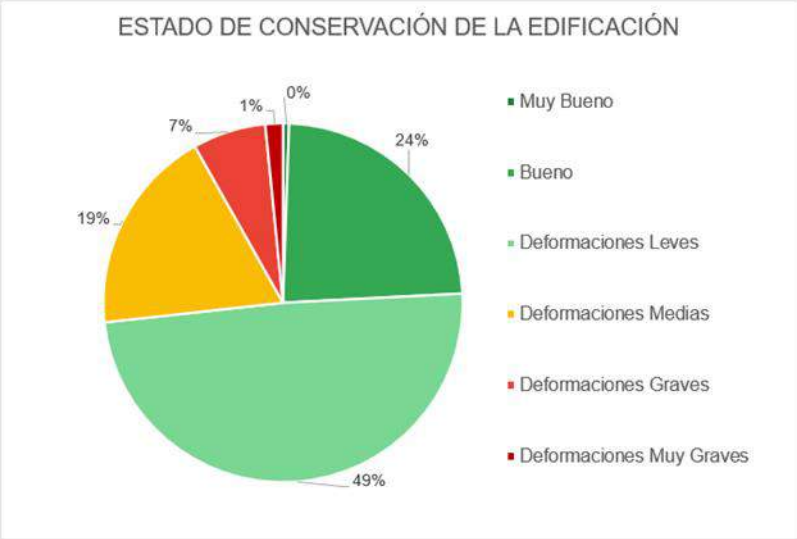


Figura 15.30 Estado de conservación de la edificación

15.1.2.4 Fragilidad por Edad de la edificación (Sed)

El análisis de fragilidad por edad de la edificación se estima a partir de la relación de los años de servicio con respecto a la vida útil de diseño de la edificación (servicio/vida útil). Los valores de este parámetro corresponden a los propuestos por Du et al. (2013-2014) (Tabla 15.4).

Tabla 15.4 Factor de fragilidad por edad de la edificación (Sed)

Tabla 4-13. Factor de fragilidad por edad de la edificación

RELACIÓN AÑOS DE SERVICIO/VIDA ÚTIL	S_{ed}
≤0,1	0,05
0,1-0,4	0,10
0,4-0,6	0,30
0,6-0,8	0,50
0,8-1,0	0,70
1,0-1,2	0,80
>1,2	1,00

Fuente: Du et al., 2013.

Fuente: Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa (SGC 2.015)

Adicionalmente para el análisis se tendrá en cuenta la vida útil de la edificación dependiendo de la tipología de cada edificación en estudio.

Tabla 15.5 Vida útil en función del tipo de edificación

Tabla 4-14. Vida útil en función del tipo de edificación

TIPOLOGÍA	VIDA ÚTIL
A y B	50 años
C y D	30 años
E	15 años
F	1-2 años

Fuente: Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa (SGC 2.015)

Para los 5126 predios en estudio de la Ladera occidental se tiene que el 75 % de las edificaciones presenta una fragilidad alta, el 15% media y el 10% baja.

Para el barrio Miramar se tiene una fragilidad baja por edad del 60% y un 40% de fragilidad media.

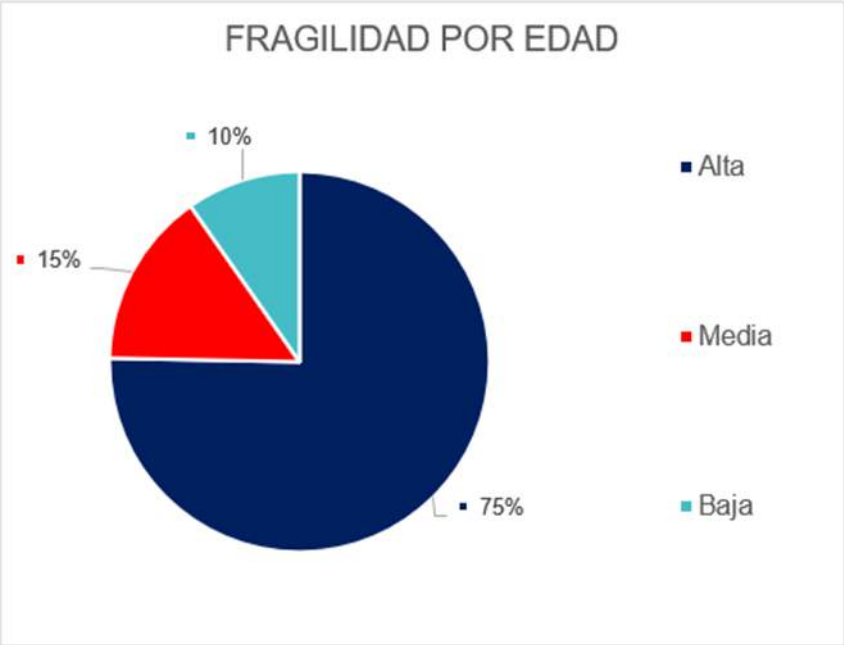


Figura 15.31 Fragilidad por edad

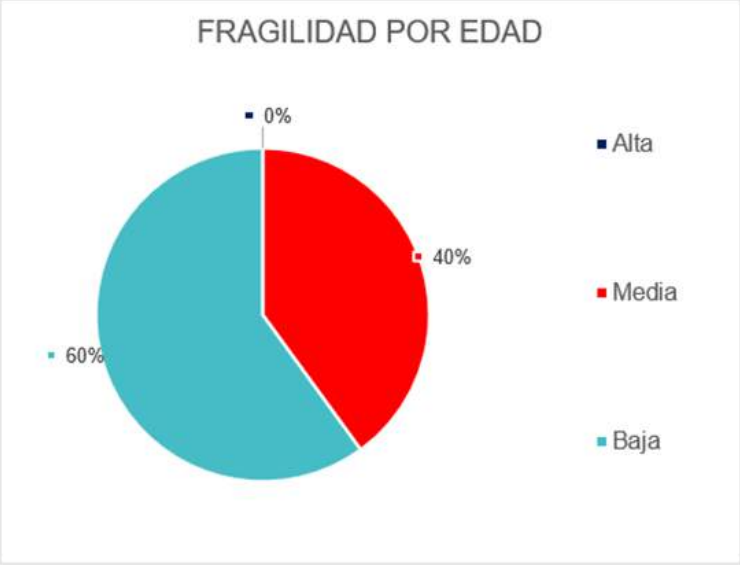


Figura 15.32 Fragilidad por edad - Miramar

15.1.2.5 Fragilidad de Personas

Siguiendo los lineamientos de la Guía Metodológica del SGC, la fragilidad de personas en estructuras se evalúa en función de la fragilidad de tales estructuras y se explica de acuerdo con la ecuación:

$$Sper = (S_e)^{3.2}$$

Dónde:

Sper = Fragilidad de las personas

Se = Fragilidad de las edificaciones

Se realizó la estimación de la fragilidad de personas obteniéndose que el 8% de las personas presentan una fragilidad entre el 0,9 y 1, el 24% entre 0.60 y 0.80, el 62% que corresponde a la mayor fragilidad de personas se encuentra dentro de un índice de 0.4 a 0.5 y el 3% corresponde a una fragilidad entre el 0.1 a 0.3.

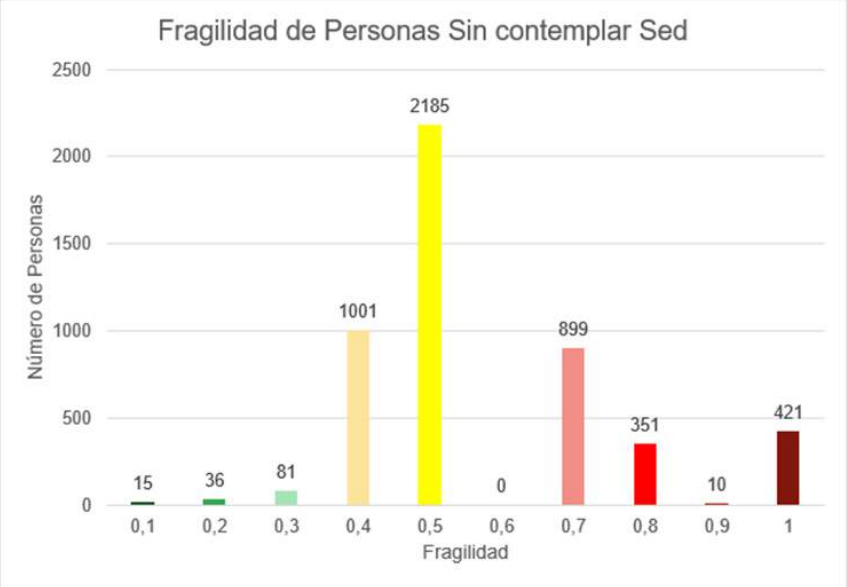


Figura 15.33 Fragilidad de Personas sin contemplar la edad

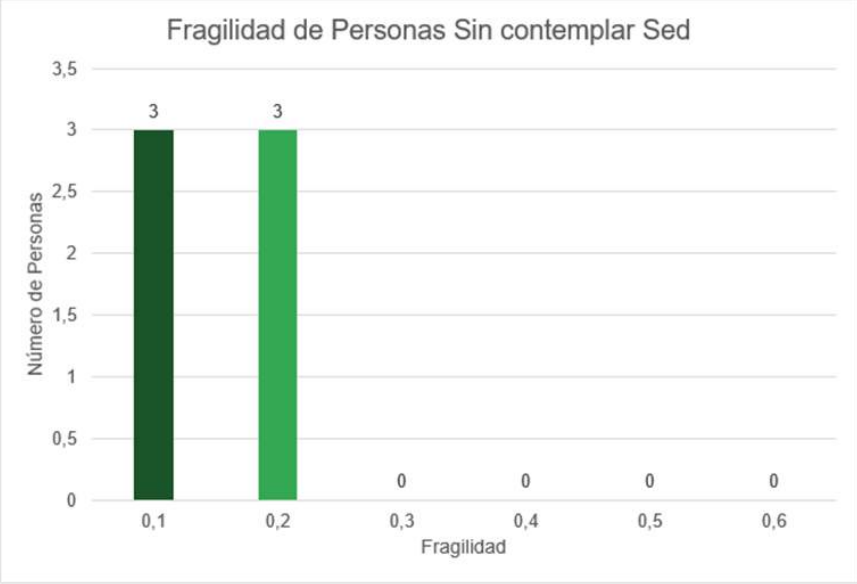


Figura 15.34 Fragilidad de Personas sin contemplar la edad – Miramar

Fragilidad de líneas vitales

Para la estimación de la fragilidad de las líneas vitales se consideraron las disposiciones de la guía metodológica del SGC. El

- Fragilidad de red vial: Se establece en función de la proporción de un ancho de vía útil (3.0 m) para permitir el tráfico de vehículos sobre el ancho total de la vía.

$$S_{ancho} = 3{,}0 \,/ W_{via}$$

Donde: S_{ancho} es la susceptibilidad de la vía; $W_{vía}$ es el ancho de la vía.

- Fragilidad de red de acueducto: Se establece en función del diámetro de las tuberías como:

DIÁMETRO (PULGADAS)	S_{diam}
½	1,00
¾	0,44
1	0,25
1 ¼	0,16
1 ½	0,11
2	0,06

- Fragilidad de la red de alcantarillado: Se define la fragilidad en función del material que constituye a las tuberías de la red como:

MATERIAL	S_{mat}
Asbesto cemento	0,90
Gres	0,60
Concreto simple	0,60
Polietileno	0,50
Concreto reforzado	0,10

- Fragilidad de la red eléctrica: Se determina a partir del material constitutivo de los postes como:

CARGA MÍNIMA DE ROTURA (kN)	S_{carga}
Madera	1,00
5001	0,90
7355	0,82
10300	0,70
13220	0,62
17640	0,53
19600	0,51

La fragilidad de cada una de las líneas vitales se presenta en el anexo tabulaciones con su debida formulación.

15.1.2.6 Fragilidad de las Edificaciones

Se realizó la evaluación de fragilidad a 5126 predios, encontrándose que la fragilidad de edificaciones sin contemplar la edad, se tiene que el 62% (3186 edificaciones) presenta un índice de fragilidad de 0.8, las cuales son principalmente edificaciones con confinamiento deficiente, estructuras híbridas, ligeras y construcciones simples, un 18% con un índice de 0.90 que corresponde a estructuras ligeras, seguido de un 15% (782 edificaciones) con un índice de 1.0 construcciones simples, un 2% con un índice de 0.7 que corresponde a estructuras con confinamiento deficiente y finalmente un 1% correspondientes a tipologías C, mampostería reforzada con una fragilidad baja.

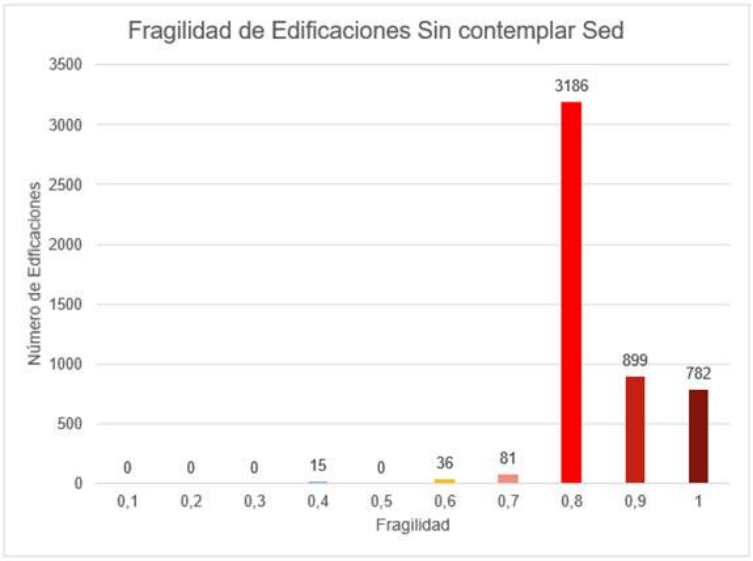


Figura 15.35 Fragilidad de Edificaciones sin contemplar la edad

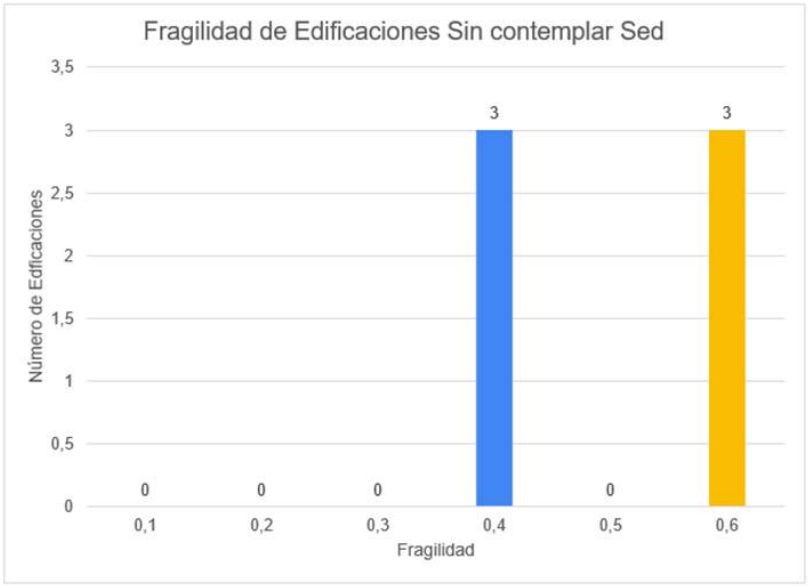


Figura 15.36 Fragilidad de Edificaciones sin contemplar la edad - Miramar

15.1.3 Escenarios de Vulnerabilidad por Movimientos en Masa

15.1.3.1 Cálculo y Zonificación de Vulnerabilidad

Para la zonificación de vulnerabilidad de las edificaciones, se tiene en cuenta los dos factores calculados anteriormente: la fragilidad de las edificaciones y la intensidad del movimiento en masa. La metodología establecida en la guía relaciona los parámetros anteriores en la siguiente ecuación:

$$V = \{1/2\ (I/\ (1-S))\ ^2\} \quad \rightarrow Sí \quad I \leq 1-S$$
$$Ó$$
$$V = \{1-1/2\ ((1-I)\ /S)\ ^2\} \quad \rightarrow Sí \quad I > 1-S$$

Donde V es la vulnerabilidad de los elementos expuestos a la amenaza, I es la intensidad del evento, S es la fragilidad del elemento expuesto.

Para estructuras con vulnerabilidad igual a 1,0 significa que ante la ocurrencia del evento amenazante se puede presentar la destrucción completa de la estructura; los valores menores que 1.0 representan el grado de daño y 0 significa que la edificación no presenta ningún daño. De acuerdo con los resultados de vulnerabilidad, se determinan tres niveles de daño para edificaciones con fines de zonificación: Alta, Media y Baja, de acuerdo con los valores presentados en la guía metodológica.

Zonificación de la Vulnerabilidad por Movimientos en Masa de las Edificaciones

Tabla 15.6 Clasificación de la vulnerabilidad para edificaciones

Tabla 4-26. Clasificación de la vulnerabilidad para edificaciones y líneas vitales

CLASIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	VALOR DE VULNERABILIDAD	NIVEL DE DAÑO
ALTA	0,50-1,00	Total–colapso
MEDIA	0,10-0,50	Grave
BAJA	0,02-0,10	Moderado
	0,00-0,02	Leve

Fuente: Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa (SGC 2.015)

Tabla 15.7 Clasificación de la vulnerabilidad por movimientos en masa para edificaciones

CLASIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	DAÑOS ESPERADOS PARA EDIFICACIONES
ALTA	Colapso parcial o total de la estructura. Rotura de muros. Destrucción total de acabados y Accesorios.
MEDIA	Grietas anchas y profundas. Plastificación local de los elementos estructurales. Posible Colapso de elementos no estructurales. Daños en los muros. Daño grave de acabados.
BAJA	Grietas grandes y profundas. Daños graves en elementos no estructurales. Quiebre de ventanas. Entrada de material a la edificación. Daños en pisos. Grietas pequeñas. Despegues de pequeños pedazos de pañete, despegue de algunos ladrillos.

Fuente: Adaptado de Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa (SGC 2.015)

Para el análisis de la vulnerabilidad en edificaciones se establece un muestreo teniendo en cuenta el percentil 85, con el fin de clasificar los 5126 predios y sectorizarlos en manzanas.

De acuerdo con la Tabla 15.6 y Tabla 15.7 y según la Figura 15.37, se tiene que el 92% de las edificaciones en la ladera occidental de la zona de estudio presentan una vulnerabilidad alta, es decir, que presenta un nivel de daño de colapso parcial o total de la estructural, seguido de un 7% que presenta vulnerabilidad baja, es decir que se encuentra en un rango 0.0 a 0.02 y un 1% de vulnerabilidad media, cuyo nivel de daño es grave y los daños esperados son grietas anchas y profundas. Para el barrio Miramar, se tiene que un 100% de las manzanas presentan vulnerabilidad baja como se muestra en la Figura 15.38. La zonificación de la vulnerabilidad se muestra en la Figura 15.39 y Figura 15.40.

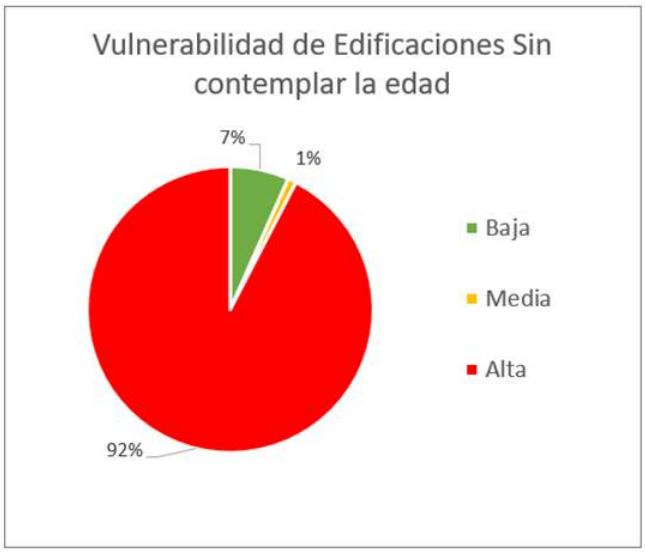


Figura 15.37 Vulnerabilidad de Edificaciones sin contemplar la edad



Figura 15.38 Vulnerabilidad de Edificaciones sin contemplar la edad - Miramar

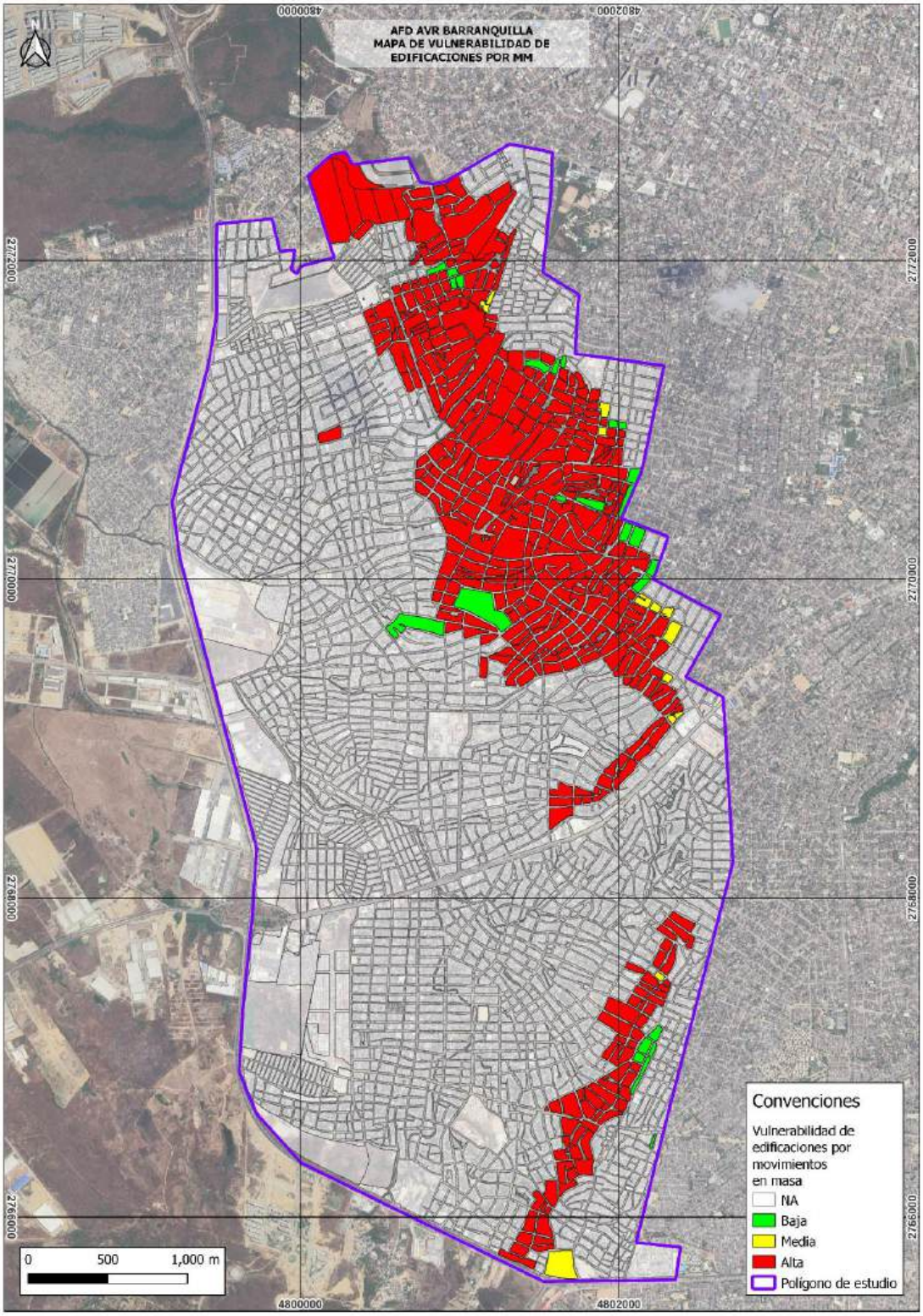


Figura 15.39 Zonificación de la vulnerabilidad por Movimientos en Masa de edificaciones - Ladera.

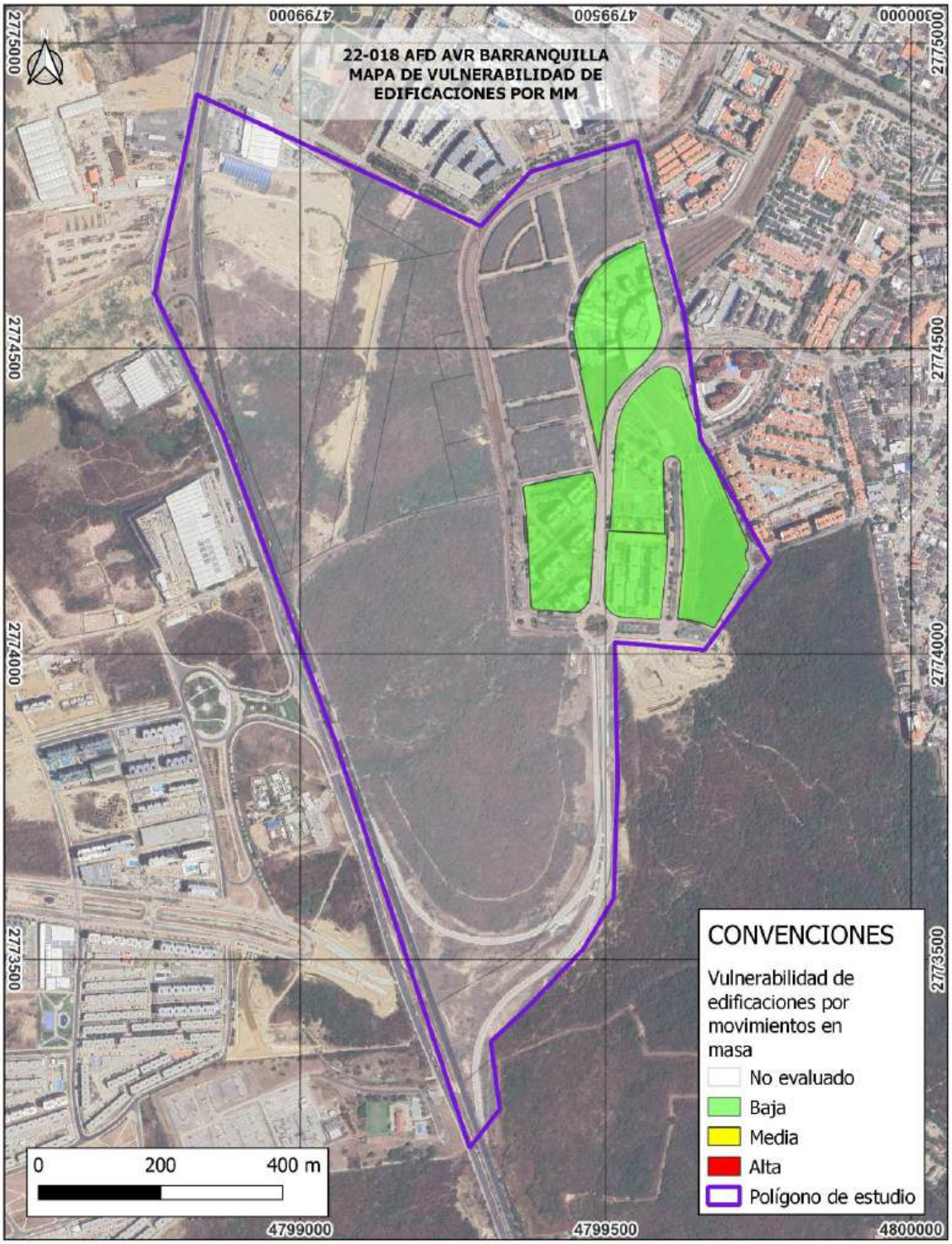


Figura 15.40 Zonificación de la vulnerabilidad por Movimientos en Masa de edificaciones - Miramar.

Zonificación de la Vulnerabilidad Física de las Personas

La vulnerabilidad física de las personas está relacionada directamente con la vulnerabilidad de las edificaciones en las que se encuentran habitando, es por ello por lo que el cálculo se realiza aplicando la fórmula aplicada en edificaciones. Se utiliza la fragilidad para personas calculada y descrita en el aparte del cálculo de fragilidad de este informe, y el mismo valor de intensidad calculada para cada una de las edificaciones en donde vive o habitan personas (Tabla 15.8).

Tabla 15.8 Clasificación de la vulnerabilidad para personas

Tabla 4-28. Clasificación de la vulnerabilidad para personas

CLASIFICACIÓN	RANGO DE VULNERABILIDAD	DESCRIPCIÓN
ALTA	0,5-1	Alta posibilidad de muerte o lesiones serias.
MEDIA	0,2-0,5	Alta posibilidad de lesiones moderadas, pero baja probabilidad de muertes.
BAJA	0-0,2	Probabilidad de muerte casi nula y lesiones muy leves o inexistentes.

Fuente: Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa (SGC 2.015)

Una vez evaluada la vulnerabilidad de personas por edificaciones se obtiene que el 93% de personas que ocupan edificaciones se encuentra en una vulnerabilidad alta y el 7% en vulnerabilidad baja (Figura 15.41) y para el barrio Miramar se presenta una vulnerabilidad de personas baja del 100% Figura 15.42. La zonificación de la vulnerabilidad de personas se presenta en la Figura 15.43 y Figura 15.44.



Figura 15.41 Vulnerabilidad de personas sin contemplar la edad



Figura 15.42 Vulnerabilidad de personas sin contemplar la edad – Miramar

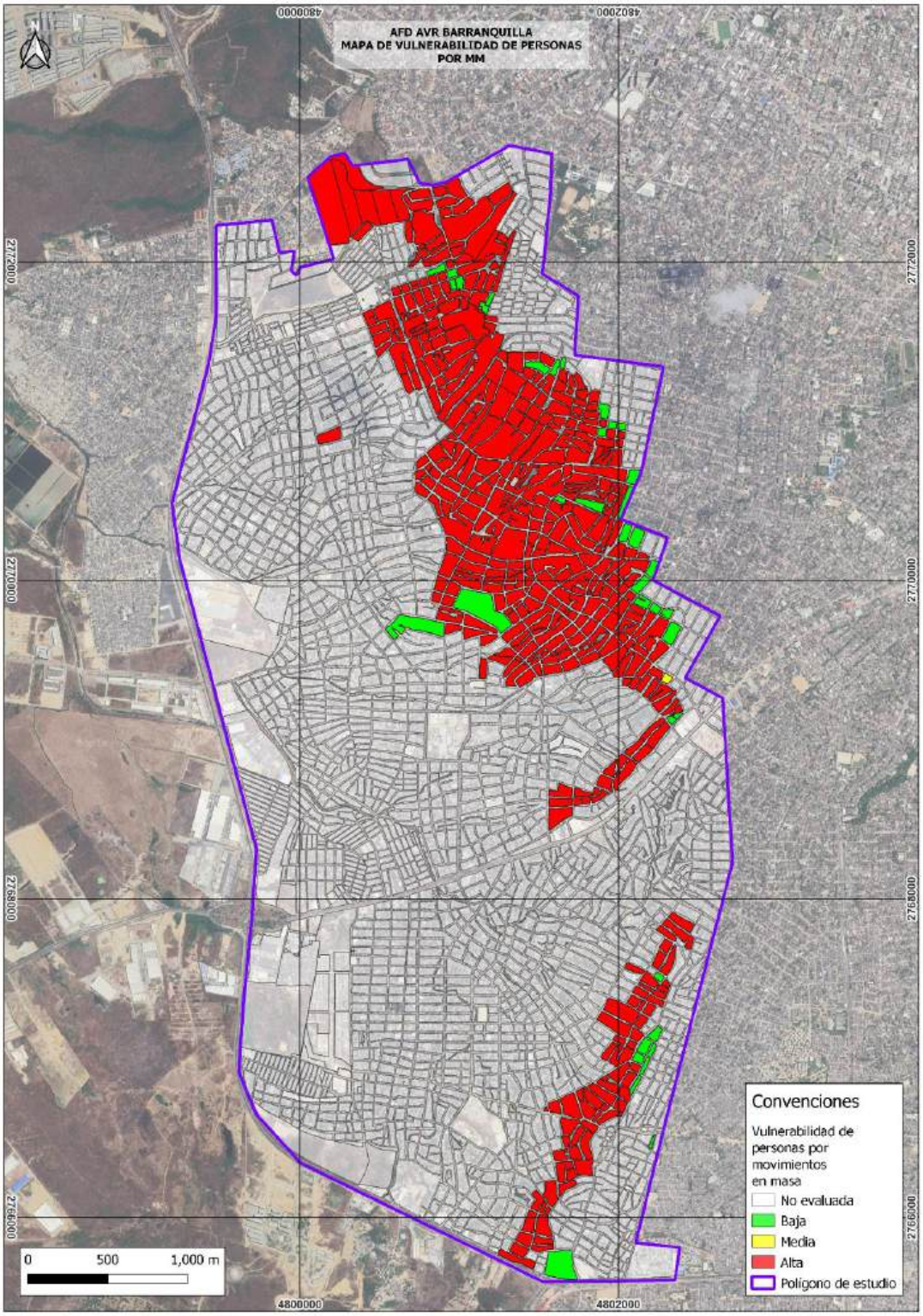


Figura 15.43 Zonificación de la Vulnerabilidad de personas sin contemplar la edad - Ladera

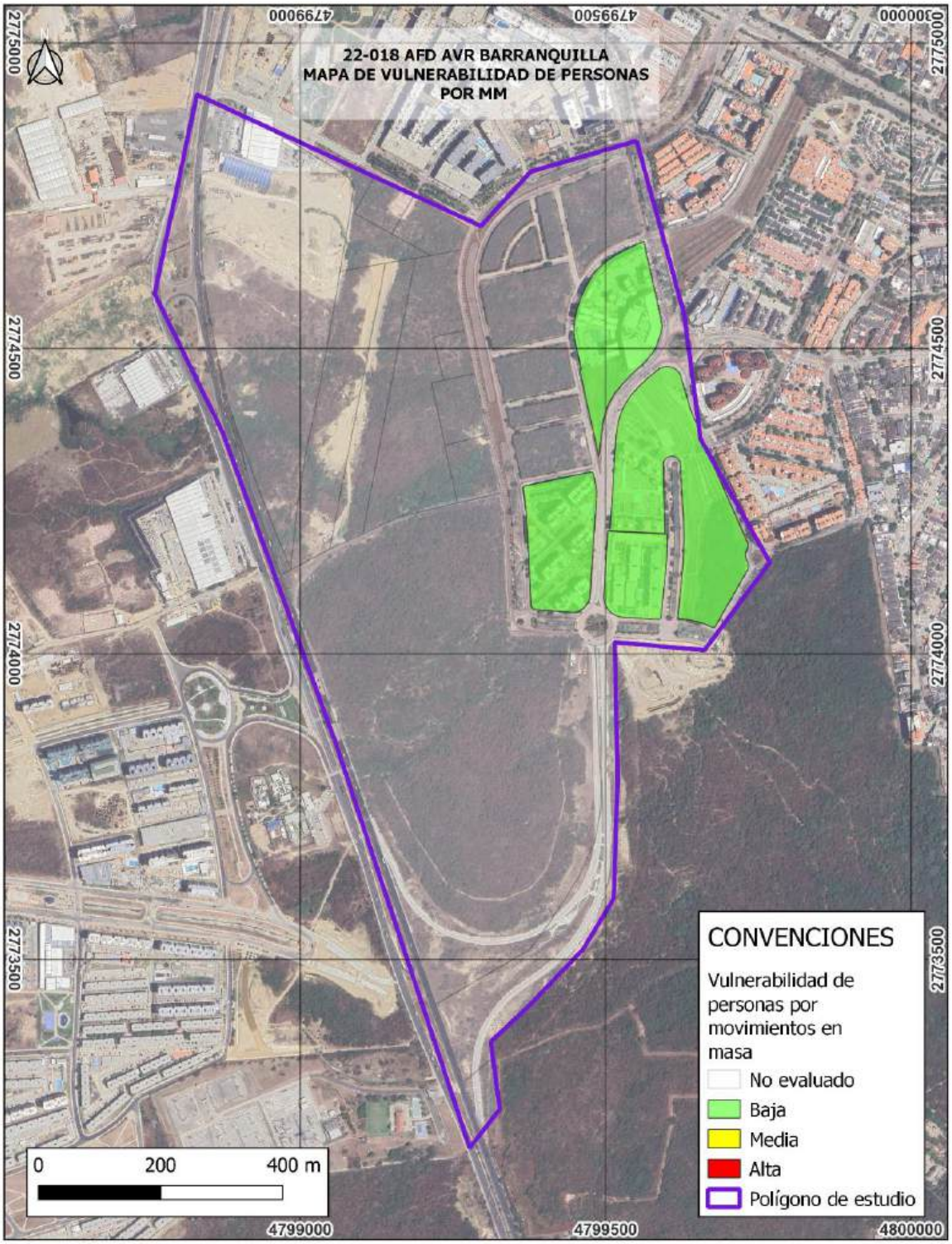


Figura 15.44 Zonificación de la Vulnerabilidad de personas sin contemplar la edad - Miramar

Vulnerabilidad de líneas vitales

La intensidad estimada sobre las líneas vitales fue establecida a partir del mismo análisis ejecutado para las viviendas y asignada según las disposiciones de la guía del SGC. Cruzando esta información con la fragilidad calculada para cada tipo de línea vital, se determina la vulnerabilidad de las mismas.

Se presenta la vulnerabilidad de cada línea vital de la Figura 15.45 a la Figura 15.48.

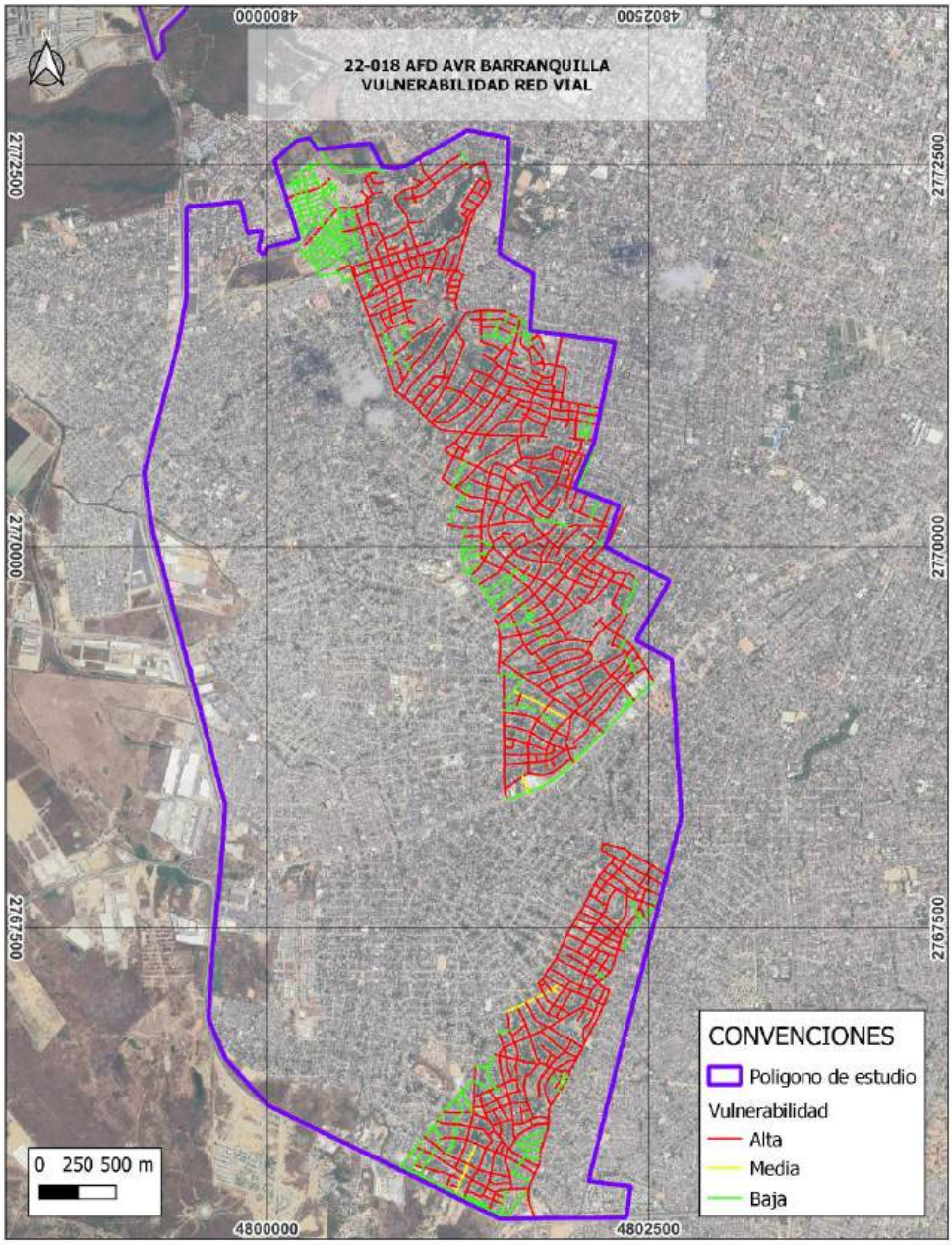


Figura 15.45 Vulnerabilidad de la red vial.

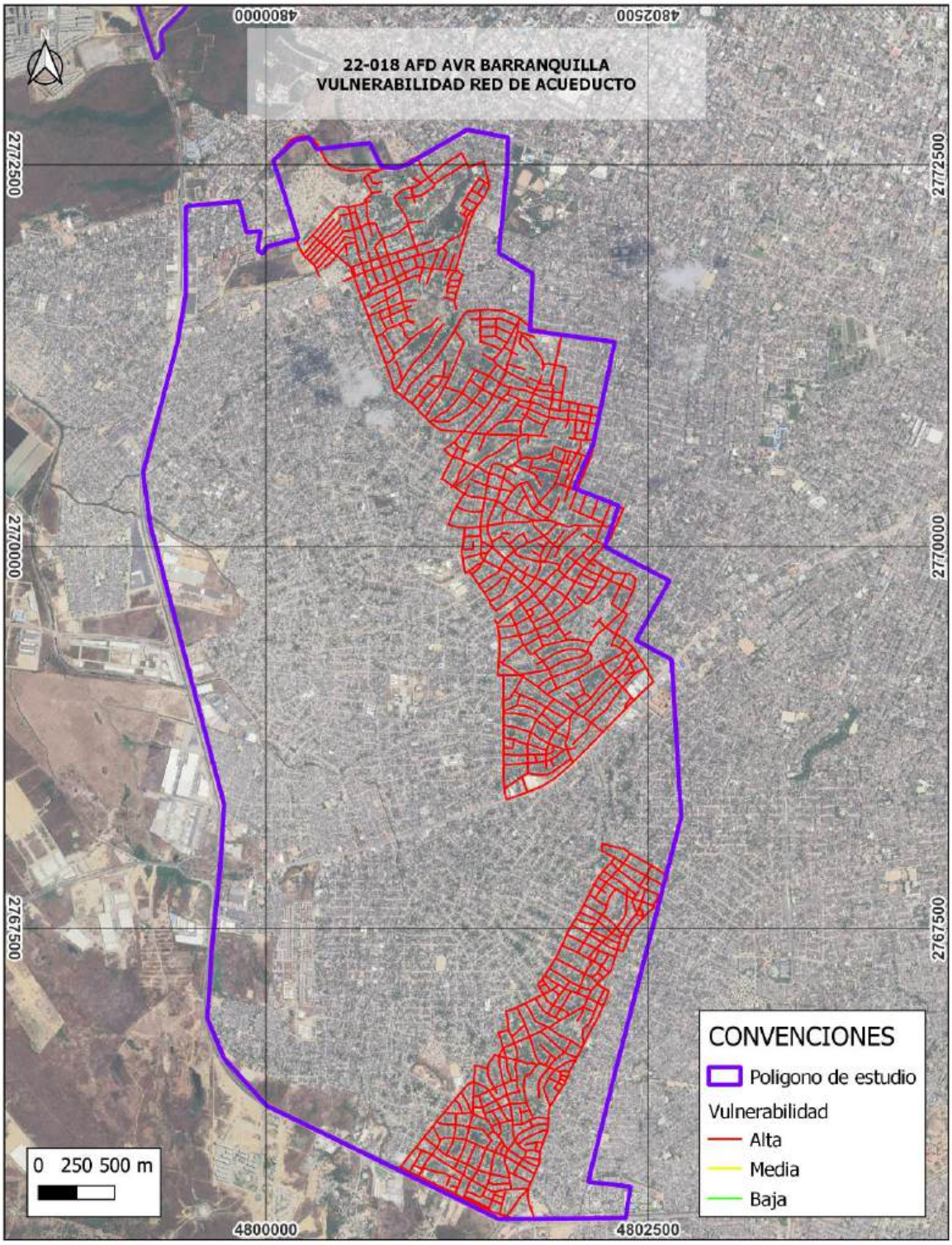


Figura 15.46 Vulnerabilidad de la red de acueducto.

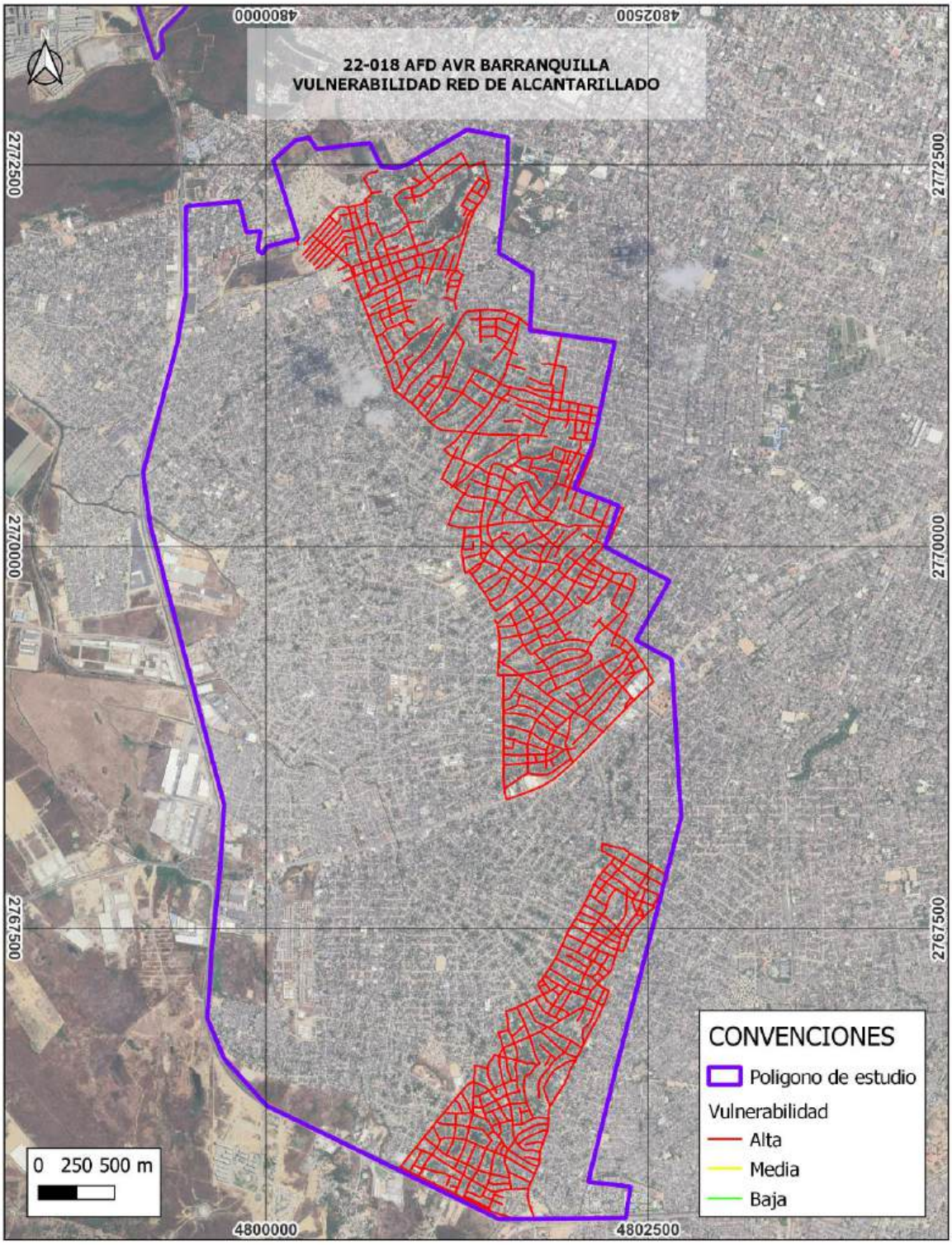


Figura 15.47 Vulnerabilidad de la red de alcantarillado.

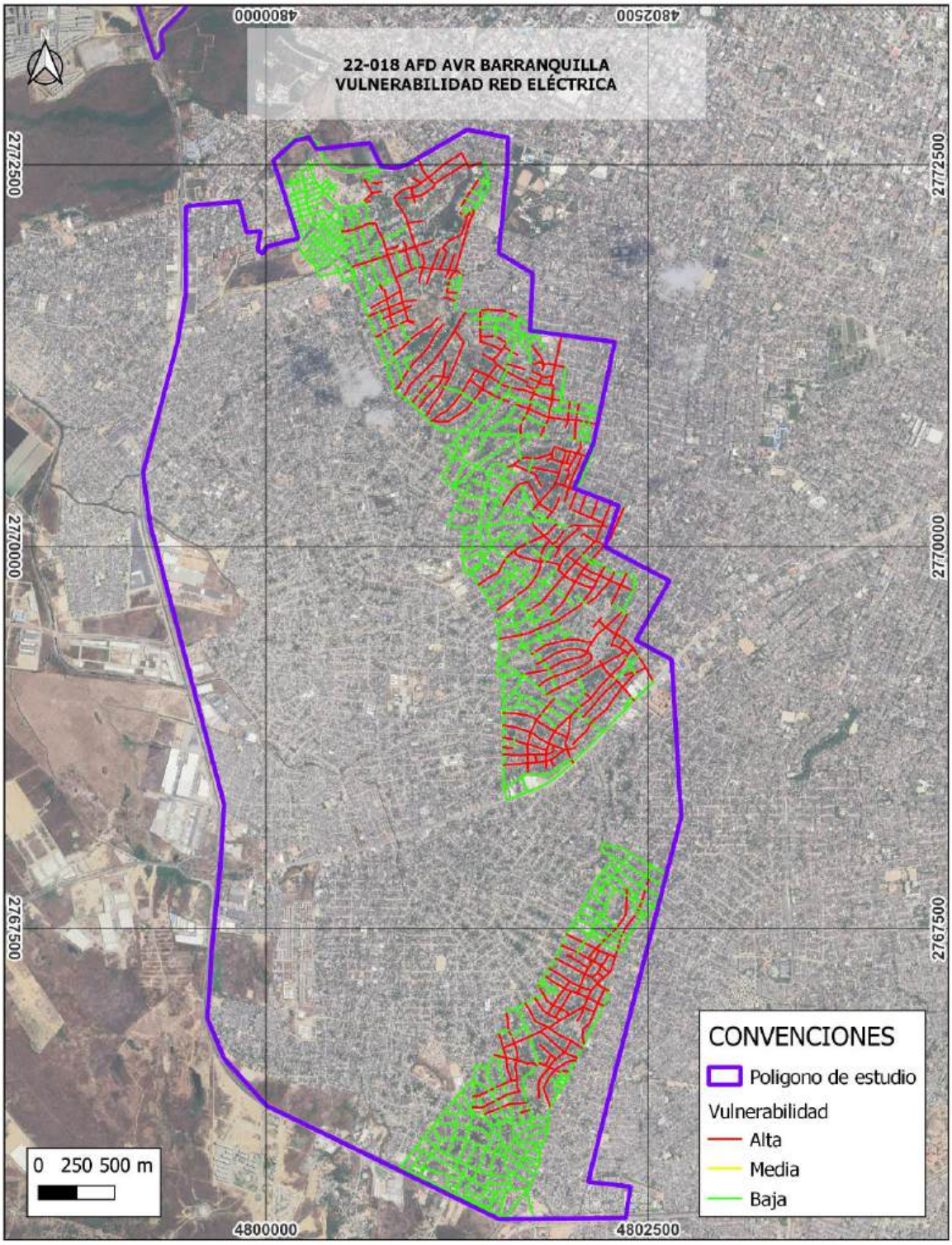


Figura 15.48 Vulnerabilidad de la red eléctrica.

15.2 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SOCIAL

15.2.1 Sector Por Fin

15.2.1.1 Marco de Referencia

La vulnerabilidad está asociada a las características propias de una persona, hogar o comunidad desde el punto de vista de su capacidad para anticipar, resistir y recuperarse del impacto de una amenaza natural (Blaikie,1996); Las capacidades de las personas están asociadas entonces a circunstancias personales y sociales (como la edad, el estado de salud, o el nivel educativo) que influyen en lo que Sen llama la tasa de conversión de los recursos en *funcionamientos*, o en cómo un individuo puede usar esos recursos para hacer lo que efectivamente desea. (Sen, 2010)

Los recursos entonces son dotaciones básicas tienen las personas y de las cuales es evidente que dichas dotaciones, en un sentido pueden concebir la inseguridad e indefensión que experimentan las comunidades, familias e individuos en sus condiciones de vida a consecuencia del impacto provocado por algún tipo de evento económico-social de carácter traumático. Por otra parte, el manejo de recursos y las estrategias que utilizan las comunidades, familias y personas para enfrentar los efectos de ese evento determinan la vulnerabilidad.

En tal sentido, el análisis del índice de vulnerabilidad social que desarrollan Rodríguez (2000), y Susine, Catalá y Quinteros (2011), En la construcción del índice, donde se plantean que se analice a partir de los activos materiales y no materiales, con respecto a los **activos materiales** se tienen en cuenta factores como presencia de menores en el hogar, la carga de dependencia sobre los perceptores de ingresos, para este item , se toma la cantidad de 4 o más menores que se encuentran dentro del hogar, sumado a lo anterior se tiene en cuenta el número de personas que dependen de las personas económicamente activas, pero que perciben un ingreso con el cual el hogar obtiene su sustento.

En cuanto a la dimensión ocupacional (carga de dependencia de los perceptores de ingresos), la vinculación de la población con el mercado de trabajo se convierte en un factor clave de la vulnerabilidad social, y los ingresos monetarios pueden modificar la situación de inclusión / exclusión social de forma más inmediata, ya que esto está relacionado con la capacidad de proveer seguridad.

Con respecto a los **activos no materiales**, estos se reconstruyen mediante las posibilidades de acceso al sistema de salud y mediante el clima educativo del hogar. Clima Educativo del Hogar: se comprende como aproximación a la estructura socioeconómica del hogar. Y tiene que ver con el máximo nivel de educación alcanzado por el padre o la madre. Entre los rangos se encuentran los que han accedido a primaria completa o secundaria incompleta, los padres y madres que terminaron estudios secundarios y los padres y madres que terminaron los estudios terciarios o universitarios que considera el promedio de los años de escolaridad aprobados por los miembros mayores de 25 años. Para categorizarla se definieron tres grupos: Clima educacional alto (12 y más años de escolaridad aprobados en promedio por los miembros del hogar mayores de 25 años).

De otro lado se encuentran las posibles relaciones que se establecen, los lazos sociales, como la pertenecía organizaciones.

Como unidad para el levantamiento de la información se toma el hogar que está constituido por una persona o un grupo de personas, parientes o no, que ocupan la totalidad o parte de una unidad de vivienda; atienden necesidades básicas con cargo a un presupuesto común y generalmente comparten las comidas (SISBEN, 2009).

A continuación, se definen los conceptos que se utilizaran, como referencia del proceso de análisis de vulnerabilidad social.

Ocupación

Patrón o empleador: Son las personas que dirigen su propia empresa económica o ejercen por su cuenta una profesión u oficio, utilizando uno o más trabajadores remunerados, empleados y/o obreros.

Empleado: Se considera obrero o empleado de empresa particular a la persona que trabaja para un empleador privado en condición de asalariado. Aquí se incluyen los que trabajan como asalariados en organizaciones de servicio social, sindical, iglesias, y otras organizaciones sin fines de lucro.

Independiente: Son las personas que explotan su propia empresa económica o que ejercen por su cuenta una profesión y oficio con ayuda o no de familiares, que no utiliza ningún trabajador (empleado u obrero) remunerado. Estas personas pueden trabajar solos o asociados con otras de igual condición.

Ambulante: Persona que pertenece a la economía informal que comercia con distintos bienes de consumo. Generalmente instalado en pequeños kioscos, en las aceras de las calles, etc.

Ama de casa: Hace referencia al trabajo doméstico, incluyendo la preparación de alimentos, la limpieza y mantenimiento del hogar, la limpieza y mantenimiento del vestido, la organización, distribución y supervisión de tareas domésticas, la compra, los pagos o los trámites relacionados con el hogar y las reparaciones al interior del hogar, entre otras funciones

Estudiante: Que se encuentra asistiendo ya sea a una institución educativa o recibe educación en su casa.

Empleada Doméstica: Es aquella persona que le trabaja a uno o varios hogares, realizando actividades propias del servicio doméstico y recibe por su trabajo un salario en dinero y/o especie. Comprende a los sirvientes, conductores, jardineros, porteos de casa, niñeras, amas de llaves, etc. Estas personas pueden vivir o no en el hogar donde trabajan.

Discapacidad: La dependencia se entiende como el "estado de carácter permanente en que se encuentran las personas que, por razones derivadas de la edad, la enfermedad o la discapacidad, y ligadas a la falta o a la pérdida de autonomía física, mental, intelectual o sensorial, precisan de la atención de otra u otras personas o ayudas importantes para realizar actividades básicas de la vida diaria o, en el caso de las personas con discapacidad intelectual o enfermedad mental, de otros apoyos para su autonomía personal"

Recibe Subsidio Estatal: El subsidio es una prestación pública asistencial de carácter económico. En Colombia existen subsidios tanto del orden nacional, como distrital. Algunos de éstos son: subsidio educativo para población desplazada, subsidios de trasporte para población escolar o en condición de discapacidad, subsidio para adquisición de vivienda, subsidios en dinero para gestantes, niños y adultos mayores.

Vinculación al Sistema de Salud

- **Régimen Contributivo:** Es el conjunto de normas que orienta y rige la afiliación de la población con capacidad de pago al sistema de salud. Los afiliados a este régimen se clasifican en cotizantes y beneficiarios.
  Cotizantes: Son quienes pagan mensualmente de manera independiente o a quienes se les descuenta de su salario o pensión por la afiliación.
- **Beneficiarios:** Son todas las personas que quedan cubiertas por la cotización realizada por el miembro de la familia con capacidad de pago. Dentro de éstos se incluye el conyugue o el compañero permanente del cotizante, los hijos menores de 18 años de cualquiera de los conyugues que hagan parte del núcleo familiar y dependan económicamente del cotizante; los hijos mayores de 18 años con discapacidad permanente o los que tengan menos de 25 años y sean estudiantes con dedicación exclusiva y dependan económicamente del afiliado. A falta del conyugue, compañero permanente e hijos con derecho, la cobertura familiar podrá extenderse a los padres del cotizante no pensionados que dependan económicamente de éste.
- **Régimen subsidiado:** Es el conjunto de normas que orienta y rige la afiliación de la población con capacidad de pago al sistema de salud. La cotización de estas personas es pagada, parcial o totalmente por el Estado a una EPS subsidiada.
- **Régimen Especial (educación, militar):** En este régimen se consignan las personas que están afiliadas por cuenta de las fuerzas militares, policía nacional, Universidad Nacional de Colombia, ECOPETROL y magisterio.

Vinculación a Organizaciones

- **Social:** En la participación social las reivindicaciones no son sólo de tipo material, también se incluye en la agenda de estas organizaciones, la defensa de los derechos humanos y la dignidad del ser social. En esta clasificación se incluyen personas pertenecientes a organizaciones de derechos humanos y por la defensa de los derechos de grupos étnicos, de mujeres, LGBTI, Jóvenes, y grupos de protección animal, entre otros
- **Territorial:** Se asocia al concepto de *participación de la comunidad*, la cual se refiere a las formas organizativas de una unidad social **delimitada territorialmente**. En el caso de los asentamientos humanos, consiste en la realización de acciones vinculadas a la solución de problemas del entorno inmediato en aspectos como: infraestructura, vialidad y transporte, servicios urbanos, vivienda, equipamiento, mejoramiento ambiental, entre otros.

- **Institucional:** Esta participación se caracteriza porque el ciudadano interviene o tiene la posibilidad de incidir en la toma de las decisiones de la administración pública, entendida como la actividad consistente en reglamentar o ejecutar la ley en los diferentes órganos de administración. La participación administrativa permite al ciudadano, o bien ser parte de los órganos de la administración en cuyo caso la participación se produce dentro de la acción administrativa, o bien intervenir en los procesos que lleva la administración para tomar una decisión, en cuyo caso la participación se da por fuera de la acción administrativa. En Colombia algunas instancias de participación institucional son: Consejos de Planeación, Consejos Locales de Política Social CLOPS, Comités de Participación Comunitaria en Salud COPACO, Asociaciones de Usuarios y Comités de Ética Hospitalaria, Consejos Locales de Juventud, Consejo Consultivo de Mujeres, Consejos Territoriales de Planeación, entre otros.

15.2.1.2 Operacionalización del Índice de Vulnerabilidad Social – IVS

El Índice de vulnerabilidad social se refiere a la suma de circunstancias que afectan a grupos de población, que limitan sus capacidades para valerse por sí mismos. Por lo cual se aplicará la siguiente fórmula:

$$\mathbf{IVS = a + b + c + d + e}$$

Los factores asociados a la vulnerabilidad social expresados como indicadores demográficos que conforman el IVS son los siguientes:

Variables Seleccionadas y Estructura de Ponderaciones

El modelo matemático empleado originalmente contemplaba el mismo valor de ponderación para los indicadores, para este caso se le atribuyo el mismo valor a las dimensiones trazadas, del 100 % cada una tiene un valor del 33.33%, y dentro de las dimensiones se le asignó un valor igual a cada uno de los indicadores, como se muestra en la Tabla 15.9.

Tabla 15.9 Índice de Vulnerabilidad

ÍNDICE DE VULNERABILIDAD						
ÍTEM	**DIMENSIÓN**	**VARIABLES**	**INDICADOR**	**VALOR ASIGNADO POR DIMENSIÓN DE UN TOTAL DE 100**	**PONDERACIÓN**	**VULNERABILIDAD**
1	Activos Materiales	Número de niños menores de 15 años	Hogares con cuatro o más niños menores de 15 años	33	4,76	BAJA valores entre 0 y 1,58 MEDIA Valores entre 1,59 y 3,16 ALTA valores entre 3,17 y 4,76
		Género del jefe de hogar	Hogares con jefatura femenina y presencia de niños menores de 15 años		4,76	BAJA valores entre 0 y 1,58 MEDIA Valores entre 1,59 y 3,16 ALTA valores entre 3,17 y 4,76
		Jefatura de hogar, según edad	Jefe de hogar adolescente (menor de 18 años), y presencia de niños menores de 15 años		4,76	BAJA valores entre 0 y 1,58 MEDIA Valores entre 1,59 y 3,16 ALTA valores entre 3,17 y 4,76
			Jefe del hogar anciano (mayor de 60 años) y presencia de menores de 15 años		4,76	BAJA valores entre 0 y 1,58 MEDIA Valores entre 1,59 y 3,16 ALTA valores entre 3,17 y 4,76
		Situación Laboral	Hogares que no reciben ingresos por trabajo o pensión o rentas		4,76	ALTA valores entre 0 y 1,58 MEDIA Valores entre 1,59 y 3,16 BAJA valores entre3,17 y 4,76
			Hogares con ingresos de 1 solo miembro		4,76	BAJA valores entre 0 y 1,58 MEDIA Valores entre 1,59 y 3,16 ALTA valores entre 3,17 y 4,76
		Formalidad de los ingresos	Hogares cuyos ingresos provienen únicamente del trabajo informal		4,76	BAJA valores entre 0 y 1,58 MEDIA Valores entre 1,59 y 3,16

ÍNDICE DE VULNERABILIDAD						
ÍTEM	DIMENSIÓN	VARIABLES	INDICADOR	VALOR ASIGNADO POR DIMENSIÓN DE UN TOTAL DE 100	PONDERACIÓN	VULNERABILIDAD
						ALTA valores entre 3,17 y 4,76
2	Dependencia sobre los preceptores de ingresos	Dependencia sobre los preceptores de ingresos	Hogares con cuatro o más dependientes (niños menores de 15 años, adultos mayores y en condición de discapacidad)	33	16,66	BAJA valores entre 0 y 5,55 MEDIA valores entre 5,56 y 11,12 ALTA valores entre 11,13 y 16,66
			Hogares con cinco o más dependientes adultos mayores y en condición de discapacidad) con un solo miembro que aporta ingresos		16,66	BAJA valores entre 0 y 5,55 MEDIA valores entre 5,56 y 11,12 ALTA valores entre 11,13 y 16,66
3	Activos no Materiales	Nivel de Escolaridad	Hogares con un promedio de años de escolarización de la población mayor a 25 años. Nivel de educación secundaria 12 años de estudio	33	6,66	ALTA valores entre 0 y 2,22 MEDIA valores entre 2,23 y 4,44 BAJA valores entre 4,45 y 6,66
		Acceso al sistema de salud	Hogares con niños menores de 5 años con discapacidad que no cuentan afiliación a salud		6,66	BAJA valores entre 0 y 2,22 MEDIA valores entre 2,23 y 4,44 ALTA valores entre 4,45 y 6,66
			Hogares adultos mayores o con discapacidad sin afiliación al sistema de salud		6,66	BAJA valores entre 0 y 2,22 MEDIA valores entre 2,23 y 4,44 ALTA valores entre 4,45 y 6,66
			Hogares sin ningún integrante afiliado al sistema de salud		6,66	BAJA valores entre 0 y 2,22 MEDIA valores entre 2,23 y 4,44 ALTA valores entre 4,45 y 6,66

ÍNDICE DE VULNERABILIDAD						
ÍTEM	DIMENSIÓN	VARIABLES	INDICADOR	VALOR ASIGNADO POR DIMENSIÓN DE UN TOTAL DE 100	PONDERACIÓN	VULNERABILIDAD
		Lazos Sociales	Hogares que pertenecen a organizaciones, sociales, territoriales, institucional		6,66	ALTA valores entre 0 y 2,22 MEDIA valores entre 2,23 y 4,44 BAJA valores entre 4,45 y 6,66

En este sentido, aquellos hogares que no cumplan ninguna condición de las definidas asumirán el valor 0; los hogares que cumplan alguna de las condiciones asumirán la medida correspondiente a la ponderación de esa variable con respecto al indicador. Esto se realizará con respecto al total de los hogares encuestados y personas identificadas.

Características Generales

A continuación, se presentan algunas de las características de la población que permiten saber cuántos son, su relación con la tenencia de los predios, conocer la edad, nacionalidad, afiliación a seguridad social. La cantidad de hogares encuestados es de 64 y las personas que conforman los hogares son 198.

Tabla 15.10 Relación con el predio

TIPO DE TENENCIA	HOGARES
ARRENDATARIO	7
CUIDADOR	5
PROPIETARIO	52
TOTAL, GENERAL	64

La mayoría de las personas que responden la encuesta son propietarios 52 personas, 7 son arrendatarios y 5 son personas que cuidan el predio, el total de los hogares son 64.

Tabla 15.11 Nacionalidad de los habitantes del sector

MANZANA	NACIONAL	OTRA NACIONALIDAD	S/I	TOTAL, GENERAL
691	7		8	15
756	181	2		183
TOTAL, GENERAL	**188**	**2**	**8**	**198**

El total de la población que reside en el sector de Por Fin es un total de 198 personas, de las cuales 188 son nacionales, 2 personas otra nacionalidad, 8 personas sin información.

Tabla 15.12 Sexo de la Población

MANZANA	FEMENINO	MASCULINO	S/I	TOTAL, GENERAL
691	6	6	3	15
756	96	87		183
TOTAL, GENERAL	**102**	**93**	**3**	**198**

Del total de la población encuestada 102 son mujeres que representan el 52% y 93 son hombres que son el 47%, 3 personas sin información.

Tabla 15.13 Grupo etario

GRUPO	TOTAL
PRIMERA INFANCIA 0 A 6 AÑOS	22
INFANCIA 7 Y LOS 13 AÑOS, 11 MESES Y 29 DÍA	24
JUVENTUD 14 A 28	47
ADULTEZ 29 A 59 Y 11 MESES 29 DÍAS	64
VEJEZ MAS DE 60	35
SIN INFORMACIÓN	6
TOTAL	**198**

En cuento a la conformación de la población el mayor número de personas se encuentran en la etapa de adultez 64 que representa el 32%, seguida de los jóvenes 24% y las personas en primera infancia e infancia que alcanzan el 23%.

Tabla 15.14 Tipo de ocupación

MANZANA	AMA DE CASA	DESEMPLEADO	EMPLEADA DOMÉSTICA	EMPLEADO	ESTUDIANTE	INDEPENDIENTE	OF. VARIOS	OTRO	PATRÓN	S/I	VENDEDOR AMBULANTE	NINGUNO
691	3				4	5				3		
756	52	19	3	21	32	18	4	4	3	1	1	25
TOTAL, GENERAL	**55**	**19**	**3**	**21**	**36**	**23**	**4**	**4**	**3**	**4**	**1**	**25**

El total de la población del sector es de 198, de las cuales 55 son amas de casa, 19 desempleados, 36 estudiantes, independiente 23 y empleados 21.

Tabla 15.15 Ingresos económicos

MANZANA	1 SMLMV	2 - 3 SMMLV	2 SMLMV	NINGUNO	NO TIENE INGRESOS	S/I	TOTAL, GENERAL
691	5			4	3	4	16
756	34	1	2	50	95		182
TOTAL, GENERAL	**39**	**1**	**2**	**54**	**98**	**4**	**198**

De las personas encuestadas, las personas que reciben ingresos están distribuidas 39 personas 1 salario mínimo, 2 SMLV 2 personas y 1 entre 2 y SMLV, del total 152 personas no reciben ningún ingreso y 4 persona no tienen información.

Tabla 15.16 Afiliación al sistema de seguridad en salud

MANZANA	NINGUNO	S/I	SUBSIDIADO	TOTAL, GENERAL
691	4	3	8	15
756	4		179	183
TOTAL, GENERAL	**8**	**3**	**187**	**198**

Con respecto a la afiliación de las personas al sistema de seguridad en salud, la mayoría de las personas se encuentran en el régimen subsidiado 187 y 8 personas no se encuentran en ninguno de los regímenes, 3 personas sin información.

Tabla 15.17 Discapacidad de la población

MANZANA	ALTERACIÓN DEL DESARROLLO	S/I	TRASTORNO DEL ESPECTRO AUTISTA	(EN BLANCO)	TOTAL, GENERAL
691		3			3
756	1		1		2
TOTAL, GENERAL	**1**	**3**	**1**		**5**

Del total de la población encuestada 198, 5 personas manifiestan que tienen algún tipo de discapacidad, entre las que se encuentran alteración del desarrollo, y trastorno del espectro autista.

Tabla 15.18 Reconocimiento de etnia y víctima del conflicto armada

MANZANA	INDÍGENA	NINGUNO DE LOS ANTERIORES	TOTAL, GENERAL
691		4	4
756	1	59	60
TOTAL, GENERAL	**1**	**63**	**64**

Dentro de la pregunta si se reconoce como parte de algún grupo étnico las personas jefas de hogar 1 manifiesta que se reconoce como Indígena y 63 que no pertenecen a ningún grupo étnico.

Tabla 15.19 Víctima del conflicto armado

MANZANA	NO	SI	TOTAL, GENERAL
691	3	1	4
756	58	2	60
TOTAL, GENERAL	**61**	**3**	**64**

Para el caso del reconocimiento de los jefes de la familia 3 manifiestan ser víctimas del conflicto armado, 61 no lo son.

Tabla 15.20 Acceso a servicios públicos

	AGUA		ALCANTARILLADO		GAS		LUZ		BASURAS	
MANZANA	ACUEDUCTO	NACIMIENTO	ARTESANAL	FORMAL	NO	SI	NO	SI	NO	SI
691	4			4		4		4		4
756	52	7	7	52	17	42	5	52	7	52
	56	7	7	56	17	46	5	56	7	56

En cuanto al acceso a los servicios públicos, el agua es tomada del acueducto por el 89% de la población, el 11% toman el agua del nacimiento, con respecto al acceso al servicio de alcantarillado el 89% de la población tiene conexión formal el 11 % artesanal, 1 hogar sin información.

El servicio de gas el 73 % tienen acceso a servicio de gas, el 27% no tiene acceso a este servicio, de las personas que no tienen acceso al gas natural, 7 cocinan con gas de pipeta y 10 personas que cocinan con otro tipo de combustible.

Tabla 15.21 Participación en organizaciones

	5			ASOCIACIÓN DE PADRES DEL COLEGIO			ASOCIACION DE PADRES DE JARDIN			ORGANIZACIÓN DEPORTIVA			ORGANIZACIÓN GREMIAL			ORGANIZACIÓN RELIGIOSA			ORGANIZACIÓN AMBIENTAL O ECOLÒGICA		
MANZANA	NO	SI	BLANCO	NO	SI	BLANCO	NO	SI	BLANCO	NO	SI	BLANCO	NO	SI	BLANCO	NO	SI	BLANCO	NO	SI	BLANCO
691	4		3	4		3	4		3	4		3	4		3	4		3	4		3
756	59	1		60			60			60			60			60			60		
TOTAL GENERAL	63	1	3	64	0	3	64	0	3	64	0	3	64	0	3	64	0	3	64	0	3

La participación que requiere la democracia está relacionada con las aspiraciones que abriga la gente acerca del futuro, con sus sueños y utopías. La participación en los diversos estamentos de la sociedad civil es la definición del destino colectivo y en las decisiones públicas es fundamento de la democracia municipal o lo que es lo mismo, de la democracia cotidiana.

La participación en su grado más sencillo es el acto de presencia., medida en términos cuantitativos: «en aquel acto participaron 'x' personas». En este contexto «participaron» significa que estuvieron allí, y «participar» es algo así como hacer número o ser contabilizado. Este el primer escenario o estadio de la participación, en segundo lugar, encontramos la consultiva no son meros espectadores, ejecutantes o usuarios de algo previa y externamente decidido, sino que se les demanda su parecer sobre asuntos que de forma directa o indirecta les conciernen. Se les alienta a opinar, proponer o valorar y se facilitan canales para ello.

La participación proyectiva es más compleja. Una participación que, en su grado más elevado, ocurre en las diversas fases del proyecto o de la actividad, es decir en la propia definición del proyecto, en la determinación de su sentido y de sus objetivos, así como en su diseño, planificación y preparación. Por último, en la gestión, ejecución y control del proceso., para finalmente realizar su valoración.

En cuanto a la metaparticipación: Es la que consiste en que los propios sujetos piden, exigen o generan nuevos espacios y mecanismos de participación. Aparece cuando un individuo o un colectivo consideran que el reconocimiento de sus derechos participativos no es el debido, o cuando creen que los canales establecidos para ella no son suficientes o eficaces. Es cuando piden o toman la palabra quienes se encuentran relegados al silencio, cuando el lema de la pancarta es «¡Queremos que se nos escuche!», cuando se reclama el derecho a tomar parte en las decisiones.

Sin embargo, los resultados de la pregunta de participación en organizaciones para este sector son baja, lo que lleva a que exista poca cohesión entre las personas que habitan un sector que hacen parte de un espacio que se convierte en común y que dificulta tener soporte de redes sociales para que en un momento determinado pueda ayudar a salir de situaciones de emergencia social.

Tabla 15.22 Afectaciones en viviendas

MANZANA	INUNDACIONES VIVIENDA		INUNDACIONES SECTOR		DERRUMBES VIVIENDA		DERRUMBES SECTOR		INCENDIOS VIVIENDA		INCENDIOS SECTOR		SISMOS VIVIENDA		SISMOS SECTOR		AVALANCHAS VIVIENDA		AVALANCHAS SECTOR	
	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI
691		4	2	2		4	2	2	1	3	3	1		4	2	2	1	3	3	1
756	1	59	4	39	4	56	4	39	24	36	24	19	5	55	5	38	25	35	22	21
S/I			17				17				17				17				17	
TOTAL GENERAL	**1**	**63**	**23**	**41**	**4**	**60**	**23**	**41**	**25**	**39**	**27**	**20**	**5**	**59**	**24**	**40**	**26**	**38**	**42**	**22**

El riesgo de desastres: Corresponde a los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos físicos peligrosos de origen natural, socio-natural, tecnológico, biosanitario o humano no intencional, en un período de tiempo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos; por consiguiente, el riesgo de desastres se deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad (Ley 1523 de 2012).

En tal sentido la población expresa que se han presentado eventos peligrosos de origen socio natural dentro de los cuales identifican que han sufrido inundaciones en sus viviendas, se han presentado inundaciones, el otro fenómeno que ha afectado deslizamientos. Eventos de origen natural identifican el sismo, fenómenos de origen antrópico el incendio.

Tabla 15.23 Preparación ante situaciones de emergencia

	¿EXISTE APOYO DEL DISTRITO PARA PROYECTOS COMUNALES EN GESTIÓN DEL RIESGO?		¿CONOCE LOS ORGANISMOS QUE ATIENDEN EMERGENCIAS?		¿HA PARTICIPADO EN ACTIVIDADES DE PREVENCIÓN DE EMERGENCIAS?		¿ESTÁ PREPARADA LA COMUNIDAD PARA UNA EMERGENCIA QUE SE PRESENTE?		¿HA PARTICIPADO EN SIMULACROS (EN LOS ÚLTIMOS 5 AÑOS)?		¿SE CONOCEN LAS RUTAS DE EVACUACIÓN SI SE PRESENTA UNA EMERGENCIA?	
MANZANA	NO	S/I	SI	NO	S/I	NO	S/I	NO	S/I	NO	S/I	NO	S/I
691	4	3		4	3	4	3	4	3	4	3	4	3
756	60		1	60		60		60		60		60	
TOTAL	**63**	**3**	**1**	**64**	**3**	**64**	**3**	**64**	**3**	**64**	**3**	**64**	**3**

Los componentes de preparación para la respuesta frente a desastres, se refieren al conjunto de acciones principalmente de coordinación, sistemas de alerta, capacitación, equipamiento, centros de reserva, albergues y entrenamiento de personal, con el propósito de tomar medidas de forma anticipada ante los posibles desastres, mientras que la ejecución de la respuesta se refiere a la optimización en la puesta en práctica de los diferentes servicios básicos de respuesta, como accesibilidad y transporte, telecomunicaciones, evaluación de daños y análisis de necesidades, salud y saneamiento básico, búsqueda y rescate, extinción de incendios y manejo de materiales peligrosos, manejo de albergues y alimentación, disponibilidad de servicios públicos, seguridad y convivencia, aspectos financieros y legales, información pública y el manejo general de la respuesta, entre otros. El ultimo componente, hace referencia a los mecanismos o instrumentos financieros como fondos y otros de retención intencional o transferencia del riesgo, que se establecen en forma ex ante con el fin de acceder de manera ex post a recursos económicos oportunos para la atención de emergencias y la recuperación.

Sin embargo, para el caso del sector de la libertad la comunidad no tiene claridad sobre cómo actuar, por donde son las rutas para evacuar si se presenta una situación de emergencia, expresan que han participado de actividades de prevención, pero no en simulacros de evacuación.

Tabla 15.24 Percepción del entorno en el que viven

Satisfacción/ Manzana 691	Transporte Público	Organización Y Unión Vecinal	Ambiental Y Manejo De Basuras	Seguridad Ciudadana	Recreación	Imagen Del Sector
Nada Satisfactorio	2	2	3	4	4	4
Satisfactorio	2	2	1			
S/I	3	3	3	3	3	3
Total, General	7	7	7	7	7	7

Satisfacción/ Manzana 756	Transporte Público	Organización Y Unión Vecinal	Ambiental Y Manejo De Basuras	Seguridad Ciudadana	Recreación	Imagen Del Sector
Nada Satisfactorio	2	1	8	8	4	4
Satisfactorio	29	41	41	6	5	6
Poco Satisfactorio	29	18	11	45	45	49
Ns Nr				1	6	1
Total, General	**60**	**60**	**60**	**60**	**60**	**60**

La percepción es la imagen mental que se forma con él estimulo, la necesidad y la experiencia, surge como un proceso de interpretación de la realidad a partir de los conceptos que tenemos las sensaciones que nos despiertan y la asociación con el estímulo presente. Es de por si un proceso individual y único de los individuos donde interactúa la subjetividad, por eso para cada persona es diferente y significa diferente, pero también se da en un espacio, territorio particular es decir tiene una temporalidad

Estímulo En el caso de los seres vivos, el estímulo es aquello que origina una respuesta o una reacción del cuerpo. Sifuentes Santisteban, plantea que el "el conocimiento es un proceso que se inicia en los sentidos. Todo lo que conocemos ha pasado, directa o indirectamente, por nuestros sentidos, a este hecho activo se denomina sensación"

Las sensaciones son la respuesta directa e inmediata a una estimulación de los órganos sensoriales. Esta concepción de las sensaciones supone la relación entre tres elementos: un estímulo, un órgano y una relación sensoriales.

Por lo tanto, el nivel de satisfacción esta mediado por la individualidad y las experiencias que una persona tiene en un espacio y en un contexto, por esto la satisfacción que expresan las personas que viven en el sector es que con respecto a: al transporte público es entre satisfactorio y poco satisfactorio.

En cuanto a la organización vecinal, lo ambiental y manejo de basuras, dan resultados similares, es satisfactorio para un número significativo de residentes, seguido de poco satisfactorio y para pocas personas es nada satisfactorio.

En relación con la seguridad ciudadana, recreación e imagen del sector los resultados son para la mayoría de la población poco satisfactorio, seguido de satisfactorio.

Es decir, en términos generales dependiendo el tema las personas se sientes más o menos satisfechas.

15.2.1.3 Resultado del Índice de Vulnerabilidad Social

Tabla 15.25 Resultado del índice de Vulnerabilidad Social

ÍTEM	DIMENSIÓN	INDICADOR	RESULTADO INDICADOR	RESULTADO OPERACIÓN	NIVEL DE VULNERABILIDAD
1	Activos Materiales	Hogares con cuatro o más niños menores de 15 años	2	0,1	BAJA
		Hogares con jefatura femenina y presencia de niños menores de 15 años	16	1,2	BAJA
		Jefe de hogar adolescente (menor de 18 años), y presencia de niños menores de 15 años	0	0,0	BAJA

ÍTEM	DIMENSIÓN	INDICADOR	RESULTADO INDICADOR	RESULTADO OPERACIÓN	NIVEL DE VULNERABILIDAD
		Jefe del hogar anciano (mayor de 60 años) y presencia de menores de 15 años	4	0,3	BAJA
		Hogares que no reciben ingresos por trabajo o pensión o rentas	30	2,2	MEDIA
		Hogares con ingresos de 1 solo miembro	27	2,0	MEDIA
		Hogares cuyos ingresos provienen únicamente del trabajo informal	16	1,2	BAJA
2	Dependencia sobre los preceptores de ingresos	Hogares con cuatro o más dependientes (niños menores de 15 años, adultos mayores y en condición de discapacidad)	0	0,0	BAJA
		Hogares con cinco o más dependientes adultos mayores y en condición de discapacidad) con un solo miembro que aporta ingresos	0	0,0	BAJA
3	Activos no Materiales	Hogares con un promedio de años de escolarización de la población mayor a 25 años. Nivel de educación secundaria 12 años de estudio del jefe del núcleo	38	4,0	ALTA
		Hogares con niños menores de 5 años con discapacidad que no cuentan afiliación a salud	0	0,0	BAJA
		Hogares adultos mayores o con discapacidad sin afiliación al sistema de salud	0	0,0	BAJA
		Hogares sin ningún integrante afiliado al sistema de salud	2	0,2	BAJA
		Hogares que pertenecen a organizaciones, sociales, territoriales, institucional	1	0,1	ALTA

Para el resultado de los indicadores definidos es importante mencionar que frente al análisis de vulnerabilidad alta con respecto a los activos materiales, dependencia sobre los preceptores de ingresos y ellos cativos no materiales el que tiene que ver con la jefatura femenina y la presencia de menores al interior del hogar, de la dimensión activos materiales se encuentran que la vulnerabilidad alta está determinada por los indicadores del nivel de escolaridad de las personas mayores de 25 años, es decir de los adultos que toman las decisiones dentro de un hogar.

En el mismo sentido los hogares que pertenecen a organizaciones sociales ya que lo evidente es que su nivel de participación es casi nulo, la mayoría de los hogares no participan en ninguna organización social, no es reconocida la participación en la Junta de Acción comunal o el escenario donde se producen las acciones para la mejora de las condiciones del barrio en su conjunto, tan solo 1 expresan pertenecer a alguna organización.

Los otros indicadores que muestran vulnerabilidad media están relacionados con los ingresos del hogar, de lo cual hay hogares que reciben ingresos por los aportes que realiza solo uno de los miembros del hogar y de los hogares que su ingreso proviene de la actividad informal, estas condiciones generan una particularidad porque en esta medición se evidencia que cualquier factor que los desestabilice puede llevarlos a pasar de vulnerabilidad media a alta.

15.2.1.4 Recomendaciones

Se requiere incentivar los procesos de participación de esta comunidad en general para que se ejerza una ciudadanía, pero sobre todo para buscar que las redes mejoren en su entorno y se establezcan escenarios de acciones futuras construidos mancomunadamente para bienestar de la población.

Los análisis de población deben contener información que permita elaborar planes individuales con el fin de que las acciones sean específicas para la vulnerabilidad de las familias, esto permitirá fortalecer los hogares y la personas, a su vez entender que las jefaturas femeninas requieren apoyo y acciones específicas para contribuir a su bienestar que el bienestar de las mujeres está directamente relacionado con el bienestar de los menores que conforman la familia.

Frente a los niveles de vulnerabilidad medias es relevante adelantar acciones para que se puedan fortalecer a través de programas, actividad o acuerdos que promuevan el cambio de media a baja, esto fortalecerá lo individual y colectivo del entorno dónde viven.

En el sector se evidencia que se han presentado manifestaciones de fenómenos naturales que han afectado a personas, lo que lleva a la necesidad de incentivar y promover la preparación para eventos naturales que puedan manifestarse, esto porque la partición para actúa ante situaciones de emergencia es bajo para el total de la población.

El bajo grado de participación de la población requiere el impulso de acciones para lograr la promoción y así avanzar en la cohesión al interior de las comunidades que fortalezca su actividad de construcción de un entorno común.

15.2.2 Sector La Libertad

15.2.2.1 Operacionalización del Índice de Vulnerabilidad Social – IVS

Características Generales

A continuación, se presentan algunas de las características de la población que permiten saber cuántos son, su relación con la tenencia de los predios, conocer la edad, nacionalidad, afiliación a

seguridad social. La cantidad de hogares encuestados es de 64 y las personas que conforman los hogares son 198.

Tabla 15.26 Relación con el predio

MANZANA	CUIDADOR	PROPIETARIO	TOTAL, GENERAL
843	3	91	94
TOTAL, GENERAL	3	91	94

La mayoría de las personas que responden la encuesta son propietarios 91 personas, 3 son personas que cuidan el predio, el total de los hogares son 94.

Tabla 15.27 Nacionalidad de los habitantes del sector

MANZANA	NACIONAL	VENEZOLANO	TOTAL, GENERAL
843	114	231	345

El total de la población que reside en el sector La libertad es un total de 345 personas, de las cuales 1114 son nacionales que representan el 33%, 231 son de procedencia venezolana el 67%, en este sector la mayoría de la población es extranjera.

Tabla 15.28 Sexo de la población

MANZANA	FEMENINO	MASCULINO	TOTAL, GENERAL
843	188	157	345

Del total de la población encuestada 188 son mujeres que representan el 54% y 157 son hombres que son el 46%, 3 personas sin información.

Tabla 15.29 Grupo etario

GRUPO	TOTAL
PRIMERA INFANCIA 0 A 6 AÑOS	73
INFANCIA 7 Y LOS 13 AÑOS, 11 MESES Y 29 DÍA	88
JUVENTUD 14 A 28	82
ADULTEZ 29 A 59 Y 11 MESES 29 DÍAS	85
VEJEZ MAS DE 60	15
SIN INFORMACIÓN	2
TOTAL	**345**

En cuento a la conformación de la población el mayor número de personas se encuentran en la etapa de adultez 85 que representa el 25%, seguida de los jóvenes 24% y las personas en primera infancia e infancia que alcanzan el 47%.

Tabla 15.30 Tipo de ocupación

MANZANA	AMA DE CASA	DESEMPLEADO	EMPLEADA DOMÉSTICA	EMPLEADO	ESTUDIANTE	INDEPENDIENTE	OF. VARIOS	OTRO	PATRÓN	RECICLADOR (A)	VENDEDOR AMBULANTE	NINGUNO	TOTAL GENERAL
843	61	26	1	1	187	40	12	2	2	4	3	6	345

El total de la población del sector a la que se recogió información es de 345, de las cuales 61 son amas de casa, 26 desempleados, 187 estudiantes, independiente 40 y empleados 1.

Tabla 15.31 Ingresos económicos

MANZANA	1 SMLMV	NO TIENE INGRESOS	NINGUNO	TOTAL, GENERAL
843	65	87	193	345

De las personas encuestadas, las personas que reciben ingresos están distribuidas 65 personas 1 salario mínimo, 87 personas no reciben ningún ingreso y 193 que por su ocupación no están en edad de percibir ingresos ya que son menores de edad.

Tabla 15.32 Afiliación al sistema de seguridad en salud

MANZANA	NINGUNO	SUBSIDIADO	TOTAL, GENERAL
843	12	333	345

Con respecto a la afiliación de las personas al sistema de seguridad en salud, la mayoría de las personas se encuentran en el régimen subsidiado 333 y 12 personas no se encuentran en ninguno de los regímenes, de las no afiliadas a ningún régimen 5 son venezolanas y 7 nacionales.

Tabla 15.33 Personas con discapacidad

MANZANA	TOTAL, GENERAL
843	0

Ninguna de las persones manifiesta tener algún tipo de discapacidad.

Tabla 15.34 Reconocimiento de etnia

MANZANA	NINGUNO DE LOS ANTERIORES	TOTAL, GENERAL
843	94	94

Dentro de la pregunta si se reconoce como parte de algún grupo étnico las personas jefas de hogar manifiesta que no se reconoce como que pertenecen a ningún grupo étnico.

Tabla 15.35 víctima del conflicto armado

MANZANA	NO	TOTAL, GENERAL
843	94	94

Para el caso del reconocimiento de los jefes de la familia ninguno se reconoce como víctimas del conflicto armado.

Tabla 15.36 Acceso a servicios públicos

	AGUA			ALCANTARILLADO		GAS		LUZ		BASURAS	
MANZANA	ACUEDUCTO	NACIMIENTO	PILA COMUNITARIA	FORMAL	NO TIENE	NO	SI	NO	SI	NO	SI
843	23	31	40	4	90	93	1	62	32	80	14

En cuanto al acceso a los servicios públicos, el agua es tomada del acueducto por el 24% de la población, el 33% toman el agua del nacimiento y el 43% a través de pila, con respecto al acceso al servicio de alcantarillado el 96% no tiene conexión, el 4% de manera formal el 11 %.

El servicio de gas el 1 % tienen acceso a servicio de gas, el 99% no tiene acceso a este servicio, de las personas que no tienen acceso al gas natural, cocinan con otro tipo de combustible.

Tabla 15.37 Participación en organizaciones

	JUNTA DE ACCIÓN COMUNAL	ASOCIACIÓN DE PADRES DEL COLEGIO	ASOCIACIÓN DE PADRES DE JARDÍN	ORGANIZACIÓN DEPORTIVA	ORGANIZACIÓN GREMIAL	ORGANIZACIÓN RELIGIOSA	ORGANIZACIÓN AMBIENTAL O ECOLÓGICA
MANZANA	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
843	94	94	94	94	94	94	94

La participación que requiere la democracia está relacionada con las aspiraciones que abriga la gente acerca del futuro, con sus sueños y utopías. La participación en los diversos estamentos de la sociedad

civil es la definición del destino colectivo y en las decisiones públicas es fundamento de la democracia municipal o lo que es lo mismo, de la democracia cotidiana.

La participación en su grado más sencillo es el acto de presencia., medida en términos cuantitativos: «en aquel acto participaron 'x' personas». En este contexto «participaron» significa que estuvieron allí, y «participar» es algo así como hacer número o ser contabilizado. Este el primer escenario o estadio de la participación, en segundo lugar, encontramos la consultiva no son meros espectadores, ejecutantes o usuarios de algo previa y externamente decidido, sino que se les demanda su parecer sobre asuntos que de forma directa o indirecta les conciernen. Se les alienta a opinar, proponer o valorar y se facilitan canales para ello.

La participación proyectiva es más compleja. Una participación que, en su grado más elevado, ocurre en las diversas fases del proyecto o de la actividad, es decir en la propia definición del proyecto, en la determinación de su sentido y de sus objetivos, así como en su diseño, planificación y preparación. Por último, en la gestión, ejecución y control del proceso., para finalmente realizar su valoración.

En cuanto a la metaparticipación: Es la que consiste en que los propios sujetos piden, exigen o generan nuevos espacios y mecanismos de participación. Aparece cuando un individuo o un colectivo consideran que el reconocimiento de sus derechos participativos no es el debido, o cuando creen que los canales establecidos para ella no son suficientes o eficaces. Es cuando piden o toman la palabra quienes se encuentran relegados al silencio, cuando el lema de la pancarta es «¡Queremos que se nos escuche!», cuando se reclama el derecho a tomar parte en las decisiones.

Sin embargo, los resultados de la pregunta de participación en organizaciones para este sector son nula, ninguno reconoce participar de ninguna organización, lo que lleva a que exista poca cohesión entre las personas que habitan un sector que hacen parte de un espacio y que podria convertirse en un escenario común de fortalecimiento y proyección y que dificulta tener soporte de redes sociales para que en un momento determinado pueda ayudar a salir de situaciones de emergencia social.

Tabla 15.38 Afectaciones en viviendas

MANZANA	INUNDACIONES VIVIENDA		INUNDACIONES SECTOR		DERRUMBES VIVIENDA		DERRUMBES SECTOR		INCENDIOS VIVIENDA		INCENDIOS SECTOR		SISMOS VIVIENDA		SISMOS SECTOR		AVALANCHAS VIVIENDA		AVALANCHAS SECTOR	
	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI
843		94		94		94		94		94		94		94		94		94		94

El riesgo de desastres: Corresponde a los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos físicos peligrosos de origen natural, socio-natural, tecnológico, biosanitário o humano no intencional, en un período de tiempo específico y que son determinados por la

vulnerabilidad de los elementos expuestos; por consiguiente, el riesgo de desastres se deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad (Ley 1523 de 2012).

En tal sentido la población expresa que se han presentado eventos peligrosos de origen socio natural dentro de los cuales identifican que han sufrido inundaciones en sus viviendas, se han presentado inundaciones, el otro fenómeno que ha afectado deslizamientos. Eventos de origen natural identifican el sismo, fenómenos de origen antrópico el incendio.

Tabla 15.39 Preparación ante situaciones de emergencia

	¿Existe Apoyo Del Distrito Para Proyectos Comunales En Gestión Del Riesgo?	¿Conoce Los Organismos Que Atienden Emergencias?	¿Ha Participado En Actividades De Prevención De Emergencias?	¿Está Preparada La Comunidad Para Una Emergencia Que Se Presente?	¿Ha Participado En Simulacros (En Los Últimos 5 Años)?	¿Se Conocen Las Rutas De Evacuación Si Se Presenta Una Emergencia?
Manzana	No	No	Si	No	No	No
843	94	94	94	94	94	94

Los componentes de preparación para la respuesta frente a desastres, se refieren al conjunto de acciones principalmente de coordinación, sistemas de alerta, capacitación, equipamiento, centros de reserva, albergues y entrenamiento de personal, con el propósito de tomar medidas de forma anticipada ante los posibles desastres, mientras que la ejecución de la respuesta se refiere a la optimización en la puesta en práctica de los diferentes servicios básicos de respuesta, como accesibilidad y transporte, telecomunicaciones, evaluación de daños y análisis de necesidades, salud y saneamiento básico, búsqueda y rescate, extinción de incendios y manejo de materiales peligrosos, manejo de albergues y alimentación, disponibilidad de servicios públicos, seguridad y convivencia, aspectos financieros y legales, información pública y el manejo general de la respuesta, entre otros. El ultimo componente, hace referencia a los mecanismos o instrumentos financieros como fondos y otros de retención intencional o transferencia del riesgo, que se establecen en forma ex ante con el fin de acceder de manera ex post a recursos económicos oportunos para la atención de emergencias y la recuperación.

Sin embargo, para el caso del sector de la libertad la comunidad no tiene claridad sobre cómo actuar, por donde son las rutas para evacuar si se presenta una situación de emergencia, expresan que han participado de actividades de prevención, pero no en simulacros de evacuación.

Tabla 15.40 Percepción del entorno en el que viven

MANZANA 843	TRANSPORTE PÚBLICO	ORGANIZACIÓN Y UNIÓN VECINAL	AMBIENTAL Y MANEJO DE BASURAS	SEGURIDAD CIUDADANA	RECREACIÓN	IMAGEN DEL SECTOR
NADA SATISFACTORIO	47	85	46	50	94	94
SATISFACTORIO	47	8	48	43		
POCO SATISFACTORIO		1		1		

La percepción es la imagen mental que se forma con él estimulo, la necesidad y la experiencia, surge como un proceso de interpretación de la realidad a partir de los conceptos que tenemos las sensaciones que nos despiertan y la asociación con el estímulo presente. Es de por si un proceso individual y único de los individuos donde interactúa la subjetividad, por eso para cada persona es diferente y significa diferente, pero también se da en un espacio, territorio particular es decir tiene una temporalidad

Estimulo En el caso de los seres vivos, el estímulo es aquello que origina una respuesta o una reacción del cuerpo. Sifuentes Santisteban, plantea que el "el conocimiento es un proceso que se inicia en los sentidos. Todo lo que conocemos ha pasado, directa o indirectamente, por nuestros sentidos, a este hecho activo se denomina sensación"

Las sensaciones son la respuesta directa e inmediata a una estimulación de los órganos sensoriales. Esta concepción de las sensaciones supone la relación entre tres elementos: un estímulo, un órgano y una relación sensoriales.

Por lo tanto, el nivel de satisfacción esta mediado por la individualidad y las experiencias que una persona tiene en un espacio y en un contexto, por esto la satisfacción que expresan las personas que viven en el sector es que con respecto a: al transporte público es entre satisfactorio y poco satisfactorio.

En cuanto a la organización vecinal, lo ambiental y manejo de basuras, dan resultados similares, es satisfactorio para un número significativo de residentes, seguido de nada satisfactorio y para pocas personas es poco satisfactorio.

En relación con la seguridad ciudadana, nada satisfactorio y satisfactorio, recreación e imagen del sector los resultados son para la mayoría de la población nada satisfactorio.

Es decir, en términos generales dependiendo el tema las personas se sientes más o menos satisfechas.

15.2.2.2 Resultado Índice de Vulnerabilidad Social

Tabla 15.41 Resultado Índice de Vulnerabilidad Social

ÍTEM	DIMENSIÓN	INDICADOR	RESULTADO INDICADOR	RESULTADO OPERACIÓN	NIVEL DE VULNERABILIDAD
1	Activos Materiales	Hogares con cuatro o más niños menores de 15 años	14	0,7	BAJA
		Hogares con jefatura femenina y presencia de niños menores de 15 años	53	2,7	MEDIA
		Jefe de hogar adolescente (menor de 18 años), y presencia de niños menores de 15 años	0	0,0	BAJA
		Jefe del hogar anciano (mayor de 60 años) y presencia de menores de 15 años	3	0,2	BAJA
		Hogares que no reciben ingresos por trabajo o pensión o rentas	34	1,7	BAJA
		Hogares con ingresos de 1 solo miembro	42	3,1	MEDIA
		Hogares cuyos ingresos provienen únicamente del trabajo informal	51	3,8	ALTA
2	Dependencia sobre los preceptores de ingresos	Hogares con cuatro o más dependientes (niños menores de 15 años, adultos mayores y en condición de discapacidad)	0	0,0	BAJA
		Hogares con cinco o más dependientes adultos mayores y en condición de discapacidad) con un solo miembro que aporta ingresos	0	0,0	BAJA
3	Activos no Materiales	Hogares con un promedio de años de escolarización de la población mayor a 25 años. Nivel de educación secundaria 12 años de estudio del jefe del núcleo	12	1,2	ALTA
		Hogares con niños menores de 5 años con discapacidad que no cuentan afiliación a salud	0	0,0	BAJA

ÍTEM	DIMENSIÓN	INDICADOR	RESULTADO INDICADOR	RESULTADO OPERACIÓN	NIVEL DE VULNERABILIDAD
		Hogares adultos mayores o con discapacidad sin afiliación al sistema de salud	0	0,0	BAJA
		Hogares sin ningún integrante afiliado al sistema de salud	3	0,3	BAJA
		Hogares que pertenecen a organizaciones, sociales, territoriales, institucional	0	0,0	ALTA

Para el resultado de los indicadores definidos es importante mencionar que frente al análisis de vulnerabilidad alta con respecto a los activos materiales, dependencia sobre los preceptores de ingresos y ellos cativos no materiales el que tiene que ver con la jefatura femenina y la presencia de menores al interior del hogar, de la dimensión activos materiales se encuentran que la vulnerabilidad alta está determinada por los indicadores del nivel de escolaridad de las personas mayores de 25 años, es decir de los adultos que toman las decisiones dentro de un hogar.

En el mismo sentido los hogares que pertenecen a organizaciones sociales ya que lo evidente es que su nivel de participación es casi nulo, la mayoría de los hogares no participan en ninguna organización social, no es reconocida la participación en la Junta de Acción comunal o el escenario donde se producen las acciones para la mejora de las condiciones del barrio en su conjunto, tan solo 1 expresan pertenecer a alguna organización.

Los otros indicadores que muestran vulnerabilidad media están relacionados con los ingresos del hogar, de lo cual hay hogares que reciben ingresos por los aportes que realiza solo uno de los miembros del hogar y de los hogares que su ingreso proviene de la actividad informal, estas condiciones generan una particularidad porque en esta medición se evidencia que cualquier factor que los desestabilice puede llevarlos a pasar de vulnerabilidad media a alta.

15.2.2.3 Recomendaciones

Se requiere incentivar los procesos de participación de esta comunidad en general para que se ejerza una ciudadanía, pero sobre todo para buscar que las redes mejoren en su entorno y se establezcan escenarios de acciones futuras construidos mancomunadamente para bienestar de la población.

Los análisis de población deben contener información que permita elaborar planes individuales con el fin de que las acciones sean específicas para la vulnerabilidad de las familias, esto permitirá fortalecer los hogares y la personas, a su vez entender que las jefaturas femeninas requieren apoyo y acciones específicas para contribuir a su bienestar que el bienestar de las mujeres está directamente relacionado con el bienestar de los menores que conforman la familia.

Frente a los niveles de vulnerabilidad medias es relevante adelantar acciones para que se puedan fortalecer a través de programas, actividad o acuerdos que promuevan el cambio de media a baja, esto fortalecerá lo individual y colectivo del entorno dónde viven.

En el sector se evidencia que se han presentado manifestaciones de fenómenos naturales que han afectado a personas, lo que lleva a la necesidad de incentivar y promover la preparación para eventos naturales que puedan manifestarse, esto porque la partición para actúa ante situaciones de emergencia es bajo para el total de la población.

El bajo grado de participación de la población requiere el impulso de acciones para lograr la promoción y así avanzar en la cohesión al interior de las comunidades que fortalezca su actividad de construcción de un entorno común.

15.2.3 Sector Me Quejo – Loma Roja

15.2.3.1 Operacionalización del Índice de Vulnerabilidad Social – IVS

Características Generales

A continuación, se presentan algunas de las características de la población que permiten saber cuántos son, su relación con la tenencia de los predios, conocer la edad, nacionalidad, afiliación a seguridad social. La cantidad de hogares encuestados es de 190 y las personas que conforman los hogares son 650.

Tabla 15.42 Relación con el predio

TIPO DE TENENCIA	HOGARES
ARRENDATARIO	26
CUIDADOR	8
PROPIETARIO	156
TOTAL, GENERAL	**190**

La mayoría de las personas que responden la encuesta son propietarios 156 personas, 26 son arrendatarios y 8 son personas que cuidan el predio, el total de los hogares son 190.

Tabla 15.43 Nacionalidad de los habitantes del sector

MANZANA	NACIONAL	OTRA NACIONALIDAD	VENEZOLANO	EN BLANCO
363	6			
636	82		26	
703	106		3	
709	47		1	
710	79	2	8	

MANZANA	NACIONAL	OTRA NACIONALIDAD	VENEZOLANO	EN BLANCO
711	88		13	
840	37		11	
841	62		8	
842	14		6	
844	9			1
850	38		3	
TOTAL, GENERAL	**568**	**2**	**79**	**1**

El total de la población que reside en el sector de Me Quejo-Loma Roja es un total de 650 personas, de las cuales 568 son personas nacionales, 79 personas tienen nacionalidad venezolana y 2 personas otra nacionalidad.

Tabla 15.44 Sexo de la población

MANZANA	FEMENINO	MASCULINO	BLANCO	TOTAL, GENERAL
363	4	2		6
636	58	50		108
703	62	47		109
709	30	18		48
710	43	46		89
711	62	39		101
840	19	29		48
841	38	32		70
842	11	9		20
844	4	5	1	10
850	27	14		41
TOTAL, GENERAL	358	291	1	650

Del total de la población encuestada 358 personas son mujeres y 291 personas son hombres.

Tabla 15.45 Grupo etario

GRUPO	TOTAL
PRIMERA INFANCIA 0 A 6 AÑOS	86
INFANCIA 7 Y LOS 13 AÑOS, 11 MESES Y 29 DÍA	138
JUVENTUD 14 A 28	153
ADULTEZ 29 A 59 Y 11 MESES 29 DÍAS	224
VEJEZ MAS DE 60	41
SIN INFORMACIÓN	8
TOTAL	**650**

En cuento a la conformación de la población el mayor número de personas se encuentran en la etapa de adultez 224 que representa el 34%, seguida de los jóvenes 24% y las personas en primera infancia e infancia 34%.

Tabla 15.46 Tipo de ocupación

MANZANA	AMA DE CASA	DESEMPLEADO	EMPLEADA DOMÉSTICA	EMPLEADO	ESTUDIANTE	INDEPENDIENTE	OF. VARIOS	OTRO	RECICLADOR (A)	VENDEDOR AMBULANTE	TOTAL GENERAL
363		1									1
636	18	2		6	1	3	1				31
703	9	3	1	6		11	1				31
709	5					9	1		1		16
710	14	1		2		7	1				25
711	18	5		5		5					33
840	3	2		1		5		1			12
841	7	1	1	1		10	1				21
842	3	1					1				5
844	2										2
850	5			1		4	1			1	12
(EN BLANCO)	42	44		19	243	51	11	48	1	1	460
TOTAL, GENERAL	**126**	**60**	**2**	**41**	**244**	**105**	**18**	**49**	**2**	**2**	**649**

El total de la población del sector es de 650, de las cuales 244 tienen como ocupación ser estudiantes, 126 son amas de casa, 105 trabajan como independientes, 49 otra ocupación y 60 se encuentran sin empleo y una no respondió a esta pregunta.

Tabla 15.47 Ingresos económicos

MANZANA	1 SMLMV	NO TIENE INGRESOS	NINGUNO	S/I	TOTAL, GENERAL
363	1	1	4		6
636	17	45	46		108
703	34	31	44		109
709	13	14	21		48
710	17	29	43		89
711	20	34	47		101
840	17	15	16		48
841	20	18	32		70
842	3	8	9		20
844	1	3	5	1	10
850	7	11	23		41
TOTAL, GENERAL	**150**	**209**	**290**	**1**	**650**

De las personas encuestadas, las personas que reciben ingresos están distribuidas 150 personas 1 salario mínimo, 209 personas no reciben ningún ingreso y 290 que por su ocupación no están en edad de percibir ingresos ya que son menores de edad.

Tabla 15.48 Afiliación al sistema de seguridad en salud

MANZANA	CONTRIBUTIVO	NINGUNO	SUBSIDIADO	TOTAL, GENERAL
363			1	1
636		20	11	31
703			31	31
709		2	14	16
710	1	4	20	25
711		5	28	33

840		2	10	12
841		1	20	21
842			5	5
844			2	2
850	1	1	10	12
(En Blanco)	2	85	373	460
Total, General	**4**	**120**	**525**	**649**

Con respecto a la afiliación de las personas al sistema de seguridad en salud, la mayoría de las personas se encuentran en el régimen subsidiado 525 y 4 en el contributivo, 120 personas no se encuentran en ninguno de los regímenes de estas 34 son de nacionalidad venezolana, 1 con otra nacionalidad, 85 personas de nacionalidad colombiana.

Tabla 15.49 Discapacidad de la población

Etiquetas De Fila	Alteración Del Desarrollo	Física	Intelectual	Visual	Total, General
363					
636		1			1
703					
709	1			2	3
710		1	1		2
711	1	1			2
840		1			1
841	1	1		1	3
842					
844					
850					
Total, General	**3**	**5**	**1**	**3**	**12**

Del total de la población encuestada 650, 12 personas manifiestan que tienen algún tipo de discapacidad, se presentan los resultados para las manzanas.

Tabla 15.50 Reconocimiento de etnia y víctima del conflicto armado

MANZANA	ETNIA-NINGUNO DE LOS ANTERIORES	VÍCTIMA DEL CONFLICTO	
		NO	SI
363	1	1	
636	31	31	1
703	31	30	1
709	16	15	1
710	25	24	1
711	32	30	2
840	12	12	
841	19	19	
842	5	5	
844	2	2	
850	12	10	2
BLANCO	2	1	
TOTAL, GENERAL	**188**	**180**	**8**

Dentro de la pregunta si se reconoce como parte de algún grupo étnico las personas jefas de hogar manifiestan que no pertenecen a ningún grupo étnico y dos personas no responden la encuesta en esta pregunta

Para el caso del reconocimiento de los jefes de la familia 8 manifiestan ser víctimas del conflicto armado, 180 no lo son y dos personas no responden a la pregunta.

Tabla 15.51 Acceso a servicios públicos

	AGUA				ALCANTARILLADO			GAS			LUZ		
MANZANA	ACUEDUCTO	NACIMIENTO	PILA COMUNITARIA	ARTESANAL	FORMAL	NO TIENE	BLANCO	NO	SI	BLANCO	NO	SI	BLANCO
363	1				1				1			1	
636	31				31			8	23			31	
703	30				30			11	19			30	
709	14	2		2	11	3		8	8		1	15	
710	22	1	2	2	22	1		8	17		2	23	

711	31		1		30	2		17	15		1	31	
840	12			1	11			1	11			12	
841	15	5		6	14			11	9		11	9	
842			5	3		2		5			5		
844	2				2			2				2	
850	11	1		3	5	4		8	4		2	10	
(EN BLANCO)	4						4			4			4
TOTAL, GENERAL	**173**	**9**	**8**	**17**	**157**	**12**	**4**	**79**	**107**	**4**	**22**	**164**	

En cuanto al acceso a los servicios públicos, el agua es tomada del acueducto por el 91% de la población, el 4,7% toman el agua del nacimiento y el 4,2 % obtienen el agua mediante pila comunitaria, con respecto al acceso al servicio de alcantarillado el 82% de la población tiene conexión formal el 8,9 % artesana y el 6,3% no tiene acceso al sistema de alcantarillado, 4 jefes de núcleo no responden la encuesta.

El servicio de gas el 55 % tienen acceso a servicio de gas, el 43,6 % no tiene acceso a este servicio, 4 personas no responden la encuesta, de las personas que no tienen acceso al gas natural 16 cocinan con gas de pipeta y 63 personas que cocinan con otro tipo de combustible.

Tabla 15.52 Participación en organizaciones

MANZANA	ASOCIACIÓN DE PADRES DEL COLEGIO			ASOCIACIÓN DE PADRES DE JARDÍN			ORGANIZACIÓN DEPORTIVA			ORGANIZACIÓN GREMIAL			ORGANIZACIÓN RELIGIOSA			ORGANIZACIÓN AMBIENTAL O ECOLÓGICA		
	NO	SI	BLANCO	NO	SI	BLANCO	NO	SI	BLANCO	NO	SI	BLANCO	NO	SI	BLANCO	NO	SI	BLANCO
363	1			1			1			1			1			1		
636	32			32			32			32			32			32		
703	31			31			31			31			31			31		
709	16			16			16			16			16			16		
710	25			25			25			25			25			25		
711	31			31			31			31			31			31		
840	11	1		11	1		11	1		11	1		11	1		11	1	
841	20			20			20			20			20			20		
842	5			5			5			5			5			5		

844	2		1	2		1	2		1	2		1	2		1	2		1		
850	12			12			12			12			12			12				
TOTAL, GENERAL	**186**	**1**	**1**	**186**	**1**		**186**	**1**		**186**	**1**		**186**	**1**		**186**	**1**			

La participación que requiere la democracia está relacionada con las aspiraciones que abriga la gente acerca del futuro, con sus sueños y utopías. La participación en los diversos estamentos de la sociedad civil es la definición del destino colectivo y en las decisiones públicas es fundamento de la democracia municipal o lo que es lo mismo, de la democracia cotidiana.

La participación en su grado más sencillo es el acto de presencia., medida en términos cuantitativos: «en aquel acto participaron 'x' personas». En este contexto «participaron» significa que estuvieron allí, y «participar» es algo así como hacer número o ser contabilizado. Este el primer escenario o estadio de la participación, en segundo lugar, encontramos la consultiva no son meros espectadores, ejecutantes o usuarios de algo previa y externamente decidido, sino que se les demanda su parecer sobre asuntos que de forma directa o indirecta les conciernen. Se les alienta a opinar, proponer o valorar y se facilitan canales para ello.

La participación proyectiva es más compleja. Una participación que, en su grado más elevado, ocurre en las diversas fases del proyecto o de la actividad, es decir en la propia definición del proyecto, en la determinación de su sentido y de sus objetivos, así como en su diseño, planificación y preparación. Por último, en la gestión, ejecución y control del proceso., para finalmente realizar su valoración.

En cuanto a la metaparticipación: Es la que consiste en que los propios sujetos piden, exigen o generan nuevos espacios y mecanismos de participación. Aparece cuando un individuo o un colectivo consideran que el reconocimiento de sus derechos participativos no es el debido, o cuando creen que los canales establecidos para ella no son suficientes o eficaces. Es cuando piden o toman la palabra quienes se encuentran relegados al silencio, cuando el lema de la pancarta es «¡Queremos que se nos escuche!», cuando se reclama el derecho a tomar parte en las decisiones.

Sin embargo, los resultados de la pregunta de participación en organizaciones para este sector son baja, lo que lleva a que exista poca cohesión entre las personas que habitan un sector que hacen parte de un espacio que se convierte en común y que dificulta tener soporte de redes sociales para que en un momento determinado pueda ayudar a salir de situaciones de emergencia social.

Tabla 15.53 Afectaciones en viviendas

MANZANA	INUNDACIONES VIVIENDA		INUNDACIONES SECTOR		DERRUMBES VIVIENDA		DERRUMBES SECTOR		INCENDIOS VIVIENDA		INCENDIOS SECTOR		SISMOS VIVIENDA		SISMOS SECTOR		AVALANCHAS VIVIENDA		AVALANCHAS SECTOR	
	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI
363		1		1		1		1	1		1			1		1	1		1	
636	1	31	1	31	1	31	1	31	32		32			32		32	32		32	

Manzana	Inundaciones Vivienda		Inundaciones Sector		Derrumbes Vivienda		Derrumbes Sector		Incendios Vivienda		Incendios Sector		Sismos Vivienda		Sismos Sector		Avalanchas Vivienda		Avalanchas Sector	
	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si
703	2	29	4	27	9	22	11	20	21	10	23	8	3	28	4	27	18	13	20	11
709		16		16		16		16	11	5	11	5		16		16	11	5	11	5
710		25	7	18		25	5	20	17	8	22	3	3	22	8	17	19	6	24	1
711		31	2	29		31	2	29	29	2	31			31	2	29	29	2	31	
840	2	10	2	10	2	10	2	10	7	5	7	5	2	10	2	10	10	2	10	2
841		20		20		20		20	1	19	1	19	1	19	1	19	1	19	1	19
842		5		5		5		5		5		5		5		5		5		5
844		2		2		2		2	2		2			2		2	2		2	
850	1	11	1	11		12		12	6	6	6	6	1	11	1	11	2	10	2	10
Total, General	**6**	**181**	**17**	**170**	**12**	**175**	**21**	**166**	**127**	**60**	**136**	**51**	**10**	**177**	**18**	**169**	**125**	**62**	**134**	**53**

El riesgo de desastres: Corresponde a los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos físicos peligrosos de origen natural, socio-natural, tecnológico, biosanitário o humano no intencional, en un período de tiempo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos; por consiguiente, el riesgo de desastres se deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad (Ley 1523 de 2012).

En tal sentido la población expresa que se han presentado eventos peligrosos de origen socio natural dentro de los cuales identifican que han sufrido inundaciones en sus viviendas esto lo manifiestan 6 personas en sus viviendas en el sector 181 hogares y el sector 170 expresan que se han presentado inundaciones, el otro fenómeno que ha afectado en el sector 166 y en las viviendas 175 manifiestan que se han presentado deslizamientos. Eventos de origen natural 11 personas que identifica el sismo ha afectado a su vivienda y 11 personas considera que hay afectaciones en el sector, fenómenos de origen antrópico el incendio se ha manifestado en 60 viviendas y 51 en el sector.

Tabla 15.54 Preparación ante situaciones de emergencia

	¿Existe apoyo del distrito para proyectos comunales en gestión del riesgo?		¿Conoce los organismos que atienden emergencias?		¿Ha participado en actividades de prevención de emergencias?		¿Está preparada la comunidad para una emergencia que se presente?		¿Ha participado en simulacros (en los últimos 5 años)?		¿Se conocen las rutas de evacuación si se presenta una emergencia?	
Manzana	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI
363	1		1		1		1		1		1	

	¿EXISTE APOYO DEL DISTRITO PARA PROYECTOS COMUNALES EN GESTIÓN DEL RIESGO?		¿CONOCE LOS ORGANISMOS QUE ATIENDEN EMERGENCIAS?		¿HA PARTICIPADO EN ACTIVIDADES DE PREVENCIÓN DE EMERGENCIAS?		¿ESTÁ PREPARADA LA COMUNIDAD PARA UNA EMERGENCIA QUE SE PRESENTE?		¿HA PARTICIPADO EN SIMULACROS (EN LOS ÚLTIMOS 5 AÑOS)?		¿SE CONOCEN LAS RUTAS DE EVACUACIÓN SI SE PRESENTA UNA EMERGENCIA?	
MANZANA	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI
636	32		32		32		32		32		32	
703	31		31		31		31		31		31	
709	16		16		16		16		16		16	
710	25		25		25		25		25		25	
711	31		31		31		31		31		31	
840	11	1	10	2	11	1	11	1	11	1	11	1
841	20		20		20		20		20		20	
842	5		5		5		5		5		5	
844	2		2		2		2		2		2	
850	12		12		12		12		12		12	
TOTAL, GENERAL	186	1	185	2	186	1	186	1	186	1	186	1

Los componentes de preparación para la respuesta frente a desastres, se refieren al conjunto de acciones principalmente de coordinación, sistemas de alerta, capacitación, equipamiento, centros de reserva, albergues y entrenamiento de personal, con el propósito de tomar medidas de forma anticipada ante los posibles desastres, mientras que la ejecución de la respuesta se refiere a la optimización en la puesta en práctica de los diferentes servicios básicos de respuesta, como accesibilidad y transporte, telecomunicaciones, evaluación de daños y análisis de necesidades, salud y saneamiento básico, búsqueda y rescate, extinción de incendios y manejo de materiales peligrosos, manejo de albergues y alimentación, disponibilidad de servicios públicos, seguridad y convivencia, aspectos financieros y legales, información pública y el manejo general de la respuesta, entre otros. El ultimo componente, hace referencia a los mecanismos o instrumentos financieros como fondos y otros de retención intencional o transferencia del riesgo, que se establecen en forma ex ante con el fin de acceder de manera ex post a recursos económicos oportunos para la atención de emergencias y la recuperación.

Sin embargo, para el caso del sector de me quejo-loma roja la comunidad no tiene claridad sobre cómo actuar, por donde son las rutas para evacuar si se presenta una situación de emergencia, expresan que no han participado de actividades de prevención, no en simulacros de evacuación.

Tabla 15.55 Percepción del entorno en el que viven

	Transporte Publico					Organización Y Unión Vecinal						Ambiental Y Manejo De Basuras				
Manzana	Nada Satisfactorio	Poco Satisfactorio	S/I	Satisfactorio	Vacía	Nada Satisfactorio	NSNR	Poco Satisfactorio	S/I	Satisfactorio	Vacía	Nada Satisfactorio	Poco Satisfactorio	S/I	Satisfactorio	Vacía
363				1		1						1				
636	6	4		22	1	27		5			1	27	5			1
703	5	8		18	2	9		19		3	2	19	10		2	2
709	2	3		11	4	2	2	12			4	8	8			4
710	9	7		9		9		16				9	16			
711	11	13		7	2	3		26		2	2	12	18		1	2
840	2	9		1	4	2		8		2	4	2	7		3	4
841	14	1		5	3	17		3			3	19	1			3
842	5							5				5				
844	1	1	1			1		1	1			2		1		
850	2	4		6	1	7		5			1	7	5			1
Total, General	**57**	**50**	**1**	**80**	**17**	**78**	**2**	**100**	**1**	**7**	**17**	**111**	**70**	**1**	**6**	**17**

	Seguridad Ciudadana					Recreación					Imagen Del Sector					
Manzana	Nada Satisfactorio	Poco Satisfactorio	S/I	Satisfactorio	Vacía	Nada Satisfactorio	NSNR	Poco Satisfactorio	S/I	Vacía	Nada Satisfactorio	NSNR	Poco Satisfactorio	S/I	Satisfactorio	Vacía
363	1					1					1					
636	28	4			1	27		5		1	27		5			1
703	21	8		2	2	23	1	7		2	22	2	7			2
709	11	5			4	11		5		4	11		5			4
710	9	16				9		16			9		16			
711	13	17		1	2	13		18		2	13		18			2
840	3	9			4	3		9		4	1		4		7	4
841	18	2			3	19		1		3	19		1			3
842	5					5					5					
844	2		1			2			1		2			1		
850	7	5			1	7		5		1	7		4		1	1

	SEGURIDAD CIUDADANA					RECREACIÓN					IMAGEN DEL SECTOR				
MANZANA	NADA SATISFACTORIO	POCO SATISFACTORIO	S/I	SATISFACTORIO	VACÍA	NADA SATISFACTORIO	NSNR	POCO SATISFACTORIO	S/I	VACÍA	NADA SATISFACTORIO	NSNR	POCO SATISFACTORIO	S/I	SATISFACTORIO	VACÍA
TOTAL GENERAL	118	66	1	3	17	120	1	66	1	17	117	2	60	1	8	17

La percepción es la imagen mental que se forma con él estimulo, la necesidad y la experiencia, surge como un proceso de interpretación de la realidad a partir de los conceptos que tenemos las sensaciones que nos despiertan y la asociación con el estímulo presente. Es de por si un proceso individual y único de los individuos donde interactúa la subjetividad, por eso para cada persona es diferente y significa diferente, pero también se da en un espacio, territorio particular es decir tiene una temporalidad

Estimulo En el caso de los seres vivos, el estímulo es aquello que origina una respuesta o una reacción del cuerpo. Sifuentes Santisteban, plantea que el "el conocimiento es un proceso que se inicia en los sentidos. Todo lo que conocemos ha pasado, directa o indirectamente, por nuestros sentidos, a este hecho activo se denomina sensación"

Las sensaciones son la respuesta directa e inmediata a una estimulación de los órganos sensoriales. Esta concepción de las sensaciones supone la relación entre tres elementos: un estímulo, un órgano y una relación sensoriales.

Por lo tanto, el nivel de satisfacción esta mediado por la individualidad y las experiencias que una persona tiene en un espacio y en un contexto, por esto la satisfacción que expresan las personas que viven en el sector es que con respecto a: al transporte público es entre satisfactorio y poco satisfactorio.

En cuanto a la organización vecinal, lo ambiental y manejo de basuras, dan resultados similares, es satisfactorio para un número significativo de residentes, seguido de nada satisfactorio y para pocas personas es poco satisfactorio.

En relación con la seguridad ciudadana, nada satisfactorio y satisfactorio, recreación e imagen del sector los resultados son para la mayoría de la población nada satisfactorio.

15.2.3.2 Resultado Índice de Vulnerabilidad Social

Tabla 15.56 Resultado Índice de Vulnerabilidad Social

ÍTEM	DIMENSIÓN	INDICADOR	RESULTADO INDICADOR	RESULTADO OPERACIÓN	NIVEL DE VULNERABILIDAD
1	Activos Materiales	Hogares con cuatro o más niños menores de 15 años	13	0,33	BAJA
		Hogares con jefatura femenina y presencia de niños menores de 15 años	127	3,18	ALTA
		Jefe de hogar adolescente (menor de 18 años), y presencia de niños menores de 15 años	0	0,00	BAJA
		Jefe del hogar anciano (mayor de 60 años) y presencia de menores de 15 años	6	0,15	BAJA
		Hogares que no reciben ingresos por trabajo o pensión o rentas	42	1,05	BAJA
		Hogares con ingresos de 1 solo miembro	81	2,03	MEDIA
		Hogares cuyos ingresos provienen únicamente del trabajo informal	93	2,33	MEDIA
2	Dependencia sobre los preceptores de ingresos	Hogares con cuatro o más dependientes (niños menores de 15 años, adultos mayores y en condición de discapacidad)	2	0,18	BAJA
		Hogares con cinco o más dependientes adultos mayores y en condición de discapacidad) con un solo miembro que aporta ingresos	0	0,00	BAJA
3	Activos no Materiales	Hogares con un promedio de años de escolarización de la población mayor a 25 años. Nivel de educación secundaria 12 años de estudio del jefe del núcleo	39	1,37	ALTA
		Hogares con niños menores de 5 años con discapacidad que no cuentan afiliación a salud	0	0,00	BAJA
		Hogares adultos mayores o con discapacidad sin afiliación al sistema de salud	2	0,07	BAJA
		Hogares sin ningún integrante afiliado al sistema de salud	34	1,19	BAJA

ÍTEM	DIMENSIÓN	INDICADOR	RESULTADO INDICADOR	RESULTADO OPERACIÓN	NIVEL DE VULNERABILIDAD
		Hogares que pertenecen a organizaciones, sociales, territoriales, institucional	2	0,07	ALTA

Para el resultado de los indicadores definidos es importante mencionar que frente al análisis de vulnerabilidad alta con respecto a los activos materiales, dependencia sobre los preceptores de ingresos y ellos cativos no materiales el que tiene que ver con la jefatura femenina y la presencia de menores al interior del hogar, de la dimensión activos materiales se encuentran que la vulnerabilidad alta está determinada por los indicadores del nivel de escolaridad de las personas mayores de 25 años, es decir de los adultos que toman las decisiones dentro de un hogar.

En el mismo sentido los hogares que pertenecen a organizaciones sociales ya que lo evidente es que su nivel de participación es casi nulo, la mayoría de los hogares no participan en ninguna organización social, no es reconocida la participación en la Junta de Acción comunal o el escenario donde se producen las acciones para la mejora de las condiciones del barrio en su conjunto, tan solo 1 expresan pertenecer a alguna organización.

Los otros indicadores que muestran vulnerabilidad media están relacionados con los ingresos del hogar, de lo cual hay hogares que reciben ingresos por los aportes que realiza solo uno de los miembros del hogar y de los hogares que su ingreso proviene de la actividad informal, estas condiciones generan una particularidad porque en esta medición se evidencia que cualquier factor que los desestabilice puede llevarlos a pasar de vulnerabilidad media a alta.

15.2.3.3 Recomendaciones

Se requiere incentivar los procesos de participación de esta comunidad en general para que se ejerza una ciudadanía, pero sobre todo para buscar que las redes mejoren en su entorno y se establezcan escenarios de acciones futuras construidos mancomunadamente para bienestar de la población.

Los análisis de población deben contener información que permita elaborar planes individuales con el fin de que las acciones sean específicas para la vulnerabilidad de las familias, esto permitirá fortalecer los hogares y la personas, a su vez entender que las jefaturas femeninas requieren apoyo y acciones específicas para contribuir a su bienestar que el bienestar de las mujeres está directamente relacionado con el bienestar de los menores que conforman la familia.

Frente a los niveles de vulnerabilidad medias es relevante adelantar acciones para que se puedan fortalecer a través de programas, actividad o acuerdos que promuevan el cambio de media a baja, esto fortalecerá lo individual y colectivo del entorno dónde viven.

En el sector se evidencia que se han presentado manifestaciones de fenómenos naturales que han afectado a personas, lo que lleva a la necesidad de incentivar y promover la preparación para eventos

naturales que puedan manifestarse, esto porque la partición para actúa ante situaciones de emergencia es bajo para el total de la población.

El bajo grado de participación de la población requiere el impulso de acciones para lograr la promoción y así avanzar en la cohesión al interior de las comunidades que fortalezca su actividad de construcción de un entorno común.

16 EVALUACIÓN DEL RIESGO

16.1 DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO

La evaluación del riesgo es el proceso por el cual se analiza la probabilidad de ocurrencia en un lugar específico o momento determinado de un fenómeno natural potencialmente peligroso para la comunidad y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, este riesgo puede ser clasificado en naturales, tales como, biológicos, químicos, geológicos, hidrológicos y riesgos tecnológicos o aquellos que son provocados por el hombre.

De acuerdo con la guía Metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa en la que el autor (Yamín, 2013) relaciona las causas, efectos y consecuencias negativos en el marco social, ambiental y material, en el que existe la necesidad implícita en la toma de decisiones de desarrollar un análisis que permita su estimación cuantitativa. Estos análisis pueden llevarse a cabo, por ejemplo, en forma determinística, de modo que la estimación del impacto probable se hace con base en un solo evento o escenario o aleatoriamente, integrando el análisis de escenarios múltiples, cada uno con una frecuencia de ocurrencia dada, para obtener así una estimación genérica del riesgo.

Esta evaluación del riesgo se realiza para cada uno de los 8 barrios en estudio, en el que se estiman los daños físicos y las pérdidas potenciales en términos económicos o humanos, que como se mencionó anteriormente este resultado se presenta al relacionar la amenaza y la vulnerabilidad de cada uno de los elementos expuestos comparados con los criterios establecidos con el fin de definir tipos de intervención y medidas de mitigación y prevención.

16.2 CATEGORIZACIÓN DE DAÑOS ESPERADOS POR MOVIMIENTOS EN MASA

La categorización está definida por el riesgo de bienes físicos y personas por separado en (alto, medio y bajo), para luego integrar los dos resultados en el riesgo total, tal como se muestra a continuación:

Tabla 16.1 Categorización del riesgo de bienes físicos

Tabla 6-3 Categorización del riesgo de bienes físicos

COSTO APROXIMADO DE DAÑO	CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN
200 – 60%	ALTO	Riesgo inaceptable. Es necesaria la ejecución de investigaciones detalladas, planeación e implementación de medidas para reducir el riesgo. Las medidas de intervención estructural pueden ser dispendiosas y poco prácticas; además, pueden ser más costosas que el valor mismo de la propiedad.
60 – 20%	MEDIO	Puede tolerarse en ciertas circunstancias (de acuerdo con la regulación estatal), pero requiere investigación y planeación detallada para evitar que aumente. Las medidas para reducir el riesgo son viables económicamente.
20 – 0%	BAJO	Usualmente aceptable para los tomadores de decisiones. Se requiere mantenimiento normal de taludes y laderas.

Fuente: Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa (SGC 2.015)

Tabla 16.2 Categorización del riesgo para personas

Tabla 6-4. Categorización de riesgo

PROBABILIDAD ANUAL DE AFECTACIÓN DE PERSONAS	TIPO DE AFECTACIÓN		
	MUERTES O LESIONES SERIAS	LESIONES MODERADAS Y BAJA PROBABILIDAD DE MUERTE	LESIONES LEVES O INEXISTENTES
ALTA	ALTO	ALTO	BAJO
MEDIA	ALTO	MEDIO	BAJO
BAJA	MEDIO	BAJO	BAJO

Fuente: Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa (SGC 2.015)

Para el riesgo total se deben combinar el riesgo de personas y bienes físicos como se muestra en la Tabla 16.3.

Tabla 16.3 Categorización del riesgo para bienes físicos y personas

Tabla 6-5. Categorías de riesgo de bienes físicos y personas

RIESGO EN BIENES FÍSICOS	RIESGO EN PERSONAS		
	ALTO	MEDIO	BAJO
ALTO	A	A	A
MEDIO	A	M	M
BAJO	A	B	B

Fuente: Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa (SGC 2.015)

Para la categorización final se tienen en cuenta los riesgos individuales para todos los eventos en personas o edificaciones, como se muestra en la Tabla 16.4

Tabla 16.4 Categorización del riesgo total

Tabla 6-6. Descripción de las categorías de riesgo total

CATEGORÍA		DESCRIPCIÓN
A	ALTO	Alta probabilidad de víctimas fatales y lesiones serias en la población. La implementación de medidas de intervención es prácticamente inviable desde el punto de vista técnico. Se debe hacer una evaluación económica detallada para establecer la posibilidad de mitigación y disminución del nivel de riesgo. Las pérdidas por materialización de la amenaza superan en todos los casos los valores económicos de los bienes.
M	MEDIO	Lesiones moderadas muy frecuentes, con alguna probabilidad de víctimas fatales. Se requiere evitar que el nivel de riesgo aumente, pero las medidas de intervención son en todo caso viables técnica y económicamente.
B	BAJO	Probabilidad de víctimas fatales prácticamente nula. Es un riesgo aceptable y requiere tan solo medidas de prevención.

Fuente: Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa (SGC 2.015)

16.2.1 Evaluación del Riesgo en Edificaciones por Movimientos en Masa

La evaluación del Riesgo se define a partir de la valoración de elementos expuestos correspondientes a edificaciones, y considerando algunos aspectos ligados a la problemática de vulnerabilidad social que se vive las diferentes manzanas de la ladera occidental conformada por 5126 predios en estudio, por mencionar, como es la tipología de viviendas y en muchos casos su alto grado de fragilidad; y a la luz del principio del derecho a una vivienda digna, se presenta en este apartado como uno de los determinantes sugeridos en la valoración económica.

Uno de los factores preponderantes dentro del proceso de valoración económica es la técnica constructiva. Con base en el informe de levantamiento e inspección in-situ realizados en campo y los resultados obtenidos en el cálculo de fragilidad, ninguna de las edificaciones fue construida bajo asesoría técnica ni considerando los estándares mínimos requeridos en la norma constructiva. El propósito de la ingeniería estructural es el diseño de edificaciones seguras, económicamente realizables y eficientes, con un concepto claro de una cimentación sólida, procedimientos de diseño de la estructura adecuados, los cuales, aplicados en el terreno, evitan desastres y tragedias posteriores.

Por esta razón, no puede existir una evaluación clara en cada uno de los predios sobre el comportamiento de estructuras reticulares y la aplicación de las técnicas de análisis tradicionales y/o modernas, sino solamente se puede hacer una aproximación a la fragilidad de las estructuras, de acuerdo con los conceptos de ingeniería estructural. Es claro que cada edificación presenta problemas particulares, los cuales entran a una categoría de evaluación, para llegar a un análisis comercial.

Esto significa que las construcciones no cumplen con las regulaciones que para la materia están establecidas en Colombia, dentro de las cuales figura el código de construcciones sismo resistentes, ni fueron sometidas a análisis matriciales o a interpretaciones de procesos iterativos siguiendo las bases implementadas por Cross, Kani o Takabeya (Pons, 2020)

Para la zona de estudio, casi en su totalidad, las estructuras han sido construidas sin proyección o cálculo constructivo alguno. En esta dirección, muchas construcciones han sido edificadas con diferentes materiales y bajo parámetros menores a los recomendados técnicamente, lo cual ha conllevado a que tengan un nivel de fragilidad importante. En el desarrollo de proyectos, en este caso dada su destinación para el uso de vivienda mayoritariamente, se busca llegar a probabilidades aceptables para que la obra no resulte impropia a su destino en el transcurso de un período dado, considerado como período de referencia, habida cuenta de su duración de vida prevista.

En consecuencia, todas las estructuras o elementos estructurales deben concebirse y calcularse de forma que resistan, con un grado de seguridad apropiado, a todas las cargas y formaciones susceptibles de intervenir durante su construcción y su explotación; que se comporten de manera satisfactoria durante su uso normal y que presenten una durabilidad conveniente durante su existencia. La ausencia de estas consideraciones en los procesos constructivos aquí estudiados hace que la valoración comercial se vea profundamente afectada. De hecho, *la fragilidad evaluada se*

convierte en el factor preponderante como uno de los principales criterios de evaluación para un monto comercial.

El cálculo del riesgo se llevará a cabo mediante una combinación de la amenaza y la vulnerabilidad, como se muestra a continuación:

$$R = P_f \cdot V \cdot E$$

Donde:

R es el riesgo específico o grado de pérdidas esperadas,

P_f es la probabilidad de ocurrencia (falla) de la amenaza considerada, en este caso por movimientos en masa

V es la vulnerabilidad o proporción de los elementos físicos a ser afectados

E es el valor total de los costos esperados

Estos costos esperados no solamente contemplan los costos de los elementos expuestos, sino que a su vez incorporan la evaluación con medidas de intervención o estrategias de gestión, con el propósito de definir su viabilidad técnica, financiera y urbanística (SGC, 2016). En este sentido estos costos llegan a superar el 100% del valor de los elementos expuestos por lo cual se considerará que el E puede llegar a ser el 200% del valor del elemento expuesto. Así las cosas, se calcula para cada elemento su riesgo como valor indicativo de costo de daño esperado.

Dado lo anterior, se realiza el análisis de la evaluación del riesgo:

- En la ladera suroccidental se consideran a 2426 manzanas Figura 16.1, en las que el 91.76% de las manzanas (2226 en total) corresponde a un riesgo bajo en un área de 1186.0 Ha; el 5.40% representa un riego alto para un total de 110.5 Ha, es decir, 131 manzanas en las que es necesaria la ejecución de investigaciones detalladas y la implementación de medidas para reducir el riesgo, aunque las medidas de intervención estructural para este tipo de daño suelen ser más dispendiosas e incluso más costosas que el valor mismo de la propiedad; por último, en un porcentaje menor con el 2.84% se identifican las edificaciones que se encuentran en un riesgo medio en 69 manzanas para un total de 53.1 Ha, las cuales se deben plantear un plan de ejecución y mitigación para reducir el riesgo. El área no evaluada fue de 467.9 Ha.
- Para la zona de Miramar, se tiene que el 100% del riesgo de las manzanas corresponde a un riesgo bajo (11.24Ha), es decir que, la probabilidad de daño físico en edificaciones es casi nula, sin embargo, se debe requerir un mantenimiento normal de taludes y laderas Figura 16.2. El área no evaluada es de 77.1 Ha.
- En total para el área de estudio se tiene que el 91.77% de las manzanas está en riesgo bajo en un área de 1197.2 Ha, un 2.84% está en riesgo medio para 69 manzanas en 53.1 Ha y un 5.39% está en riesgo alto en 131 manzanas en un área de 110.5 Ha. El área no evaluada (verde, vial, no edificada, etc.) corresponde a 545.0 Ha, .

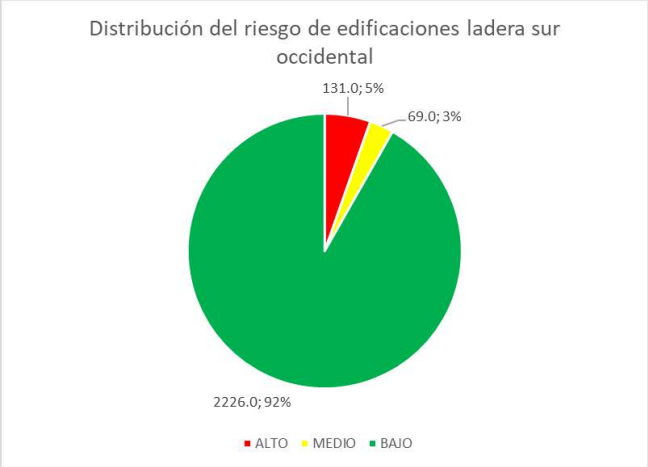


Figura 16.1 Riesgo edificaciones por Movimiento en Masa – Ladera sur occidental

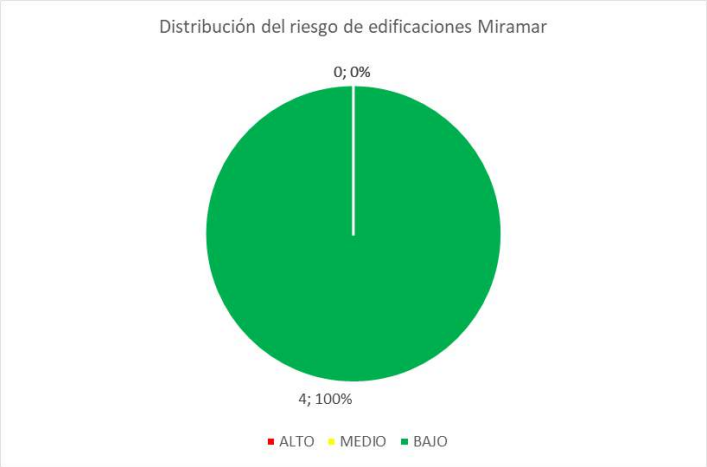


Figura 16.2 Riesgo edificaciones por Movimiento en Masa – Miramar

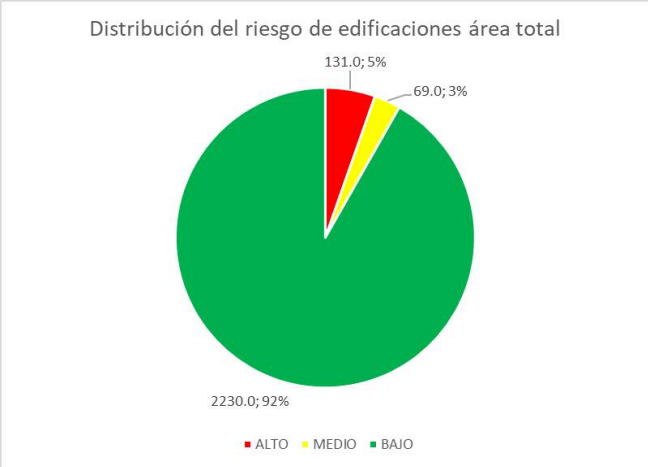


Figura 16.3 Riesgo edificaciones por Movimiento en Masa – Área total

16.2.1.1 Zonificación del Riesgo en Edificaciones

La zonificación del riesgo de edificaciones por movimientos en masa se presenta de la Figura 16.4. y Figura 16.5.

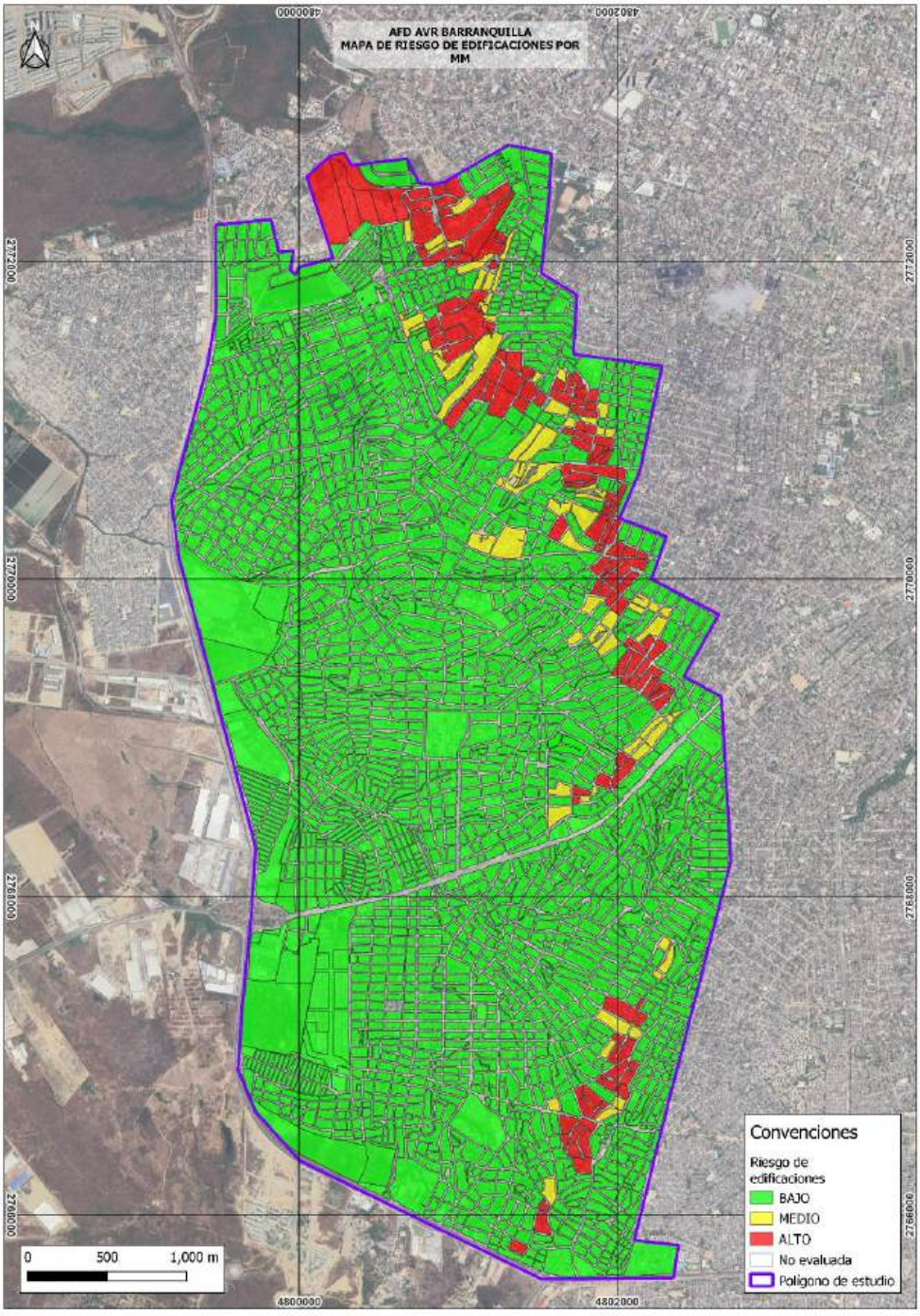


Figura 16.4 Zonificación del riesgo de edificaciones por movimientos en masa para la ladera occidental

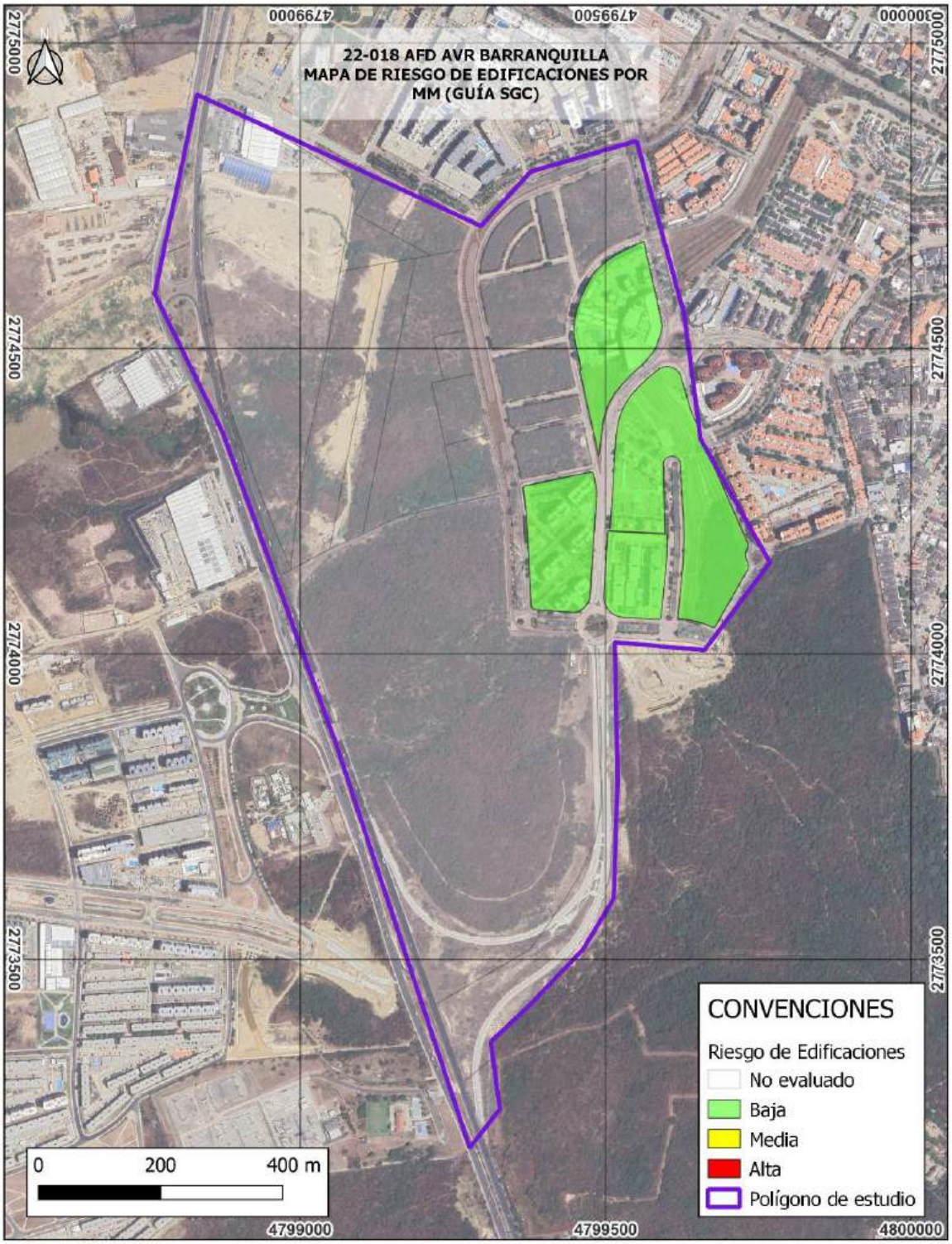


Figura 16.5 Zonificación del riesgo de edificaciones por movimientos en masa para Miramar

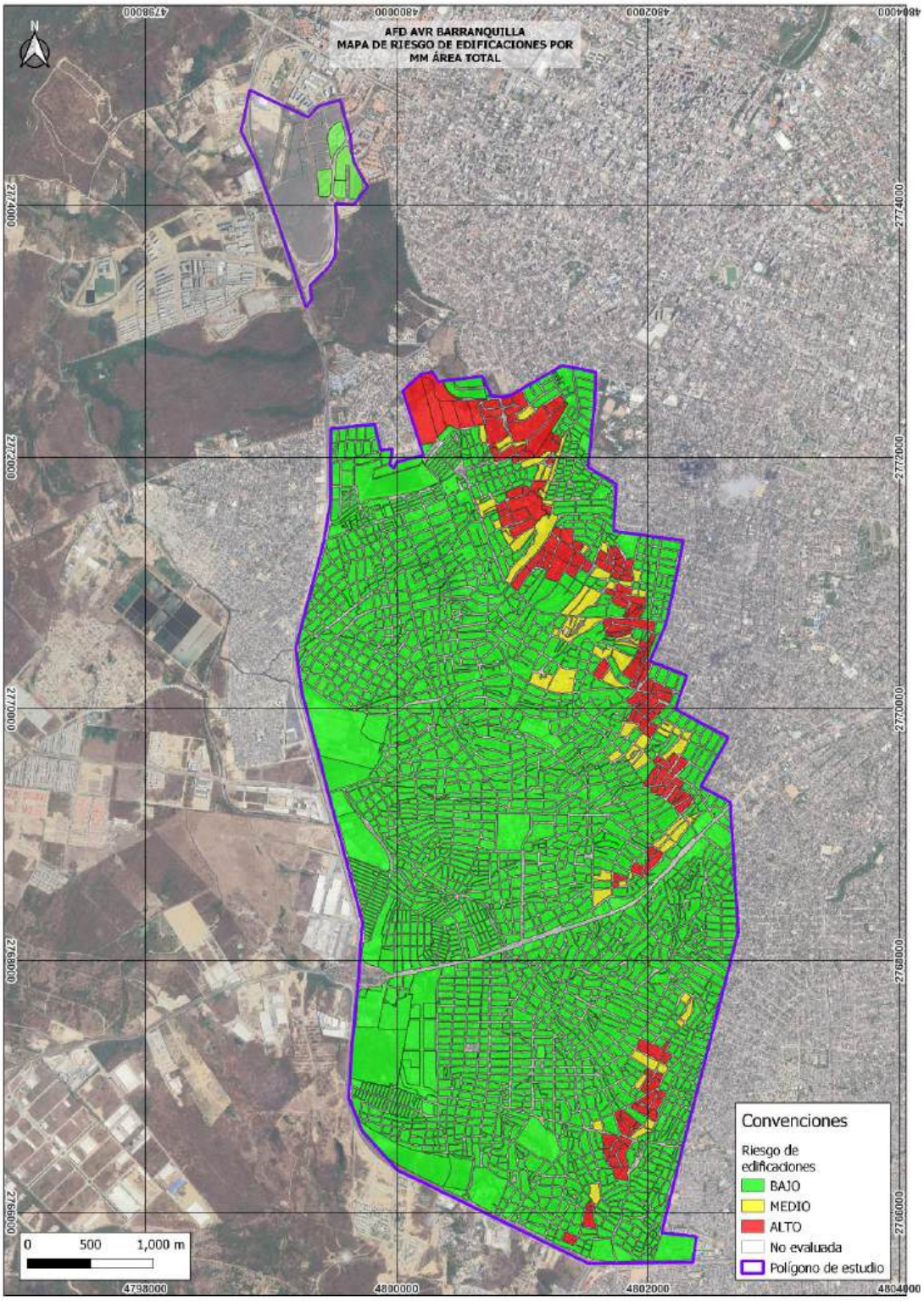


Figura 16.6 Zonificación del riesgo de edificaciones por movimientos en masa área total.

16.2.2 Evaluación del Riesgo en Personas por Movimientos en Masa

Se calcula de forma similar el riesgo en personas como:

$$R_{per} = P_f \cdot V_{per}$$

Donde:

R_{per} es el riesgo en personas,

P_f es la probabilidad de ocurrencia de la amenaza (probabilidad de falla),

V_{per} es la vulnerabilidad de personas

Se realizó el análisis para las diferentes manzanas de la zona de estudio, exceptuando zonas verdes, viales o no edificadas. Se presentan los pormenores de los resultados de riesgo para los diferentes sectores:

- De acuerdo con el análisis de riesgo en edificaciones se analiza el riesgo de personas que habitan las edificaciones del muestreo de la zona de estudio "Ladera Occidental" teniendo en cuenta que este análisis abarca 2434 manzanas. En mayor porcentaje se tiene un riesgo bajo del 94.78% para 2307 manzanas en 1258.6 Ha que corresponde a una probabilidad de víctimas fatales prácticamente nulas y que solo requiere medidas de prevención; seguido de un 4.07% de riesgo medio para 99 manzanas en 74.1 Ha, es decir, que existe la probabilidad de víctimas fatales y únicamente un 1.15% de riesgo alto para 28 manzanas en 17.6 Ha, manzanas con una alta probabilidad de víctimas fatales, Figura 16.7. El área no evaluada fue de 467.1 Ha.
- En Miramar, se identifica que, de acuerdo con la fragilidad, vulnerabilidad y riesgo en edificaciones, se tiene que el 100% de riesgo de personas en 4 manzanas se encuentran en la categoría bajo en un área de 11.24 Ha, es decir que la probabilidad de víctimas fatales es casi nula, Figura 16.8. El área noe valuada fue de 77.1 Ha.
- En el total del área se tiene un riesgo bajo del 94.78% para 2311 manzanas en 1269.9 Ha que corresponde a una probabilidad de víctimas fatales prácticamente nulas y que solo requiere medidas de prevención; seguido de un 4.06% de riesgo medio para 99 manzanas en 74.1 Ha, es decir, que existe la probabilidad de víctimas fatales y únicamente un 1.15% de riesgo alto para 28 manzanas en 17.6 Ha, manzanas con una alta probabilidad de víctimas fatales, Figura 16.9. El área no evaluada fue de 544.2 Ha.

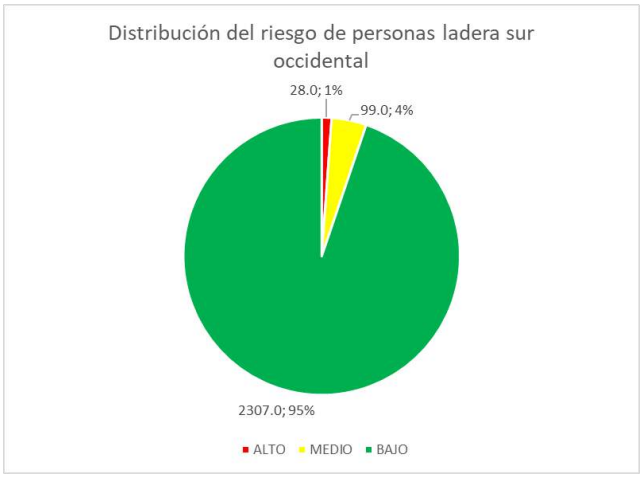


Figura 16.7 Riesgo Personas por Movimiento en Masa

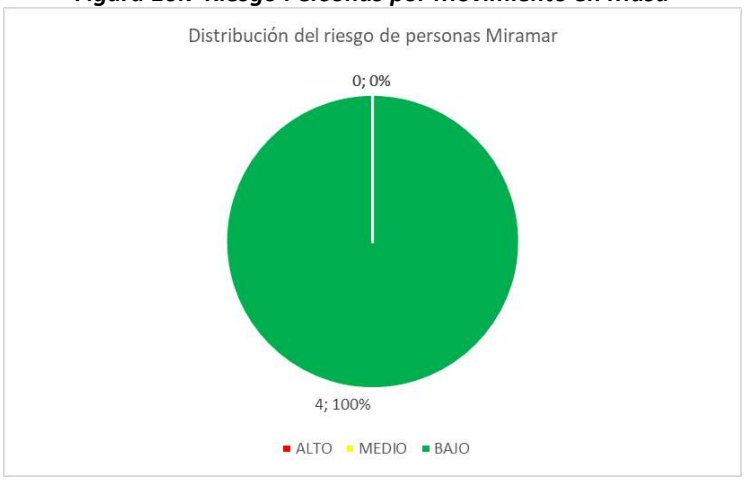


Figura 16.8 Riesgo Personas por Movimiento en Masa – Miramar

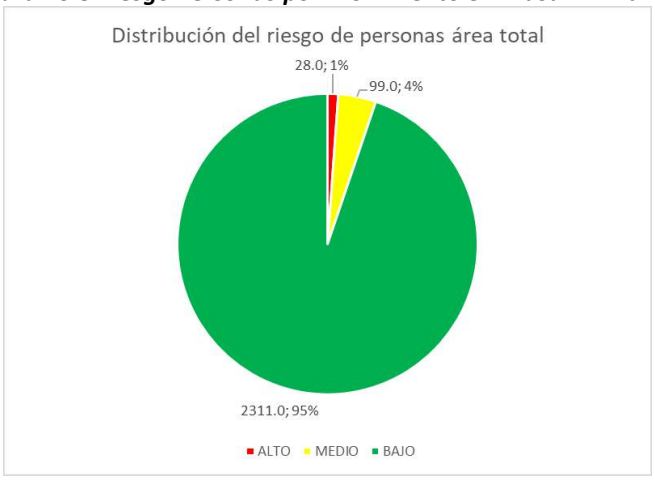


Figura 16.9 Riesgo Personas por Movimiento en Masa – área total

16.2.2.1 Zonificación del Riesgo en Personas

La zonificación del riesgo de personas por movimientos en masa se presenta de la Figura 16.10 y Figura 16.11.

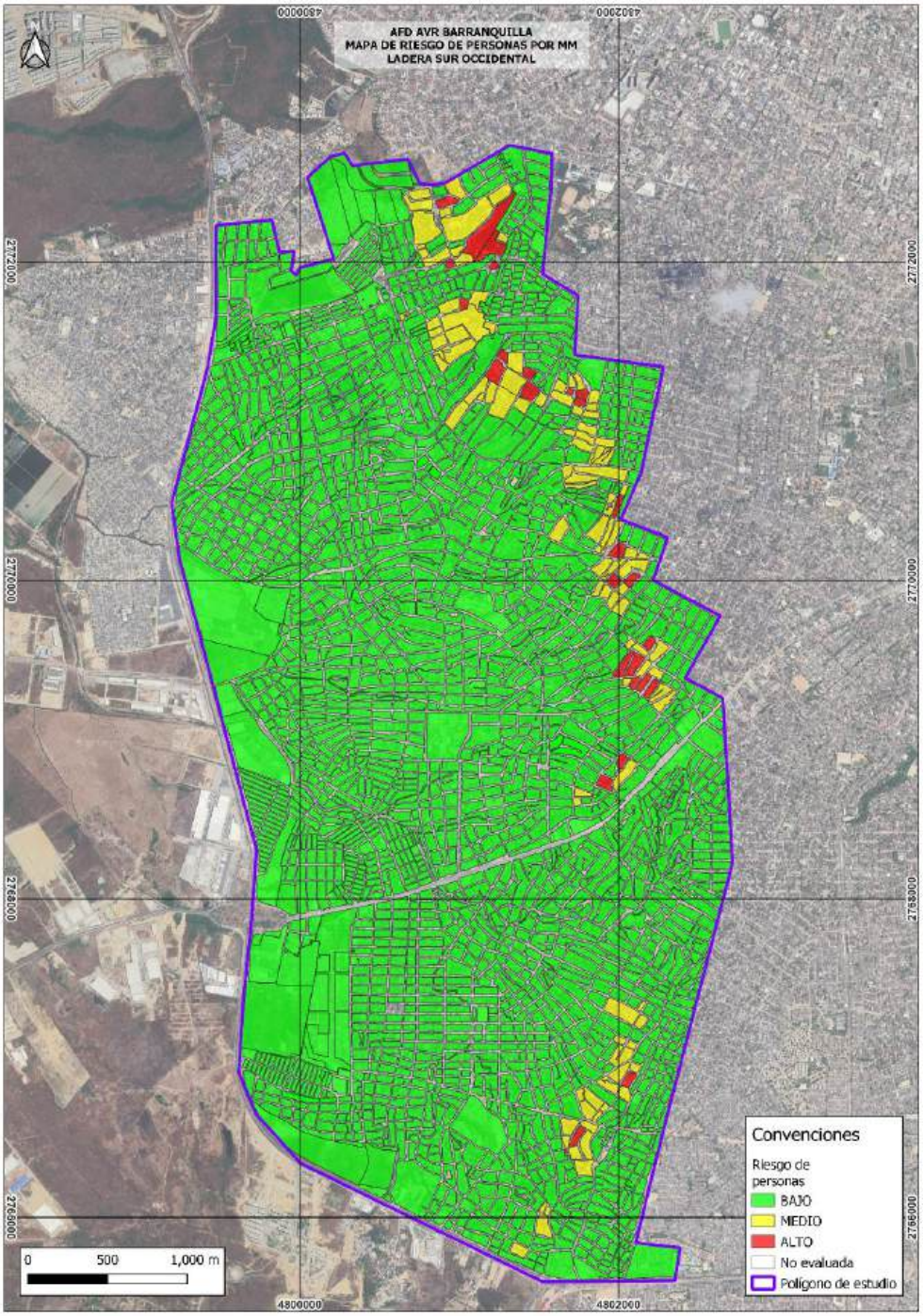


Figura 16.10 Zonificación del riesgo de Personas por movimientos en masa para la ladera occidental.

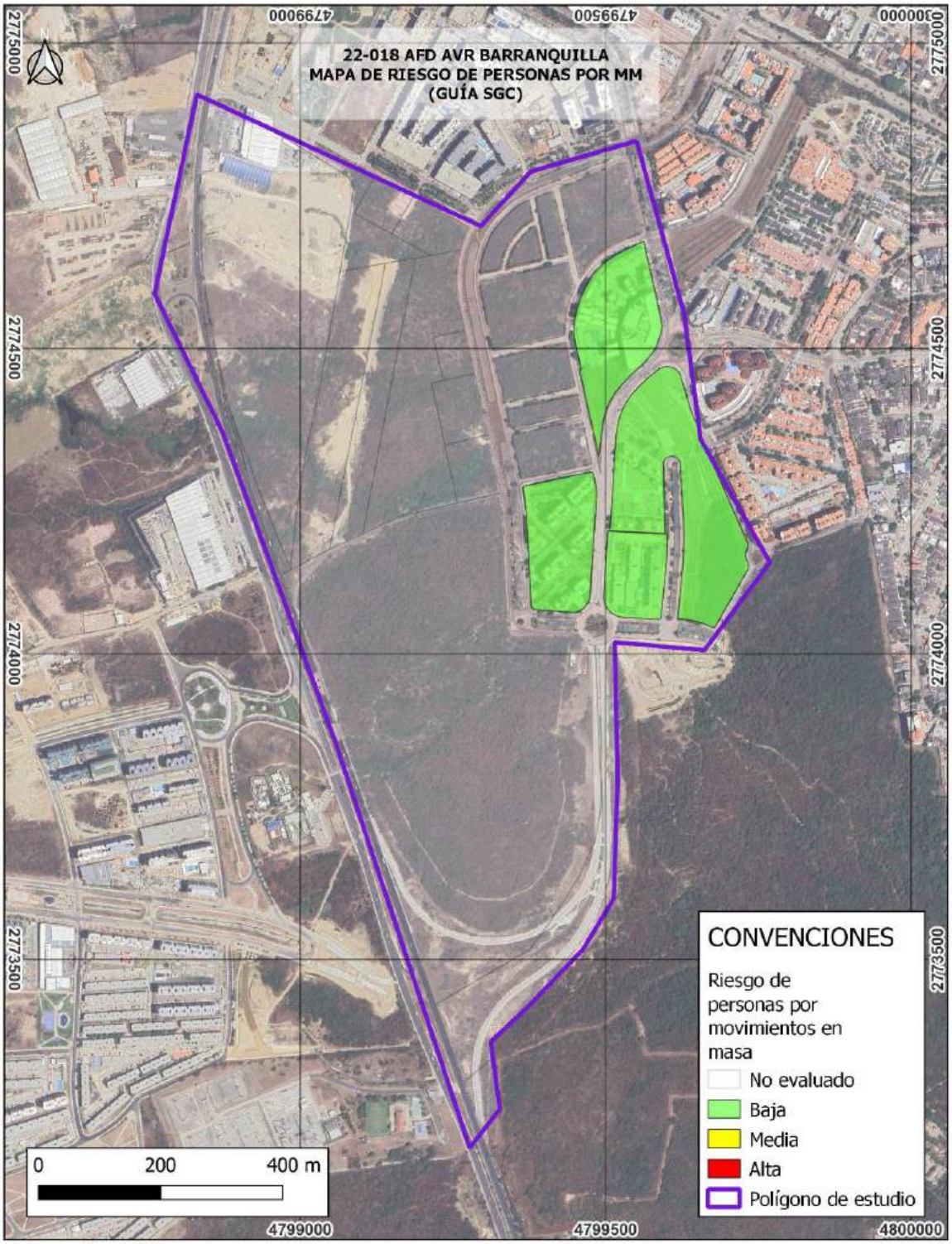


Figura 16.11 Zonificación del riesgo de Personas por movimientos en masa para Miramar.

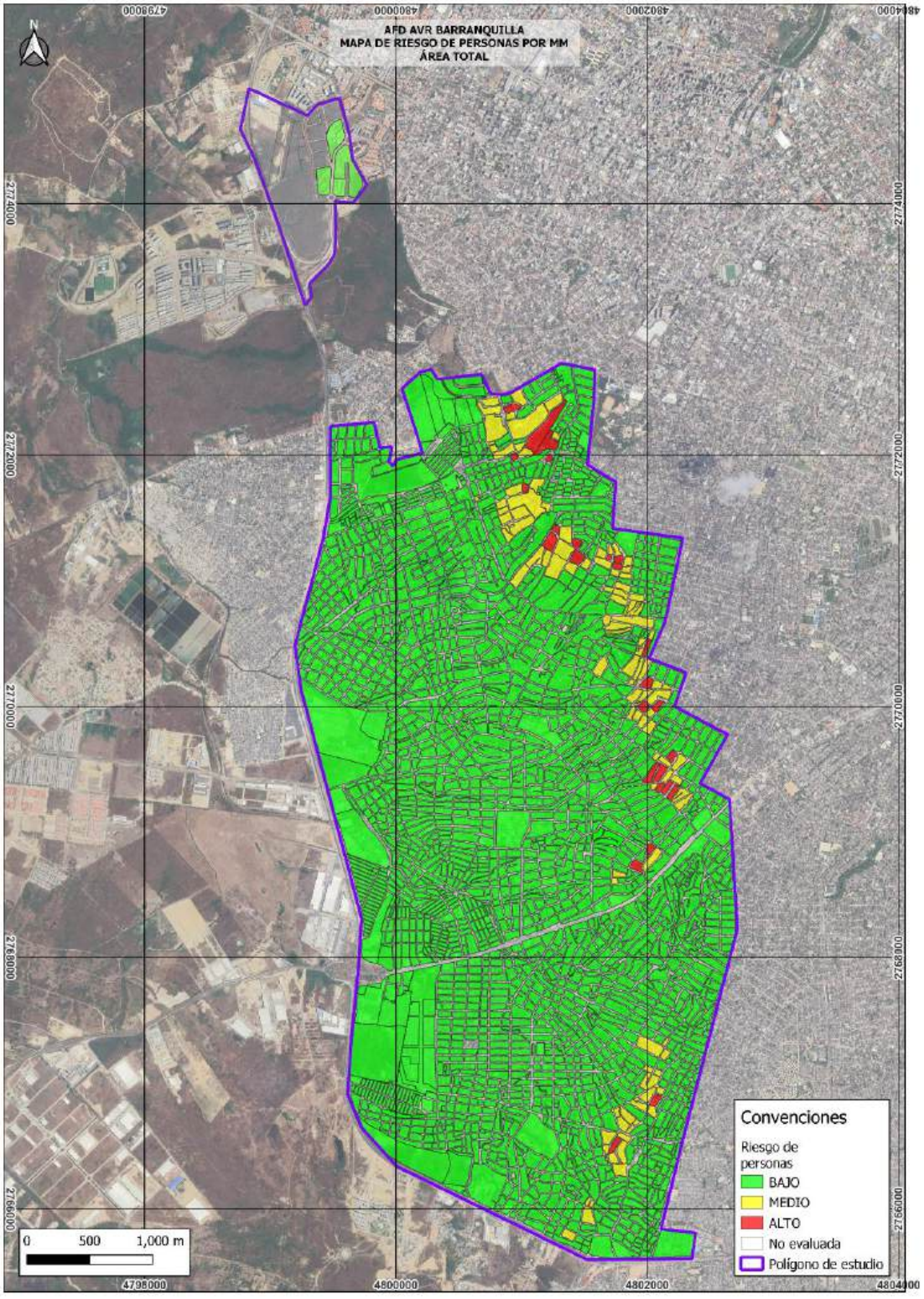


Figura 16.12 Zonificación del riesgo de Personas por movimientos en masa para el área total.

16.2.3 Evaluación de riesgo por movimientos en masa sobre líneas vitales

Para el cálculo del riesgo sobre las líneas vitales se estableció el riesgo en proporción de pérdida estimada como:

$$R_{vit} = P_f * V_{vit}$$

Donde:

R_{vit} es el riesgo de líneas vitales

P_f es la probabilidad de falla

V_{vit} es la vulnerabilidad de la red vital de interés

En este sentido se estima la pérdida como una proporción de 0% a 100%. Si bien las redes se caracterizan por ser de gran extensión lineal y por lo tanto la afectación podría ser localizada y no total, lo cierto es que las líneas vitales dependen de la continuidad para su funcionamiento. Si hay un sector de una vía obstaculizada la vía no es transitable; si hay una fuga de agua en un punto se afectan los viviendas conectadas a dicha tubería; si hay un taponamiento en una tubería de alcantarillado se nota la afectación sobre todo el tramo que lleve sus aguas a ese punto, si se da el derrumbe de un poste, se afecta el circuito completo que tenga ese poste como un nodo.

Los mapas de riesgo sobre líneas vitales se presentan de la Figura 16.13 a la Figura 16.16

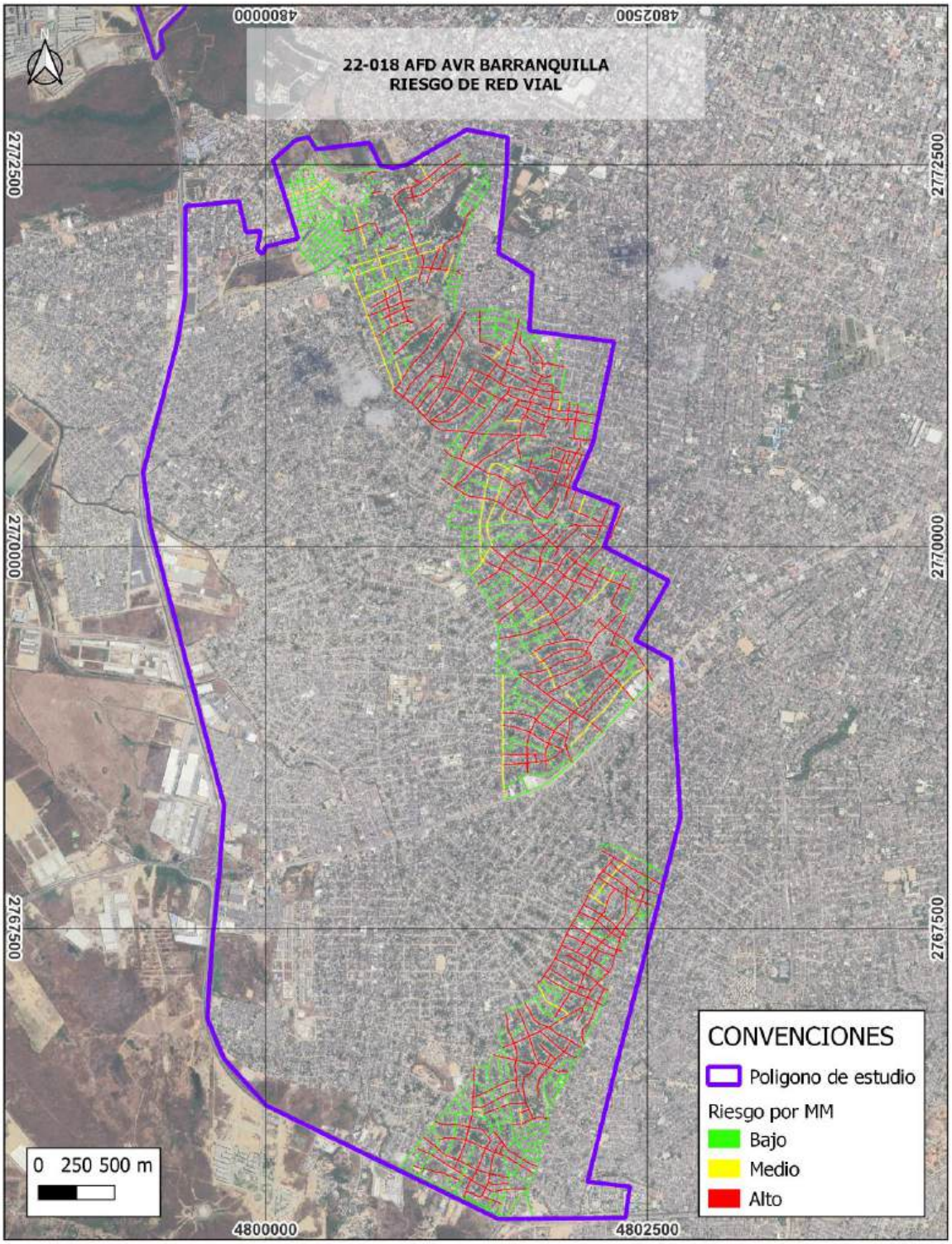


Figura 16.13 Riesgo de red vial por movimientos en masa.

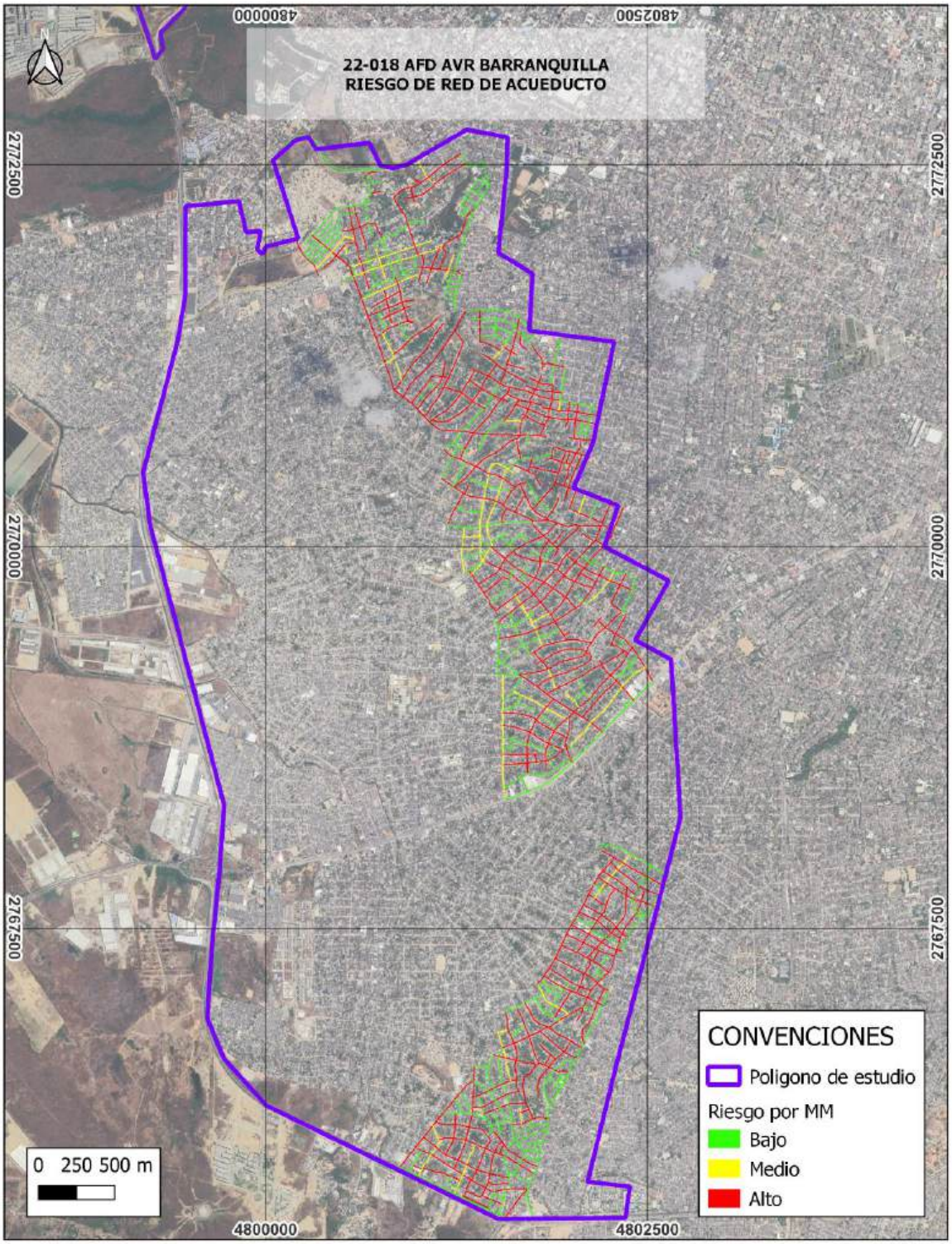


Figura 16.14 Riesgo de red de acueducto por movimientos en masa.

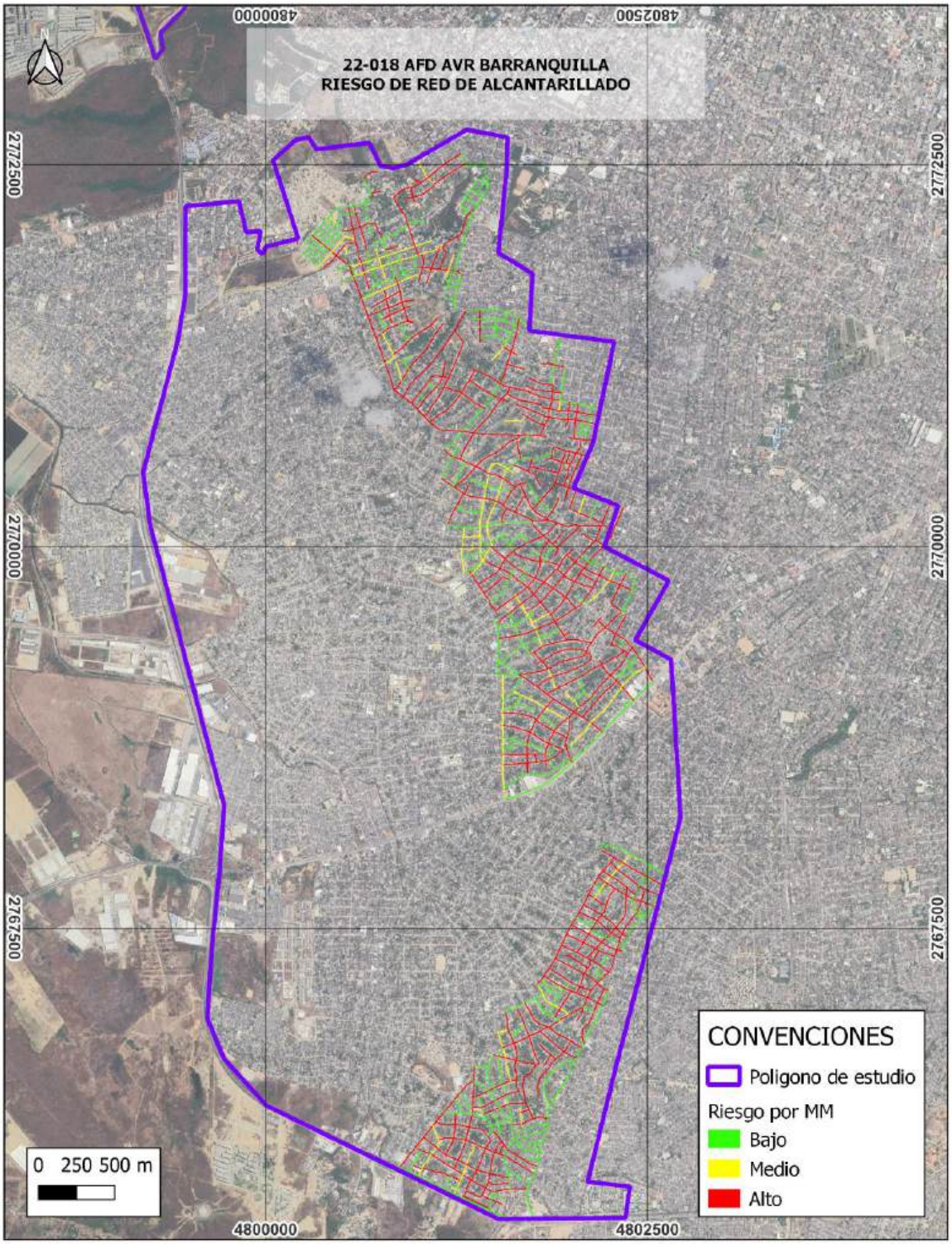


Figura 16.15 Riesgo de red de alcantarillado por movimientos en masa.

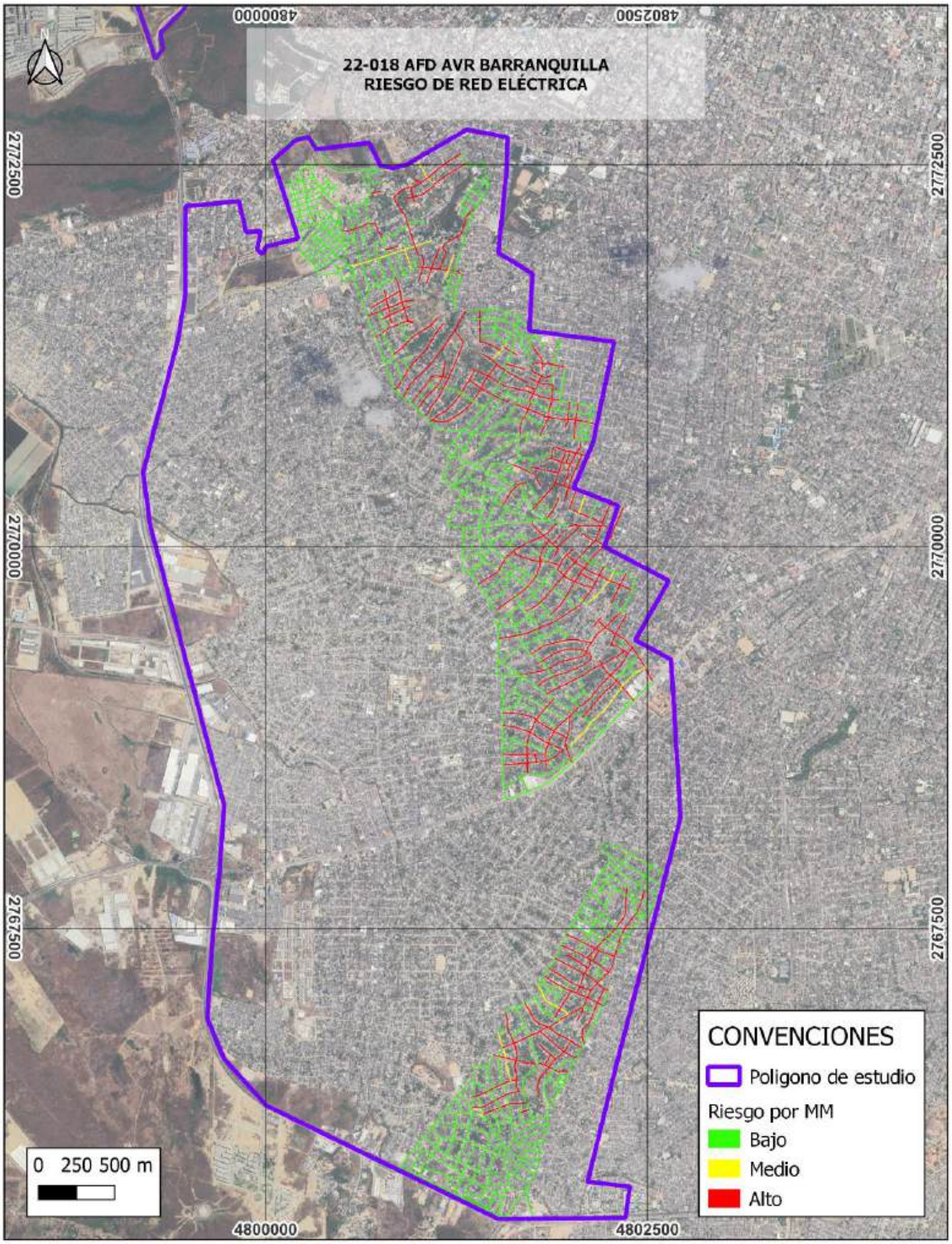


Figura 16.16 Riesgo de red eléctrica por movimientos en masa.

17 PROPUESTAS DE OBRAS DE MITIGACIÓN EN SECTORES CRÍTICOS

17.1 ANTECEDENTES

Como se describió en el capítulo de Geología, Barranquilla presenta problemas de inestabilidad de laderas, desde los años noventa, generados por los siguientes aspectos:

- Pobres propiedades geotécnicas de los materiales aflorantes en la zona, que, si bien se caracterizan por presentar una alta resistencia, en presencia de agua, sufren una dramática perdida de resistencia, convirtiéndose en muchas ocasiones estos materiales en flujos que se desplazan largas distancias.
- Urbanismo desordenado, ocasionado por la invasión de predios, que realizan cortes, conexiones ilegales, que en muchas ocasiones no tienen sistemas de alcantarillado y cuyas aguas negras son vertidas directamente al talud, agravando los problemas de estabilidad, de las ya por si, inestables laderas del sector.
- Régimen de lluvias superficiales y aguas subterráneas que han ocasionado la activación de deslizamientos antiguos, ya que desafortunadamente muchos de estos sectores críticos no cuentan con sistema de alcantarillado adecuado para la evacuación de las aguas servidas.

En la Figura 17.1, se presentan las secciones de análisis utilizadas para los sectores en los que se realizan los análisis de estabilidad con obras. En términos generales se encontró que todos los sectores clasifican como riesgo alto no mitigable. A continuación, se hará una breve descripción de ellos sectores considerados más críticos.

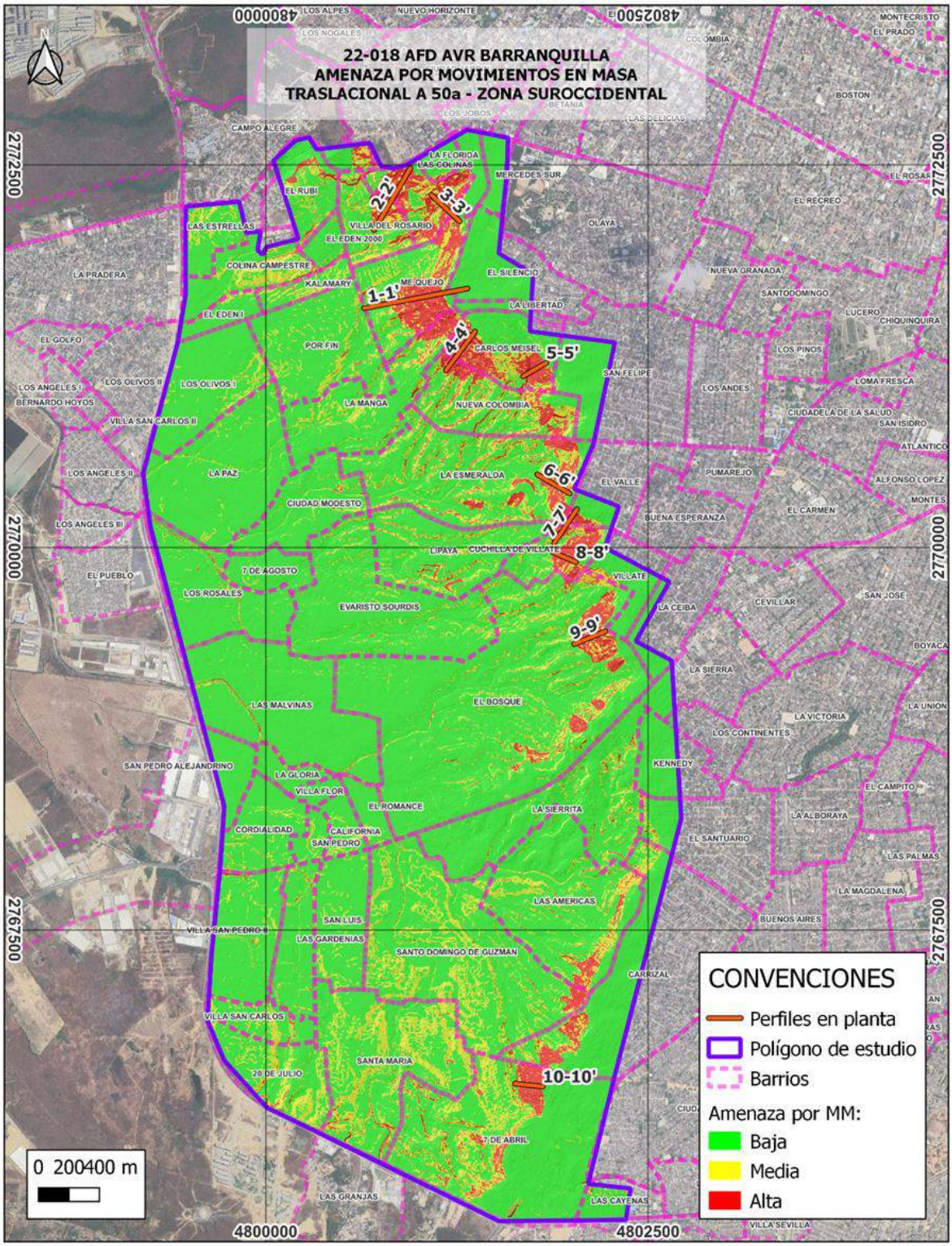


Figura 17.1 Secciones de análisis definidos para los sectores críticos

17.2 SECTOR LOMA ROJA – ME QUEJO LA MANGA

Corresponde al deslizamiento de mayos extensión en las laderas occidentales. El área afectada, es de aproximadamente 12 hectáreas, presentando una longitud de 350 metros y un ancho de aproximadamente 422.0 metros. Los resultados de los análisis de estabilidad con las obras de mitigación se ilustran en la Figura 17.2 y Figura 17.3, destacándose los siguientes aspectos:

- El hecho que las obras cuesten más que la reubicación, clasifica la zona como de alto riesgo no mitigable. Sin embargo, debido al carácter retrogresivo del deslizamiento, la estabilización es necesario llevarla a cabo.
- Las obras propuestas comprenden movimiento de tierra para crear taludes y bermas y obtener inclinaciones del talud máxima de 10°, de tal forma que se garantice la estabilidad del sector se proponen cuatro hileras de pilotes en concreto reforzado: en la parte superior del talud y en la parte intermedia se proponen un muro respectivamente, de dimensiones
  - ✓ 0.50m en la pata, 1.00m en la punta y una altura de espigón de 5.25m, sobre una zarpa de 0.75m de espesor, ambos cimentados sobre doble hilera de pilotes de 0.80 m de diámetro en tres bolillo; la localización de los pilotes en tres bolillo, se hace con el fin de distribuir mejor las cargas y el soporte brindado por los pilotes. En la parte inferior se propone otro muro en cantiléver, de dimensiones 2.5m de pata, 1.00m de punta, 3.25m de altura de espigón y una zarpa de 0.75m de espesor, de igual manera, se encuentra cimentado sobre doble hilera de pilotes de diámetro de 0.80m en tres bolillo. Entre el muro de la parte superior y el muro intermedio, se proponen dos hileras de pilotes dobles unidos por medio de una viga cabezal.
- La idea fundamental de este tipo de estructura es subdividir la carga aplicada por el deslizamiento, de manera que cada estructura de contención soporte un porcentaje de la carga total transmitida por el deslizamiento.
- Finalmente se aclara que el sector es altamente susceptible a los deslizamientos, motivo por el cual es recomendable definir esta zona como de área de protección, y procederá reubicar a las viviendas presentes en el sector. La zona puede ser destinada como una zona de recreación.
- Es muy importante iniciar un plan de censo de los habitantes, donde se demuestre la respectiva propiedad del terreno, esto con el fin de evitar que personas inescrupulosas a futuro, vuelvan a ocupar el terreno.

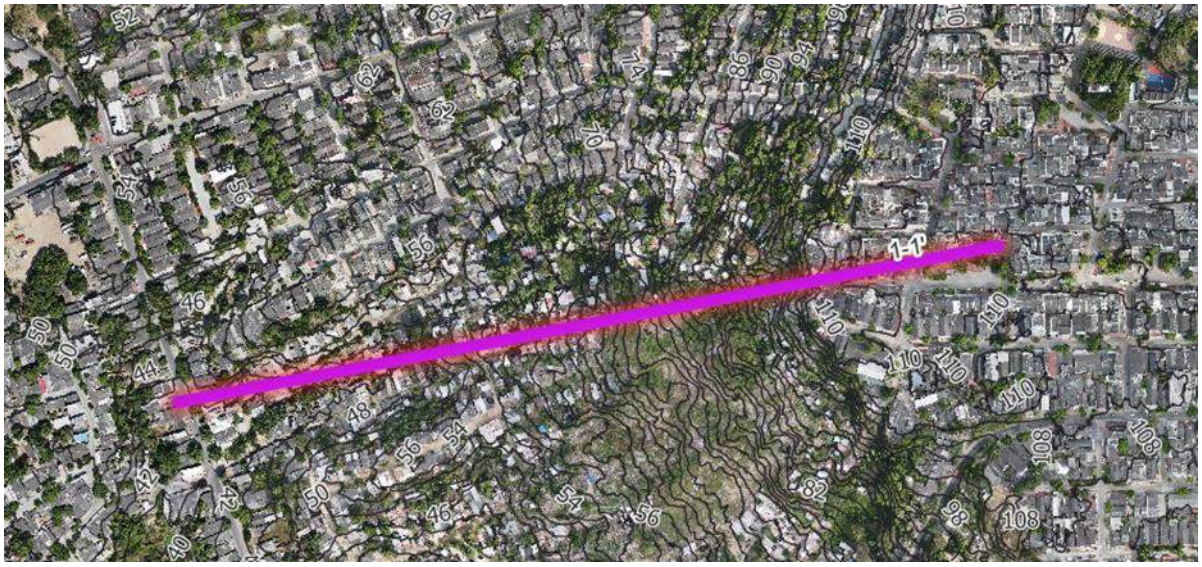


Figura 17.2 Perfil de análisis sector loma roja



Figura 17.3 Obras de mitigación Loma Roja

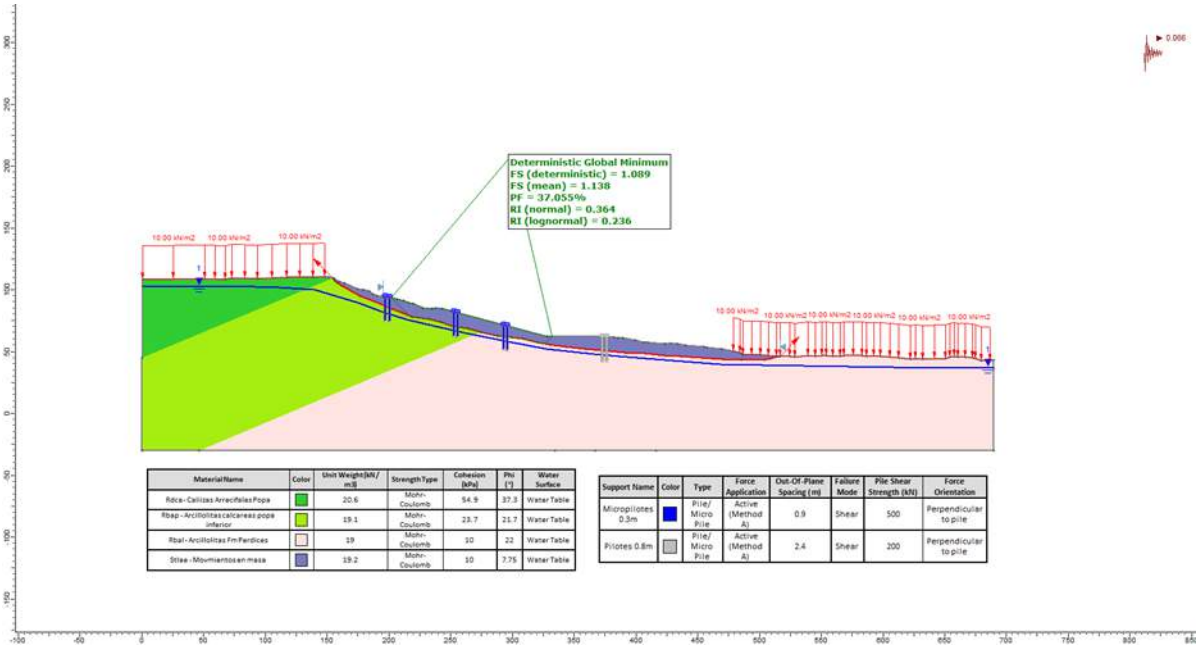


Figura 17.4 Perfil Loma Roja con obras de mitigación

17.3 SECTOR LAS TERRAZAS – VILLA DEL ROSARIO

El deslizamiento conocido como de las Terrazas, tiene un área de afectación de aproximadamente 8.5 Ha, con una longitud de 492 metros y un ancho de aproximadamente 224.0 metros. Los resultados de los análisis de estabilidad con las obras de mitigación se ilustran en la Figura 17.6, destacándose los siguientes aspectos:

- Las medidas más adecuadas para la estabilización del sector corresponden a terraceo del os taludes, sistema de subdrenaje, muros en concreto cimentado sobre pilotes en tres bolillo y micropilotes en tres bolillo amarrado con viga cabezal.
- La ubicación de las anteriores medidas de mitigación se encuentra plasmada en la Figura 17.5 a Figura 17.8, destacándose el hecho que su implementación implica la demolición de viviendas construidas sobre el sector crítico.
- En general, las viviendas ubicadas sobre el cuerpo del deslizamiento así tengan una vulnerabilidad baja, se van a ver afectadas por los constantes movimientos del terreno, lo anterior implica la demolición de la totalidad de las viviendas.
- Para el análisis del costo de las obras se ha acudido a los precios unitarios (APU), de la Secretaría de Infraestructura. Por otro lado, los precios del as viviendas se han obtenido del catastro de Barranquilla. En este orden de ideas, en la Tabla 17.1, se presentan los valores aproximados de las medidas de mitigación que es necesario implementar.
- El hecho que las obras cuesten más que la reubicación, debido al carácter retrogresivo de los deslizamientos, la estabilización es necesario llevarla a cabo. Finalmente, dentro de la propuesta, se ha dejado una zona inferior que eventualmente, podría servir para para albergar un nuero importante de viviendas.

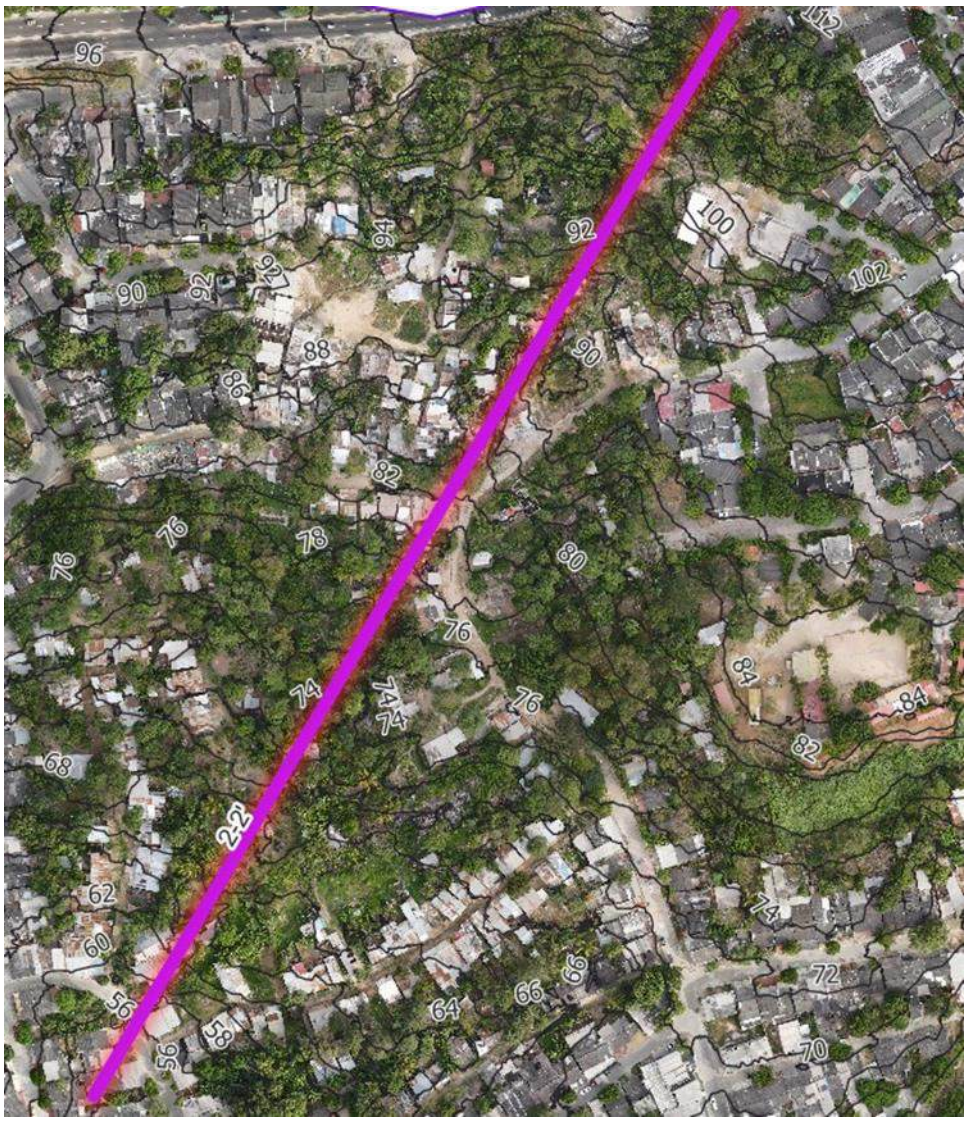


Figura 17.5 Ubicación de perfil de análisis, barrio las terrazas

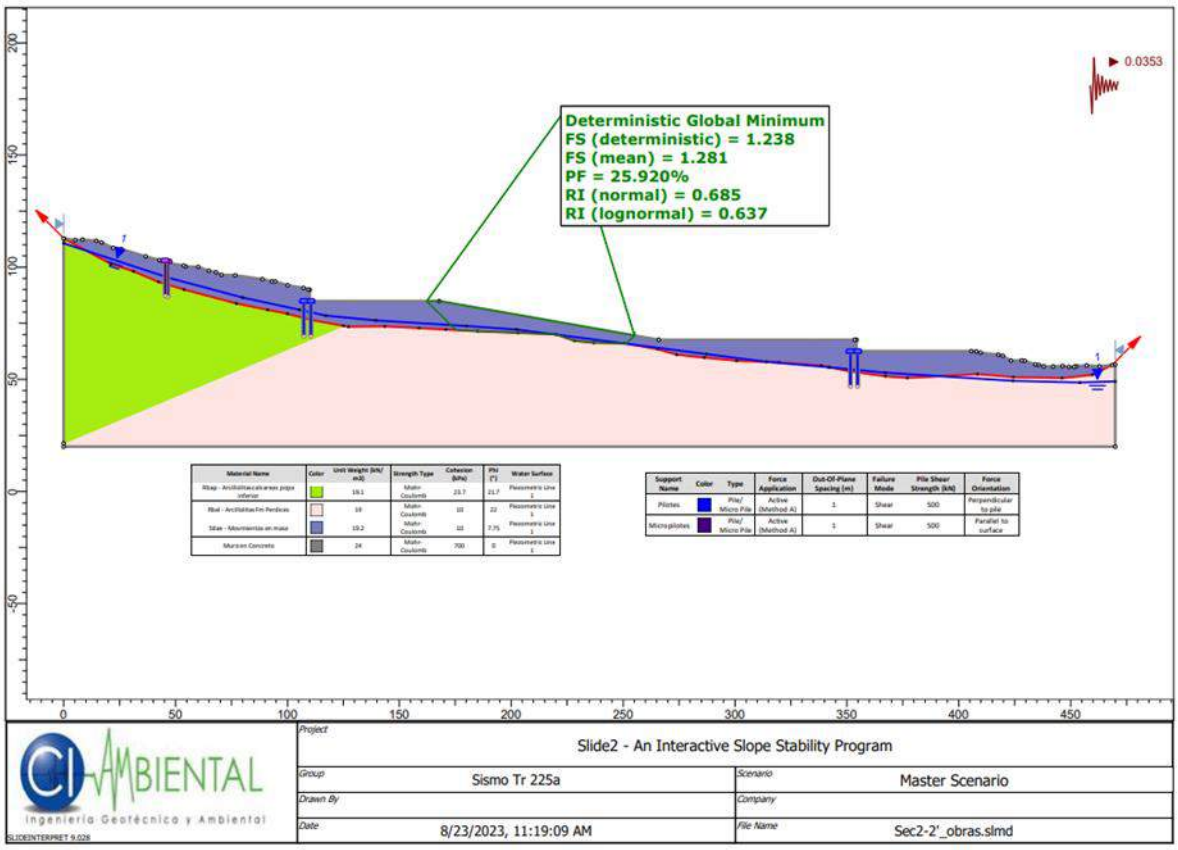


Figura 17.6 Perfil de análisis con obras de mitigación

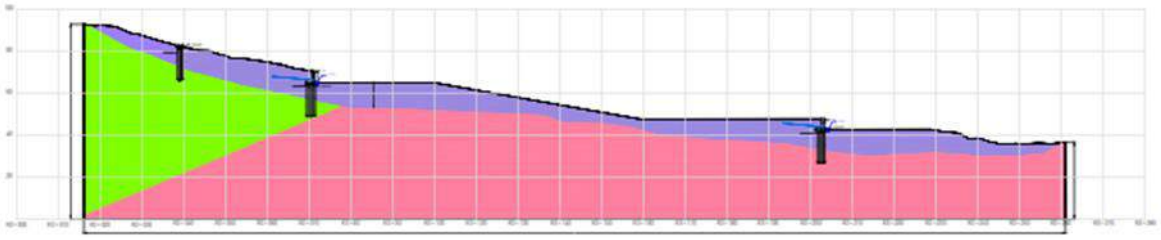


Figura 17.7 Detalle de obras de mitigación

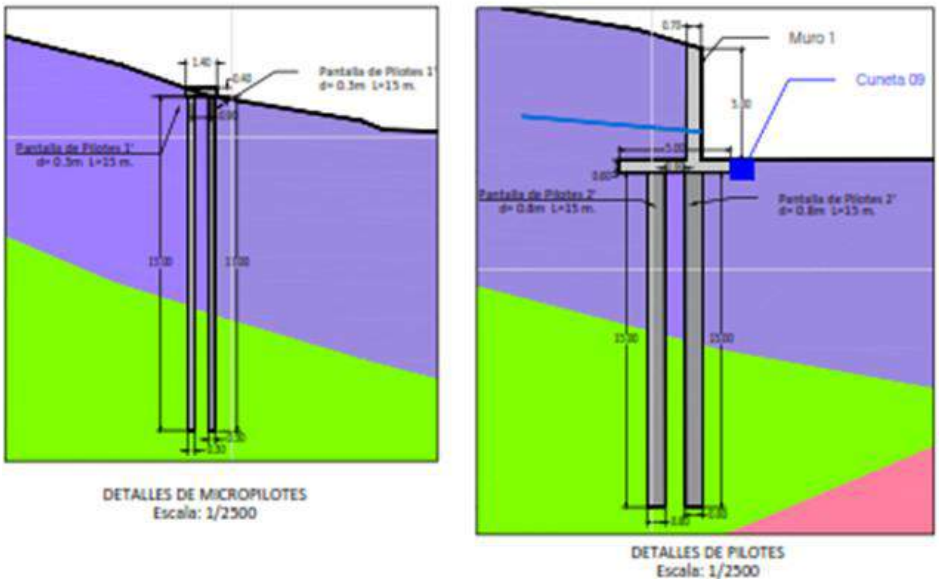


Figura 17.8 Detalle de micropilotes y pilotes

Finalmente, en la Tabla 17.1, se presentan los costos aproximados de las obras de mitigación requeridas para los diferentes sectores. Los detalles de las diferentes alternativas adaptadas se presentan en el anexo E.

Tabla 17.1 Costos aproximados de las obras de mitigación

Sección	Barrios beneficiados	Obras	Valor obras de mitigación
1-1'	Me Quejo, El Silencio	*Corte de Suelo * Micropilotes, ϕ = 0.30 m, L = 20 m * Drenes L = 30 m	$ 30,173,644,935.60
2-2'	Villa del Rosario, Las Terrazas	* Micropilotes, ϕ = 0.30 m, L = 15 m * Pilotes, ϕ = 0.8 m, L = 15 m *Muro de concreto, e = 0.7m	$ 28,686,479,764.25
3-3'	Las Terrazas, Me Quejo, Las Colinas	* Micropilotes, ϕ = 0.30 m, L = 20 m * Micropilotes, ϕ = 0.30 m, L = 15 m * Drenes L = 30 m	$ 25,028,618,430.78
4-4'	La Manga, Carlos Meissel, Nueva Colombia	*Corte de Suelo * Micropilotes, ϕ = 0.30 m, L = 15 m * Micropilotes, ϕ = 0.30 m, L = 10 m * Drenes L = 25 m * Pilotes, ϕ = 0.8 m, L = 10 m * Muro de concreto, e = 0.8 m * Anclajes L = 25 m	$ 30,724,195,503.03
5-5'	Carlos Meissel	*Corte de Suelo * Micropilotes, ϕ = 0.30 m, L = 10 m * Micropilotes, ϕ = 0.30 m, L = 12 m	$ 9,991,544,841.47
6-6'	La Esmeralda	*Corte de Suelo * Micropilotes, ϕ = 0.30 m, L = 15 m * Micropilotes, ϕ = 0.30 m, L = 10 m * Drenes L = 20 m * Pilotes, ϕ = 0.8 m, L = 10 m * Muro de concreto, e = 1.0m	$ 30,789,424,449.57
7-7'	Cuchilla de Villate, El Valle, Lipaya	* Micropilotes, ϕ = 0.30 m, L = 8 m * Drenes L = 15 m * Pilotes, ϕ = 0.6 m, L = 10 m * Pilotes, ϕ = 0.6 m, L = 15 m * Anclajes L = 25 m * Pozos drenantes, ϕ = 3.5 m, L = 7 m	$ 32,036,353,943.12
8-8'	Cuchilla de Villate	* Micropilotes, ϕ = 0.30 m, L = 8 m * Drenes L = 15 m * Pilotes, ϕ = 0.6 m, L = 8 m * Anclajes L = 15 m * Pozos drenantes, ϕ = 3.5 m, L = 5 m	$ 26,795,953,064.77
9-9'	Bosque, Villate	*Corte de Suelo * Drenes L = 20 m * Pilotes, ϕ = 0.8 m, L = 8 m * Muro de concreto, e = 0.8 m	$ 31,087,140,782.11
10-10'	Carrizal, 7 de Abril	*Corte de Suelo * Muro de concreto, e = 0.8 m * Pozos drenantes, ϕ = 3.5 m, L = 5 m	$ 21,615,037,471.68

Con relación al sector de Miramar, los análisis muestran que las estructuras son estables, y que el principal problema es generado por el flujo de aguas subterráneas que se presentan en el sector. Si bien parte de estas aguas subterráneas son abatidas en el centro comercial Miramar, mediante la

implementación de drenes horizontales y trincheras drenantes, existe un flujo que pasa por debajo y llega a los sótanos del edificio Barcelona. Esto se manifestó mediante la inundación del shut de basuras. De igual manera sobre la transversal 44, especialmente el acceso al centro comercial Miramar y Conjunto residencia Barcelona, en las que se observan deformaciones del terreno y de la vía, atribuibles a pequeñas deformaciones del terreno.

Con relación al plan de inversión de obras, es importante que la Alcaldía en el menos tiempo posible, contrate los estudios de detalle y la construcción de las obras del sector de Loma Roja y la Manga, que son los sectores más críticos y que han evolucionado desfavorablemente en los últimos 10 años.

Como recomendación complementaria, es necesario que todos los sectores definidos como de riesgo alto, que además clasifican como zonas de alto riesgo no mitigable, esto en el entendido, que las viviendas están ubicadas en la parte activa del deslizamiento. Estas zonas deberán ser clasificadas como zonas de protección, y en general se recomienda que sean zonas de parques.

Riesgo mitigable y no mitigable

18 MEDIDAS DE INTERVENCIÓN

En la Tabla 18.1, se presentan la comparación entre las medidas de intervención y los costos correspondientes al valor comercial y valor por la reubicación de las viviendas (familias). Es importante destacar que los costos de las viviendas fueron adoptados de los valores suministrados por la oficina de planeación.

Tabla 18.1 Resultados de los costos de reubicación versus las medidas de mitigación.

Sección	Barrios involucrados	Valor Catastral	Valor Comercial	Valor reubicación	Obras	Valor obras de mitigación
1-1'	Me Quejo, El Silencio	$ 1,367,978,000.00	$ 2,104,620,000.00	$ 10,579,146,666.67	*Corte de Suelo * Micropilotes, ϕ = 0.30 m, L = 20 m * Drenes L = 30 m *Pilotes, ϕ = 0.8 m, L = 20 m	$ 37,411,497,512.88
2-2'	Villa del Rosario, Las Terrazas	$ 4,026,673,000.00	$ 6,194,942,000.00	$ 25,586,773,333.33	* Micropilotes, ϕ = 0.30 m, L = 15 m * Pilotes, ϕ = 0.8 m, L = 15 m *Muro de concreto, e = 0.7m	$ 28,686,479,764.25
3-3'	Las Terrazas, Me Quejo, Las Colinas	$ 5,394,651,000.00	$ 8,299,562,000.00	$ 36,165,920,000.00	* Micropilotes, ϕ = 0.30 m, L = 20 m * Micropilotes, ϕ = 0.30 m, L = 15 m * Drenes L = 30 m	$ 25,028,618,430.78
4-4'	La Manga, Carlos Meissel, Nueva Colombia	$ 14,546,384,000.00	$ 22,379,197,000.00	$ 71,716,773,333.33	*Corte de Suelo * Micropilotes, ϕ = 0.30 m, L = 15 m * Micropilotes, ϕ = 0.30 m, L = 10 m * Drenes L = 25 m * Pilotes, ϕ = 0.8 m, L = 10 m * Muro de concreto, e = 0.8 m * Anclajes L = 25 m	$ 30,724,195,503.03

Sección	Barrios involucrados	Valor Catastral	Valor Comercial	Valor reubicación	Obras	Valor obras de mitigación
5-5'	Carlos Meissel	$ 5,192,220,000.00	$ 7,988,131,000.00	$ 38,749,200,000.00	*Corte de Suelo * Micropilotes, ϕ = 0.30 m, L = 10 m * Micropilotes, ϕ = 0.30 m, L = 12 m	$ 9,991,544,841.47
6-6'	La Esmeralda	$ 4,929,286,000.00	$ 7,583,628,000.00	$ 40,594,400,000.00	*Corte de Suelo * Micropilotes, ϕ = 0.30 m, L = 15 m * Micropilotes, ϕ = 0.30 m, L = 10 m * Drenes L = 20 m * Pilotes, ϕ = 0.8 m, L = 10 m * Muro de concreto, e = 1.0m	$ 30,789,424,449.57
7-7'	Cuchilla de Villate, El Valle, Lipaya	$ 4,575,822,000.00	$ 7,039,830,000.00	$ 37,519,066,666.67	* Micropilotes, ϕ = 0.30 m, L = 8 m * Drenes L = 15 m * Pilotes, ϕ = 0.6 m, L = 10 m * Pilotes, ϕ = 0.6 m, L = 15 m * Anclajes L = 25 m * Pozos drenantes, ϕ = 3.5 m, L = 7 m	$ 32,036,353,943.12
8-8'	Cuchilla de Villate	$ 4,638,876,000.00	$ 7,136,828,000.00	$ 38,257,146,666.67	* Micropilotes, ϕ = 0.30 m, L = 8 m * Drenes L = 15 m * Pilotes, ϕ = 0.6 m, L = 8 m * Anclajes L = 15 m * Pozos drenantes, ϕ = 3.5 m, L = 5 m	$ 26,795,953,064.77
9-9'	Bosque, Villate	$ 4,370,388,000.00	$ 6,723,764,000.00	$ 36,042,906,666.67	*Corte de Suelo * Drenes L = 20 m * Pilotes, ϕ = 0.8 m, L = 8 m * Muro de concreto, e = 0.8 m	$ 31,087,140,782.11

Sección	Barrios involucrados	Valor Catastral	Valor Comercial	Valor reubicación	Obras	Valor obras de mitigación
10-10'	Carrizal, 7 de Abril	$ 12,018,066,000.00	$ 18,489,389,000.00	$ 37,765,093,333.33	*Corte de Suelo * Muro de concreto, e = 0.8 m * Pozos drenantes, ϕ = 3.5 m, L = 5 m	$ 21,615,037,471.68

Los anteriores valores muestran que en algunos casos los costos de reubicación son mayores a los de las obras y en otros casos son mayores los costos de las obras propuestas. Lo anterior define que en algunas zonas sea más conveniente el llevar a cabo un proceso de reasentamiento y en otras no. No obstante, es de especificar que la implantación misma de las obras configura la no mitigabilidad de algunos sectores.

Se aclara, sin embargo, que dado el carácter retrogresivo de los deslizamientos es recomendable iniciar un proceso de estabilización de los sectores de recurrencia de movimientos. Esto en el entendido, que, si no se ejecutan obras mínimas, las zonas afectadas continuarán incrementándose afectando a los barrios circunvecinos, como se ha visto que ha sucedido entre el análisis de amenaza hecho por el SGC en 2011 en comparación a los resultados actuales.

Los costos de reubicación fueron definidos tomando como referencia el valor de algunos proyectos de vivienda tipo VIS en el distrito, para un promedio de $123’640.000, como se ve en la Tabla 18.2:

Tabla 18.2 Estudio de mercado de vivienda VIS en Barranquilla.

No.	Proyecto	Valor	Área (m^2)	$/$m^2$	Fuente
1	ÁLAMOS DEL CARIBE APARTAMENTOS	$ 139,000,000	51.00	$ 2,725,490.20	https://www.estrenarvivienda.com/alamos-del-caribe-apartamentos/51177
2	BARRANQUERO	$ 104,400,000	45.00	$ 2,320,000.00	https://www.estrenarvivienda.com/barranquero/80373
3	PUERTA DORADA NATURA	$ 125,640,000	45.15	$ 2,782,724.25	https://www.estrenarvivienda.com/puerta-dorada-natura/78799
		$ 123,013,333	47.05	$ 2,609,404.82	

18.1 RIESGO MITIGABLE Y NO MITIGABLE

En cuanto a la determinación del riesgo mitigable y no mitigable, se encontró que las zonas en las que se encuentran los movimientos activos se encuentran en condición de riesgo no mitigable, por la condición de las viviendas ubicadas en los sectores, puesto que la implantación de obras implica que estos inmuebles deberían retirarse. Se presenta la zonificación del riesgo en la Figura 18.1.

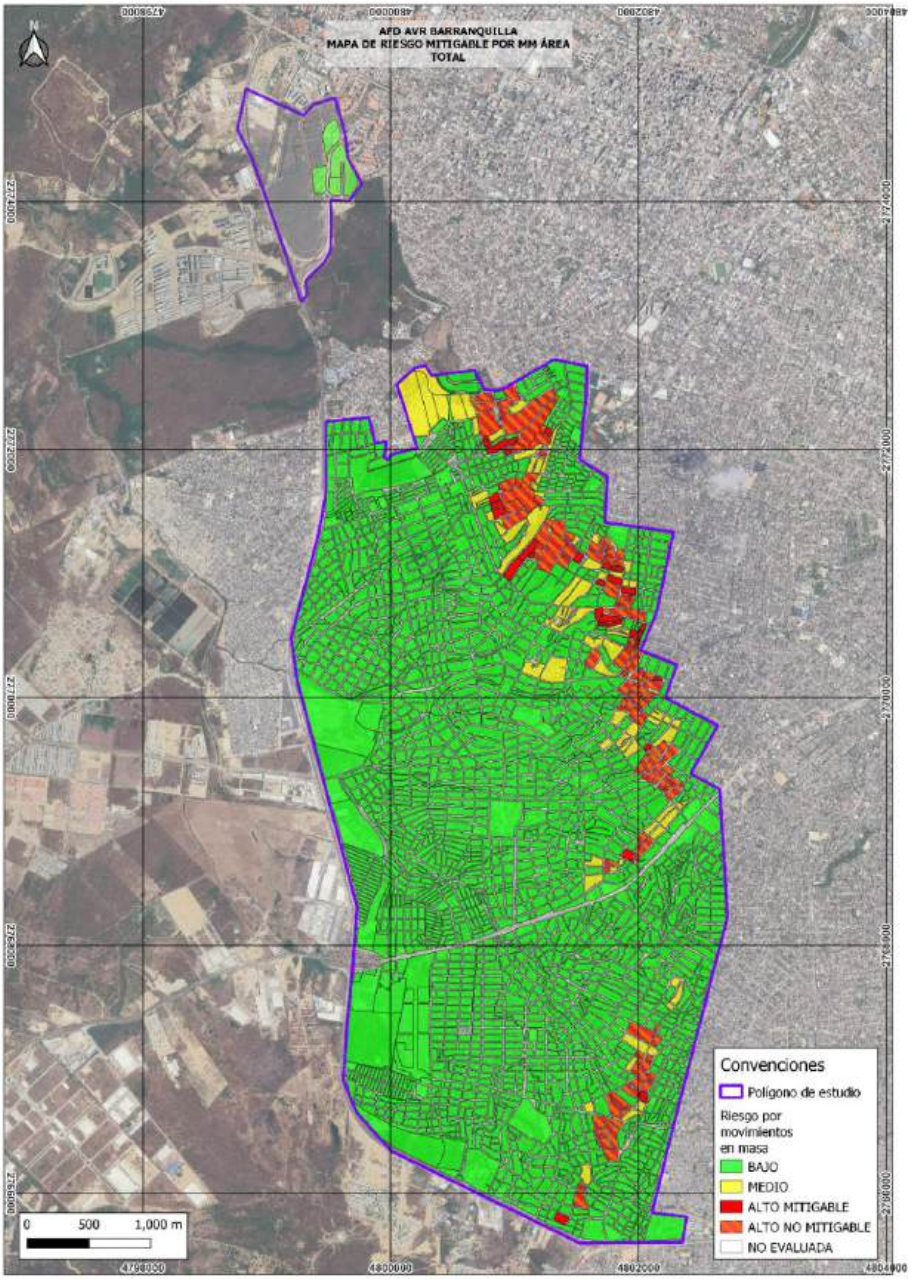


Figura 18.1 Caracterización de riesgo no mitigable y mitigable por movimientos en masa.

En cuanto a la caracterización del riesgo, la misma se presenta en la tabla:

Tabla 18.3 Caracterización del riesgo mitigable y no mitigable área total.

CLASIFICACIÓN DEL RIESGO	DAÑOS ESPERADOS PARA EDIFICACIONES	Manzanas	Porcentaje (%)	Area (Ha)	Porcentaje (%)
ALTO NO MITIGABLE	Riesgo inaceptable. Es necesaria la ejecución de investigaciones detalladas, planeación e implementación de medidas para reducir el riesgo. Las medidas de intervención estructural pueden ser dispendiosas y poco prácticas; además, son más costosas que el valor mismo de la propiedad.	106	49.5%	77.5	5.7%
ALTO MITIGABLE	Riesgo inaceptable. Es necesaria la ejecución de investigaciones detalladas, planeación e implementación de medidas para reducir el riesgo. Las medidas de intervención estructural pueden ser dispendiosas	28	2.1%	13.4	1.0%
MEDIO	Puede tolerarse en ciertas circunstancias (de acuerdo con la regulación estatal), pero requiere investigación y planeación detallada para evitar que aumente. Las medidas para reducir el riesgo son viables económicamente.	80	5.9%	71.7	5.3%
BAJO	Usualmente aceptable para los tomadores de decisiones. Se requiere mantenimiento normal de taludes y laderas.	2509	184.3%	1199.0	88.1%
NO EVALUADO	Área verde, vial o no edificada.			544.2	29.77%

ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LA LADERA OCCIDENTAL DE LA CIUDAD DE BARRANQUILLA

19 INTRODUCCIÓN

Como resultado de la licitación llevada a cabo por la AGENCIA FRANÇAISE DE DÉVELOPPEMENT, por medio del proceso VIL-2022-0067 en el marco de los convenios de cooperación entre la AFD y la Alcaldía de Barranquilla, CI Ambiental S.A.S. fue seleccionada como la firma adjudicada para que ejecute las actividades asociadas al objeto del contrato: "ESTUDIO DETALLADO DE RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZA POR FENÓMENOS DE INUNDACIÓN Y AVENIDAS TORRENCIALES, Y ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LA LADERA OCCIDENTAL DE LA CIUDAD DE BARRANQUILLA".

Este documento recoge los principales resultados del ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LA LADERA OCCIDENTAL DE LA CIUDAD DE BARRANQUILLA, y recuenta las características más relevantes del equipo técnico, de la maquinaria y de las herramientas que se destinan a la consecución del objetivo.

20 GENERALIDADES

20.1 ALCANCE

Dentro de las principales actividades que se desarrollarán en el presente informe se tienen las siguientes:

- Identificar las condiciones climáticas que inciden en el distrito (Ej. Temperatura y precipitación promedio. Una o dos épocas de lluvias al año, una época seca intensa etc.). Esta actividad se incluye en este documento, para lo cual se utilizaron 35 modelos de circulación global (GMC).
- Identificar las amenazas relacionadas con el clima y que han afectado el distrito históricamente. El agente detonante de los deslizamientos corresponde básicamente a las lluvias. El inventario de deslizamientos, recolectados y como ha sido su evolución se presentan en el informe de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, específicamente en el capítulo de geología.
- Usar los escenarios de cambio climático para precisar los cambios que tendrá la temperatura y la precipitación del territorio en los próximos años y como esto afectará el ordenamiento de este. Los escenarios sobre la temperatura y la precipitación en su región y departamento para los próximos años se podrán consultar en el documento denominado: "Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011-2100" elaborado por el IDEAM en el año 2015. El presente informe presenta los resultados de la evolución de las temperaturas y lluvias para los períodos 2035-2064, y, 2070-2100. Se han utilizado nuevos modelos de

predicción, motivo por el cual el informe del IDEAM, se toma como referencia, debido a que es un estudio regional.

- Tener en cuenta las medidas de adaptación que serían adecuadas para evitar los riesgos futuros del cambio climático en territorio. Esta información se verá plasmada en el volumen de amenaza vulnerabilidad y riesgo, ya que con la nuevas IDF obtenidas por efecto del cambio climático, se generarán nuevos escenarios, teniendo en cuenta esta variable, lo cual a su vez conllevará a las recomendaciones en cuanto a medidas de adaptación al cambio climático.

20.2 LOCALIZACIÓN

La zona de estudio se ubica en la Figura 20.1, ocupando un área aproximada de 1914 hectáreas, conformado por los siguientes barrios: Miramar, Campo alegre, Carlos Meissel, Nueva Colombia, La Esmeralda, Lipaya, Cuchilla de Villate, El Bosque, La Sierrita, Las Américas, Santo Domingo de Guzmán, Carrizal, 20 de Julio, Santa María y Siete de Abril.

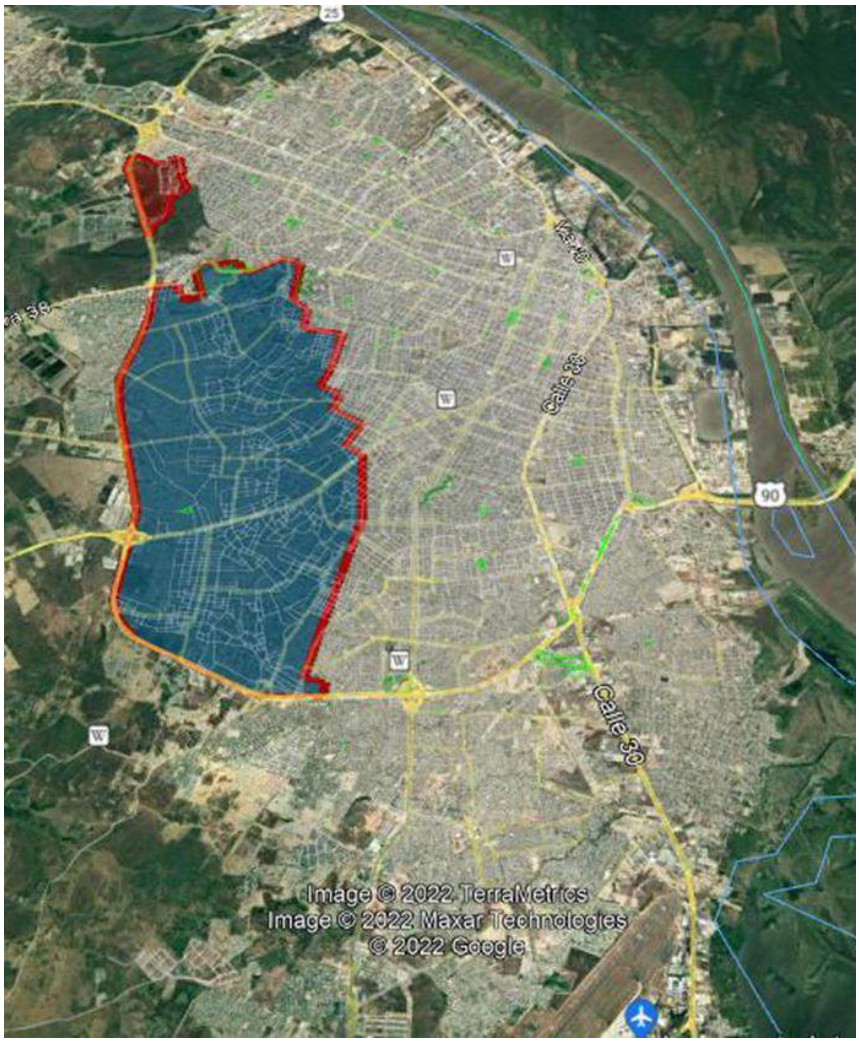


Figura 20.1 Zona de estudio en el marco de la ciudad de Barranquilla. Fuente: TDR AFP, 2022

21 RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

21.1 ANTECEDENTES

A través de los años los cerros occidentales de Barranquilla se han visto afectados por sucesos naturales de diferentes magnitudes, esto debido a la expansión urbana y demográfica de la ciudad de Barranquilla sin un debido control territorial. Es dado a estos sucesos que se ha acrecentado la necesidad de realizar estudios técnicos en los cuales se establezca la vulnerabilidad de la población a estos fenómenos, esto con el objetivo de tomar acciones preventivas. Algunos de los estudios en los que se analiza el efecto del cambio climático son los siguientes:

Avila, H. (2012), El autor menciona que la ciudad de Barranquilla presenta una de las problemáticas de drenaje pluvial más importantes de Colombia, debido a que cerca de 100 km de la malla vial, incluyendo vías principales, se convierten en ríos urbanos todos los años durante la temporada de lluvia, con caudales entre 30 y 100 m3/s. Sin embargo, se anota, que en el último decenio la alcaldía de Barranquilla ha iniciado un plan de canalización de arroyos, lo cual ha sido benéfico para la ciudad, en el entendido, que el problema de los arroyos se ha visto disminuido de manera ostensible.

El autor de igual manera menciona que hacia la cuenca occidental, se tienen pendientes superiores al 5% en las partes altas de la cuenca, que luego descargan a los afluentes del arroyo Grande con pendientes bajas. Las pendientes altas condicionan velocidades altas y tiempos de concentración cortos, pero que en general no presenta desbordamientos, lo cual tiene como resultados caudales y velocidades altas que, son características, de los arroyos peligrosos y condiciones de amenaza por inundación en zonas bajas.

GeoAdaptive (2013). Corresponde a un estudio financiado por el BID, donde evalúan de manera preliminar el efecto del cambio climático para el caso de ascenso del nivel del mar, inundaciones para la ladera oriental y remoción en masa, basados en el mapa de amenazas del INGEOMINAS. Los análisis desarrollados en el estudio se basan principalmente en la recopilación de fuentes y datos disponibles públicamente a nivel global, regional y local, combinados con una serie de datos de primer orden proporcionados por la ciudad. Las componentes de las fuentes secundarias utilizadas son las siguientes:

- Datos de las condiciones biofísicas y geomorfológicas de la región incluyendo las redes hídricas, el litoral y las condiciones del terreno
- Datos de equipamientos, infraestructuras críticas y condiciones socioeconómicas, los cuales fueron suministrados por la ciudad.
- Datos de soporte de los estudios de amenaza los cuales en su mayoría son de origen satelital mediante sensores remotos, estadístico regional y meteorológico.
- Información publicada en artículos científicos y gubernamentales.

Los autores de igual manera comentan que para el efecto de cambio climático, tuvieron en cuenta para el caso de Barranquilla, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), ha desarrollado un proceso de downscaling oficial, tomando en consideración los

diferentes escenarios de cambio climático de largo plazo como proyección para el periodo de 2011-2040, mediante la aplicación del modelo PRECIS (IDEAM-Subdirección de Meteorología, Ruíz, 2010). Como hemos mencionado, los análisis realizados en el estudio se basan en información secundaria, y para el caso de amenazas por fenómenos de remoción en masa, el efecto del cambio climático no es tenido en cuenta, ya que aducen que el mapa es determinístico.

IDEAM (2108), Ruíz (2018), Costa (2007) muestran que, en Colombia, la temperatura media está aumentando a una tasa de cambio de 0.13°C por década para el período 1971-2000. Los departamentos en los que se están presentando los mayores aumentos son: Córdoba, Valle, Sucre, Antioquia, La Guajira, Bolívar y Chocó con 0.14°C/década; Santander y Norte de Santander con 0.16°C/década; Cauca, San Andrés y Tolima con 0.18°C/década y Caquetá con 0.23°C/década; indicando de alguna manera que son lugares que han sentido mayormente el calentamiento global sobre el territorio nacional. Es importante destacar, sin embargo, que, al estar el departamento del Atlántico, tan cercano a al departamento de Bolívar, se hayan presentado incrementos significativos en la temperatura en este lugar. Los autores concluyen lo siguiente:

- ´´La temperatura media en el territorio nacional continuará incrementándose durante el transcurrir del siglo XXI de tal manera que para el período 2011-2040 habría aumentado en 1.4±0.4°C, para 2041- 2070 en 2.4±0.5°C y para 2071-2100 en 3.2±0.7°C. Los aumentos más significativos de la temperatura media se esperarían en gran parte de las regiones Caribe y Andina especialmente en los departamentos de Sucre, Norte de Santander, Risaralda, Huila y Tolima´´.
- ´´Desde un punto de vista más regional, las poblaciones que sentirían las mayores reducciones de precipitación (valores por debajo de -36%), debido a cambio climático, son los ubicados en los siguientes municipios: Antioquia: Amalfi, Anori, Ituango, Segovia y Yarumal. **Atlántico: Campo de la Cruz, Santa Lucia y Suan**. Bolívar: Arenal, Córdoba, Magangue, Maria La Baja, Pinillos, San Fernando, San Juan Nepomuceno, San Pablo, Simiti y Zambrano´´.
- ´´Las proyecciones de cambio climático evaluaron que la humedad relativa, se reduciría en Colombia, en 1.8% para el 2011-2040, 2.5% para 2041-2070 y 5.0% para 2071-2100. Lo anterior implica que los menores cambios del clima se presentarían en: la Península de La Guajira, la cual mantendría sus características desérticas, el Chocó, donde continuaría prevaleciendo el clima superhúmedo, la Amazonía, que seguiría siendo húmeda y en gran parte de los Llanos Orientales, donde el clima semihúmedo persistiría. Los cambios más significativos se esperarían en la Región Caribe que cambiaría de un clima semihúmedo (condiciones actuales) a semiárido y luego a árido para finales del siglo XXI´´.

INVEMAR (2020). En el estudio adelantado por INVEMAR, los autores concluyen que El Distrito de Barranquilla se encuentra expuesto a las amenazas marino-costeras del cambio climático como son:

- El ascenso en el nivel del mar (ANM) y,
- La erosión costera.

Los autores a una escala regional evalúan las implicaciones de la presencia de estas amenazas en el área urbana y rural mediante los componentes de biodiversidad y servicios ecosistémicos, hábitat humano e infraestructura, para lo cual utilizan como base las estructuras del Plan de Ordenamiento Territorial de Barranquilla 2012-2032, de donde los autores extraen los diferentes elementos de interés para el territorio.

Los autores definen las zonas afectadas por al ascenso del nivel para los periodos ANM (años 2050 y 2100) y erosión costera (2030 y 2040), concluyendo que ¨la mayor exposición a las amenazas de ANM y erosión costera se encuentra en la Ciénaga de Mallorquín y las áreas aledañas como el corregimiento de La Playa, sector Las Flores y sector Industrial I- Vía 40. La Ciénaga de Mallorquín presentaría la mayor afectación en términos de biodiversidad, con alta exposición de los ecosistemas naturales y particularmente el manglar, las lagunas costeras y las playas serían los más perjudicados¨.

22 RECOPILACIÓN DE LA INFORMACION PLUVIOMETRICA NECESARIA PARA LA ESTIMACION DE LAS CURVAS DE INTENSIDAD-DURACION-FRECUENCIA (IDF) LAS CUALES CARACTERIZARAN LA ZONA BAJO ESTUDIO

La información para el proyecto fue recopilada principalmente correspondió a la disponible de parte del IDEAM, instituto encargado de las mediciones hidrometeorológicas en el país. La información recopilada incluyó la información cruda de precipitaciones, así como información de curvas IDF diseñadas por parte del IDEAM. A partir de la información existente se realizaron entonces ajustes con el fin de generar curvas IDF que pudieran ser utilizadas tanto en las modelaciones hidráulicas como en la determinación de la vulnerabilidad al cambio climático.

A continuación, se presenta en este capítulo los pormenores de este proceso.

22.1 SELECCIÓN DE LAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

Para el estudio de la zona de interés fueron consultadas las fuentes oficiales de información. Para tal efecto se realizó la búsqueda y se relacionaron las estaciones más próximas a la zona de estudio, siendo la fuente oficial el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM (véanse la Tabla 4.1 y la Figura 22.1).

De las anteriores estaciones, las dos más cercanas a la zona de estudio y que además cuentan con un registro importante de información, corresponden a las estaciones de Las Flores y Aeropuerto Ernesto Cortíssoz, con registros de información mayores a los 30 años.

Tabla 22.1 Listado de estaciones cercanas a la zona de estudio

ESTACIONES HIDROMETEOROLOGICOS BARRANQUILLA										
N°	CODIGO	CATEGORIA	NOMBRE	LONG	LATITUD	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	ESTADO	INSTALACION	SUSPENSIÓN
1	**29045120**	**Climatica Principal**	**FLORES LAS**	**-74.82**	**11.04**	**Atlantico**	**Barranquilla**	**Activa**	**Abril 15, 1971**	
2	29045180	Climatica Principal	LAS FLORES - AUT	-74.82	11.04	Atlantico	Barranquilla	Suspendida	Agosto 30, 2006	Agosto 23, 2019
3	29047020	Limnigrafica	FLORES LAS	-74.82	11.03	Atlantico	Barranquilla	Activa	Agosto 15, 1940	
4	2904000177	Pluviometrica	UNIAUTONOMA - AUT	-74.82	11	Atlantico	Barranquilla	Activa	Diciembre 10, 2021	
5	29040050	Pluviometrica	UNIV DEL ATLANTICO	-74.8	11	Atlantico	Barranquilla	Suspendida	Abril 15, 1954	Diciembre 15, 1954
6	29040450	Pluviometrica	BARRANQUILLA SEDE	-74.8	11	Atlantico	Barranquilla	Activa	Noviembre 1, 2007	
7	29004520	Climatica Principal	ESCUELA NAVAL BARRANQUILLA - AUT	-74.78	11.01	Atlantico	Barranquilla	En Mantenimiento	Junio 10, 2016	
8	29045140	Climatica Ordinaria	COL BIFFI	-74.78	11	Atlantico	Barranquilla	Activa	Enero 15, 1981	
9	29047080	Limnigrafica	DARCENA BARRANQUIL	-74.76	10.97	Atlantico	Barranquilla	Suspendida	Septiembre 2, 2006	Octubre 15, 2021
10	29041001	Mareografica	S.P.R.B.S.A	-74.76	10.97	Atlantico	Barranquilla	Activa	Marzo 17, 2016	
11	29045040	Climatica Ordinaria	EXPERI AGRICO GJA	-74.77	10.97	Atlantico	Barranquilla	Suspendida	Noviembre 15, 1931	Octubre 15, 1949
12	29047000	Limnigrafica	TEBSA BQUILLA	-74.76	10.94	Atlantico	Soledad	Activa	Mayo 5, 2013	
13	**29045190**	**Sinoptica Principal**	**AEROPUERTO DE CORTISSOZ - AUT**	**-74.78**	**10.92**	**Atlantico**	**Soledad**	**Activa**	Marzo 15, 1941	
14	29045130	Climatica Ordinaria	VERANILLO	-74.77	10.88	Atlantico	Barranquilla	Suspendida	Marzo 15, 1941	Diciembre 15, 1941
15	2904500130	Radio Sonda	RADIO SONDA BARRANQUILLA - AUT	-74.78	10.88	Atlantico	Soledad	Activa	Abril 4, 2016	
16	29040340	Pluviometrica	SCADTA-BQUILLA	-74.78	10.88	Atlantico	Barranquilla	Suspendida	Mayo 15, 1932	Diciembre 15, 1933
17	29040230	Pluviometrica	PUERTO COLOMBIA	-74.97	10.99	Atlantico	Puerto Colombia	Activa	Abril 15, 1974	
18	17047030	Mareografica	PUERTO COLOMBIA	-74.97	11	Atlantico	Puerto Colombia	Suspendida	Enero 4, 2018	Enero 16, 2018
19	29040440	Pluviometrica	PTO COLOMBIA	-74.95	11	Atlantico	Puerto Colombia	Suspendida	Julio 15, 1934	Noviembre 15, 1946
20	29040010	Pluviometrica	SUP GRAL DE NAVEC	-74.78	11	Atlantico	Barranquilla	Suspendida	Enero 15, 1929	Diciembre 15, 1937

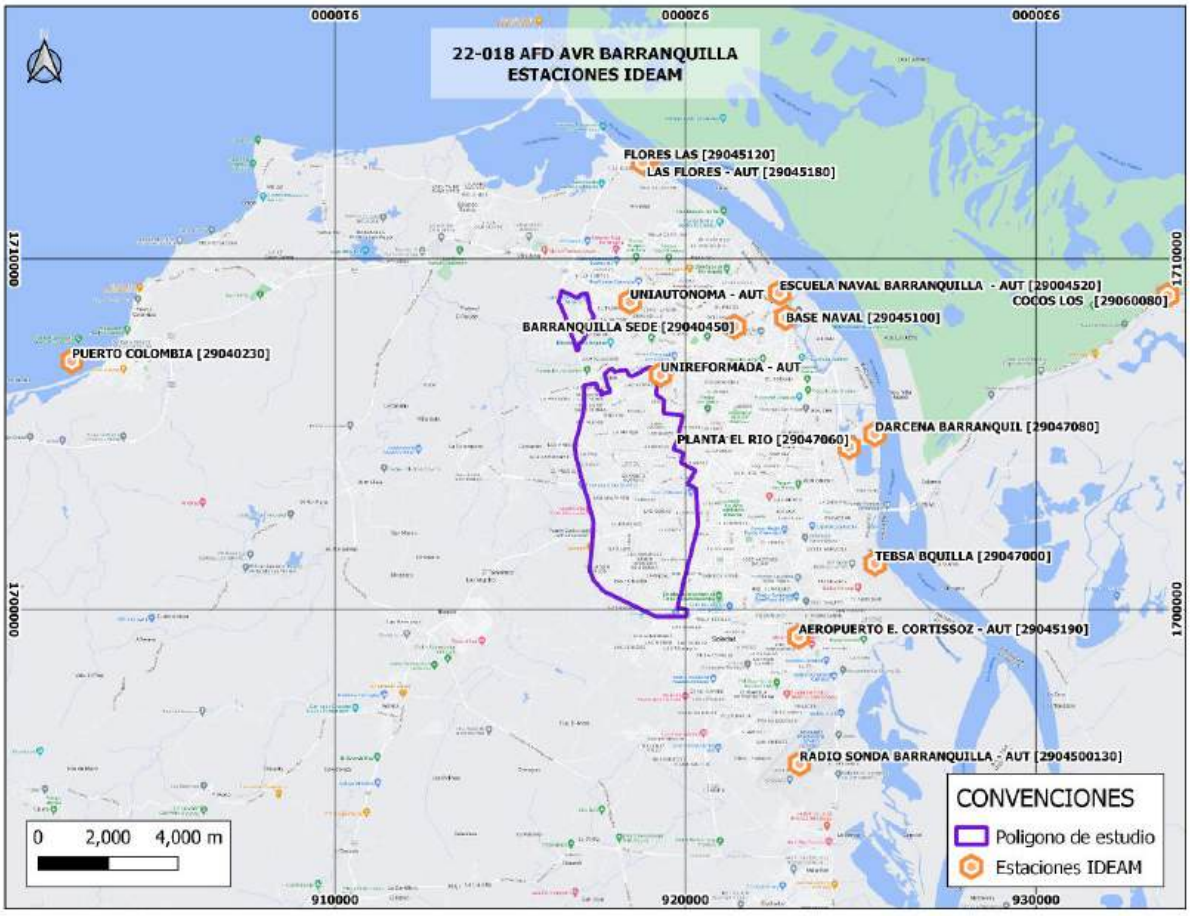


Figura 22.1 Mapa de ubicación de las estaciones más cercanas a la zona de estudio

22.2 RECOPILACIÓN DE LA INFORMACIÓN DE LÁMINAS MÁXIMAS ANUALES DE PRECIPITACIÓN PARA DURACIONES DE 5, 10, 15, 30, 60, 120, 180, 360, 540, 720 Y 1440 MINUTOS; EN LAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS SELECCIONADAS

Esta información se estima a partir de los valores de precipitación cada 5 minutos, puesto que al tener el registro completo con precipitaciones cada 5 minutos es posible entonces estimar las precipitaciones para duraciones múltiplos de 5 minutos.

Esta información, sin embargo, no es de acceso libre en su registro completo desde la página dispuesta por el IDEAM (dhime.ideam.gov.co). Por lo anterior fue necesario elevar la consulta de esta información al IDEAM, quienes nos respondieron entregando la información del registro completo existente para precipitaciones con frecuencia de registro cada 10 minutos de la estación Aeropuerto Ernesto Cortíssoz. No obstante, el registro completo recibido precede desde el año 2017, por lo que la información sólo está en el rango del día 2017-01-01 al 2022-19-10 (fecha en que se recibe la información de parte del IDEAM).

Puesto que el registro existente, a pesar de encontrarse con una frecuencia de muestreo útil pues sólo las lluvias de 5 y 15 minutos de duración no estarían representadas y las demás duraciones sí, contaba con apenas poco menos de 6 años de registro, se decidió que el mismo no era suficiente para definir curvas IDF de forma confiable puesto que se requeriría un registro de al menos unos 30 años para poder realizar extrapolaciones confiables de la información.

Por lo anterior las tablas de precipitación máxima anual para diferentes duraciones y diferentes periodos de retorno fueron tomadas de las curvas IDF del IDEAM del año 2016, las cuales fueron estimadas en un estudio en conjunto con la Universidad Nacional de Colombia. En este sentido esta información se presenta a continuación en la Tabla 22.2 y la Tabla 22.3:

Tabla 22.2 Máximas precipitaciones para diferentes duraciones y tiempos de retorno para la estación Las Flores. Fuente: IDEAM, UNAL (2016).

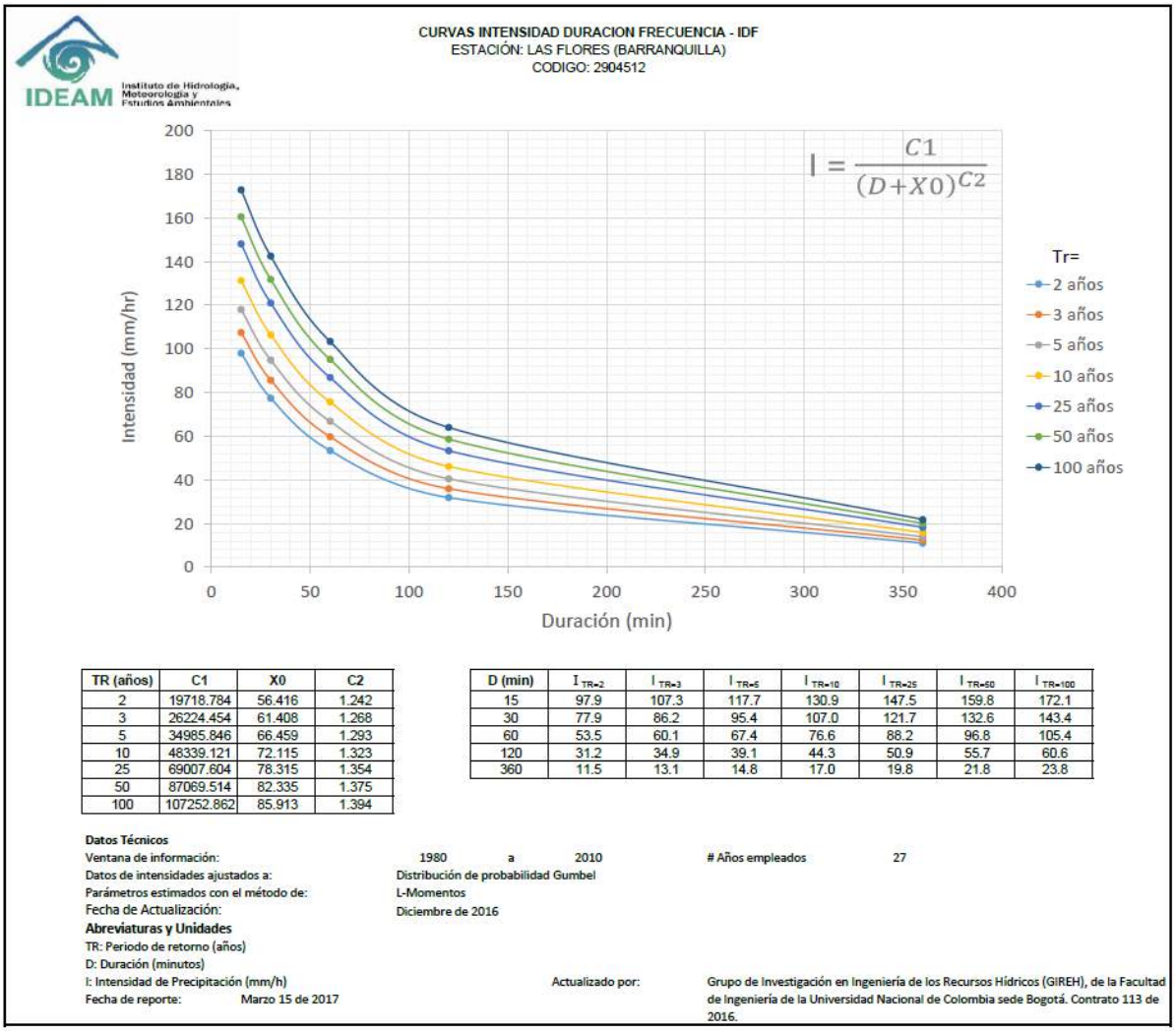
D (min)	$I_{TR=2}$	$I_{TR=3}$	$I_{TR=5}$	$I_{TR=10}$	$I_{TR=25}$	$I_{TR=50}$	$I_{TR=100}$
15	97.9	107.3	117.7	130.9	147.5	159.8	172.1
30	77.9	86.2	95.4	107.0	121.7	132.6	143.4
60	53.5	60.1	67.4	76.6	88.2	96.8	105.4
120	31.2	34.9	39.1	44.3	50.9	55.7	60.6
360	11.5	13.1	14.8	17.0	19.8	21.8	23.8

Tabla 22.3 Máximas precipitaciones para diferentes duraciones y tiempos de retorno para la estación Aeropuerto Ernesto Cortíssoz. Fuente: IDEAM, UNAL (2016).

D (min)	$I_{TR=2}$	$I_{TR=3}$	$I_{TR=5}$	$I_{TR=10}$	$I_{TR=25}$	$I_{TR=50}$	$I_{TR=100}$
15	98.4	107.6	118.0	130.9	147.3	159.5	171.5
30	74.8	83.8	93.8	106.3	122.2	133.9	145.6
60	51.0	58.0	65.8	75.6	88.0	97.2	106.4
120	28.5	32.7	37.4	43.4	50.9	56.5	62.0
360	10.1	11.5	13.2	15.2	17.8	19.8	21.7

22.3 Recopilación de Curvas de IDF Estimadas por el IDEAM, en Estaciones Las Flores y Cortissoz, Utilizando Información Disponible durante el Período 1971-2010.

Teniendo en cuenta los estudios elaborados por la universidad Nacional para el IDEAM en 2016, se tienen las curvas IDF para el Aeropuerto Ernesto Cortissoz y la Estación Las Flores, las cuales son de libre acceso. Las curvas IDF mencionadas se presentan en la Figura 4.11 y Figura 4.12.

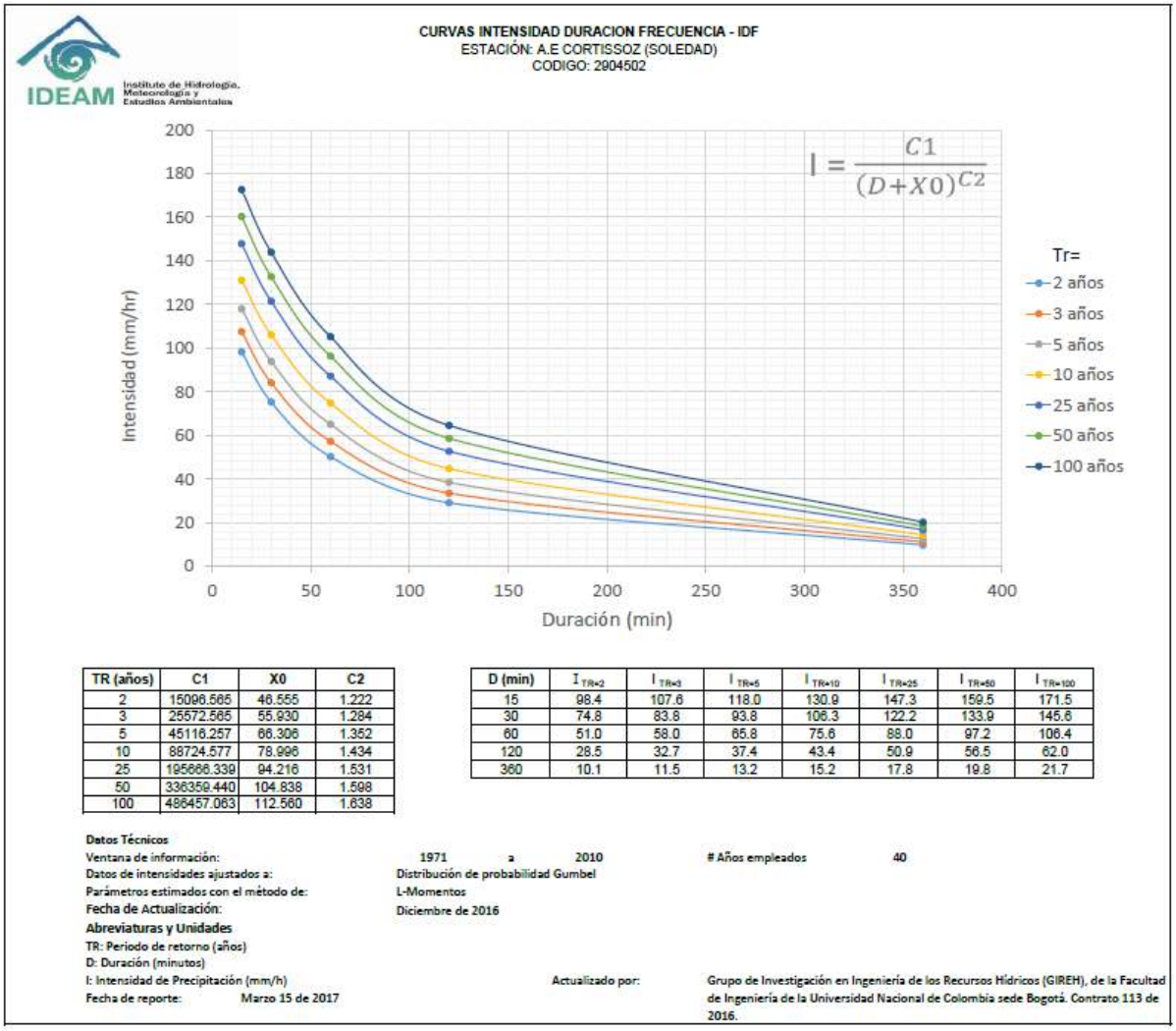


TR (años)	C1	X0	C2
2	19718.784	56.416	1.242
3	26224.454	61.408	1.268
5	34985.846	66.459	1.293
10	48339.121	72.115	1.323
25	69007.604	78.315	1.354
50	87069.514	82.335	1.375
100	107252.862	85.913	1.394

D (min)	$I_{TR=2}$	$I_{TR=3}$	$I_{TR=5}$	$I_{TR=10}$	$I_{TR=25}$	$I_{TR=50}$	$I_{TR=100}$
15	97.9	107.3	117.7	130.9	147.5	159.8	172.1
30	77.9	86.2	95.4	107.0	121.7	132.6	143.4
60	53.5	60.1	67.4	76.6	88.2	96.8	105.4
120	31.2	34.9	39.1	44.3	50.9	55.7	60.6
360	11.5	13.1	14.8	17.0	19.8	21.8	23.8

Datos Técnicos
Ventana de información: 1980 a 2010 # Años empleados 27
Datos de intensidades ajustados a: Distribución de probabilidad Gumbel
Parámetros estimados con el método de: L-Momentos
Fecha de Actualización: Diciembre de 2016
Abreviaturas y Unidades
TR: Periodo de retorno (años)
D: Duración (minutos)
I: Intensidad de Precipitación (mm/h)
Fecha de reporte: Marzo 15 de 2017
Actualizado por: Grupo de Investigación en Ingeniería de los Recursos Hídricos (GIREH), de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Contrato 113 de 2016.

Figura 22.2 IDF para la estación Las Flores (UNAL, 2016).



TR (años)	C1	X0	C2
2	15096.565	46.555	1.222
3	25572.565	55.930	1.284
5	45116.257	66.306	1.352
10	88724.577	78.996	1.434
25	195666.339	94.216	1.531
50	336359.440	104.838	1.598
100	486457.063	112.560	1.638

D (min)	$I_{TR=2}$	$I_{TR=3}$	$I_{TR=5}$	$I_{TR=10}$	$I_{TR=25}$	$I_{TR=50}$	$I_{TR=100}$
15	98.4	107.6	118.0	130.9	147.3	159.5	171.5
30	74.8	83.8	93.8	106.3	122.2	133.9	145.6
60	51.0	58.0	65.8	75.6	88.0	97.2	106.4
120	28.5	32.7	37.4	43.4	50.9	56.5	62.0
360	10.1	11.5	13.2	15.2	17.8	19.8	21.7

Datos Técnicos

Ventana de información: 1971 a 2010 # Años empleados 40
Datos de intensidades ajustados a: Distribución de probabilidad Gumbel
Parámetros estimados con el método de: L-Momentos
Fecha de Actualización: Diciembre de 2016

Abreviaturas y Unidades

TR: Periodo de retorno (años)
D: Duración (minutos)
I: Intensidad de Precipitación (mm/h)
Fecha de reporte: Marzo 15 de 2017

Actualizado por: Grupo de Investigación en Ingeniería de los Recursos Hídricos (GIREH), de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Contrato 113 de 2016.

Figura 22.3 IDF para la estación Aeropuerto Ernesto Cortissoz (UNAL, 2016).

23 AJUSTES DE DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDADES DE EVENTOS EXTREMOS A LAS SERIES DE DATOS DIARIOS MAXIMOS ANUALES REGISTRADOS

En cuanto a los eventos extremos para las estaciones, se realizó el análisis para la estación Ernesto Cortissoz, considerando que la estación Las Flores presentaba ciertos vacíos de información en años clave para el análisis de tiempo de retorno de los eventos extremos.

La información fue estimada considerando el mismo periodo tomado por el IDEAM, es decir, tomando como referencia los periodos de información de 1971 a 2010, para ser consistentes con los rangos de información usados por el IDEAM. Los valores anuales de precipitación máxima en 24 horas se presentan en la Tabla 23.1:

Tabla 23.1 Precipitación máxima anual para estación Apto. Ernesto Cortissoz desde 1961 a 2018. IDEAM.

Fecha	Precipitación máxima anual (mm)	Fecha	Precipitación máxima anual (mm)	Fecha	Precipitación máxima anual (mm)
17/05/1961	123	21/08/1980	61	15/11/1999	67.1
24/08/1962	100	10/12/1981	118.4	18/10/2000	64
2/08/1963	59	28/09/1982	70.2	10/10/2001	99.3
4/06/1964	74	30/10/1983	54.3	18/07/2002	77.2
10/11/1965	71.7	4/07/1984	87.2	11/12/2003	103.8
21/06/1966	87.5	20/10/1985	91.8	4/07/2004	77.5
24/10/1967	58	14/10/1986	103.5	14/08/2005	80.7
23/11/1968	92.5	21/05/1987	82	10/05/2006	76.7
16/09/1969	93.2	17/10/1988	93.2	22/07/2007	70.6
1/07/1970	75	5/09/1989	77.2	1/11/2008	140.7
13/10/1971	84.6	27/10/1990	81.6	18/08/2009	131.7
6/10/1972	84.6	22/09/1991	52.9	26/05/2010	62.2
17/05/1973	119.2	19/08/1992	67	15/10/2011	82.8
24/10/1974	68.4	15/09/1993	106.5	6/10/2012	47.4
28/10/1975	76.6	5/07/1994	42.3	1/08/2013	86
8/10/1976	54.5	20/05/1995	81.4	26/10/2014	57.5
21/08/1977	76.7	18/10/1996	71.5	4/11/2015	64.3
30/05/1978	103	10/11/1997	54.6	14/09/2016	54.5
13/11/1979	98	4/05/1998	96.7	18/06/2017	70.4

Fecha	Precipitación máxima anual (mm)
27/09/2018	107.1

El análisis de eventos extremos se realizó mediante el aplicativo HEC-SSP, de distribución gratuita por parte del cuerpo de ingenieros de EEUU. Cargando la información dentro del software permite estimar los valores de precipitación esperados con duración de 24 horas, para los diferentes periodos de retorno considerados para el proyecto.

Los datos cargados al software se muestran en la Figura 23.1

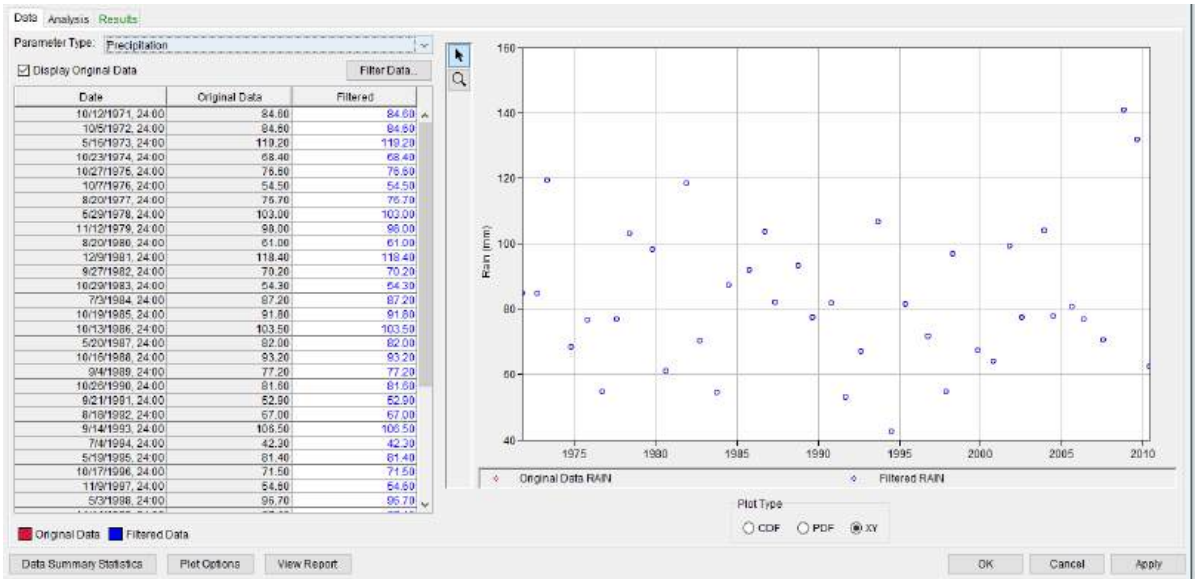


Figura 23.1 Importación de información de precipitaciones anuales para la estación Apto. Ernesto Cortíssoz en el software HEC – SSP del periodo 1971 - 2010.

A partir de estos datos y considerando que se tratan de valores de precipitación, se estimó conveniente el uso de un ajuste a una distribución tipo Gumbel mediante L-Momentos, a fin de ser consecuentes con lo realizado por el IDEAM para la definición de las curvas IDF de la estación.

El ajuste de la información se corroboró mediante un análisis de prueba de bondad de ajuste tipo Chi-cuadrado. Este ajuste arrojó un valor de 3.2, siendo de los más bajos entre las posibles distribuciones a usar, por lo que se puede decir que esta distribución es adecuada a los datos presentados.

La gráfica de ajuste de Gumbel se presenta en la Figura 23.2:

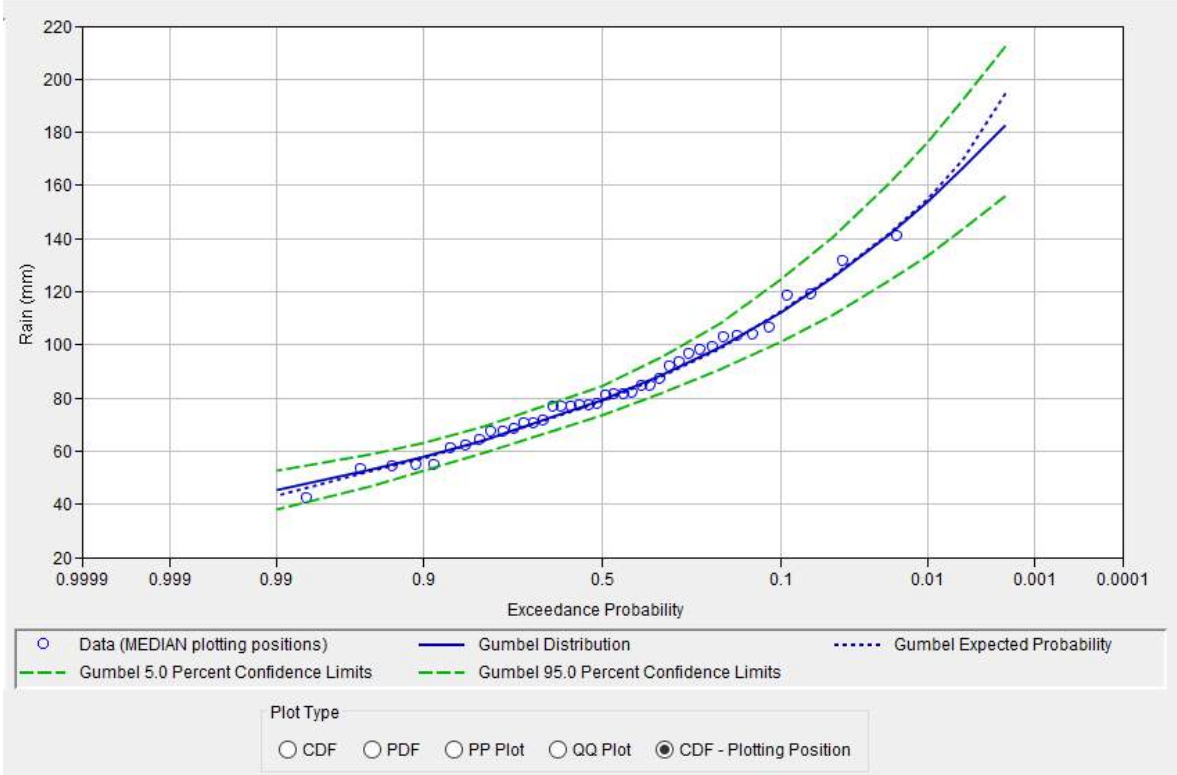


Figura 23.2 Ajuste de los valores máximos anuales de precipitación en 24 horas contra la probabilidad de excedencia utilizando una distribución tipo Gumbel.

La probabilidad de excedencia se puede correlacionar a los valores de periodo de retorno de la siguiente manera:

$$p(T_r) = \frac{1}{T_r}$$

Por lo tanto, para los periodos de retorno que se consideraron para el proyecto, se tendrían los siguientes valores de probabilidad de excedencia (Tabla 23.2):

Tabla 23.2 Periodo de retorno en años con su respectiva probabilidad de excedencia.

Tr	p_{exc}	p_{exc} (%)
2	0.500	50.00%
3	0.333	33.33%
5	0.200	20.00%
10	0.100	10.00%
25	0.040	4.00%
50	0.020	2.00%
100	0.010	1.00%
200	0.005	0.50%
500	0.002	0.20%

Teniendo en cuenta lo anterior, se procede entonces a generar la información en los valores particulares de precipitación máxima anual para los valores de probabilidad de excedencia necesarios, como se muestra en la Tabla 23.3:

Tabla 23.3 Curvas de frecuencia de precipitación máxima anual para los datos de la estación Apto. Ernesto Cortíssoz en el periodo 1961-2010.

Statistics

Statistic	Value	
	Original Data	Filtered Data
Sample Size	40	40
Min	42.300	42.300
Max	140.700	140.700
Median	79.100	79.100
Mode	76.700	76.700

Product Moments		
Statistic	Original Data	Filtered Data
Mean	82.760	82.760
Standard Dev	21.858	21.858
Skew	0.658	0.658
Kurtosis	0.370	0.370

L-Moment Ratios		
Statistic	Original Data	Filtered Data
L-Mean	82.760	82.760
L-CV	0.148	0.148
L-Skew	0.130	0.130
L-Kurtosis	0.155	0.155

Selected Distribution: Gumbel (L- Moments)

Distribution Parameters

Parameter	Value
Loctn	72,000
Scale	17,000

Goodness of Fit

Chi-Square (Test Statistic)
3.200

Frequency Curves

Percent Chance Exceedance	Median Curve	Expected Probability	Confidence Limits Rain in mm	
	Rain in mm	Rain in mm	0.05	0.95
0.2	182.58	194.47	212.48	156.03
0.5	166.33	169.85	191.91	143.39
1.0	154.01	155.07	176.57	133.80
2.0	141.64	141.68	160.74	124.20
5.0	125.14	125.70	140.38	111.28
10.0	112.39	112.59	124.50	101.26
20.0	99.10	98.79	108.18	90.56
33.33	88.53	88.21	95.45	81.86
50.0	79.03	78.76	84.56	73.68
80.0	64.11	63.91	69.14	59.33
90.0	57.77	57.41	63.08	52.43
95.0	53.11	52.44	59.07	47.09
99.0	45.49	43.44	52.58	38.15

La anterior información realizada para tamaños de muestra de 40 datos (1971 – 2010) permitió establecer los valores medios esperados de precipitación máxima anual para la zona. Como se ve en el próximo capítulo, a pesar de existir vacíos en la información de la estación Las Flores, se consideró que el comportamiento de ambas estaciones era muy similar por lo cual los ajustes que se realicen sobre las IDF de la estación Apto. Ernesto Cortíssoz producto de este análisis en el marco de la modelación por cambio climático podrán aplicarse de igual manera a los datos de la Estación Las Flores.

Sobre la interrogante del efecto de los años adicionales de registro (1961-1970 y 2011-2018), se encontró que estos registros tienen un efecto de reducción de los valores de precipitación máxima anual. Ejecutando el mismo ejercicio que se realizó para los datos del periodo 1971 – 2010, se hace la carga de la información entre 1961 – 2018, obteniendo una distribución Gumbel con valor chi-cuadrado de 4.586. Los valores de precipitación máxima anual para este periodo se presentan en la Tabla 23.4:

Tabla 23.4 Curvas de frecuencia de precipitación máxima anual para los datos de la estación Apto. Ernesto Cortíssoz en el periodo 1961-2018.

Data | Analysis | Results

Statistics

Statistic	Value	
	Original Data	Filtered Data
Sample Size	58	58
Min	42.300	42.300
Max	140.700	140.700
Median	77.350	77.350
Mode	54.500	54.500

Product Moments

Statistic	Original Data	Filtered Data
Mean	81.281	81.281
Standard Dev	21.304	21.304
Skew	0.628	0.628
Kurtosis	0.221	0.221

L-Moment Ratios

Statistic	Original Data	Filtered Data
L-Mean	81.281	81.281
L-CV	0.148	0.148
L-Skew	0.120	0.120
L-Kurtosis	0.131	0.131

Selected Distribution: Gumbel (L- Moments)

Distribution Parameters

Parameter	Value
Loctn	71,000
Scale	17,000

Goodness of Fit

Chi-Square (Test Statistic)
4.586

Frequency Curves

Percent Chance Exceedance	Median Curve Rainv3 in mm	Expected Probability Rainv3 in mm	Confidence Limits Rainv3 in mm	
			0.05	0.95
0.2	178.85	181.84	201.57	157.48
0.5	162.96	164.65	182.68	144.54
1.0	150.92	152.88	168.41	134.74
2.0	138.83	141.41	154.03	124.82
5.0	122.71	123.51	134.40	111.56
10.0	110.24	110.08	119.69	101.20
20.0	97.25	97.27	104.47	90.28
33.33	86.92	86.62	92.55	81.42
50.0	77.63	77.28	82.08	73.27
80.0	63.05	63.41	66.83	59.08
90.0	56.85	56.64	61.07	52.40
95.0	52.30	51.81	56.91	47.29
99.0	44.85	44.32	50.39	38.81

Con la muestra de 58 datos del periodo 1961 – 2018 se corrobora que la distribución arroja valores de precipitación máxima anual que en todo caso son menores a los del análisis para el periodo de 1971 – 2010. Por lo anterior, considerando la homogeneidad de la información usada, y por criterios conservadores se usarán los primeros resultados de ajuste, es decir, el ajuste para los datos del periodo de 1971 – 2010.

24 ESTIMACIÓN DE LAS CURVAS IDF REPRESENTATIVAS DE LA ZONA DE ESTUDIO, PARA LA SITUACION CLIMATICA ACTUAL, UTILIZANDO LAS CURVAS ESTIMADAS POR EL IDEAM

Para el análisis de las lluvias de corta duración se debe recurrir a la obtención de las denominadas Curvas IDF (Intensidad – Duración – Frecuencia), las cuales son de uso fundamental en los diseños de obras hidráulicas. Teniendo en cuenta los estudios elaborados por la Universidad Nacional para el IDEAM en 2016, se tienen las curvas IDF para el Aeropuerto Ernesto Cortissoz y la Estación Las Flores, las cuales se presentaron en el capítulo 1 (Figura 4.11 y Figura 4.12).

La información utilizada por el IDEAM para ambas estaciones correspondió a los periodos de 1980 a 2010 para la estación Las Flores y de 1971 a 2010 para la estación Ernesto Cortissoz. Sin embargo, teniendo en cuenta que:

- La información se presenta para tiempos de 15, 30, 60, 120 y 360 minutos, y a partir de esto se define una ecuación para la intensidad de cada tiempo de retorno mediante la ecuación $I = \frac{C_1}{(D+X_0)^{C_2}}$, donde D es la duración de la lluvia en minutos y C_1, X_0, C_2 corresponden a parámetros de la ecuación de ajuste. Un análisis exhaustivo de las ecuaciones para valores de lluvias de duraciones hasta las 6 horas demostró que el cálculo de la tabla de profundidad-duración-frecuencia (PDF) para tiempos de lluvias tenía una tendencia decreciente a medida que las lluvias tenían valores superiores a las 4 horas. Por lo anterior se encontraba por ejemplo que una lluvia de duración de 5.5 horas tenía un valor precipitado total superior a la lluvia de 6.0 horas.
- Los hietogramas de lluvias para el proyecto se pretendían discretizar a bloques de 5 minutos, para lo cual obtener intensidades de duraciones de 5 y 10 minutos corresponderían a una extrapolación mediante la ecuación de ajuste, la cual no es tan estable para extrapolar.
- Adicional a los periodos de retorno presentados en las IDF, puesto que este estudio está direccionado a la verificación de la vulnerabilidad al cambio climático, se encuentra necesario el evaluar escenarios de periodo de frecuencia mayor a los 100 años, por lo cual se debe realizar una extrapolación de los valores de intensidad para así determinar ecuaciones para tiempos de retorno de 200 y 500 años. Así las cosas, era necesario realizar análisis de IDF adicionales.

24.1 CÁLCULO DE IDF MEDIANTE LA ECUACIÓN DE WENZEL

Se procede entonces a realizar el análisis de IDF a partir de las tablas de valores, utilizando una ecuación diferente correspondiente a la ecuación de Wenzel:

$$i = \frac{c}{T_d^e + f}$$

Donde,

i, es la intensidad de precipitación en mm/hr.

T_d, es la duración de la lluvia en minutos.

c, e, f, son los parámetros de la ecuación de ajuste.

El análisis se presenta para los datos de la Estación Aeropuerto Ernesto Cortissoz, sin embargo, el procedimiento se llevó a cabo para los datos de ambas estaciones, y los resultados de ambas se presentan al final.

Inicialmente se toman los valores de la tabla del IDEAM para los tiempos de retorno existentes en las IDF presentadas. Se calcula utilizando el método de mínimos cuadrados los valores de parametrización de la ecuación de Wenzel, con restricciones de precipitación tal que no se presenten lluvias críticas de mayor duración con menor intensidad.

La Tabla 4.4 presenta los valores de intensidad y precipitación iniciales:

Tabla 24.1 Valores de intensidad y profundidades de las IDF del IDEAM para la estación Ernesto Cortissoz.

Intensidad (mm/hr)							
D (min)\Tr (años)	**2**	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
15	98.4	107.6	118.0	130.9	147.3	159.5	171.5
30	74.8	83.8	93.8	106.3	122.2	133.9	145.6
60	51.0	58.0	65.8	75.6	88.0	97.2	106.4
120	28.5	32.7	37.4	43.4	50.9	56.5	62.0
360	10.1	11.5	13.2	15.2	17.8	19.8	21.7

Profundidad (mm)							
D (min)\Tr (años)	**2**	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
15	24.6	26.9	29.5	32.7	36.8	39.9	42.9
30	37.4	41.9	46.9	53.2	61.1	67.0	72.8
60	51.0	58.0	65.8	75.6	88.0	97.2	106.4
120	57.0	65.4	74.8	86.8	101.8	113.0	124.0
360	60.6	69.0	79.2	91.2	106.8	118.8	130.2

La profundidad corresponde al total precipitado de cada lluvia crítica, calculado a partir de la intensidad y la duración de esta. Se realiza un primer acercamiento a los valores de parametrización de las IDF por la ecuación de Wenzel para la estación Aeropuerto Ernesto Cortissoz, lo cual puede verificarse en la Tabla 4.5:

Tabla 24.2 Parametrización inicial para la estación Ernesto Cortissoz.

Parámetro\Tr (años	2	3	5	10	25	50	100
c	6512.356	7680.106	9242.288	11029.587	13463.309	15448.454	17273.460
e	1.08625	1.09148	1.09853	1.10385	1.11004	1.11468	1.11767
f	46.66230	51.01391	57.23281	62.21711	68.33360	73.15316	76.37518
15	0.76408456	2.66103254	3.83607257	6.99398508	10.4299441	11.9740269	14.6690267
30	0.03979167	0.1178374	0.42161552	1.23850271	2.52127554	3.17164684	4.27243488
60	11.0069486	17.9566562	20.0698325	27.7844393	34.1318865	36.1988992	41.4390562
120	0.04644088	0.78210585	0.95555668	4.28579801	6.75171319	7.16367398	8.88486748
360	1.8687E-15	5.5464E-16	2.413E-17	3.4237E-11	4.8314E-16	8.6188E-13	4.6672E-11
Sum.Dif.Cuad	11.8572657	21.517632	25.2830773	40.3027251	53.8348193	58.5082469	69.2653852

Los valores de sumas de diferencias cuadradas indican valores que podrían ser más bajos, los cuales se presentan particularmente cuando el ajuste permite valores incongruentes de precipitación. Las restricciones del ajuste si bien arrojan valores más altos de suma de diferencias cuadradas, garantizan un comportamiento más adecuado de la ecuación para precipitaciones mayores, lo que no se presentaba en los valores originales de las IDF del IDEAM. Los valores de intensidad y profundidad de lámina calculados a partir de esta parametrización se presentan en la Tabla 4.6.

Tabla 24.3 Intensidades y profundidades calculadas a partir de la parametrización inicial de la ecuación de Wenzel para la estación Aeropuerto Ernesto Cortissoz.

Intensidad calculada (interpolación y extrapolación de duraciones de lluvia) mm/hr							
D(min)\Tr (años)	**2**	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
5	124.3	135.2	146.5	161.9	181.2	195.1	209.6
10	110.6	121.2	132.4	147.2	165.8	179.3	193.0
15	99.3	109.4	120.3	134.4	152.1	165.0	178.1
30	74.9	83.5	93.2	105.1	120.3	131.5	142.6
60	49.3	55.5	62.9	71.6	82.9	91.4	99.6
120	28.6	32.4	37.0	42.5	49.6	55.0	60.2
180	19.8	22.6	25.9	29.7	34.8	38.7	42.3
240	15.1	17.2	19.7	22.7	26.6	29.5	32.4
300	12.1	13.8	15.8	18.2	21.4	23.8	26.0
360	10.1	11.5	13.2	15.2	17.8	19.8	21.7

Profundidad calculada (interpolación y extrapolación de duraciones de lluvia) mm							
D(min)\Tr (años)	**2**	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
5	10.4	11.3	12.2	13.5	15.1	16.3	17.5
10	18.4	20.2	22.1	24.5	27.6	29.9	32.2
15	24.8	27.3	30.1	33.6	38.0	41.3	44.5
30	37.5	41.8	46.6	52.6	60.1	65.8	71.3
60	49.3	55.5	62.9	71.6	82.9	91.4	99.6
120	57.1	64.8	74.1	85.0	99.2	110.0	120.3
180	59.5	67.7	77.6	89.2	104.3	116.0	127.0
240	60.3	68.7	78.8	90.7	106.2	118.1	129.4
300	60.6	69.0	79.2	91.2	106.8	118.8	130.2
360	60.6	69.0	79.2	91.2	106.8	118.8	130.2

Como se puede ver en la Tabla 4.6, las restricciones generaron que los valores de precipitación total para las lluvias de 5 horas (300 min.) y 6 horas (300 min.) fueran iguales. Sin las restricciones los valores de precipitación para la lluvia crítica de 5 horas eran superiores a los de las 6 horas.

Con la información anterior se procede a generar la extrapolación de valores para obtener las intensidades de lluvias para periodos de 200 y 500 años de retorno. Para cada una de las duraciones que se calcularon mediante la ecuación se grafican las intensidades contra el periodo de retorno (en escala logarítmica) y se realizó la regresión logarítmica [y=ln(x)+b] para cada duración, obteniendo ajustes muy buenos con valores de $r^2 \geq 0.999$ en todos los casos.

La gráfica de presentación de los valores de intensidad vs. Periodo de retorno para cada duración de lluvia se presenta en la Figura 4.13.

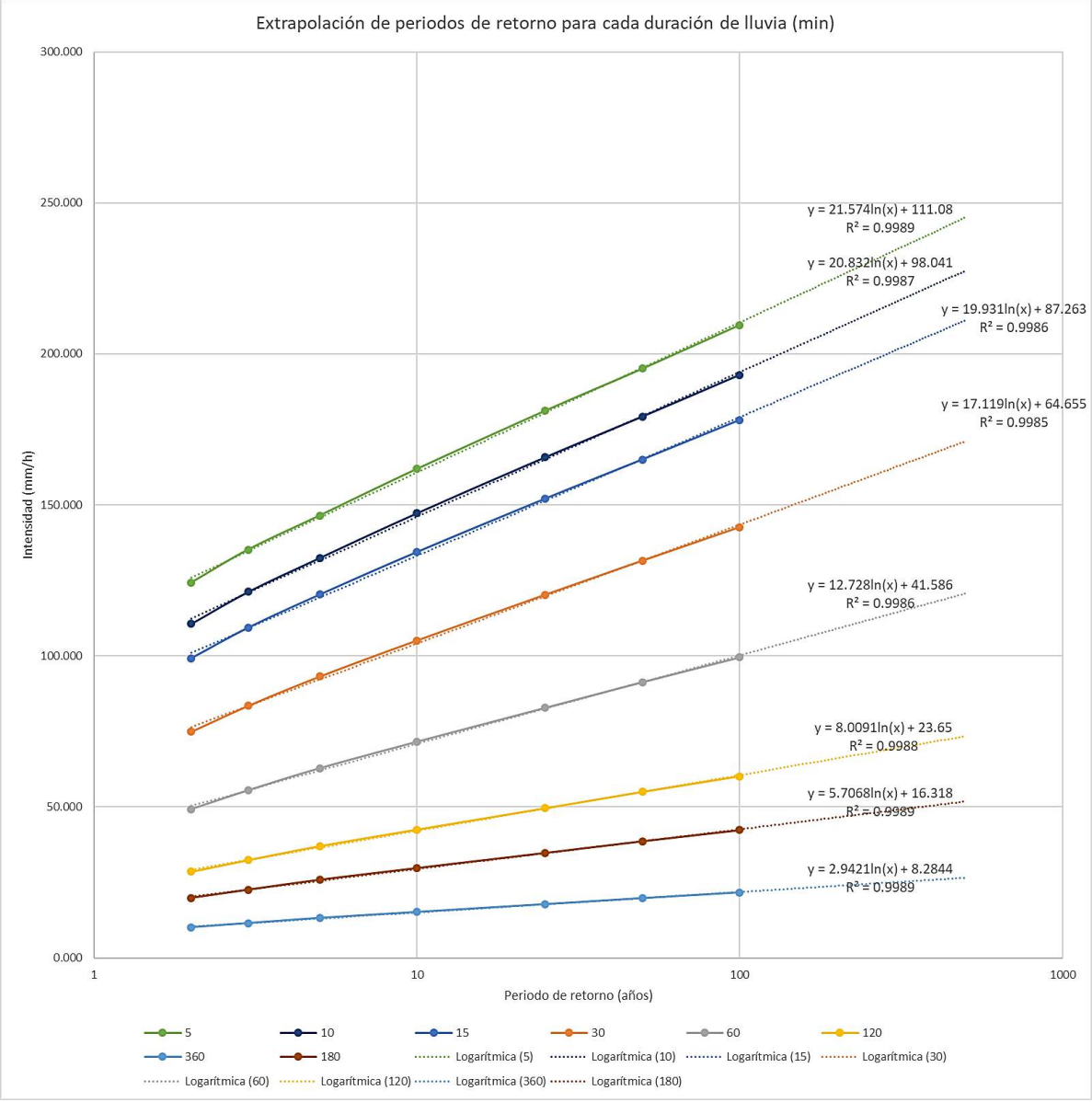


Figura 24.1 Extrapolación de periodos de retorno para la estación Aeropuerto Ernesto Cortissoz.

Los valores de extrapolación obtenidos a partir de las regresiones logarítmicas anteriores se presentan en la Tabla 4.7.

A partir de estos valores, en la Tabla 4.8 se exhiben nuevamente los valores de intensidad y duración para la estación, incluyendo ahora duraciones extrapoladas e interpoladas y los tiempos de retorno interpolados adicionales.

Nuevamente se aplica el ajuste a la ecuación de Wenzel mediante mínimos cuadrados, y aplicando restricciones a las profundidades con el objetivo que los ajustes den ecuaciones a todas luces congruentes con las lluvias.

El resultado final y los valores de parametrización que se usarán para el proyecto se presentan en la Tabla 4.9.

Tabla 24.4 Cálculo de valores de intensidad para periodos de retorno de 200 y 500 años para la estación Aeropuerto Ernesto Cortissoz

Tr (años)\D (min)	5	10	15	30	60	120	180	360
2	124.265	110.643	99.260	74.949	49.308	28.561	19.832	10.100
3	135.196	121.216	109.355	83.512	55.542	32.411	22.557	11.500
5	146.489	132.450	120.311	93.191	62.852	37.034	25.854	13.200
10	161.898	147.221	134.362	105.117	71.615	42.502	29.739	15.200
25	181.196	165.769	152.057	120.260	82.859	49.577	34.781	17.800
50	195.138	179.268	165.019	131.515	91.352	54.988	38.653	19.800
100	209.584	193.027	178.068	142.590	99.551	60.152	42.336	21.700
200	225.379	208.415	192.864	155.356	109.023	66.084	46.554	23.872
500	245.147	227.503	211.127	171.042	120.686	73.423	51.783	26.568

Tabla 24.5 Valores de intensidad y profundidades para la estación Ernesto Cortissoz, incluyendo valores extrapolados e interpolados de duraciones y tiempos de retorno.

Intensidad con extrapolación de periodos de retorno (mm/hr)									
Tr (años)\D (min)	**2**	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**	**200**	**500**
5	124.3	135.2	146.5	161.9	181.2	195.1	209.6	225.4	245.1
10	110.6	121.2	132.4	147.2	165.8	179.3	193.0	208.4	227.5
15	99.3	109.4	120.3	134.4	152.1	165.0	178.1	192.9	211.1
30	74.9	83.5	93.2	105.1	120.3	131.5	142.6	155.4	171.0
60	49.3	55.5	62.9	71.6	82.9	91.4	99.6	109.0	120.7
120	28.6	32.4	37.0	42.5	49.6	55.0	60.2	66.1	73.4
180	19.8	22.6	25.9	29.7	34.8	38.7	42.3	46.6	51.8
360	10.1	11.5	13.2	15.2	17.8	19.8	21.7	23.9	26.6

Profundidad con extrapolación de periodos de retorno (mm)									
Tr (años)\D (min)	**2**	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**	**200**	**500**
5	10.4	11.3	12.2	13.5	15.1	16.3	17.5	18.8	20.4
10	18.4	20.2	22.1	24.5	27.6	29.9	32.2	34.7	37.9
15	24.8	27.3	30.1	33.6	38.0	41.3	44.5	48.2	52.8
30	37.5	41.8	46.6	52.6	60.1	65.8	71.3	77.7	85.5
60	49.3	55.5	62.9	71.6	82.9	91.4	99.6	109.0	120.7
120	57.1	64.8	74.1	85.0	99.2	110.0	120.3	132.2	146.8
180	59.5	67.7	77.6	89.2	104.3	116.0	127.0	139.7	155.4
360	60.6	69.0	79.2	91.2	106.8	118.8	130.2	143.2	159.4

Tabla 24.6 Parametrización definitiva para la estación Ernesto Cortissoz usando la ecuación de Wenzel.

Parámetro\Tr	2	3	5	10	25	50	100	200	500
c	6241.207	7339.804	8799.271	10470.506	12737.517	14578.204	16273.304	18257.112	20746.991
e	1.07914	1.08390	1.09031	1.09515	1.10077	1.10497	1.10769	1.11059	1.11367
f	44.35715	48.35756	54.04577	58.58177	64.12198	68.46830	71.36498	74.54322	78.01958
5	0.1420198	0.1501392	0.16069017	0.16837621	0.17700425	0.18322445	0.18713413	0.36872511	0.52272618
10	0.00876091	0.0107453	0.01365758	0.01602235	0.01892874	0.02119555	0.0226961	0.03208644	0.04039963
15	0.01061438	0.00930755	0.00762508	0.00643441	0.00515591	0.00428513	0.00376388	0.01531221	0.02592769
30	0.17562123	0.18100956	0.18704884	0.19074499	0.19416562	0.19617605	0.19723232	0.37519847	0.52041105
60	0.33847877	0.36392862	0.39753034	0.42231837	0.4503815	0.47085942	0.48380449	0.73061747	0.92606809
120	0.25670136	0.28318395	0.32002158	0.34866173	0.3827163	0.40872443	0.42570789	0.53264863	0.61816602
180	0.1312949	0.14626411	0.16746228	0.18424058	0.20452593	0.22025944	0.23064635	0.26450059	0.29313041
360	3.4716E-18	1.1234E-18	9.5752E-19	3.713E-18	1.1369E-17	2.2898E-18	3.9421E-19	3.6615E-13	8.6931E-20
Sum.Dif.Cuad	1.06349135	1.1445783	1.25403587	1.33679864	1.43287825	1.50472448	1.55098516	2.31908892	2.94682907

Aplicando un proceso similar a los valores de la estación Las Flores, se obtienen los siguientes parámetros de ajuste (Tabla 24.7):

Tabla 24.7 Parametrización definitiva para la estación Las Flores usando la ecuación de Wenzel.

Parámetro\Tr	2	3	5	10	25	50	100	200	500
c	7798.480	8696.017	10061.917	11497.397	13313.988	14832.883	16466.456	18128.135	20293.290
e	1.09188	1.08749	1.09081	1.08919	1.08745	1.08903	1.09148	1.09149	1.09266
f	59.87746	61.33144	65.48012	67.75147	70.06989	72.41516	75.04594	76.73020	78.96071
5	2.9308E-07	7.0606E-06	2.8617E-07	2.1478E-05	4.2413E-07	1.9737E-07	0.00012622	0.00024259	0.00066421
10	5.6028E-07	1.1571E-06	5.7527E-07	7.5959E-06	3.2402E-07	1.679E-06	6.6755E-05	2.3442E-06	4.3042E-06
15	2.7795E-06	7.6301E-09	2.8657E-06	1.7778E-06	2.5021E-07	3.6426E-06	3.3278E-05	7.251E-05	0.00021424
30	1.0142E-05	4.559E-06	1.0729E-05	1.6955E-06	1.2211E-07	8.6153E-06	1.1205E-06	0.00033815	0.00093149
60	1.549E-05	1.1853E-05	1.6943E-05	1.0468E-05	3.5005E-08	1.1725E-05	8.5343E-06	3.739E-05	8.4188E-05
120	1.1113E-05	1.0449E-05	1.2532E-05	1.163E-05	4.0117E-09	8.2294E-06	1.7975E-05	0.00021337	0.00065113
180	5.6166E-06	5.6476E-06	6.4216E-06	6.7377E-06	4.617E-10	4.159E-06	1.2055E-05	0.00025378	0.00073542
360	2.783E-24	2.0777E-16	1.2311E-18	1.8002E-17	6.708E-19	4.786E-20	1.773E-16	0.00021889	0.00068928
Sum.Dif.Cuad	4.5995E-05	4.0734E-05	5.0352E-05	6.1383E-05	1.1599E-06	3.8248E-05	0.00026594	0.00137902	0.00397427

A partir de los parámetros de ajuste es posible determinar curvas IDF y PDF para ambas estaciones, como se muestra de la Figura 4.14 a la Figura 4.17.

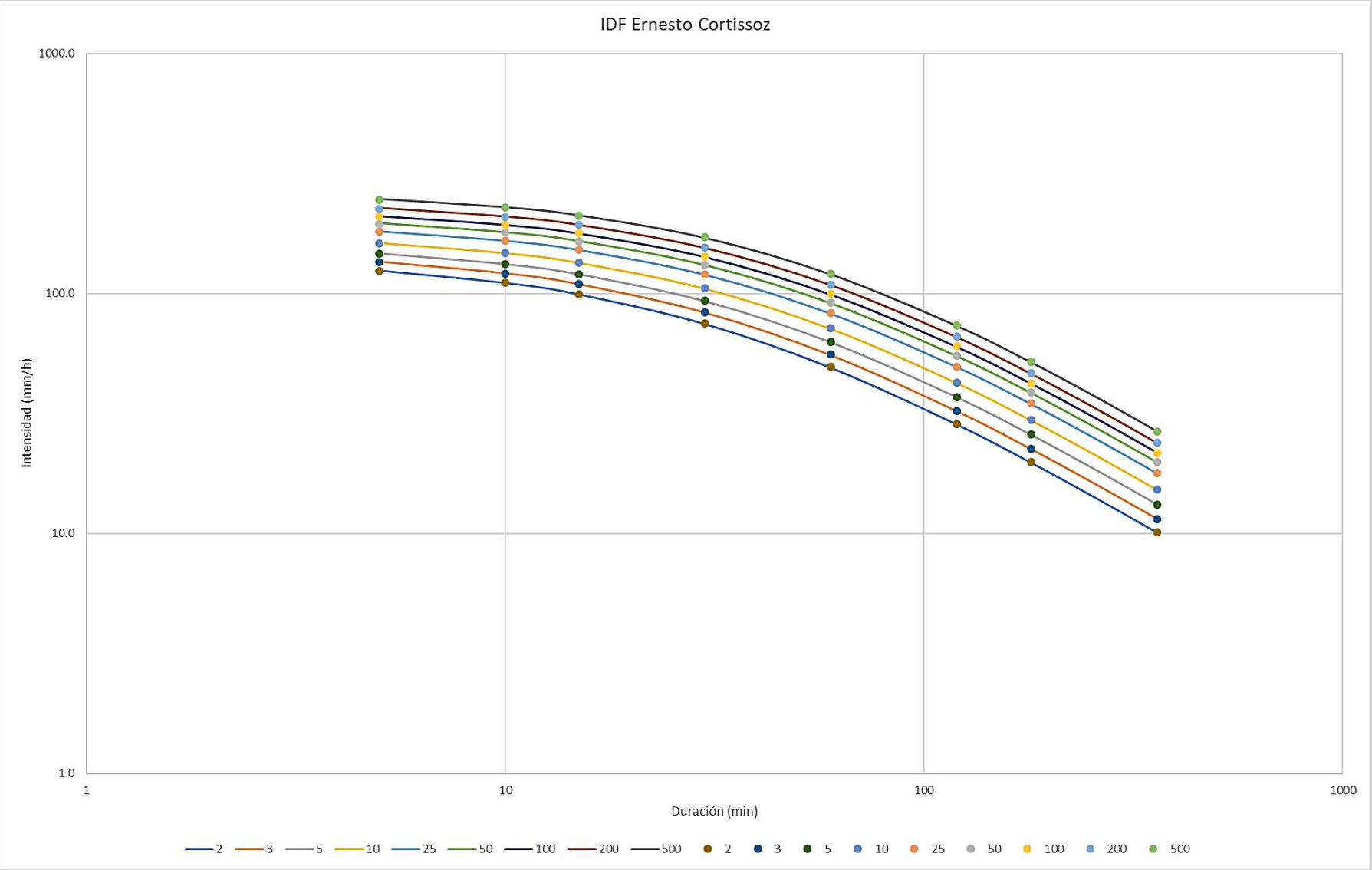


Figura 24.2 Curvas IDF para la estación Aeropuerto Ernesto Cortissoz a partir de los parámetros de ajuste.

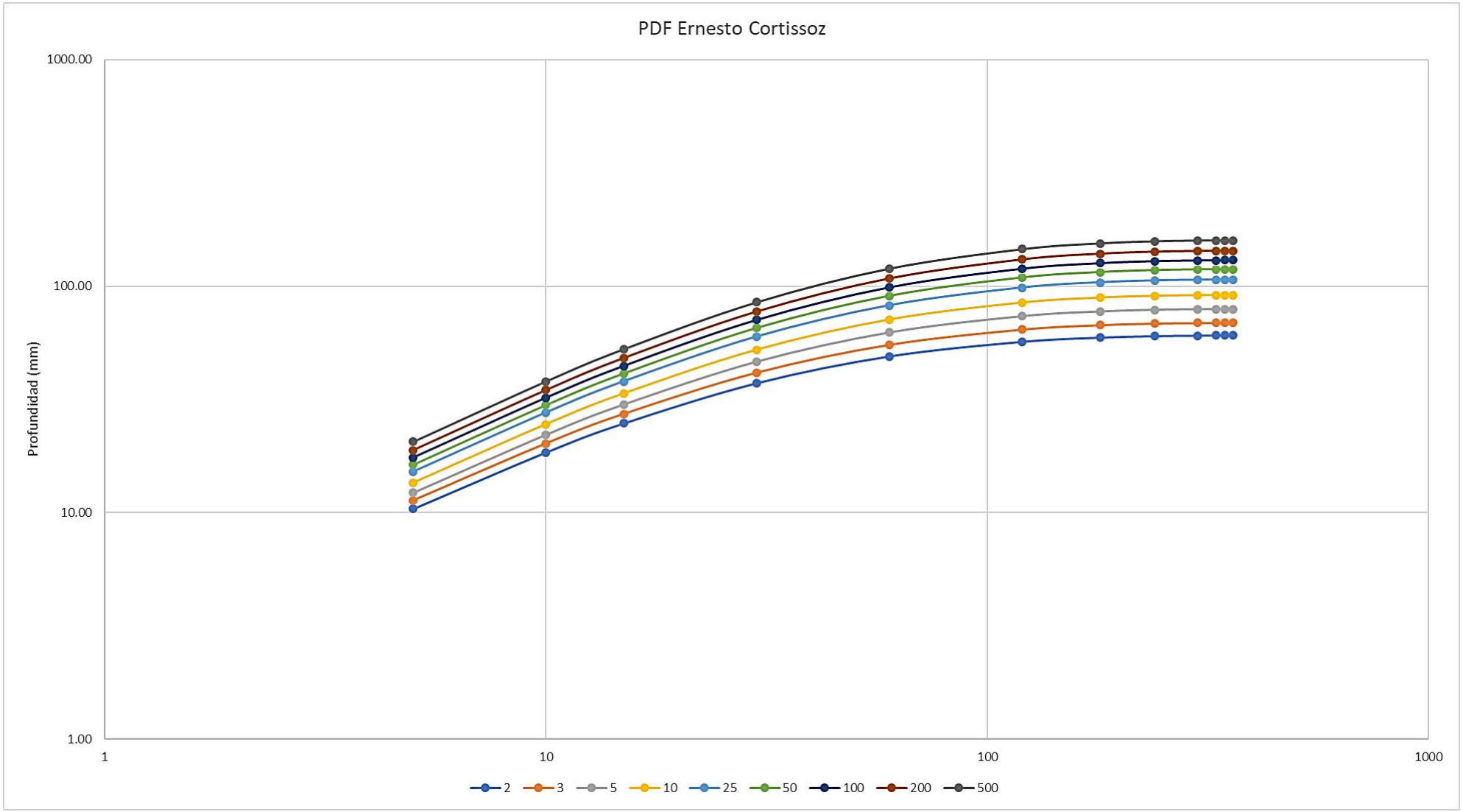


Figura 24.3 Curvas PDF para la estación Aeropuerto Ernesto Cortissoz a partir de los parámetros de ajuste.

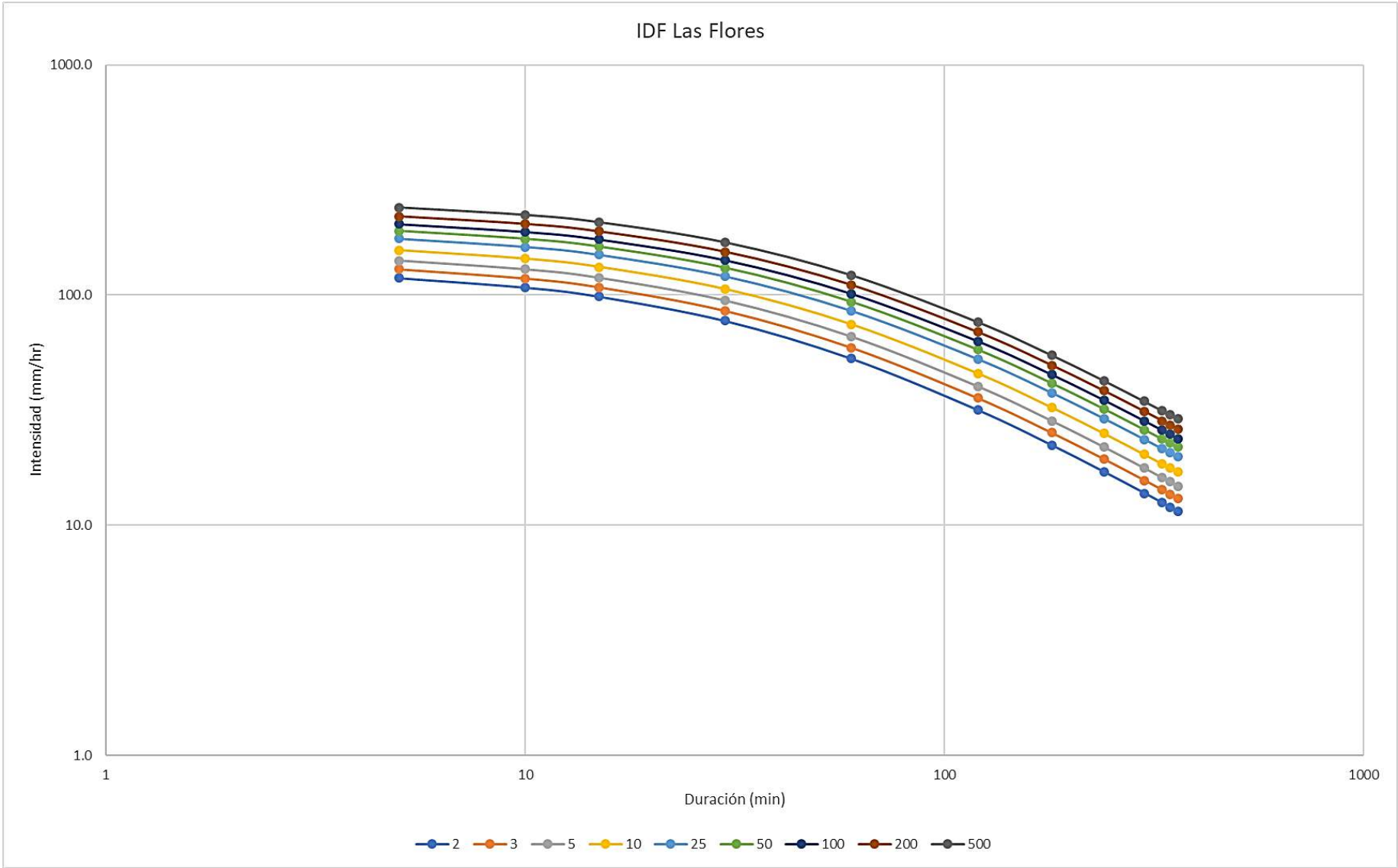


Figura 24.4 Curvas IDF para la estación Las Flores a partir de los parámetros de ajuste.

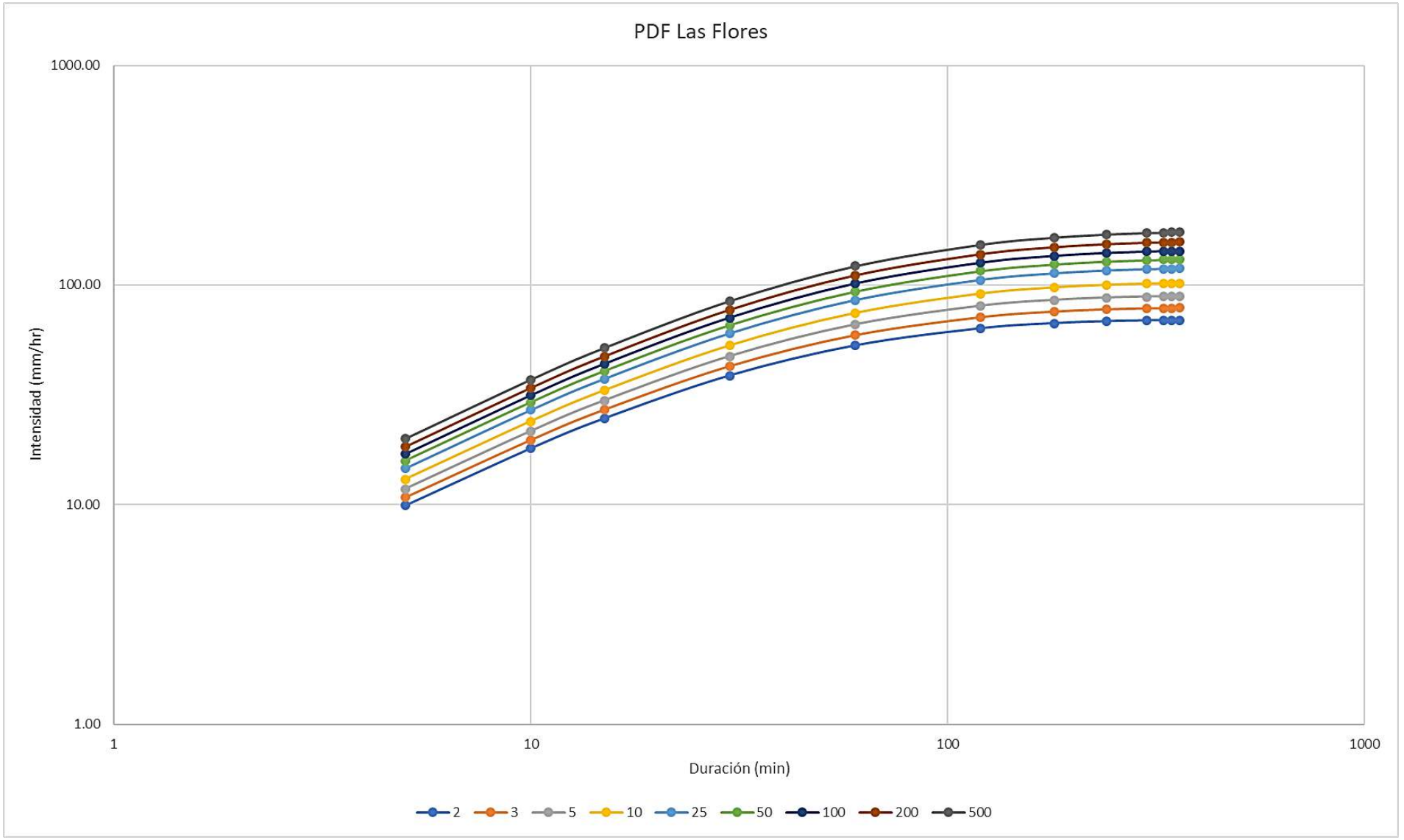


Figura 24.5 Curvas PDF para la estación Las Flores a partir de los parámetros de ajuste.

24.2 HIETOGRAMAS DE DISEÑO

Con la parametrización definitiva para las estaciones se procede a diseñar los hietogramas de diseño. Para esto se utilizará no sólo la información de IDFs calculadas, sino que además se hará uso del método de los Bloques Alternos (Chow et al., 1994). Este método establece un procedimiento mediante el cual es posible generar un hietograma de una tormenta de diseño que permita incorporar lluvias críticas de múltiples duraciones para un periodo de retorno dado.

Inicialmente es necesario definir la duración máxima de lluvia y la duración de cada bloque de lluvia. Se estima que, al ser una cuenca urbana, un tamaño de bloque adecuado sería de 5 minutos, que podría ser suficiente para que se generen lluvias críticas capaces de inundar cuencas de periodos de concentración pequeños, y por otro una duración de hietograma de 6 horas, el cual también es recomendado para una zona de tejido urbano. Las intensidades calculadas para la estación Ernesto Cortissoz se presentan en la Tabla 4.11.

Tabla 24.8 Intensidades de precipitación para lluvias con duraciones incrementales de 5 minutos para la estación Ernesto Cortissoz.

Intensidades lluvias críticas (mm/hr)									
D (min)	**i-(2años)**	**i-(3años)**	**i-(5años)**	**i-(10años)**	**i-(25años)**	**i-(50años)**	**i-(100años)**	**i-(200años)**	**i-(500años)**
5	124.73	135.72	147.08	162.56	181.96	195.97	210.49	226.75	246.92
10	110.75	121.34	132.60	147.41	166.00	179.53	193.32	208.79	227.96
15	99.16	109.25	120.21	134.25	151.95	164.91	177.96	192.63	210.79
20	89.53	99.09	109.64	122.93	139.71	152.08	164.41	178.29	195.48
25	81.47	90.49	100.59	113.15	129.05	140.83	152.48	165.62	181.89
30	74.64	83.16	92.79	104.66	119.73	130.93	141.96	154.40	169.81
35	68.79	76.84	86.02	97.25	111.54	122.20	132.64	144.44	159.04
40	63.74	71.35	80.10	90.73	104.29	114.44	124.34	135.55	149.41
45	59.34	66.55	74.88	84.97	97.86	107.53	116.93	127.58	140.77
50	55.48	62.32	70.26	79.85	92.11	101.34	110.28	120.42	132.98
55	52.06	58.56	66.15	75.27	86.95	95.76	104.29	113.96	125.93
60	49.02	55.21	62.46	71.15	82.30	90.73	98.86	108.09	119.52
65	46.30	52.20	59.13	67.43	78.09	86.15	93.93	102.75	113.69
70	43.85	49.48	56.12	64.06	74.26	81.99	89.43	97.88	108.35
75	41.63	47.02	53.39	60.99	70.76	78.18	85.31	93.41	103.46
80	39.62	44.78	50.90	58.18	67.56	74.69	81.53	89.31	98.95

Intensidades lluvias críticas (mm/hr)									
D (min)	**i-(2años)**	**i-(3años)**	**i-(5años)**	**i-(10años)**	**i-(25años)**	**i-(50años)**	**i-(100años)**	**i-(200años)**	**i-(500años)**
85	37.79	42.74	48.61	55.61	64.62	71.47	78.04	85.53	94.79
90	36.11	40.86	46.52	53.24	61.91	68.50	74.83	82.03	90.95
95	34.56	39.13	44.58	51.05	59.40	65.76	71.85	78.78	87.38
100	33.14	37.54	42.79	49.03	57.07	63.21	69.08	75.77	84.06
105	31.83	36.07	41.14	47.15	54.92	60.84	66.51	72.97	80.97
110	30.61	34.70	39.60	45.40	52.90	58.63	64.11	70.35	78.08
115	29.47	33.43	38.16	43.77	51.03	56.57	61.86	67.90	75.38
120	28.42	32.24	36.82	42.25	49.27	54.64	59.76	65.60	72.85
125	27.43	31.13	35.57	40.83	47.62	52.82	57.79	63.45	70.47
130	26.51	30.09	34.40	39.49	46.08	51.12	55.93	61.42	68.23
135	25.64	29.12	33.29	38.23	44.63	49.52	54.19	59.51	66.12
140	24.83	28.20	32.26	37.05	43.26	48.01	52.54	57.71	64.13
145	24.07	27.34	31.28	35.93	41.96	46.58	50.99	56.01	62.24
150	23.34	26.52	30.35	34.88	40.74	45.23	49.51	54.40	60.46
155	22.66	25.75	29.48	33.88	39.58	43.96	48.12	52.88	58.77
160	22.02	25.03	28.66	32.94	38.49	42.75	46.80	51.43	57.17
165	21.41	24.34	27.87	32.04	37.45	41.60	45.54	50.05	55.65
170	20.83	23.68	27.13	31.19	36.46	40.50	44.35	48.75	54.20
175	20.28	23.06	26.42	30.38	35.52	39.46	43.21	47.50	52.82
180	19.76	22.47	25.75	29.61	34.62	38.47	42.13	46.31	51.50
185	19.26	21.91	25.11	28.88	33.77	37.53	41.10	45.18	50.25
190	18.79	21.37	24.50	28.18	32.96	36.62	40.11	44.10	49.05
195	18.34	20.86	23.91	27.51	32.18	35.76	39.17	43.07	47.90
200	17.91	20.37	23.35	26.87	31.43	34.94	38.27	42.08	46.80
205	17.49	19.90	22.82	26.26	30.72	34.15	37.41	41.13	45.75
210	17.10	19.46	22.31	25.67	30.04	33.39	36.58	40.22	44.75
215	16.72	19.03	21.82	25.11	29.38	32.67	35.79	39.35	43.78
220	16.36	18.62	21.35	24.57	28.75	31.97	35.02	38.52	42.85
225	16.01	18.22	20.90	24.06	28.15	31.30	34.29	37.71	41.96

Intensidades lluvias críticas (mm/hr)									
D (min)	**i-(2años)**	**i-(3años)**	**i-(5años)**	**i-(10años)**	**i-(25años)**	**i-(50años)**	**i-(100años)**	**i-(200años)**	**i-(500años)**
230	15.68	17.84	20.47	23.56	27.57	30.66	33.59	36.94	41.10
235	15.36	17.48	20.05	23.08	27.02	30.04	32.91	36.20	40.28
240	15.05	17.13	19.65	22.62	26.48	29.44	32.26	35.48	39.48
245	14.75	16.79	19.27	22.18	25.96	28.87	31.63	34.79	38.71
250	14.47	16.47	18.90	21.75	25.46	28.32	31.03	34.13	37.98
255	14.19	16.16	18.54	21.34	24.98	27.78	30.45	33.49	37.26
260	13.93	15.86	18.19	20.95	24.52	27.27	29.88	32.87	36.58
265	13.67	15.56	17.86	20.56	24.07	26.77	29.34	32.27	35.91
270	13.43	15.28	17.54	20.19	23.64	26.29	28.81	31.70	35.27
275	13.19	15.01	17.23	19.84	23.22	25.83	28.31	31.14	34.65
280	12.96	14.75	16.93	19.49	22.82	25.38	27.82	30.60	34.05
285	12.73	14.50	16.64	19.16	22.43	24.95	27.34	30.08	33.47
290	12.52	14.25	16.36	18.83	22.05	24.53	26.88	29.57	32.91
295	12.31	14.01	16.08	18.52	21.69	24.12	26.43	29.08	32.36
300	12.11	13.78	15.82	18.22	21.33	23.73	26.00	28.60	31.83
305	11.91	13.56	15.57	17.92	20.99	23.34	25.58	28.14	31.32
310	11.72	13.35	15.32	17.64	20.65	22.97	25.18	27.70	30.82
315	11.54	13.14	15.08	17.36	20.33	22.61	24.78	27.26	30.34
320	11.36	12.93	14.84	17.09	20.02	22.26	24.40	26.84	29.87
325	11.18	12.74	14.62	16.83	19.71	21.93	24.03	26.43	29.42
330	11.02	12.54	14.40	16.58	19.41	21.60	23.67	26.04	28.98
335	10.85	12.36	14.18	16.33	19.13	21.28	23.32	25.65	28.55
340	10.69	12.18	13.98	16.09	18.85	20.96	22.98	25.28	28.13
345	10.54	12.00	13.77	15.86	18.57	20.66	22.64	24.91	27.72
350	10.39	11.83	13.58	15.63	18.31	20.37	22.32	24.56	27.33
355	10.24	11.66	13.39	15.41	18.05	20.08	22.01	24.21	26.94
360	10.10	11.50	13.20	15.20	17.80	19.80	21.70	23.87	26.57

De forma análoga al análisis de las IDF, se presentarán los resultados intermedios para la estación Ernesto Cortissoz, pero ya los hietogramas finales para ambas estaciones. Con los valores de intensidad y teniendo las duraciones de cada lluvia incremental, se procede a calcular la profundidad de la lámina de agua para cada precipitación. Los valores de profundidades se presentan en la Tabla 4.12.

Tabla 24.9 Profundidades de precipitación para lluvias con duraciones incrementales de 5 minutos para la estación Ernesto Cortissoz.

Profundidades acumuladas de lluvias críticas (mm)									
D (min)	**P-(2años)**	**P-(3años)**	**P-(5años)**	**P-(10años)**	**P-(25años)**	**P-(50años)**	**P-(100años)**	**P-(200años)**	**P-(500años)**
5	10.39	11.31	12.26	13.55	15.16	16.33	17.54	18.90	20.58
10	18.46	20.22	22.10	24.57	27.67	29.92	32.22	34.80	37.99
15	24.79	27.31	30.05	33.56	37.99	41.23	44.49	48.16	52.70
20	29.84	33.03	36.55	40.98	46.57	50.69	54.80	59.43	65.16
25	33.94	37.71	41.91	47.14	53.77	58.68	63.53	69.01	75.79
30	37.32	41.58	46.39	52.33	59.86	65.47	70.98	77.20	84.90
35	40.13	44.82	50.18	56.73	65.06	71.28	77.37	84.25	92.77
40	42.49	47.57	53.40	60.49	69.53	76.29	82.90	90.36	99.61
45	44.51	49.91	56.16	63.73	73.39	80.65	87.70	95.69	105.58
50	46.23	51.93	58.55	66.54	76.76	84.45	91.90	100.35	110.81
55	47.72	53.68	60.63	69.00	79.71	87.78	95.60	104.46	115.43
60	49.02	55.21	62.46	71.15	82.30	90.73	98.86	108.09	119.52
65	50.16	56.55	64.06	73.05	84.60	93.33	101.75	111.32	123.16
70	51.16	57.73	65.48	74.74	86.64	95.65	104.33	114.19	126.41
75	52.04	58.78	66.74	76.23	88.45	97.72	106.64	116.77	129.32
80	52.83	59.71	67.86	77.57	90.08	99.58	108.70	119.08	131.94
85	53.53	60.54	68.87	78.78	91.54	101.25	110.56	121.16	134.29
90	54.16	61.29	69.77	79.86	92.86	102.76	112.24	123.04	136.42
95	54.72	61.96	70.59	80.83	94.05	104.12	113.76	124.74	138.35
100	55.23	62.57	71.32	81.71	95.12	105.35	115.14	126.28	140.10
105	55.69	63.12	71.99	82.51	96.10	106.47	116.39	127.69	141.70
110	56.11	63.61	72.60	83.24	96.99	107.49	117.53	128.97	143.15
115	56.49	64.06	73.15	83.90	97.80	108.42	118.57	130.14	144.48
120	56.83	64.48	73.65	84.50	98.54	109.27	119.52	131.20	145.69
125	57.15	64.85	74.11	85.05	99.22	110.05	120.39	132.18	146.80
130	57.43	65.20	74.53	85.56	99.84	110.76	121.19	133.08	147.83
135	57.70	65.51	74.91	86.02	100.41	111.42	121.92	133.90	148.76
140	57.94	65.80	75.27	86.45	100.93	112.02	122.59	134.66	149.63

Profundidades acumuladas de lluvias críticas (mm)									
D (min)	**P-(2años)**	**P-(3años)**	**P-(5años)**	**P-(10años)**	**P-(25años)**	**P-(50años)**	**P-(100años)**	**P-(200años)**	**P-(500años)**
145	58.16	66.06	75.59	86.84	101.41	112.57	123.21	135.36	150.42
150	58.36	66.31	75.89	87.19	101.85	113.08	123.79	136.00	151.15
155	58.55	66.53	76.16	87.53	102.26	113.55	124.31	136.60	151.83
160	58.72	66.74	76.41	87.83	102.64	113.99	124.80	137.14	152.45
165	58.88	66.93	76.65	88.11	102.98	114.39	125.25	137.65	153.03
170	59.02	67.10	76.86	88.37	103.30	114.76	125.66	138.11	153.56
175	59.16	67.26	77.06	88.61	103.60	115.10	126.04	138.55	154.05
180	59.28	67.41	77.24	88.83	103.87	115.41	126.40	138.94	154.51
185	59.40	67.55	77.41	89.04	104.12	115.71	126.73	139.31	154.93
190	59.50	67.68	77.57	89.23	104.36	115.98	127.03	139.66	155.32
195	59.60	67.80	77.72	89.40	104.57	116.23	127.31	139.97	155.68
200	59.69	67.90	77.85	89.56	104.77	116.46	127.57	140.26	156.01
205	59.77	68.00	77.97	89.71	104.96	116.67	127.81	140.53	156.32
210	59.85	68.10	78.09	89.85	105.13	116.87	128.03	140.79	156.61
215	59.92	68.18	78.19	89.98	105.29	117.05	128.24	141.02	156.87
220	59.99	68.26	78.29	90.10	105.43	117.22	128.42	141.23	157.12
225	60.05	68.34	78.38	90.21	105.57	117.38	128.60	141.43	157.34
230	60.10	68.40	78.46	90.31	105.69	117.52	128.76	141.61	157.55
235	60.16	68.47	78.54	90.40	105.81	117.65	128.91	141.78	157.75
240	60.20	68.52	78.61	90.49	105.91	117.78	129.05	141.93	157.92
245	60.25	68.57	78.68	90.56	106.01	117.89	129.17	142.08	158.09
250	60.29	68.62	78.73	90.64	106.10	117.99	129.29	142.21	158.24
255	60.32	68.67	78.79	90.70	106.18	118.09	129.40	142.33	158.37
260	60.36	68.71	78.84	90.76	106.26	118.17	129.50	142.44	158.50
265	60.39	68.75	78.89	90.82	106.33	118.25	129.58	142.54	158.61
270	60.42	68.78	78.93	90.87	106.39	118.32	129.67	142.63	158.72
275	60.44	68.81	78.96	90.91	106.45	118.39	129.74	142.71	158.81
280	60.47	68.84	79.00	90.96	106.50	118.45	129.81	142.79	158.90
285	60.49	68.86	79.03	90.99	106.54	118.50	129.87	142.86	158.98
290	60.50	68.88	79.06	91.03	106.59	118.55	129.92	142.92	159.05

Profundidades acumuladas de lluvias críticas (mm)									
D (min)	**P-(2años)**	**P-(3años)**	**P-(5años)**	**P-(10años)**	**P-(25años)**	**P-(50años)**	**P-(100años)**	**P-(200años)**	**P-(500años)**
295	60.52	68.90	79.08	91.06	106.62	118.60	129.97	142.97	159.11
300	60.54	68.92	79.10	91.08	106.66	118.63	130.01	143.02	159.17
305	60.55	68.94	79.12	91.11	106.69	118.67	130.05	143.07	159.22
310	60.56	68.95	79.14	91.13	106.71	118.70	130.08	143.10	159.26
315	60.57	68.96	79.16	91.15	106.73	118.72	130.11	143.13	159.30
320	60.58	68.97	79.17	91.16	106.75	118.74	130.14	143.16	159.33
325	60.58	68.98	79.18	91.17	106.77	118.76	130.16	143.18	159.35
330	60.59	68.99	79.19	91.18	106.78	118.78	130.17	143.20	159.37
335	60.59	68.99	79.19	91.19	106.79	118.79	130.18	143.22	159.39
340	60.60	69.00	79.20	91.20	106.80	118.79	130.19	143.23	159.40
345	60.60	69.00	79.20	91.20	106.80	118.80	130.20	143.23	159.41
350	60.60	69.00	79.20	91.20	106.80	118.80	130.20	143.24	159.41
355	60.60	69.00	79.20	91.20	106.80	118.80	130.20	143.24	159.41
360	60.60	69.00	79.20	91.20	106.80	118.80	130.20	143.24	159.41

Siguiendo con el procedimiento de los bloques alternos, se procede a calcular los valores diferenciales de precipitación ($P_i - P_{i-1}$), para cada bloque.

Tabla 24.10 Profundidades diferenciales de precipitación para lluvias con duraciones incrementales de 5 minutos para la estación Ernesto Cortissoz.

Profundidad diferencial - bloques (mm)									
D (min)	**P-(2años)**	**P-(3años)**	**P-(5años)**	**P-(10años)**	**P-(25años)**	**P-(50años)**	**P-(100años)**	**P-(200años)**	**P-(500años)**
5	10.39	11.31	12.26	13.55	15.16	16.33	17.54	18.90	20.58
10	8.07	8.91	9.84	11.02	12.51	13.59	14.68	15.90	17.41
15	6.33	7.09	7.95	8.99	10.32	11.31	12.27	13.36	14.71
20	5.05	5.72	6.50	7.42	8.58	9.46	10.31	11.27	12.46
25	4.10	4.68	5.36	6.16	7.20	7.99	8.73	9.58	10.63
30	3.38	3.87	4.48	5.19	6.09	6.79	7.45	8.19	9.11
35	2.81	3.24	3.79	4.40	5.20	5.81	6.39	7.05	7.87
40	2.36	2.75	3.22	3.76	4.47	5.01	5.53	6.11	6.84
45	2.02	2.34	2.76	3.24	3.86	4.36	4.80	5.33	5.97
50	1.72	2.02	2.39	2.81	3.37	3.80	4.20	4.66	5.23
55	1.49	1.75	2.08	2.46	2.95	3.33	3.70	4.11	4.62
60	1.30	1.53	1.83	2.15	2.59	2.95	3.26	3.63	4.09
65	1.14	1.34	1.60	1.90	2.30	2.60	2.89	3.23	3.64
70	1.00	1.18	1.42	1.69	2.04	2.32	2.58	2.87	3.25
75	0.88	1.05	1.26	1.49	1.81	2.07	2.31	2.58	2.91
80	0.79	0.93	1.12	1.34	1.63	1.86	2.06	2.31	2.62
85	0.70	0.83	1.01	1.21	1.46	1.67	1.86	2.08	2.35
90	0.63	0.75	0.90	1.08	1.32	1.51	1.68	1.88	2.13
95	0.56	0.67	0.82	0.97	1.19	1.36	1.52	1.70	1.93
100	0.51	0.61	0.73	0.88	1.07	1.23	1.38	1.54	1.75
105	0.46	0.55	0.67	0.80	0.98	1.12	1.25	1.41	1.60
110	0.42	0.49	0.61	0.73	0.89	1.02	1.14	1.28	1.45
115	0.38	0.45	0.55	0.66	0.81	0.93	1.04	1.17	1.33
120	0.34	0.42	0.50	0.60	0.74	0.85	0.95	1.06	1.21
125	0.32	0.37	0.46	0.55	0.68	0.78	0.87	0.98	1.11
130	0.28	0.35	0.42	0.51	0.62	0.71	0.80	0.90	1.03
135	0.27	0.31	0.38	0.46	0.57	0.66	0.73	0.82	0.93
140	0.24	0.29	0.36	0.43	0.52	0.60	0.67	0.76	0.87

Profundidad diferencial - bloques (mm)									
D (min)	**P-(2años)**	**P-(3años)**	**P-(5años)**	**P-(10años)**	**P-(25años)**	**P-(50años)**	**P-(100años)**	**P-(200años)**	**P-(500años)**
145	0.22	0.26	0.32	0.39	0.48	0.55	0.62	0.70	0.79
150	0.20	0.25	0.30	0.35	0.44	0.51	0.58	0.64	0.73
155	0.19	0.22	0.27	0.34	0.41	0.47	0.52	0.60	0.68
160	0.17	0.21	0.25	0.30	0.38	0.44	0.49	0.54	0.62
165	0.16	0.19	0.24	0.28	0.34	0.40	0.45	0.51	0.58
170	0.14	0.17	0.21	0.26	0.32	0.37	0.41	0.46	0.53
175	0.14	0.16	0.20	0.24	0.30	0.34	0.38	0.44	0.49
180	0.12	0.15	0.18	0.22	0.27	0.31	0.36	0.39	0.46
185	0.12	0.14	0.17	0.21	0.25	0.30	0.33	0.37	0.42
190	0.10	0.13	0.16	0.19	0.24	0.27	0.30	0.35	0.39
195	0.10	0.12	0.15	0.17	0.21	0.25	0.28	0.31	0.36
200	0.09	0.10	0.13	0.16	0.20	0.23	0.26	0.29	0.33
205	0.08	0.10	0.12	0.15	0.19	0.21	0.24	0.27	0.31
210	0.08	0.10	0.12	0.14	0.17	0.20	0.22	0.26	0.29
215	0.07	0.08	0.10	0.13	0.16	0.18	0.21	0.23	0.26
220	0.07	0.08	0.10	0.12	0.14	0.17	0.18	0.21	0.25
225	0.06	0.08	0.09	0.11	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22
230	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.21
235	0.06	0.07	0.08	0.09	0.12	0.13	0.15	0.17	0.20
240	0.04	0.05	0.07	0.09	0.10	0.13	0.14	0.15	0.17
245	0.05	0.05	0.07	0.07	0.10	0.11	0.12	0.15	0.17
250	0.04	0.05	0.05	0.08	0.09	0.10	0.12	0.13	0.15
255	0.03	0.05	0.06	0.06	0.08	0.10	0.11	0.12	0.13
260	0.04	0.04	0.05	0.06	0.08	0.08	0.10	0.11	0.13
265	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.08	0.10	0.11
270	0.03	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.09	0.09	0.11
275	0.02	0.03	0.03	0.04	0.06	0.07	0.07	0.08	0.09
280	0.03	0.03	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
285	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08

Profundidad diferencial - bloques (mm)									
D (min)	**P-(2años)**	**P-(3años)**	**P-(5años)**	**P-(10años)**	**P-(25años)**	**P-(50años)**	**P-(100años)**	**P-(200años)**	**P-(500años)**
290	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05	0.05	0.06	0.07
295	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.05	0.05	0.05	0.06
300	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.03	0.04	0.05	0.06
305	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05
310	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04
315	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04
320	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03
325	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
330	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02
335	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
340	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01
345	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01
350	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
355	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
360	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Una vez obtenidas los bloques de profundidades diferenciales, se organizan en forma alternada a partir del centro del hietograma. Se obtiene entonces el hietograma de profundidades para la estación Ernesto Cortissoz, como se presenta en la Tabla 4.14 y se muestra en la Figura 4.18.

Tabla 24.11 Hietograma de profundidades por el método de bloques alternos para la estación Ernesto Cortissoz.

Hietograma de profundidad mm										
Orden alternado	**Tiempo (min)**	**P-(2años)**	**P-(3años)**	**P-(5años)**	**P-(10años)**	**P-(25años)**	**P-(50años)**	**P-(100años)**	**P-(200años)**	**P-(500años)**
71	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
69	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01
67	15.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
65	20.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
63	25.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04
61	30.00	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05
59	35.00	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.05	0.05	0.05	0.06
57	40.00	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08
55	45.00	0.02	0.03	0.03	0.04	0.06	0.07	0.07	0.08	0.09
53	50.00	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.08	0.10	0.11
51	55.00	0.03	0.05	0.06	0.06	0.08	0.10	0.11	0.12	0.13
49	60.00	0.05	0.05	0.07	0.07	0.10	0.11	0.12	0.15	0.17
47	65.00	0.06	0.07	0.08	0.09	0.12	0.13	0.15	0.17	0.20
45	70.00	0.06	0.08	0.09	0.11	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22
43	75.00	0.07	0.08	0.10	0.13	0.16	0.18	0.21	0.23	0.26
41	80.00	0.08	0.10	0.12	0.15	0.19	0.21	0.24	0.27	0.31
39	85.00	0.10	0.12	0.15	0.17	0.21	0.25	0.28	0.31	0.36
37	90.00	0.12	0.14	0.17	0.21	0.25	0.30	0.33	0.37	0.42
35	95.00	0.14	0.16	0.20	0.24	0.30	0.34	0.38	0.44	0.49
33	100.00	0.16	0.19	0.24	0.28	0.34	0.40	0.45	0.51	0.58
31	105.00	0.19	0.22	0.27	0.34	0.41	0.47	0.52	0.60	0.68
29	110.00	0.22	0.26	0.32	0.39	0.48	0.55	0.62	0.70	0.79
27	115.00	0.27	0.31	0.38	0.46	0.57	0.66	0.73	0.82	0.93
25	120.00	0.32	0.37	0.46	0.55	0.68	0.78	0.87	0.98	1.11
23	125.00	0.38	0.45	0.55	0.66	0.81	0.93	1.04	1.17	1.33
21	130.00	0.46	0.55	0.67	0.80	0.98	1.12	1.25	1.41	1.60
19	135.00	0.56	0.67	0.82	0.97	1.19	1.36	1.52	1.70	1.93

Hietograma de profundidad mm										
Orden alternado	**Tiempo (min)**	**P- (2años)**	**P- (3años)**	**P- (5años)**	**P- (10años)**	**P- (25años)**	**P- (50años)**	**P- (100años)**	**P- (200años)**	**P- (500años)**
17	140.00	0.70	0.83	1.01	1.21	1.46	1.67	1.86	2.08	2.35
15	145.00	0.88	1.05	1.26	1.49	1.81	2.07	2.31	2.58	2.91
13	150.00	1.14	1.34	1.60	1.90	2.30	2.60	2.89	3.23	3.64
11	155.00	1.49	1.75	2.08	2.46	2.95	3.33	3.70	4.11	4.62
9	160.00	2.02	2.34	2.76	3.24	3.86	4.36	4.80	5.33	5.97
7	165.00	2.81	3.24	3.79	4.40	5.20	5.81	6.39	7.05	7.87
5	170.00	4.10	4.68	5.36	6.16	7.20	7.99	8.73	9.58	10.63
3	175.00	6.33	7.09	7.95	8.99	10.32	11.31	12.27	13.36	14.71
1	180.00	10.39	11.31	12.26	13.55	15.16	16.33	17.54	18.90	20.58
2	185.00	8.07	8.91	9.84	11.02	12.51	13.59	14.68	15.90	17.41
4	190.00	5.05	5.72	6.50	7.42	8.58	9.46	10.31	11.27	12.46
6	195.00	3.38	3.87	4.48	5.19	6.09	6.79	7.45	8.19	9.11
8	200.00	2.36	2.75	3.22	3.76	4.47	5.01	5.53	6.11	6.84
10	205.00	1.72	2.02	2.39	2.81	3.37	3.80	4.20	4.66	5.23
12	210.00	1.30	1.53	1.83	2.15	2.59	2.95	3.26	3.63	4.09
14	215.00	1.00	1.18	1.42	1.69	2.04	2.32	2.58	2.87	3.25
16	220.00	0.79	0.93	1.12	1.34	1.63	1.86	2.06	2.31	2.62
18	225.00	0.63	0.75	0.90	1.08	1.32	1.51	1.68	1.88	2.13
20	230.00	0.51	0.61	0.73	0.88	1.07	1.23	1.38	1.54	1.75
22	235.00	0.42	0.49	0.61	0.73	0.89	1.02	1.14	1.28	1.45
24	240.00	0.34	0.42	0.50	0.60	0.74	0.85	0.95	1.06	1.21
26	245.00	0.28	0.35	0.42	0.51	0.62	0.71	0.80	0.90	1.03
28	250.00	0.24	0.29	0.36	0.43	0.52	0.60	0.67	0.76	0.87
30	255.00	0.20	0.25	0.30	0.35	0.44	0.51	0.58	0.64	0.73
32	260.00	0.17	0.21	0.25	0.30	0.38	0.44	0.49	0.54	0.62
34	265.00	0.14	0.17	0.21	0.26	0.32	0.37	0.41	0.46	0.53
36	270.00	0.12	0.15	0.18	0.22	0.27	0.31	0.36	0.39	0.46
38	275.00	0.10	0.13	0.16	0.19	0.24	0.27	0.30	0.35	0.39
40	280.00	0.09	0.10	0.13	0.16	0.20	0.23	0.26	0.29	0.33

Hietograma de profundidad mm										
Orden alternado	**Tiempo (min)**	**P-(2años)**	**P-(3años)**	**P-(5años)**	**P-(10años)**	**P-(25años)**	**P-(50años)**	**P-(100años)**	**P-(200años)**	**P-(500años)**
42	285.00	0.08	0.10	0.12	0.14	0.17	0.20	0.22	0.26	0.29
44	290.00	0.07	0.08	0.10	0.12	0.14	0.17	0.18	0.21	0.25
46	295.00	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.21
48	300.00	0.04	0.05	0.07	0.09	0.10	0.13	0.14	0.15	0.17
50	305.00	0.04	0.05	0.05	0.08	0.09	0.10	0.12	0.13	0.15
52	310.00	0.04	0.04	0.05	0.06	0.08	0.08	0.10	0.11	0.13
54	315.00	0.03	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.09	0.09	0.11
56	320.00	0.03	0.03	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
58	325.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05	0.05	0.06	0.07
60	330.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.03	0.04	0.05	0.06
62	335.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04
64	340.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03
66	345.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02
68	350.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01
70	355.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
72	360.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

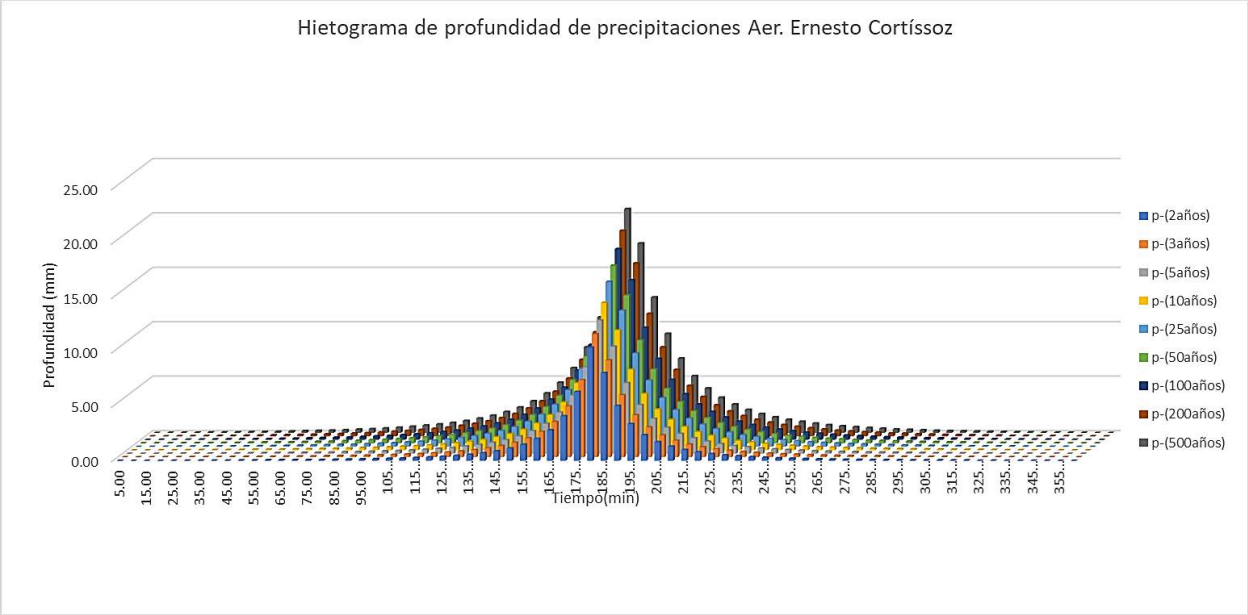


Figura 24.6 Hietograma de profundidades para la estación Aeropuerto Ernesto Cortissoz.

Con base en las profundidades obtenidas, es posible definir las intensidades para cada uno de los bloques, asumiendo que lo precipitado en cada bloque corresponde a un periodo de 5 minutos, por lo cual se puede calcular la intensidad como $i = \frac{P(en\ mm)\cdot 60\left(\frac{min}{hr}\right)}{5\text{min.}}$. El hietograma de intensidades luego entonces se presenta en la Figura 4.19 y Tabla 4.15.

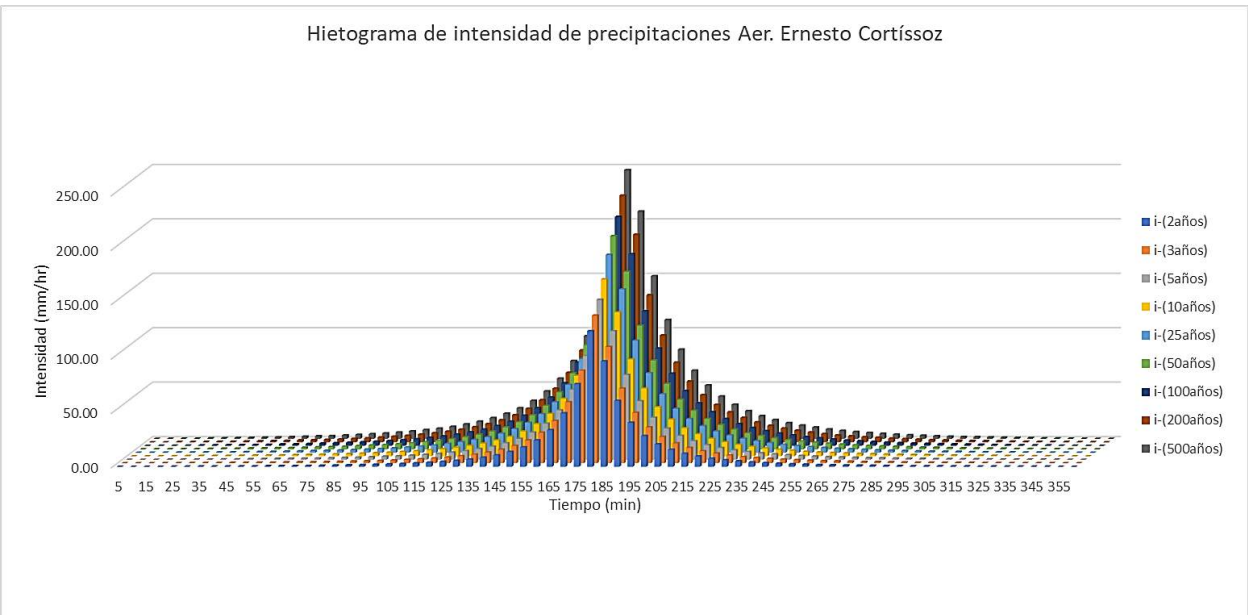


Figura 24.7 Hietograma de intensidades para la estación Aeropuerto Ernesto Cortissoz.

Tabla 24.12 Hietograma de intensidades por el método de bloques alternos para la estación Ernesto Cortissoz.

Hietograma de intensidad mm/hr									
Tiempo (min)	**i-(2años)**	**i-(3años)**	**i-(5años)**	**i-(10años)**	**i-(25años)**	**i-(50años)**	**i-(100años)**	**i-(200años)**	**i-(500años)**
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.12	0.00	0.12
15	0.00	0.00	0.00	0.12	0.12	0.12	0.12	0.24	0.24
20	0.00	0.12	0.12	0.12	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
25	0.12	0.12	0.24	0.24	0.24	0.24	0.36	0.36	0.48
30	0.12	0.24	0.24	0.36	0.36	0.48	0.48	0.60	0.60
35	0.24	0.24	0.24	0.36	0.36	0.60	0.60	0.60	0.72
40	0.24	0.24	0.36	0.36	0.48	0.60	0.72	0.84	0.96
45	0.24	0.36	0.36	0.48	0.72	0.84	0.84	0.96	1.08
50	0.36	0.48	0.60	0.72	0.84	0.96	0.96	1.20	1.32
55	0.36	0.60	0.72	0.72	0.96	1.20	1.32	1.44	1.56
60	0.60	0.60	0.84	0.84	1.20	1.32	1.44	1.80	2.04
65	0.72	0.84	0.96	1.08	1.44	1.56	1.80	2.04	2.40
70	0.72	0.96	1.08	1.32	1.68	1.92	2.16	2.40	2.64
75	0.84	0.96	1.20	1.56	1.92	2.16	2.52	2.76	3.12
80	0.96	1.20	1.44	1.80	2.28	2.52	2.88	3.24	3.72
85	1.20	1.44	1.80	2.04	2.52	3.00	3.36	3.72	4.32
90	1.44	1.68	2.04	2.52	3.00	3.60	3.96	4.44	5.04
95	1.68	1.92	2.40	2.88	3.60	4.08	4.56	5.28	5.88
100	1.92	2.28	2.88	3.36	4.08	4.80	5.40	6.12	6.96
105	2.28	2.64	3.24	4.08	4.92	5.64	6.24	7.20	8.16
110	2.64	3.12	3.84	4.68	5.76	6.60	7.44	8.40	9.48
115	3.24	3.72	4.56	5.52	6.84	7.92	8.76	9.84	11.16
120	3.84	4.44	5.52	6.60	8.16	9.36	10.44	11.76	13.32
125	4.56	5.40	6.60	7.92	9.72	11.16	12.48	14.04	15.96
130	5.52	6.60	8.04	9.60	11.76	13.44	15.00	16.92	19.20
135	6.72	8.04	9.84	11.64	14.28	16.32	18.24	20.40	23.16
140	8.40	9.96	12.12	14.52	17.52	20.04	22.32	24.96	28.20

Hietograma de intensidad mm/hr									
Tiempo (min)	**i-(2años)**	**i-(3años)**	**i-(5años)**	**i-(10años)**	**i-(25años)**	**i-(50años)**	**i-(100años)**	**i-(200años)**	**i-(500años)**
145	10.56	12.60	15.12	17.88	21.72	24.84	27.72	30.96	34.92
150	13.68	16.08	19.20	22.80	27.60	31.20	34.68	38.76	43.68
155	17.88	21.00	24.96	29.52	35.40	39.96	44.40	49.32	55.44
160	24.24	28.08	33.12	38.88	46.32	52.32	57.60	63.96	71.64
165	33.72	38.88	45.48	52.80	62.40	69.72	76.68	84.60	94.44
170	49.20	56.16	64.32	73.92	86.40	95.88	104.76	114.96	127.56
175	75.96	85.08	95.40	107.88	123.84	135.72	147.24	160.32	176.52
180	124.68	135.72	147.12	162.60	181.92	195.96	210.48	226.80	246.96
185	96.84	106.92	118.08	132.24	150.12	163.08	176.16	190.80	208.92
190	60.60	68.64	78.00	89.04	102.96	113.52	123.72	135.24	149.52
195	40.56	46.44	53.76	62.28	73.08	81.48	89.40	98.28	109.32
200	28.32	33.00	38.64	45.12	53.64	60.12	66.36	73.32	82.08
205	20.64	24.24	28.68	33.72	40.44	45.60	50.40	55.92	62.76
210	15.60	18.36	21.96	25.80	31.08	35.40	39.12	43.56	49.08
215	12.00	14.16	17.04	20.28	24.48	27.84	30.96	34.44	39.00
220	9.48	11.16	13.44	16.08	19.56	22.32	24.72	27.72	31.44
225	7.56	9.00	10.80	12.96	15.84	18.12	20.16	22.56	25.56
230	6.12	7.32	8.76	10.56	12.84	14.76	16.56	18.48	21.00
235	5.04	5.88	7.32	8.76	10.68	12.24	13.68	15.36	17.40
240	4.08	5.04	6.00	7.20	8.88	10.20	11.40	12.72	14.52
245	3.36	4.20	5.04	6.12	7.44	8.52	9.60	10.80	12.36
250	2.88	3.48	4.32	5.16	6.24	7.20	8.04	9.12	10.44
255	2.40	3.00	3.60	4.20	5.28	6.12	6.96	7.68	8.76
260	2.04	2.52	3.00	3.60	4.56	5.28	5.88	6.48	7.44
265	1.68	2.04	2.52	3.12	3.84	4.44	4.92	5.52	6.36
270	1.44	1.80	2.16	2.64	3.24	3.72	4.32	4.68	5.52
275	1.20	1.56	1.92	2.28	2.88	3.24	3.60	4.20	4.68
280	1.08	1.20	1.56	1.92	2.40	2.76	3.12	3.48	3.96
285	0.96	1.20	1.44	1.68	2.04	2.40	2.64	3.12	3.48
290	0.84	0.96	1.20	1.44	1.68	2.04	2.16	2.52	3.00

Hietograma de intensidad mm/hr									
Tiempo (min)	**i-(2años)**	**i-(3años)**	**i-(5años)**	**i-(10años)**	**i-(25años)**	**i-(50años)**	**i-(100años)**	**i-(200años)**	**i-(500años)**
295	0.60	0.72	0.96	1.20	1.44	1.68	1.92	2.16	2.52
300	0.48	0.60	0.84	1.08	1.20	1.56	1.68	1.80	2.04
305	0.48	0.60	0.60	0.96	1.08	1.20	1.44	1.56	1.80
310	0.48	0.48	0.60	0.72	0.96	0.96	1.20	1.32	1.56
315	0.36	0.36	0.48	0.60	0.72	0.84	1.08	1.08	1.32
320	0.36	0.36	0.48	0.60	0.60	0.72	0.84	0.96	1.08
325	0.12	0.24	0.36	0.48	0.60	0.60	0.60	0.72	0.84
330	0.24	0.24	0.24	0.24	0.48	0.36	0.48	0.60	0.72
335	0.12	0.12	0.24	0.24	0.24	0.36	0.36	0.36	0.48
340	0.12	0.12	0.12	0.12	0.24	0.24	0.36	0.36	0.36
345	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.24	0.12	0.24	0.24
350	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.00	0.12	0.12	0.12
355	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00
360	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

De manera análoga, para la estación Las Flores se presentan los hietogramas de profundidades e intensidades en la Tabla 4.16, en la Tabla 4.17, en la Figura 4.20 y en la Figura 4.21.

Tabla 24.13 Hietograma de profundidades por el método de bloques alternos para la estación Las Flores.

Hietograma de profundidad mm										
Orden alternado	**Tiempo (min)**	**p-(2años)**	**p-(3años)**	**p-(5años)**	**p-(10años)**	**p-(25años)**	**p-(50años)**	**p-(100años)**	**p-(200años)**	**p-(500años)**
71	5.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.05	0.05	0.05	0.07	0.09
69	10.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.06	0.07	0.07	0.08	0.10
67	15.00	0.01	0.03	0.03	0.05	0.06	0.07	0.08	0.10	0.11
65	20.00	0.01	0.03	0.03	0.05	0.08	0.08	0.09	0.11	0.12
63	25.00	0.02	0.03	0.05	0.06	0.08	0.10	0.10	0.11	0.13
61	30.00	0.02	0.04	0.05	0.07	0.09	0.11	0.12	0.13	0.16
59	35.00	0.03	0.04	0.06	0.08	0.11	0.11	0.12	0.15	0.17
57	40.00	0.03	0.05	0.07	0.09	0.11	0.13	0.15	0.16	0.19
55	45.00	0.05	0.06	0.07	0.10	0.13	0.14	0.16	0.19	0.21
53	50.00	0.05	0.07	0.08	0.11	0.15	0.17	0.18	0.21	0.24
51	55.00	0.06	0.08	0.09	0.13	0.16	0.19	0.21	0.23	0.27
49	60.00	0.07	0.10	0.11	0.15	0.18	0.21	0.23	0.26	0.30
47	65.00	0.08	0.11	0.13	0.16	0.21	0.24	0.26	0.30	0.34
45	70.00	0.10	0.12	0.15	0.19	0.24	0.26	0.30	0.33	0.38
43	75.00	0.11	0.15	0.17	0.22	0.27	0.30	0.33	0.38	0.43
41	80.00	0.12	0.16	0.19	0.24	0.30	0.34	0.38	0.43	0.49
39	85.00	0.14	0.18	0.22	0.27	0.35	0.39	0.42	0.49	0.54
37	90.00	0.17	0.22	0.25	0.32	0.39	0.44	0.49	0.55	0.62
35	95.00	0.19	0.25	0.29	0.36	0.44	0.49	0.56	0.63	0.71
33	100.00	0.23	0.29	0.34	0.41	0.51	0.57	0.63	0.72	0.81
31	105.00	0.27	0.33	0.39	0.47	0.59	0.65	0.72	0.81	0.92
29	110.00	0.32	0.38	0.45	0.55	0.67	0.76	0.84	0.94	1.06
27	115.00	0.37	0.45	0.53	0.64	0.78	0.87	0.97	1.08	1.22
25	120.00	0.44	0.53	0.62	0.74	0.91	1.02	1.13	1.26	1.42
23	125.00	0.53	0.63	0.73	0.88	1.06	1.19	1.32	1.47	1.66
21	130.00	0.63	0.75	0.87	1.04	1.26	1.40	1.55	1.74	1.95
19	135.00	0.76	0.90	1.06	1.25	1.50	1.67	1.85	2.06	2.31
17	140.00	0.93	1.10	1.28	1.51	1.80	2.01	2.22	2.47	2.76

Hietograma de profundidad mm										
Orden alternado	Tiempo (min)	p-(2años)	p-(3años)	p-(5años)	p-(10años)	p-(25años)	p-(50años)	p-(100años)	p-(200años)	p-(500años)
15	145.00	1.17	1.36	1.58	1.85	2.19	2.45	2.69	2.99	3.34
13	150.00	1.46	1.69	1.96	2.29	2.70	3.01	3.31	3.67	4.09
11	155.00	1.88	2.16	2.49	2.89	3.39	3.76	4.13	4.56	5.08
9	160.00	2.47	2.82	3.21	3.70	4.33	4.79	5.25	5.77	6.42
7	165.00	3.32	3.76	4.26	4.87	5.64	6.22	6.80	7.45	8.26
5	170.00	4.61	5.17	5.80	6.58	7.56	8.28	9.01	9.84	10.86
3	175.00	6.65	7.36	8.16	9.16	10.41	11.33	12.27	13.31	14.61
1	180.00	9.90	10.80	11.77	13.03	14.63	15.81	16.97	18.31	19.95
2	185.00	8.09	8.90	9.78	10.91	12.33	13.38	14.43	15.61	17.08
4	190.00	5.51	6.13	6.85	7.72	8.83	9.66	10.49	11.42	12.56
6	195.00	3.89	4.38	4.95	5.64	6.51	7.16	7.81	8.53	9.44
8	200.00	2.84	3.23	3.69	4.24	4.93	5.43	5.95	6.54	7.26
10	205.00	2.14	2.46	2.82	3.26	3.82	4.23	4.65	5.12	5.70
12	210.00	1.65	1.92	2.20	2.56	3.02	3.35	3.69	4.08	4.56
14	215.00	1.30	1.52	1.75	2.05	2.44	2.70	2.99	3.30	3.70
16	220.00	1.04	1.22	1.41	1.66	1.98	2.21	2.44	2.70	3.04
18	225.00	0.85	1.00	1.16	1.37	1.64	1.83	2.02	2.25	2.53
20	230.00	0.69	0.83	0.96	1.14	1.37	1.53	1.70	1.88	2.12
22	235.00	0.57	0.68	0.81	0.96	1.15	1.30	1.43	1.59	1.79
24	240.00	0.48	0.58	0.68	0.81	0.98	1.09	1.21	1.36	1.53
26	245.00	0.40	0.49	0.58	0.69	0.84	0.94	1.04	1.17	1.32
28	250.00	0.34	0.42	0.49	0.59	0.72	0.81	0.89	1.01	1.14
30	255.00	0.29	0.36	0.42	0.51	0.62	0.70	0.78	0.87	0.98
32	260.00	0.24	0.31	0.36	0.45	0.54	0.61	0.68	0.76	0.86
34	265.00	0.22	0.26	0.31	0.38	0.47	0.54	0.59	0.66	0.75
36	270.00	0.19	0.23	0.28	0.33	0.42	0.47	0.51	0.58	0.66
38	275.00	0.16	0.20	0.24	0.29	0.36	0.41	0.46	0.51	0.59
40	280.00	0.14	0.18	0.21	0.26	0.32	0.36	0.40	0.45	0.52
42	285.00	0.12	0.15	0.18	0.22	0.28	0.32	0.36	0.40	0.45

Hietograma de profundidad mm										
Orden alternado	**Tiempo (min)**	**p-(2años)**	**p-(3años)**	**p-(5años)**	**p-(10años)**	**p-(25años)**	**p-(50años)**	**p-(100años)**	**p-(200años)**	**p-(500años)**
44	290.00	0.10	0.13	0.16	0.19	0.25	0.29	0.31	0.36	0.41
46	295.00	0.09	0.12	0.13	0.18	0.22	0.25	0.28	0.32	0.36
48	300.00	0.07	0.10	0.13	0.15	0.20	0.22	0.25	0.28	0.32
50	305.00	0.07	0.09	0.11	0.13	0.18	0.20	0.22	0.26	0.29
52	310.00	0.05	0.08	0.10	0.12	0.16	0.17	0.19	0.22	0.25
54	315.00	0.05	0.07	0.09	0.11	0.14	0.16	0.18	0.20	0.23
56	320.00	0.04	0.06	0.07	0.09	0.12	0.14	0.15	0.18	0.20
58	325.00	0.04	0.06	0.06	0.08	0.11	0.13	0.14	0.16	0.18
60	330.00	0.03	0.05	0.05	0.07	0.09	0.11	0.12	0.14	0.16
62	335.00	0.03	0.04	0.04	0.06	0.09	0.09	0.11	0.13	0.14
64	340.00	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07	0.08	0.09	0.11	0.13
66	345.00	0.02	0.03	0.03	0.05	0.06	0.08	0.08	0.09	0.11
68	350.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09
70	355.00	0.01	0.02	0.02	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.08
72	360.00	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.07

Tabla 24.14 Hietograma de intensidades por el método de bloques alternos para la estación Las Flores.

Hietograma de intensidad mm/hr									
Tiempo (min)	**i-(2años)**	**i-(3años)**	**i-(5años)**	**i-(10años)**	**i-(25años)**	**i-(50años)**	**i-(100años)**	**i-(200años)**	**i-(500años)**
5	0.00	0.12	0.24	0.36	0.60	0.60	0.60	0.84	1.08
10	0.12	0.24	0.36	0.36	0.72	0.84	0.84	0.96	1.20
15	0.12	0.36	0.36	0.60	0.72	0.84	0.96	1.20	1.32
20	0.12	0.36	0.36	0.60	0.96	0.96	1.08	1.32	1.44
25	0.24	0.36	0.60	0.72	0.96	1.20	1.20	1.32	1.56
30	0.24	0.48	0.60	0.84	1.08	1.32	1.44	1.56	1.92
35	0.36	0.48	0.72	0.96	1.32	1.32	1.44	1.80	2.04
40	0.36	0.60	0.84	1.08	1.32	1.56	1.80	1.92	2.28
45	0.60	0.72	0.84	1.20	1.56	1.68	1.92	2.28	2.52
50	0.60	0.84	0.96	1.32	1.80	2.04	2.16	2.52	2.88
55	0.72	0.96	1.08	1.56	1.92	2.28	2.52	2.76	3.24
60	0.84	1.20	1.32	1.80	2.16	2.52	2.76	3.12	3.60
65	0.96	1.32	1.56	1.92	2.52	2.88	3.12	3.60	4.08
70	1.20	1.44	1.80	2.28	2.88	3.12	3.60	3.96	4.56
75	1.32	1.80	2.04	2.64	3.24	3.60	3.96	4.56	5.16
80	1.44	1.92	2.28	2.88	3.60	4.08	4.56	5.16	5.88
85	1.68	2.16	2.64	3.24	4.20	4.68	5.04	5.88	6.48
90	2.04	2.64	3.00	3.84	4.68	5.28	5.88	6.60	7.44
95	2.28	3.00	3.48	4.32	5.28	5.88	6.72	7.56	8.52
100	2.76	3.48	4.08	4.92	6.12	6.84	7.56	8.64	9.72
105	3.24	3.96	4.68	5.64	7.08	7.80	8.64	9.72	11.04
110	3.84	4.56	5.40	6.60	8.04	9.12	10.08	11.28	12.72
115	4.44	5.40	6.36	7.68	9.36	10.44	11.64	12.96	14.64
120	5.28	6.36	7.44	8.88	10.92	12.24	13.56	15.12	17.04
125	6.36	7.56	8.76	10.56	12.72	14.28	15.84	17.64	19.92
130	7.56	9.00	10.44	12.48	15.12	16.80	18.60	20.88	23.40
135	9.12	10.80	12.72	15.00	18.00	20.04	22.20	24.72	27.72
140	11.16	13.20	15.36	18.12	21.60	24.12	26.64	29.64	33.12
145	14.04	16.32	18.96	22.20	26.28	29.40	32.28	35.88	40.08

Hietograma de intensidad mm/hr									
Tiempo (min)	**i-(2años)**	**i-(3años)**	**i-(5años)**	**i-(10años)**	**i-(25años)**	**i-(50años)**	**i-(100años)**	**i-(200años)**	**i-(500años)**
150	17.52	20.28	23.52	27.48	32.40	36.12	39.72	44.04	49.08
155	22.56	25.92	29.88	34.68	40.68	45.12	49.56	54.72	60.96
160	29.64	33.84	38.52	44.40	51.96	57.48	63.00	69.24	77.04
165	39.84	45.12	51.12	58.44	67.68	74.64	81.60	89.40	99.12
170	55.32	62.04	69.60	78.96	90.72	99.36	108.12	118.08	130.32
175	79.80	88.32	97.92	109.92	124.92	135.96	147.24	159.72	175.32
180	118.80	129.60	141.24	156.36	175.56	189.72	203.64	219.72	239.40
185	97.08	106.80	117.36	130.92	147.96	160.56	173.16	187.32	204.96
190	66.12	73.56	82.20	92.64	105.96	115.92	125.88	137.04	150.72
195	46.68	52.56	59.40	67.68	78.12	85.92	93.72	102.36	113.28
200	34.08	38.76	44.28	50.88	59.16	65.16	71.40	78.48	87.12
205	25.68	29.52	33.84	39.12	45.84	50.76	55.80	61.44	68.40
210	19.80	23.04	26.40	30.72	36.24	40.20	44.28	48.96	54.72
215	15.60	18.24	21.00	24.60	29.28	32.40	35.88	39.60	44.40
220	12.48	14.64	16.92	19.92	23.76	26.52	29.28	32.40	36.48
225	10.20	12.00	13.92	16.44	19.68	21.96	24.24	27.00	30.36
230	8.28	9.96	11.52	13.68	16.44	18.36	20.40	22.56	25.44
235	6.84	8.16	9.72	11.52	13.80	15.60	17.16	19.08	21.48
240	5.76	6.96	8.16	9.72	11.76	13.08	14.52	16.32	18.36
245	4.80	5.88	6.96	8.28	10.08	11.28	12.48	14.04	15.84
250	4.08	5.04	5.88	7.08	8.64	9.72	10.68	12.12	13.68
255	3.48	4.32	5.04	6.12	7.44	8.40	9.36	10.44	11.76
260	2.88	3.72	4.32	5.40	6.48	7.32	8.16	9.12	10.32
265	2.64	3.12	3.72	4.56	5.64	6.48	7.08	7.92	9.00
270	2.28	2.76	3.36	3.96	5.04	5.64	6.12	6.96	7.92
275	1.92	2.40	2.88	3.48	4.32	4.92	5.52	6.12	7.08
280	1.68	2.16	2.52	3.12	3.84	4.32	4.80	5.40	6.24
285	1.44	1.80	2.16	2.64	3.36	3.84	4.32	4.80	5.40
290	1.20	1.56	1.92	2.28	3.00	3.48	3.72	4.32	4.92
295	1.08	1.44	1.56	2.16	2.64	3.00	3.36	3.84	4.32

Hietograma de intensidad mm/hr									
Tiempo (min)	**i-(2años)**	**i-(3años)**	**i-(5años)**	**i-(10años)**	**i-(25años)**	**i-(50años)**	**i-(100años)**	**i-(200años)**	**i-(500años)**
300	0.84	1.20	1.56	1.80	2.40	2.64	3.00	3.36	3.84
305	0.84	1.08	1.32	1.56	2.16	2.40	2.64	3.12	3.48
310	0.60	0.96	1.20	1.44	1.92	2.04	2.28	2.64	3.00
315	0.60	0.84	1.08	1.32	1.68	1.92	2.16	2.40	2.76
320	0.48	0.72	0.84	1.08	1.44	1.68	1.80	2.16	2.40
325	0.48	0.72	0.72	0.96	1.32	1.56	1.68	1.92	2.16
330	0.36	0.60	0.60	0.84	1.08	1.32	1.44	1.68	1.92
335	0.36	0.48	0.48	0.72	1.08	1.08	1.32	1.56	1.68
340	0.24	0.36	0.48	0.60	0.84	0.96	1.08	1.32	1.56
345	0.24	0.36	0.36	0.60	0.72	0.96	0.96	1.08	1.32
350	0.12	0.24	0.36	0.48	0.72	0.72	0.84	0.96	1.08
355	0.12	0.24	0.24	0.48	0.60	0.72	0.84	0.96	0.96
360	0.12	0.24	0.24	0.36	0.48	0.60	0.72	0.84	0.84

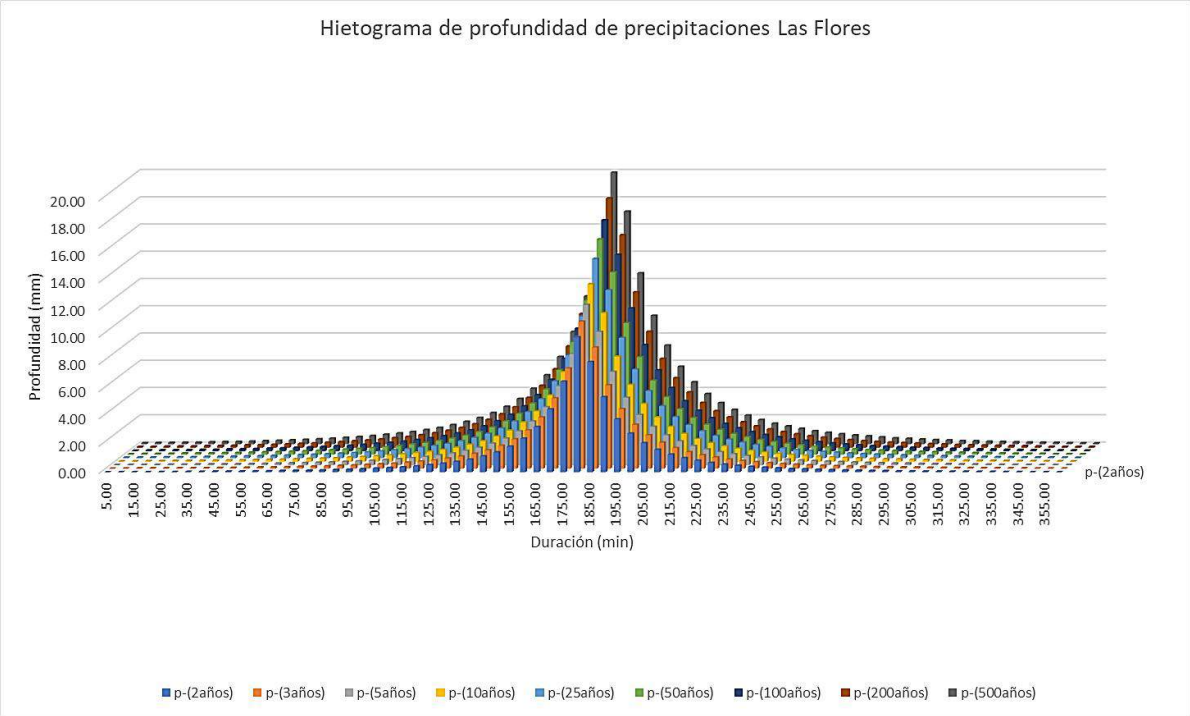


Figura 24.8 Hietograma de profundidades para la estación Las Flores.

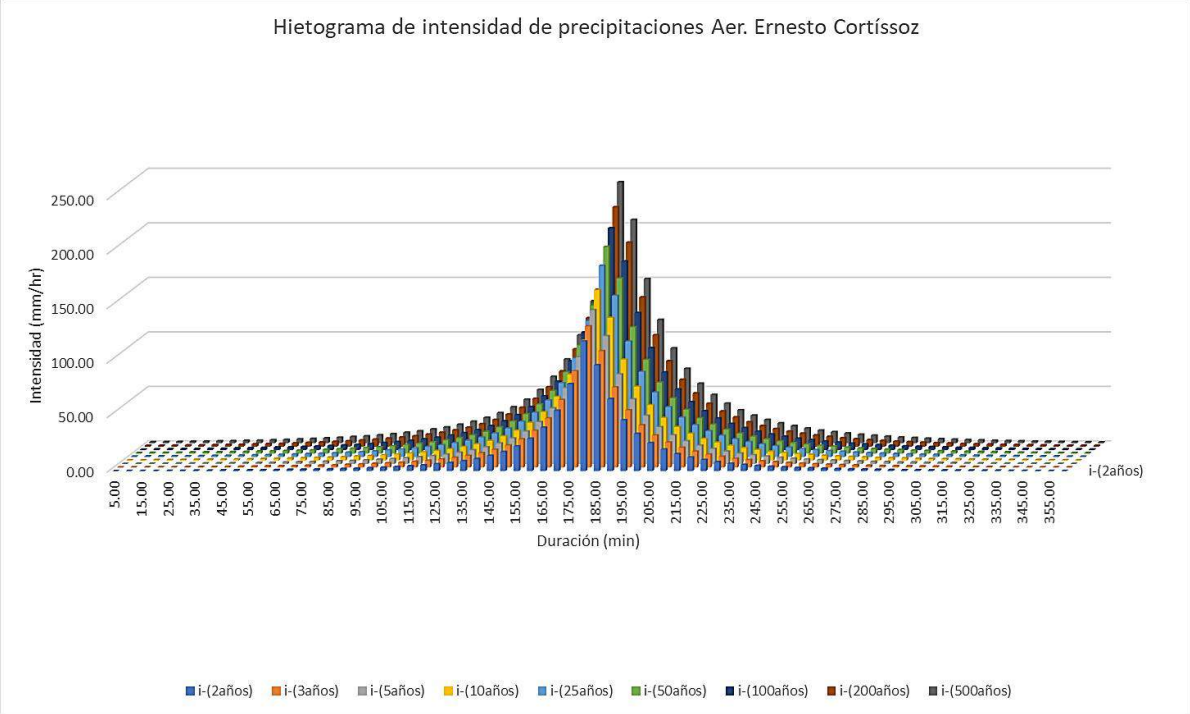


Figura 24.9 Hietograma de intensidades para la estación Las Flores.

De los hietogramas confeccionados para el proyecto se pueden resaltar los siguientes aspectos:

- Los valores originales con los que se generaron las IDF permitieron generar unas IDF con mayor estabilidad y que permitieron hacer operaciones como la extrapolación o interpolación de valores.
- La comparación entre los hietogramas para Las Flores y para el Aeropuerto Ernesto Cortissoz arrojan similitudes grandes, lo que indicaría una homogeneidad de las tormentas críticas entre los dos puntos de medición.
- Los valores de precipitación más altos se concentran entre los 60 minutos y 300 minutos del hietograma, siendo que por fuera de estos rangos los valores son muy cercanos a cero (0). Esto nos indica que las tormentas críticas cuentan con duraciones cercanas a las cuatro (4) horas, motivo por el cual al realizar el ajuste inicial del IDEAM se presentaban las incongruencias en lluvias de duraciones de 5 a 6 horas.

25 ESTIMACIÓN DE LAS CURVAS DE INTENSIDAD-DURACION-FRECUENCIA (IDF) AFECTADAS POR EL CAMBIO CLIMATICO

25.1 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS PROPUESTA EN LA REFERENCIA MARTEL JL, ET AL. (2021), PARA LA ESTIMACIÓN DE LAS CURVAS IDF AFECTADAS POR EL CAMBIO CLIMÁTICO.

25.1.1 Resumen del Basamento Teórico de la Metodología Propuesta

(ver sección 4.1.1 en documento anexo)

25.1.1.1 Impactos de Calentamiento Global sobre la Precipitación Máxima

Bajo condiciones de incremento en la temperatura del aire, existe una mayor capacidad de almacenamiento del vapor de agua en la atmósfera, lo cual conlleva a un aumento en las precipitaciones de tipo convectivo (Trenberth et al., 2003). Esto incluye otros tipos de precipitaciones tales como las lluvias orográficas y estratiformes. Las precipitaciones convectivas son mayormente responsables de las precipitaciones máximas a nivel sub-diario. Estas precipitaciones se presentan cuando las masas de aire locales se elevan rápidamente bajo condiciones de inestabilidad atmosférica causadas por una diferencia de calentamiento local, lo cual conlleva a la producción de nubes de tipo cumulonimbos y la subsecuente producción de lluvias intensas de corta duración (Houze, 1997).

La capacidad almacenamiento de agua de la atmósfera está gobernada por la ecuación de Clausius-Clayperon (CC). Esta ecuación establece que la humedad específica de saturación aumenta a una tasa del 7% por grado de incremento en la temperatura (Westra et al., 2014).

Asumiendo un valor constante de la humedad relativa, un aumento de la temperatura del aire implica un incremento en la cantidad de vapor de agua disponible para la generación de precipitación. Esto significa que una atmósfera más caliente puede almacenar más humedad a razón de un aumento del 7% por grado centígrado de incremento de temperatura, lo cual puede producir más precipitación.

Estudios recientes (Dobrinski et al., 2018) sugieren que, con un aumento de la temperatura, las precipitaciones máximas pueden aumentar a medida que incrementa el contenido de agua precipitable. Este factor de aumento depende de la intensidad de la precipitación. Para lluvias diarias, diversos estudios sugieren que los máximos diarios siguen la ecuación de CC, mientras que los máximos horarios pueden exceder este valor (conocido como la “tasa super CC”).

Algunos estudios (Dobrinski et al., 2018; Prein et al., 2017) han encontrado que el factor de escalamiento de las lluvias máximas horarias es mayor que el factor CC (~7%/°C) con temperaturas alrededor de 10°C a 20°C. Estos valores pueden ser más bajos y negativos para temperaturas por encima de los 20°C. Este hecho es atribuido a una reducción de la humedad relativa a temperaturas más calientes. A pesar de que estos factores de escalamiento son sensibles a los métodos utilizados para su cálculo, en general se acepta la hipótesis de que los máximos de lluvias con duraciones menores de 24 horas pueden incrementarse con respecto a la tasa de escalamiento CC (~7%/°C) para

lluvias de menor duración y mayores períodos de retorno. Esta hipótesis provee las bases para el ajuste de las curvas IDF para climas futuros.

25.1.1.2 Habilidad de los Modelos Climáticos Globales para Reproducir las Lluvias Máximas

Los modelos climáticos globales (GCM por sus siglas en inglés) son la herramienta matemática más importante para generar simulaciones del clima futuro bajo diversas concentraciones de emisiones de gases de efecto de invernadero para diversos escenarios socioeconómicos. Sin embargo, estos modelos operan a resoluciones espaciales por encima de los 100 km. Los GCMs no poseen la capacidad de simular procesos convectivos que generalmente ocurren a resoluciones espaciales mucho menor. Los modelos Regionales Climáticos (RCM por sus siglas en inglés) representan una mejora en la resolución espacial, operando con resolución entre 10 km y 50 km.

Simulaciones de procesos de convección profunda son necesarios para simular precipitaciones máximas que se ajusten a la realidad. Recientemente han surgido una generación de modelos denominados CPM (Convection Permiting Models por sus siglas en inglés). Estos modelos operan a escalas $\leq$ 4 km, y han mejorado la simulación de lluvias máximas de corta duración. Sin embargo, estos modelos se encuentran todavía en desarrollo y su aplicación es aún limitada debido a su gran complejidad y requerimientos computacionales (Kendon et al., 2021).

Generalmente se acepta que la lluvia diaria máxima es simulada correctamente por los modelos globales y regionales a resoluciones mayores que 10 km, mientras que las lluvias máximas a escalas sub-diarias y sub-horarias son simuladas correctamente por los modelos CPM. Sin embargo, estos modelos solo han sido aplicados en pequeñas regiones de algunos países como UK, Suiza, Bélgica, Alemania y Canadá, y en algunas zonas de África.

25.1.1.3 Fuentes de Incertidumbre en la Simulación de las Lluvias Máximas

Las distintas fuentes de incertidumbre en la simulación de lluvias máximas para climas futuros también se trasladan a las curvas IDF. Se han determinado cuatro fuentes de incertidumbre importantes:

1. Los distintos escenarios de emisiones de gases de efecto de invernadero;
2. Las distintas parametrizaciones y estructuras de los modelos climáticos;
3. La variabilidad interna (naturaleza caótica del sistema climático); y
4. Los procedimientos de post-procesamiento y reducción de escala (downscaling) de las simulaciones de los GCMs.

El escenario 8.5RCP representa el escenario menos favorable que corresponde a las mismas emisiones que las actuales, al menos por una década en el futuro. Los valores de emisiones actuales se corresponden con los valores de este escenario. Para tomar en cuenta la variabilidad interna y las diferencias estructurales entre modelos se recomienda utilizar un “ensamble multi-modelos”.

25.1.1.4 Adaptación de las Curvas IDF a Condiciones de Cambio Climático

Luego de las evidencias analizadas en la literatura, Martel et al., 2021 proponen una adaptación de las curvas IDF basada en el conocimiento científico actual. Siguiendo el enfoque de la relación Clausius-Clayperon (CC), los autores proponen un factor de ajuste que depende de los cambios más probables de temperatura locales o regionales.

En primer lugar, los autores proponen el desarrollo de las curvas IDF contemporáneas con datos recientes (no mayor de dos años de antigüedad). Para tomar en cuenta el clima futuro, los autores proponen la siguiente ecuación:

$$I_{fut,D,T} = I_{ref,D,T} \times F_T \times F_D \times \left(\frac{100 + R_{sc,24,2}}{100}\right)^{\Delta T}$$

Donde:

$I_{fut,D,T}$ = Intensidad de lluvia futura de duración D y período de retorno T

$I_{ref,D,T}$ = Intensidad de lluvia de referencia de duración D y período de retorno T

F_T = Factor de ajuste para periodo de retorno T (cuando T ≥ 2, $F_T \geq 1$)

F_D= Factor de ajuste para duración menor que 24 h (cuando D ≤ 24, $F_D \geq 1$)

$R_{sc,24,2}$= Factor de escala de la precipitación (%/°C) para la lluvia diaria (D=24 h) y período de retorno T=2 años.

ΔT= Cambio proyectado en la Temperatura media anual (°C)

En la ecuación anterior, el valor $R_{sc,24,2}$ representa el valor más pequeño en las típicas curvas IDF. Este valor coincide con la mediana del valor R_{x1day} que es el valor máximo de la lluvia diaria en un año particular.

Con la información disponible, no es posible obtener estimaciones confiables de los factores F_T y F_D, ya que no se disponen de datos simulados para duraciones menores que 24 horas. Se adoptaron valores iguales a 1 para estos dos factores, lo cual implica que no hay amplificaciones en los extremos de lluvia para duraciones menores a 24 horas y períodos de retorno mayores a dos años.

En el trabajo original, el análisis es llevado a cabo para las distintas estaciones del año. Considerando que en la región de estudio la temperatura media mensual no presenta cambios importantes, y la

precipitación consiste en dos regímenes pluviométricos: época seca y época de lluvia, el análisis estacional no tiene relevancia en este caso.

En resumen, los cálculos necesarios para la aplicación de la ecuación propuesta por Martel et al. (2021) son:

Para cada modelo climático se disponen de datos diarios de temperatura y precipitación a nivel diario para un período de referencia histórico (1981-2010) y para un período futuro que cubre los últimos 30 años de datos simulados (2071-2100). Con esta información se calculan las siguientes variables:

- ΔRx1day = Mediana de la precipitación máxima diaria (Rx1day) anual, durante el período 2071–2100 dividida por la mediana del valor Rx1day durante el período de referencia 1981-2010.
- ΔT = Temperatura media durante el período 2071–2100 menos la temperatura media durante el período histórico 1981-2010.
- $R_{sc,24,2}$= ΔRx1day / ΔT
- FD=1 y FT=1.
- Factor = ((100 + $R_{sc,24,2}$) /100) ^ ΔT
- $I_{fut,D,T} = Factor * I_{ref,D,T}$

El cálculo del Factor se hace para todos los modelos climáticos disponibles, con lo cual se dispone de una muestra de 35 valores posibles para el Factor. Asumiendo una distribución de probabilidad normal para los valores del Factor, se calcula un intervalo de confianza del 95% para la media poblacional del Factor. La hipótesis de normalidad es confirmada con una prueba Wilks-Shapiro y se utiliza una distribución t-Student para el cálculo del intervalo de confianza del 95%.

25.1.2 Procedimiento Aplicado para la Obtención de la Información de Temperaturas Medias Anuales y de Láminas Máximas Anuales de Precipitación Diaria, para Períodos Históricos y Futuros, Utilizando la Base de Datos de la Fase 6 del Proyecto de Intercomparación de Modelos Climáticos (CMIP6), Disponible en el Centro de Simulación Climática de la NASA.

25.1.2.1 Características de la Información

En la referencia Thrasher B. et al. (2022) (NASA Global Daily Downscaled Projections, CMIP6) se describe la última versión de las Proyecciones diarias globales, reducidas de escala (Downscaled), de la NASA Earth Exchange (NEX-PIB-CMIP6).

Esta información contiene proyecciones tanto históricas como futuras, reducidas de escala, para el período de 2015 a 2100, así como el experimento histórico para cada modelo para el período 1950-2014, basado en los resultados de la Fase 6 del Proyecto de Intercomparación de Modelos Climáticos (CMIP6). Los productos, reducidos de escala, se produjeron utilizando una variante diaria de la corrección de sesgo mensual/desagregación espacial (BCSD) y tienen una resolución espacial de 0.25 grados x 0.25 grados. Actualmente, ocho variables de cinco experimentos del CMIP6 (históricos, SSP126, SSP245, SSP370 y SSP585) se proporcionan a medida que se obtienen de treinta y cinco modelos climáticos globales (Global Climatic Models, GCM). Dentro este conjunto de variables se encuentran la temperatura media y la lámina de precipitación diaria.

El propósito de este conjunto de datos es proporcionar proyecciones de cambio climático globales, de alta resolución y con corrección de sesgos que se pueden usar para evaluar los impactos del cambio climático en procesos que son sensibles a gradientes climáticos de escala más fina y los efectos de la topografía local en las condiciones del clima.

25.1.3 Procedimiento Aplicado para la Obtención de la Información de Temperaturas Medias Anuales y de Láminas Máximas Anuales de Precipitación Diaria, para Períodos Históricos y Futuros, Utilizando la Base de Datos de la Fase 6 del Proyecto CMIP6, Disponible en el Centro de Simulación Climática de la NASA.

El proyecto CMIP6 es un conjunto de datos de escenarios climáticos a escala global que proporciona proyecciones reducidas diarias de variables climáticas como la temperatura, la precipitación y la radiación.

Se tienen 35 modelos GCM – Model del Clima global, estos modelos contienen los diferentes escenarios de emisiones, se trabajará con el SSP5-8.5 el cual representa el escenario más alto de emisiones de gases de efecto invernadero desarrollados en el proceso SSP donde las emisiones de dióxido de carbono se triplican para el 2075. Para cada modelo GCM se deben analizar 90 años de datos diarios y seleccionar los valores máximos de cada año para el periodo historio de 1981 – 2010 y el periodo futuro 2035 – 2064, 2071 – 2100 para los parámetros de precipitación y temperatura. Dicho esto, a continuación, se presenta el procedimiento para la obtención de los datos mencionados.

1. Usando este enlace se tiene acceso a todos los datos diarios generados por los 35 modelos climáticos globales. https://ds.nccs.nasa.gov/thredds/catalog/AMES/NEX/GDDP-CMIP6/catalog.html
2. El siguiente ejemplo se realiza con el modelo MIROC6, siendo este el sexto modelo de la lista (Ver Figura 25.1 Flecha azul), se obtiene el “dataset” asociado a este modelo y se selecciona la data ssp585(Ver Figura 25.2 Flecha Roja).



Figura 25.1 Modelos Climáticos de la NASA

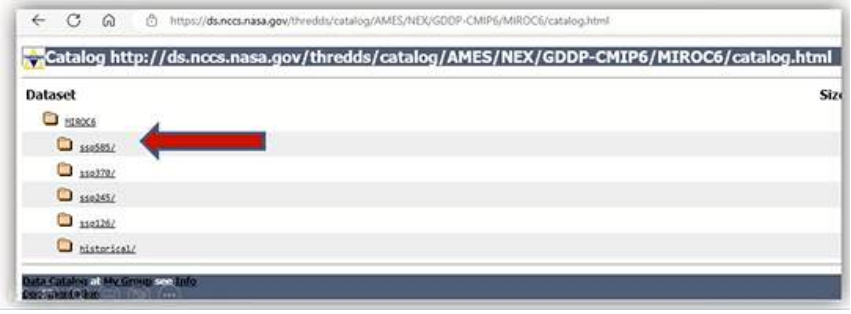


Figura 25.2 Modelos ssp de trayectoria para gases de efecto invernadero

3. Se descarga la información de precipitación y temperatura introduciendo las coordenadas puntuales de las estaciones LAS FLORES (Longitud=-74.82 y Latitud=11.04) Y CORTISSOZ (Longitud=-74.78 y Latitud=10.92). Ver Figura 25.3.



Figura 25.3 Introducir coordenadas de las estaciones

4. Se obtiene el valor máximo para año histórico (1981 – 2010) y futuros (2035-2064 y 2071-2100) para los parámetros de precipitación y temperatura. Ejemplo con el modelo MIROC6 para la estación LAS FLORES. La Tabla 25.1 hace referencia a los datos de precipitación histórico– futuro y la Tabla 25.2 hace referencia a los datos de temperatura histórico – futuro para la estación LAS FLORES con el modelo MIROC6.

Tabla 25.1 Datos precipitación históricos y futuros para LAS FLORES – MIROC6

MIROC6				
Historia			Futuro	
Año	Max Precipitacion - mm		Año	Max Precipitacion - mm
1981	24.61172026		2071	29.66850484
1982	35.42340975		2072	24.49088506
1983	18.72477019		2073	30.59881311
1984	27.42143646		2074	22.53962075
1985	30.01230452		2075	20.40473493
1986	29.25390992		2076	47.54049852
1987	39.61284589		2077	30.73438872
1988	33.10835492		2078	28.42335971
1989	26.30858794		2079	20.82798374
1990	38.50725694		2080	36.86770638
1991	24.43452096		2081	38.56862001
1992	22.10805751		2082	41.23524204
1993	26.81595543		2083	33.41773013
1994	26.12156924		2084	41.13151096
1995	28.310028		2085	29.91194045
1996	31.35896036		2086	45.22514194
1997	36.46944864		2087	43.02317742
1998	23.40163076		2088	31.07433608
1999	23.00259098		2089	34.59749641
2000	29.28516353		2090	51.55660026
2001	26.49473157		2091	73.88302311
2002	25.60243355		2092	32.66897891
2003	24.22352331		2093	25.63341558
2004	27.20344579		2094	24.60061591
2005	45.51349282		2095	49.88788571
2006	31.10600458		2096	27.81043304
2007	23.28639803		2097	23.9944811
2008	26.80963632		2098	32.29933195
2009	25.42093685		2099	47.94363957
2010	27.6020606		2100	28.26629207
Mediana	27.01		Mediana	31.69
Media	28.59		Media	34.96
Std_Dev	5.80		Std_Dev	11.53

Tabla 25.2 Datos precipitación históricos y futuros para LAS FLORES – MIROC6

MIROC6				
Historia			Futuro	
Año	Temperatura		Año	Temperatura
1981	26.11422704		2071	28.89449505
1982	26.62425362		2072	29.04717424
1983	27.06289598		2073	29.56854114
1984	27.38794836		2074	29.71373985
1985	26.77204289		2075	30.17336024
1986	26.24809069		2076	29.27329682
1987	26.61279289		2077	28.78926341
1988	26.8899255		2078	29.09653212
1989	26.62441306		2079	29.69903765
1990	26.67941117		2080	30.33323451
1991	26.75391352		2081	30.21661962
1992	26.535186		2082	29.33011642
1993	27.11374319		2083	29.28710687
1994	27.30957224		2084	29.42423534
1995	26.33324209		2085	29.80534676
1996	26.05233446		2086	30.22597798
1997	26.30418885		2087	29.60613905
1998	26.698512		2088	29.88979909
1999	27.2661601		2089	30.53600631
2000	26.86426163		2090	30.59823884
2001	26.41772411		2091	30.2283025
2002	26.22037211		2092	29.96976949
2003	27.38394198		2093	30.48036248
2004	27.63817407		2094	30.78073321
2005	26.92369326		2095	30.53751438
2006	26.84898422		2096	30.12045245
2007	26.67511455		2097	30.59746562
2008	27.50977094		2098	30.99529486
2009	27.41037497		2099	30.48320806
2010	26.60824777		2100	30.72501472
Mediana	26.73		Mediana	30.05
Media	26.80		Media	29.95
Std_Dev	0.43		Std_Dev	0.61

5. Hecho esto se obtiene el incremento de precipitación en la ***Ecuación 25.1*** y el cambio en la temperatura en la ***Ecuación 25.2*** para el modelo MIROC6 de la siguiente manera:

$$Incremento\ Precipitación\ en\ \% = 100 * \frac{(Mediana_{Futuro} - Mediana_{Historia})}{Mediana_{Historia}}$$

$$Incremento\ Precipitación\ en\ \% = 100 * \frac{(27.11 - 25.54)}{25.54} = 6\%$$

Ecuación 25.1 Incremento de precipitación

$$\Delta T = Media_{Futuro} - Media_{Historia}$$

$$\Delta T = 30.21 - 28.09 = 2.12$$

Ecuación 25.2 Cambio en la Temperatura

Hecho esto, el procedimiento se realiza de la misma manera para los 34 modelos restantes y se obtiene el resultado para las estaciones LAS FLORES (Ver Tabla 25.3) y CORTISSOZ (Ver Tabla 25.4) para los periodos de 1981 – 2010 y 2071 – 2100.

Tabla 25.3 Resultado incremento precipitación y cambio temperatura para la estación LAS FLORES

Modelo	% Incremento Precipitacion	ΔT °C
UKESM1-0-LL	-12	4.53
TaiESM1	6	-0.11
NorESM2-MM	11	3.49
NorESM2-LM	15	3.56
NESM3	10	3.18
MRI-ESM2-0	0	3.14
MPI-ESM1-2-LR	-14	2.04
MPI-ESM1-2-HR	-10	2.41
MIROC6	17	3.15
MIROC-ES2L	11	3.18
KIOST-ESM	15	2.83
KACE-1-0-G	7	4.08
IPSL-CM6A-LR	-12	2.29
INM-CM5-0	-3	2.60
INM-CM4-8	15	2.63
IITM-ESM	5	2.51
HadGEM3-GC31-MM	13	4.30
HadGEM3-GC31-LL	-21	4.06
GISS-E2-1-G	-5	3.46
GFDL-ESM4	1	2.92
GFDL-CM4_gr2	8	3.71
GFDL-CM4	7	3.87
FGOALS-g3	-5	2.71
EC-Eath3-Veg-LR	7	3.73
EC-Earth3	3	4.09
CanESM5	-3	4.65
CNRM-ESM2-1	31	4.27
CNRM-CM6-1	20	4.34
CMCC-ESM2	6	3.05
CMCC-CM2-SR5	5	3.09
CESM2-WACCM	5	3.99
CESM2	-2	4.10
BCC-CSM2-MR	-14	2.14
ACCESS-ESM1-5	-34.175	3.03
ACCESS-CM2	0	4.08

Tabla 25.4 Resultado incremento precipitación y cambio temperatura para la estación CORTISSOZ

Modelo	% Incremento Precipitacion	ΔT °C
MIROC-6	29	3.26
UKESM1-0-LL	-6.031194467	4.86
TaiESM1	14	-0.90
NorESM2-MM	26	3.61
NorESM2-LM	24	3.64
NESM3	6	3.16
MRI-ESM2-0	-9	3.36
MPI-ESM1-2-LR	-17	2.07
MPI-ESM1-2-HR	-16	2.55
MIROC-ES2L	11	3.23
KIOST-ESM	10	2.93
KACE-1-0-G	16	4.25
IPSL-CM6A-L3	-15	2.61
INM-CM5-0	-7	2.60
INM-CM4-8	6	2.63
IITM-ESM	27	2.50
HadGEM3-GC31-MM	15	7.03
HadGEM3-GC31-LL	-18	4.34
GISS-E2-1-G	-2	3.54
GFDL-ESM4	0	3.13
GFDL-CM4_gr2	4	3.76
GFDL-CM4	3	4.13
FGOALS-g3	-6	2.85
EC-Earth3-Veg-LR	9	3.97
EC-Earth3	12	4.50
CanESM5	10	4.85
CNRM-ESM2-1	51	4.50
CNRM-CM6-1	7	4.54
CMCC-ESM2	7	3.09
CMCC-CM2-SR5	17	3.11
CESM2-WACCM	0	4.19
CESM2	-4	4.34
BCC-CSM2-MR	-15	2.14
ACCESS-ESM1-5	-36	3.60
ACCESS-CM2	14	4.24

Cabe resaltar que el modelo TaiESM1 no se tendrá en cuenta respecto a los siguientes cálculos ya que su incremento de temperatura no es coherente con el estado actual del mundo debido al aumento de gases de efecto invernadero.

El mismo procedimiento se realizó para el periodo de 1981 – 2010 y 2035 – 2064. Se vuelve a estructurar los pasos anteriores, pero de una manera más resumida.

Se descargó la información de precipitación diaria y temperatura de la fase 6 del proyecto CMIP6, disponible en el centro de simulación climática de la Nasa de los 35 modelos para los años de 2035-2064 para la estación AEROPUERTO CORTISSOZ de categoría sinóptica Principal con coordenadas de longitud = -74.78 y latitud = 10.92 y la estación LAS FLORES de categórica climática principal con coordenadas de longitud = -78.82 y latitud = 11.04 con ubicación en barranquilla Colombia para obtener la temperatura media anual - lámina de agua media anual, mediana de temperatura anual – lámina de agua mediana anual y desviación estándar de temperatura media anual y desviación estándar de temperatura media anual para los años de 2035-2064. Se aplica la Ecuación 25.1 y la Ecuación 25.2, obteniendo los resultados como se muestra en la Tabla 25.5.

Tabla 25.5 Resultado incremento precipitación y cambio temperatura para la estación CORTISSOZ, Periodo 2035-2064

Modelo	% Incremento Precipitacion	ΔT °C
MIROC-6	21	1.59
UKESM1-0-LL	-3	2.51
TaiESM1	ELIMINADO	
NorESM2-MM	5	1.88
NorESM2-LM	17	1.64
NESM3	2	2.83
MRI-ESM2-0	-1	1.73
MPI-ESM1-2-LR	-14	0.71
MPI-ESM1-2-HR	9	1.26
MIROC-ES2L	9	1.72
KIOST-ESM	10	1.67
KACE-1-0-G	3	2.29
IPSL-CM6A-L3	-13	0.81
INM-CM5-0	-3	1.43
INM-CM4-8	-1	1.37
IITM-ESM	16	1.49
HadGEM3-GC31-MM	-4	4.62
HadGEM3-GC31-LL	-9	2.50
GISS-E2-1-G	-4	1.97
GFDL-ESM4	8	1.37
GFDL-CM4_gr2	-3	11.10
GFDL-CM4	6	2.30
FGOALS-g3	8	1.44
EC-Earth3-Veg-LR	-4	1.71
EC-Earth3	15	2.02
CanESM5	2	2.44
CNRM-ESM2-1	15	2.08
CNRM-CM6-1	-2	1.99
CMCC-ESM2	-5	1.19
CMCC-CM2-SR5	5	1.41
CESM2-WACCM	8	1.94
CESM2	-1	2.10
BCC-CSM2-MR	-2	1.10
ACCESS-ESM1-5	-2	1.98
ACCESS-CM2	6	2.12

25.1.4 Procesamiento de las Series de Temperaturas Medias Anuales y de Láminas Máximas Anuales de Precipitación Diaria, a los Fines de Obtener el Factor que Permite la Obtención de las Curvas IDF Considerando el Clima Futuro

Habiendo procesado las series de temperatura y precipitación para los periodos de tiempo mencionado anteriormente, se procede a calcular el factor que permitirá modificar las curvas IDF debido al fenómeno del cambio climático empleando la siguiente ecuación:

$$Factor = ((100 + Rsc,24,2)/100)^{\Delta T}$$

Ecuación 25.3 Cambio en la Temperatura

En donde:

ΔRx1dia = Valor de la mediana Rx1dia durante el periodo 2071-2100 sobre el valor de la mediana Rx1dia durante el periodo histórico 1971-2010 lo cual hace referencia al porcentaje de incremento de precipitación.

ΔT = Temperatura media durante el periodo 2071 – 2100 menos la temperatura media durante el periodo histórico 1971-2010.

Rsc,24,2 = ΔRx1dia / ΔT

Se tomará como ejemplo el modelo MIROC6 con la estación CORTISSOZ para el periodo de 2035 – 2064 (Tabla 25.5), dicho esto, el resultado para el modelo y periodo mencionado anteriormente es el siguiente:

ΔRx1dia = 21 %

ΔT = 1.59 °C

Reemplazando

Rsc,24,2 = 12.97776418

Finalmente se obtiene

$$Factor = \left(\frac{100 + 12.97776418}{100}\right)^{1.59} = 1.213595444$$

Hecho esto, la Tabla 25.6 y la Tabla 25.7 son el resultado del caculo del factor para los 35 modelos GCM para ambos periodos futuros de tiempo.

Tabla 25.6 Resultado factor para el periodo de 2035 – 2064

Modelo	% Incremento Precipitacion	ΔT °C	Rsc,24,2	Factor
MIROC-6	21	1.59	12.978	1.214
UKESM1-0-LL	-3	2.51	-1.137	0.972
TaiESM1	ELIMINADO			
NorESM2-MM	5	1.88	2.593	1.049
NorESM2-LM	17	1.64	10.547	1.179
NESM3	2	2.83	0.707	1.020
MRI-ESM2-0	-1	1.73	-0.806	0.986
MPI-ESM1-2-LR	-14	0.71	-19.462	0.858
MPI-ESM1-2-HR	9	1.26	7.489	1.095
MIROC-ES2L	9	1.72	5.159	1.090
KIOST-ESM	10	1.67	6.107	1.104
KACE-1-0-G	3	2.29	1.119	1.026
IPSL-CM6A-L3	-13	0.81	-16.491	0.865
INM-CM5-0	-3	1.43	-2.005	0.971
INM-CM4-8	-1	1.37	-0.885	0.988
IITM-ESM	16	1.49	10.797	1.165
HadGEM3-GC31-MM	-4	4.62	-0.908	0.959
HadGEM3-GC31-LL	-9	2.50	-3.705	0.910
GISS-E2-1-G	-4	1.97	-1.887	0.963
GFDL-ESM4	8	1.37	5.857	1.081
GFDL-CM4_gr2	-3	11.10	-0.256	0.972
GFDL-CM4	6	2.30	2.802	1.066
FGOALS-g3	8	1.44	5.773	1.084
EC-Earth3-Veg-LR	-4	1.71	-2.113	0.964
EC-Earth3	15	2.02	7.608	1.160
CanESM5	2	2.44	0.778	1.019
CNRM-ESM2-1	15	2.08	7.007	1.151
CNRM-CM6-1	-2	1.99	-1.253	0.975
CMCC-ESM2	-5	1.19	-4.508	0.947
CMCC-CM2-SR5	5	1.41	3.467	1.049
CESM2-WACCM	8	1.94	4.295	1.085
CESM2	-1	2.10	-0.584	0.988
BCC-CSM2-MR	-2	1.10	-1.995	0.978
ACCESS-ESM1-5	-2	1.98	-1.115	0.978
ACCESS-CM2	6	2.12	2.892	1.062

Tabla 25.7 Resultado factor para el periodo de 2071 – 2100

Modelo	% Incremento Precipitacion	ΔT °C	Rsc,24,2	Factor
MIROC-6	29	3.26	8.832	1.318
UKESM1-0-LL	-6.031194467	4.86	-1.241	0.941
TaiESM1	14	-0.90	-15.499	Eliminado
NorESM2-MM	26	3.61	7.281	1.289
NorESM2-LM	24	3.64	6.515	1.259
NESM3	6	3.16	1.845	1.060
MRI-ESM2-0	-9	3.36	-2.630	0.914
MPI-ESM1-2-LR	-17	2.07	-8.167	0.839
MPI-ESM1-2-HR	-16	2.55	-6.400	0.845
MIROC-ES2L	11	3.23	3.379	1.113
KIOST-ESM	10	2.93	3.515	1.106
KACE-1-0-G	16	4.25	3.752	1.169
IPSL-CM6A-L3	-15	2.61	-5.845	0.855
INM-CM5-0	-7	2.60	-2.767	0.930
INM-CM4-8	6	2.63	2.292	1.061
IITM-ESM	27	2.50	10.593	1.287
HadGEM3-GC31-MM	15	7.03	2.173	1.163
HadGEM3-GC31-LL	-18	4.34	-4.032	0.836
GISS-E2-1-G	-2	3.54	-0.471	0.983
GFDL-ESM4	0	3.13	0.082	1.003
GFDL-CM4_gr2	4	3.76	1.142	1.044
GFDL-CM4	3	4.13	0.736	1.031
FGOALS-g3	-6	2.85	-1.994	0.944
EC-Earth3-Veg-LR	9	3.97	2.371	1.097
EC-Earth3	12	4.50	2.665	1.126
CanESM5	10	4.85	1.985	1.100
CNRM-ESM2-1	51	4.50	11.269	1.617
CNRM-CM6-1	7	4.54	1.609	1.075
CMCC-ESM2	7	3.09	2.337	1.074
CMCC-CM2-SR5	17	3.11	5.462	1.180
CESM2-WACCM	0	4.19	-0.050	0.998
CESM2	-4	4.34	-0.808	0.965
BCC-CSM2-MR	-15	2.14	-7.126	0.854
ACCESS-ESM1-5	-36	3.60	-9.923	0.686
ACCESS-CM2	14	4.24	3.361	1.150

25.2 Aplicación de la Metodología Descrita Utilizando los Datos de las Estaciones Las Flores y Cortíssoz

Habiendo calculado el factor para los 35 modelos GCM para ambos periodos futuros de tiempo, el procedimiento a seguir es el siguiente:

- Se realiza una prueba de normalidad para los 35 resultados de factor para ambos modelos de tiempo mediante la metodología de Shapiro-Wilks.
- El método de Shapiro-Wilk es una prueba estadística utilizada para determinar si un conjunto de datos sigue una distribución normal. La prueba de Shapiro-Wilk se basa en la comparación de los valores ordenados de los datos con los valores esperados bajo la suposición de normalidad.
- La hipótesis nula de la prueba es que los datos provienen de una distribución normal. Si el valor p asociado con la prueba es menor que un nivel de significancia predefinido (por ejemplo, 0.05), se rechaza la hipótesis nula y se concluye que los datos no siguen una distribución normal.

- Si el valor p es mayor que el nivel de significancia, no se puede rechazar la hipótesis nula y se acepta que los datos pudieran provenir de una distribución normal.
- La Tabla 25.8 representa los valores del factor ordenado de menor a mayor para el cálculo del p-value para la estación CORTISSOZ del periodo futuro 2071 – 2100.
- Adicional a esto, la Figura 25.4 presenta los datos de factor ordenados para el periodo mencionado y se puede observar que representa un comportamiento parecido al de la distribución normal.

Tabla 25.8 Factores estación CORTISSOZ periodo 2071-2100 ordenados de menor a mayor

m	X	Fs(x)	F(x)
1	0.686	0.0286	0.0184
2	0.836	0.0571	0.1073
3	0.839	0.0857	0.1096
4	0.845	0.1143	0.1166
5	0.854	0.1429	0.1265
6	0.855	0.1714	0.1277
7	0.914	0.2000	0.2116
8	0.930	0.2286	0.2376
9	0.941	0.2571	0.2579
10	0.944	0.2857	0.2636
11	0.965	0.3143	0.3040
12	0.983	0.3429	0.3405
13	0.998	0.3714	0.3710
14	1.003	0.4000	0.3809
15	1.031	0.4286	0.4428
16	1.044	0.4571	0.4715
17	1.060	0.4857	0.5075
18	1.061	0.5143	0.5116
19	1.074	0.5429	0.5397
20	1.075	0.5714	0.5425
21	1.097	0.6000	0.5919
22	1.100	0.6286	0.5977
23	1.106	0.6571	0.6114
24	1.113	0.6857	0.6264
25	1.126	0.7143	0.6522
26	1.150	0.7429	0.7024
27	1.163	0.7714	0.7271
28	1.169	0.8000	0.7383
29	1.180	0.8286	0.7573
30	1.259	0.8571	0.8733
31	1.287	0.8857	0.9033
32	1.289	0.9143	0.9055
33	1.318	0.9429	0.9300
34	1.617	0.9714	0.9992
Media	**1.056**		
Des.Stand.	**0.177**		

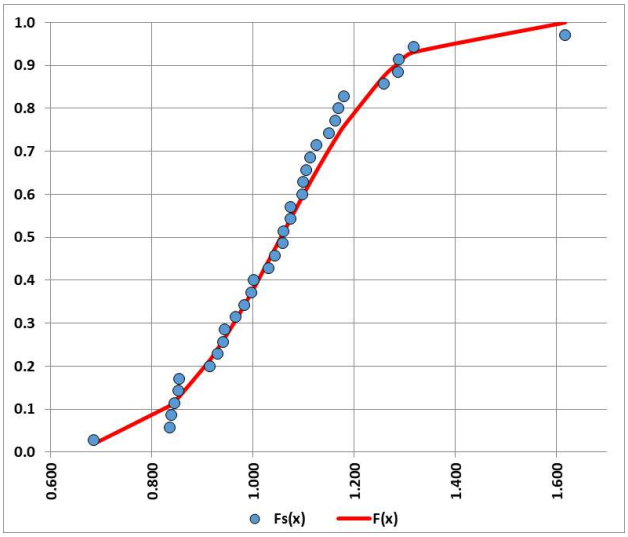


Figura 25.4 Comportamiento de los datos factor para la estación CORTISSOZ - 2071-2100

25.2.1 Resultados Obtenidos para el Período Futuro 2071-2100

Mediante el programa RStudio se obtiene el valor de p-value para la estación CORTISSOZ-2071-2100 el cual es de 0.2172, siendo este >0.05 es un valor aceptado el cual puede provenir de una distribución normal.

Siguiente a esto se obtienen los intervalos de confianza de la **media**, la Tabla 25.9 representa el resumen de resultados para la estación CORTISSOZ periodo 2071-2100.

Tabla 25.9 Resultado p-value e intervalos de confianza para CORTISSOZ 2071-2100

Media	**1.056**
p-value	**0.2172**
5%	**0.994**
95%	**1.118**

25.2.2 Resultados Obtenidos para el Periodo Futuro 2035-2064

Se realiza el mismo procedimiento para la estación CORTISSOZ periodo 2035-2064, la Tabla 25.10 representa el resultado para este periodo de tiempo.

Tabla 25.10 Resultado p-value e intervalos de confianza para CORTISSOZ 2035-2064

Media	**1.029**
p-value	**0.3839**
5%	**0.998**
95%	**1.058**

25.3 Estimación de las Curvas IDF, Afectadas por el Cambio Climático, Durante los Periodos 2035-2064 y 2071-2100

Revisando los resultados anteriores podemos decir que se estima para el periodo de 2035-2064 se dé un aumento promedio de las precipitaciones máximas de 3% respecto a los valores estimados actualmente, y un aumento de un 6% con un 95% de confianza. Por su parte es estima para el periodo de 2071-2100 se dé un aumento promedio de las precipitaciones máximas de 6% respecto a los valores estimados actualmente, y un aumento de un 12% con un 95% de confianza. Si bien estos resultados fueron encontrados para la estación Apto. Ernesto Cortissoz, al estar tan cerca de la Estación Las Flores y estar dentro de una misma área de influencia de las simplificaciones de los modelos de cambio climático, se tomarán estos mismos incrementos para la estación Las Flores.

Se aclara que los incrementos expuestos anteriormente impactan directamente en un aumento sobre las lluvias críticas, pero no necesariamente esto implica que se dé un aumento en las precipitaciones anuales totales. Podría ser posible que se presenten largas temporadas de sequía sucedidas por lluvias intensas que alcancen precipitaciones puntuales asociadas a los valores de lluvias críticas, pero con un valor de precipitación anual que bien podría descender o aumentar.

Los valores obtenidos de la media y el intervalo de confianza obtenidos con anterioridad serán los que se multiplique a los valores de precipitación para lograr ajustarlos al fenómeno del cambio climático, para los periodos futuros mencionados anteriormente 2035-2064 y 2071-2100. Los valores de intensidades de lluvias críticas aumentadas con la media al 95% de confianza para el periodo 2035-2064, se presentan en la Tabla 25.11 y Tabla 25.12, mientras que los valores de intensidades de lluvias críticas aumentadas con la media al 95% de confianza para el periodo 2071-2100 se muestran en la Tabla 25.13 y Tabla 25.14:

Tabla 25.11 Valores de intensidad de lluvias críticas para diferentes periodos de retorno periodo 2035-2064 para la estación Apto. Ernesto Cortissoz

Intensidad aumentada media con 95% de confianza CC periodo 2035-2064 (mm/hr) - Apto. Ernesto Cortissoz							
D (min)\Tr (años)	**2**	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
15	104.3	114.1	125.1	138.8	156.1	169.1	181.8
30	79.3	88.8	99.4	112.7	129.5	141.9	154.3
60	54.1	61.5	69.7	80.1	93.3	103.0	112.8
120	30.2	34.7	39.6	46.0	54.0	59.9	65.7
360	10.7	12.2	14.0	16.1	18.9	21.0	23.0

Tabla 25.12 Valores de intensidad de lluvias críticas para diferentes periodos de retorno periodo 2035-2064 para la estación Las Flores

Intensidad aumentada media con 95% de confianza CC periodo 2035-2064 (mm/hr) - Las Flores							
D (min)\Tr	**2**	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
15	103.8	113.7	124.8	138.8	156.4	169.4	182.4
30	82.6	91.4	101.1	113.4	129.0	140.6	152.0
60	56.7	63.7	71.4	81.2	93.5	102.6	111.7
120	33.1	37.0	41.4	47.0	54.0	59.0	64.2
360	12.2	13.9	15.7	18.0	21.0	23.1	25.2

Tabla 25.13 Valores de intensidad de lluvias críticas para diferentes periodos de retorno periodo 2071-2100 para la estación Apto. Ernesto Cortissoz

Intensidad aumentada media con 95% de confianza CC periodo 2071-2100 (mm/hr) - Apto. Ernesto Cortissoz							
D (min)\Tr (años)	**2**	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
15	110.2	120.5	132.2	146.6	165.0	178.6	192.1
30	83.8	93.9	105.1	119.1	136.9	150.0	163.1
60	57.1	65.0	73.7	84.7	98.6	108.9	119.2
120	31.9	36.6	41.9	48.6	57.0	63.3	69.4
360	11.3	12.9	14.8	17.0	19.9	22.2	24.3

Tabla 25.14 Valores de intensidad de lluvias críticas para diferentes periodos de retorno periodo 2071-2100 para la estación Las Flores

Intensidad aumentada media con 95% de confianza CC periodo 2071-2100 (mm/hr) - Las Flores							
D (min)\Tr	**2**	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
15	109.6	120.2	131.8	146.6	165.2	179.0	192.8
30	87.2	96.5	106.8	119.8	136.3	148.5	160.6
60	59.9	67.3	75.5	85.8	98.8	108.4	118.0
120	34.9	39.1	43.8	49.6	57.0	62.4	67.9
360	12.9	14.7	16.6	19.0	22.2	24.4	26.7

Mediante un análisis análogo al realizado en el capítulo 24.1, se realiza la extrapolación de valores de intensidades para obtener los datos de precipitación en eventos de duraciones menores (5 y 10 minutos) y adicionalmente se incluyen los tiempos de retorno de 200 y 500 años. Las tablas de intensidades complementadas para los periodos contemplados se presentan de la Tabla 25.15 a la Tabla 25.18:

Tabla 25.15 Valores de intensidad de lluvias críticas para diferentes periodos de retorno con extrapolaciones periodo 2035-2064 para la estación Apto. Ernesto Cortissoz

Intensidad con extrapolación de periodos de retorno y duraciones (mm/hr) - Apto. Ernesto Cortissoz Periodo 2035-2064									
D(min)\Tr (años)	**2**	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**	**200**	**500**
5	131.7	143.3	155.3	171.6	192.1	206.8	222.2	238.9	259.9
10	117.3	128.5	140.4	156.1	175.7	190.0	204.6	220.9	241.2
15	105.2	115.9	127.5	142.4	161.2	174.9	188.8	204.4	223.8
30	79.4	88.5	98.8	111.4	127.5	139.4	151.1	164.7	181.3
60	52.3	58.9	66.6	75.9	87.8	96.8	105.5	115.6	127.9
120	30.3	34.4	39.3	45.1	52.6	58.3	63.8	70.0	77.8
180	21.0	23.9	27.4	31.5	36.9	41.0	44.9	49.3	54.9
360	10.7	12.2	14.0	16.1	18.9	21.0	23.0	25.3	28.2

Tabla 25.16 Valores de intensidad de lluvias críticas para diferentes periodos de retorno con extrapolaciones periodo 2035-2064 para la estación Las Flores

Intensidad con extrapolación de periodos de retorno y duraciones (mm/hr) - Las Flores Periodo 2035-2064									
D(min)\Tr (años)	**2**	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**	**200**	**500**
5	125.9	137.4	149.7	165.8	186.1	201.1	215.9	232.8	253.7
10	114.4	125.3	137.1	152.3	171.5	185.7	199.7	215.7	235.5
15	104.5	114.7	126.0	140.3	158.4	171.8	185.2	200.3	219.0
30	81.9	90.6	100.3	112.4	127.8	139.1	150.5	163.3	179.2
60	56.1	62.6	69.9	79.0	90.5	99.0	107.5	117.2	129.1
120	33.6	37.8	42.5	48.4	55.9	61.4	66.9	73.1	80.9
180	23.6	26.7	30.1	34.4	39.9	43.9	47.9	52.5	58.1
360	12.2	13.9	15.7	18.0	21.0	23.1	25.2	27.7	30.7

Tabla 25.17 Valores de intensidad de lluvias críticas para diferentes periodos de retorno con extrapolaciones periodo 2071-2100 para la estación Apto. Ernesto Cortissoz

Intensidad con extrapolación de periodos de retorno y duraciones (mm/hr) - Apto. Ernesto Cortissoz Periodo 2071-2100									
D(min)\Tr (años)	**2**	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**	**200**	**500**
5	139.2	151.4	164.1	181.3	202.9	218.6	234.7	252.4	274.6
10	123.9	135.8	148.3	164.9	185.7	200.8	216.2	233.4	254.8
15	111.2	122.5	134.7	150.5	170.3	184.8	199.4	216.0	236.5
30	83.9	93.5	104.4	117.7	134.7	147.3	159.7	174.0	191.6
60	55.2	62.2	70.4	80.2	92.8	102.3	111.5	122.1	135.2
120	32.0	36.3	41.5	47.6	55.5	61.6	67.4	74.0	82.2
180	22.2	25.3	29.0	33.3	39.0	43.3	47.4	52.1	58.0
360	11.3	12.9	14.8	17.0	19.9	22.2	24.3	26.7	29.8

Tabla 25.18 Valores de intensidad de lluvias críticas para diferentes periodos de retorno con extrapolaciones periodo 2071-2100 para la estación Las Flores

Intensidad con extrapolación de periodos de retorno y duraciones (mm/hr) - Las Flores Periodo 2071-2100									
D(min)\Tr (años)	**2**	**3**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**	**200**	**500**
5	133.0	145.2	158.1	175.1	196.7	212.5	228.1	246.0	268.1
10	120.9	132.4	144.8	160.9	181.2	196.2	211.0	227.9	248.8
15	110.4	121.2	133.1	148.3	167.4	181.6	195.6	211.6	231.4
30	86.6	95.7	106.0	118.8	135.0	147.0	159.0	172.6	189.3
60	59.3	66.2	73.9	83.5	95.6	104.6	113.6	123.8	136.4
120	35.5	40.0	44.9	51.2	59.1	64.8	70.7	77.3	85.4
180	25.0	28.2	31.8	36.4	42.2	46.4	50.6	55.4	61.4
360	12.9	14.7	16.6	19.0	22.2	24.4	26.7	29.3	32.5

A partir de estos valores se definen los parámetros de la ecuación de Wenzel, los cuales se ilustran de la Tabla 25.19 a la Tabla 25.22.

Tabla 25.19 Parámetros de la ecuación de Wenzel para el periodo 2035-2064 estación Apto. Ernesto Cortissoz

Parámetro\Tr	2	3	5	10	25	50	100	200	500
c	6615.679	7780.192	9327.227	11098.736	13501.768	15452.896	17249.702	19352.538	21991.811
e	1.079	1.084	1.090	1.095	1.101	1.105	1.108	1.111	1.114
f	44.357	48.358	54.046	58.582	64.122	68.468	71.365	74.543	78.020

Tabla 25.20 Parámetros de la ecuación de Wenzel para el periodo 2035-2064 estación Las Flores

Parámetro\Tr	2	3	5	10	25	50	100	200	500
c	8266.389	9217.778	10665.632	12187.241	14112.827	15722.856	17454.444	19215.823	21510.887
e	1.092	1.087	1.091	1.089	1.087	1.089	1.091	1.091	1.093
f	59.877	61.331	65.480	67.751	70.070	72.415	75.046	76.730	78.961

Tabla 25.21 Parámetros de la ecuación de Wenzel para el periodo 2071-2100 estación Apto. Ernesto Cortissoz

Parámetro\Tr	2	3	5	10	25	50	100	200	500
c	6990.152	8220.580	9855.183	11726.966	14266.019	16327.589	18226.100	20447.965	23236.630
e	1.079	1.084	1.090	1.095	1.101	1.105	1.108	1.111	1.114
f	44.357	48.358	54.046	58.582	64.122	68.468	71.365	74.543	78.020

Tabla 25.22 Parámetros de la ecuación de Wenzel para el periodo 2071-2100 estación Las Flores

Parámetro\Tr	2	3	5	10	25	50	100	200	500
c	8734.298	9739.540	11269.347	12877.085	14911.667	16612.829	18442.431	20303.511	22728.484
e	1.092	1.087	1.091	1.089	1.087	1.089	1.091	1.091	1.093
f	59.877	61.331	65.480	67.751	70.070	72.415	75.046	76.730	78.961

Las curvas IDF, futuras, teniendo en cuenta el efecto del cambio climático se ilustran de la Figura 25.5 a la Figura 25.8. Para establecer la comparación de los resultados, se presentan a continuación las curvas IDF para los periodos de retorno de 25, 50, 100 y 200 años en su condición actual y con el efecto previsto del cambio climático para el periodo de 2071-2100. Las curvas comparativas se presentan de la Figura 25.9 a la Figura 25.12.

De las gráficas comparativas para ambas estaciones se puede establecer que se produce un incremento sustancial de la intensidad, en el que las curvas actuales ya no coinciden con las de periodos de retorno similares en el periodo futuro. Es decir, la curva de intensidad para un periodo de retorno de 50 años actual ya no corresponde con la curva futura para el mismo periodo de retorno, sino que en contraste coincide con la del periodo de retorno inferior, es decir con la curva IDF futura para el periodo de retorno de 25 años. Esto lo que implicaría sería un descenso en el desempeño esperado de las estructuras hidráulicas, puesto que, si en la actualidad se diseña una estructura con un periodo de retorno de 100 años, a futuro la misma cambiaría su periodo de retorno de desempeño al periodo de retorno de 50 años o inferior.

Si bien lo anterior es más marcado en las curvas IDF futuras del periodo 2071-2100, se puede corroborar que para las curvas IDF futuras a 2035-2064 para las precipitaciones de duraciones cortas (0 – 60 min) las curvas IDF de periodos de retorno inferiores se acercan bastante a las del periodo de retorno siguiente en las curvas actuales.

.

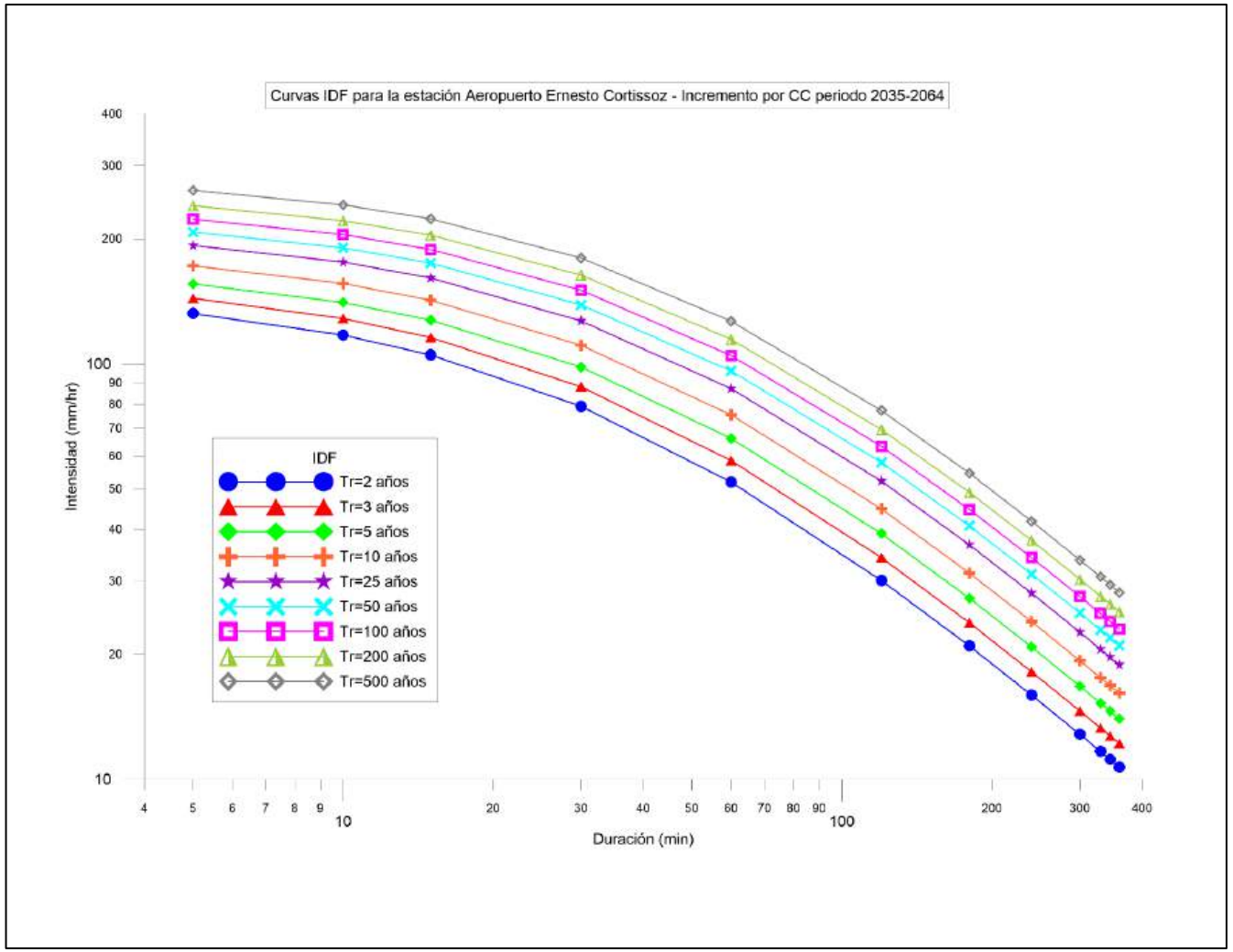


Figura 25.5 Curvas IDF estación Apto Ernesto Cortissoz para el periodo 2035-2064

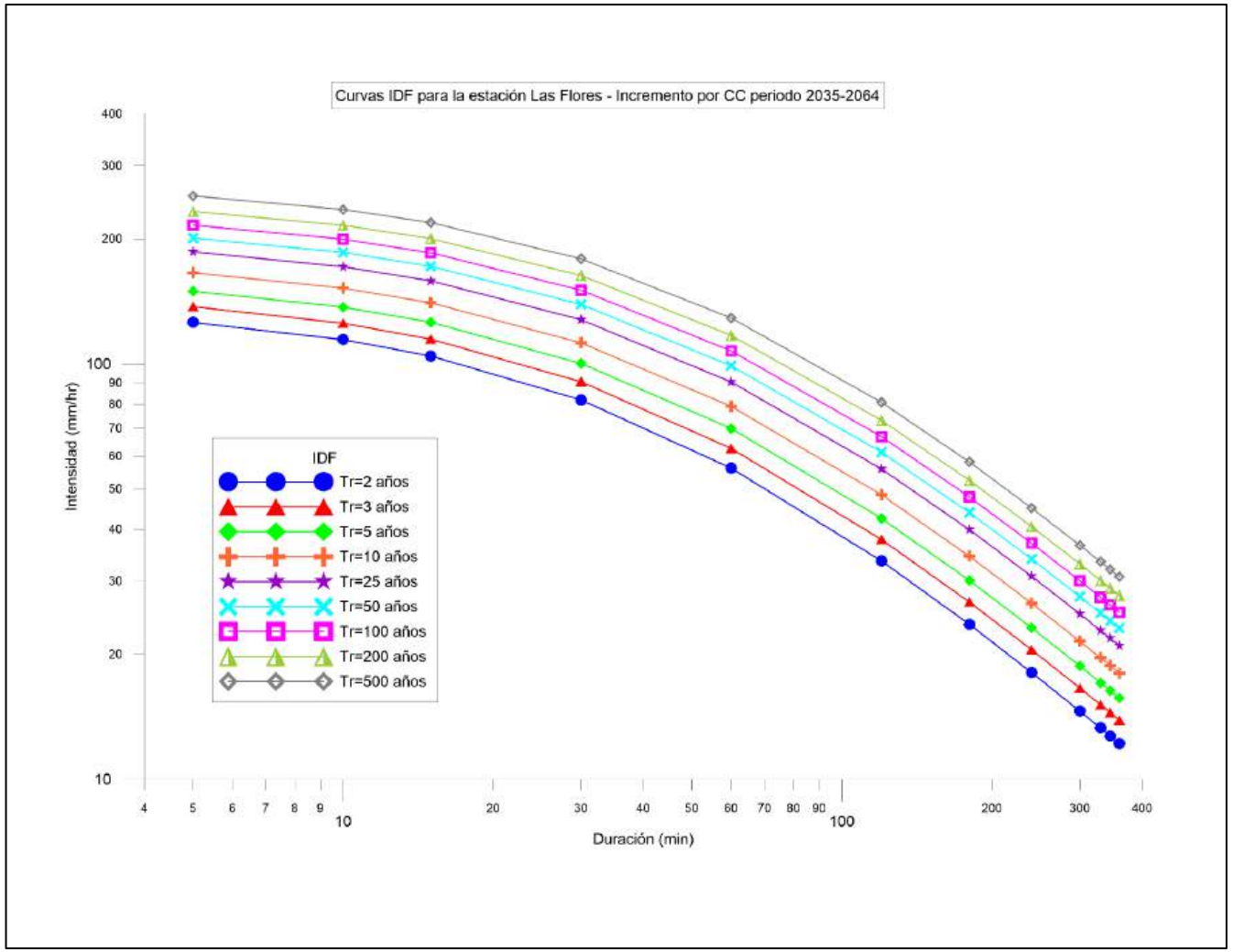


Figura 25.6 Curvas IDF estación Las Flores para el periodo 2035-2064

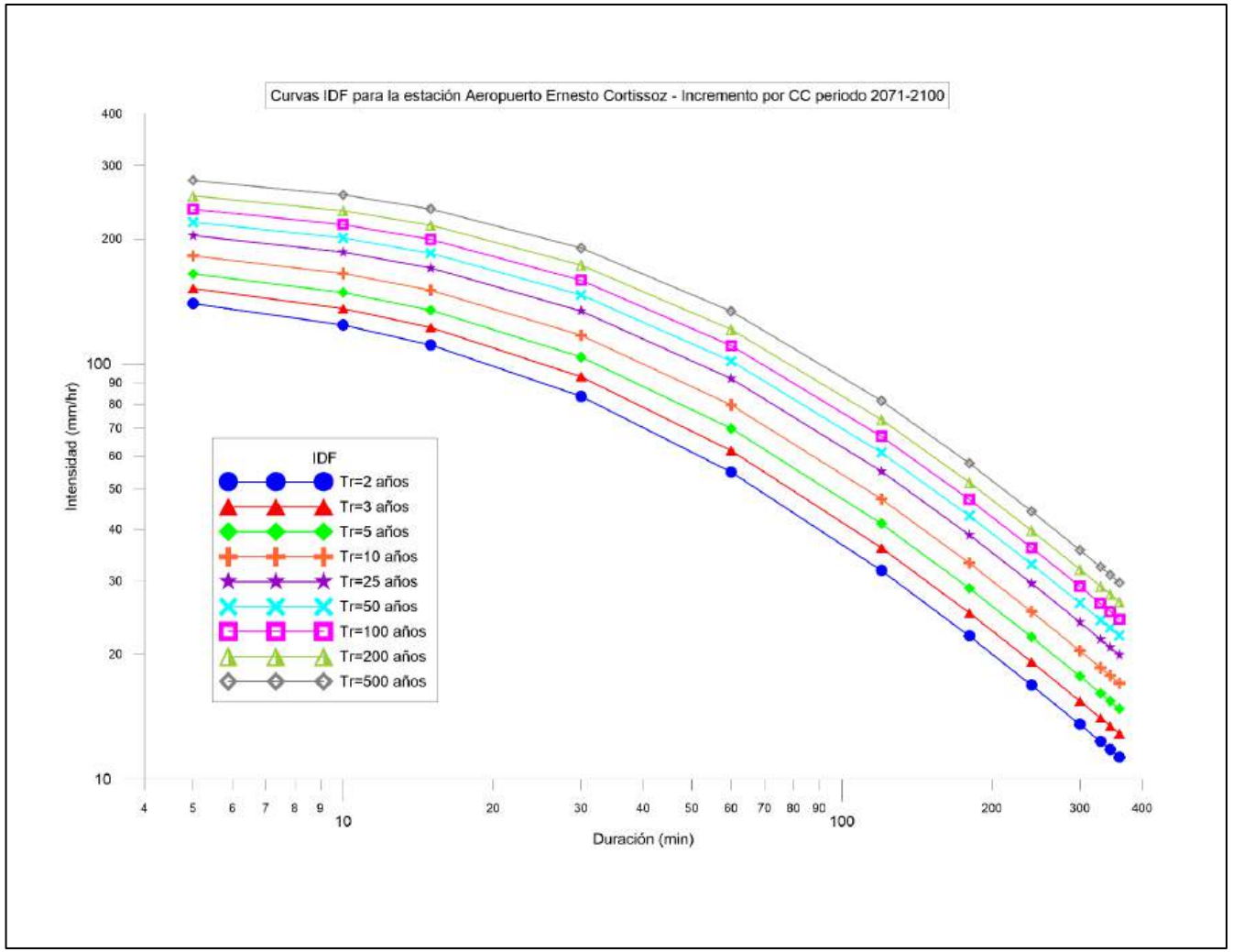


Figura 25.7 Curvas IDF estación Ernesto Cortissoz para el periodo 2071-2100.

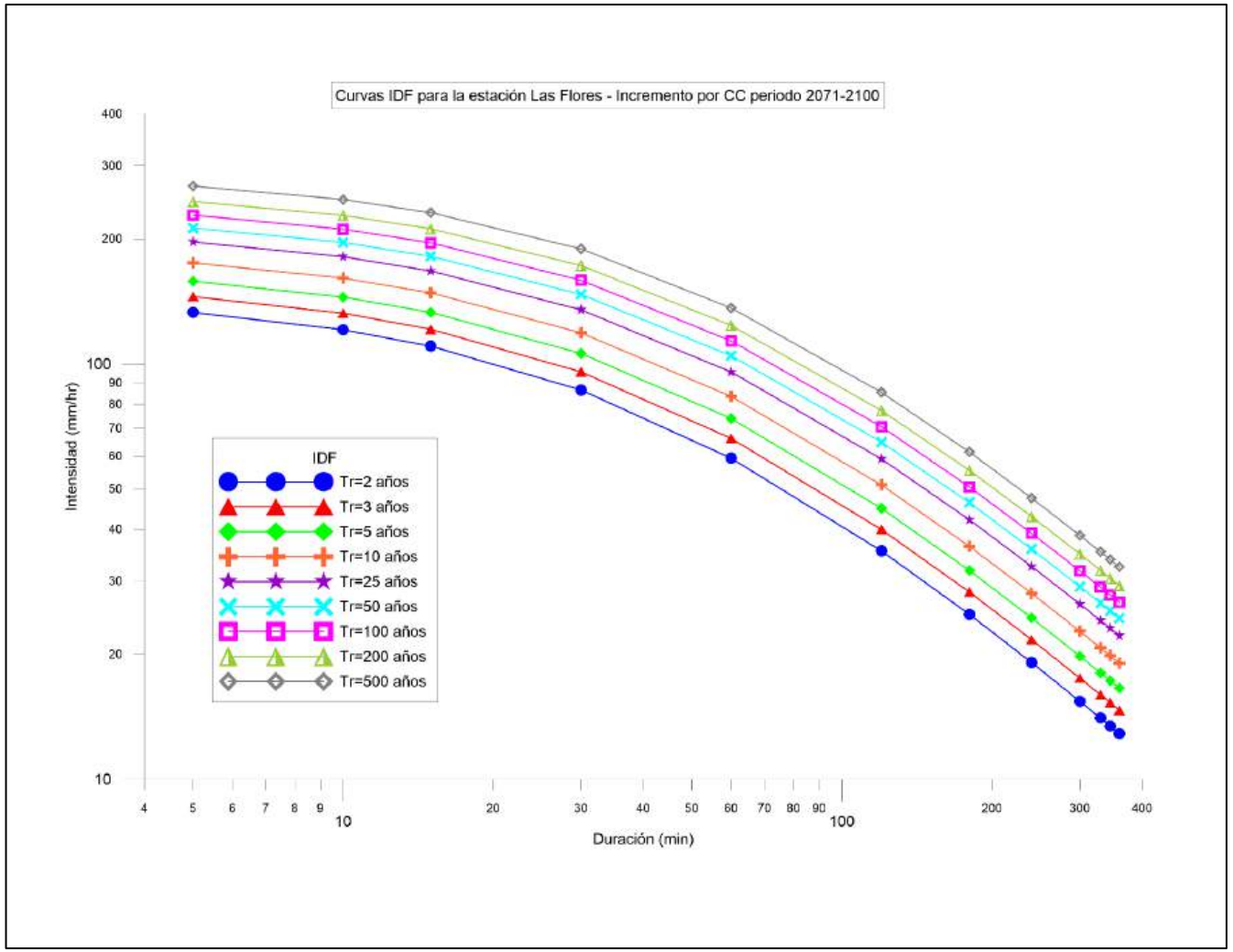


Figura 25.8 Curvas IDF estación Las Flores para el periodo 2071-2100.

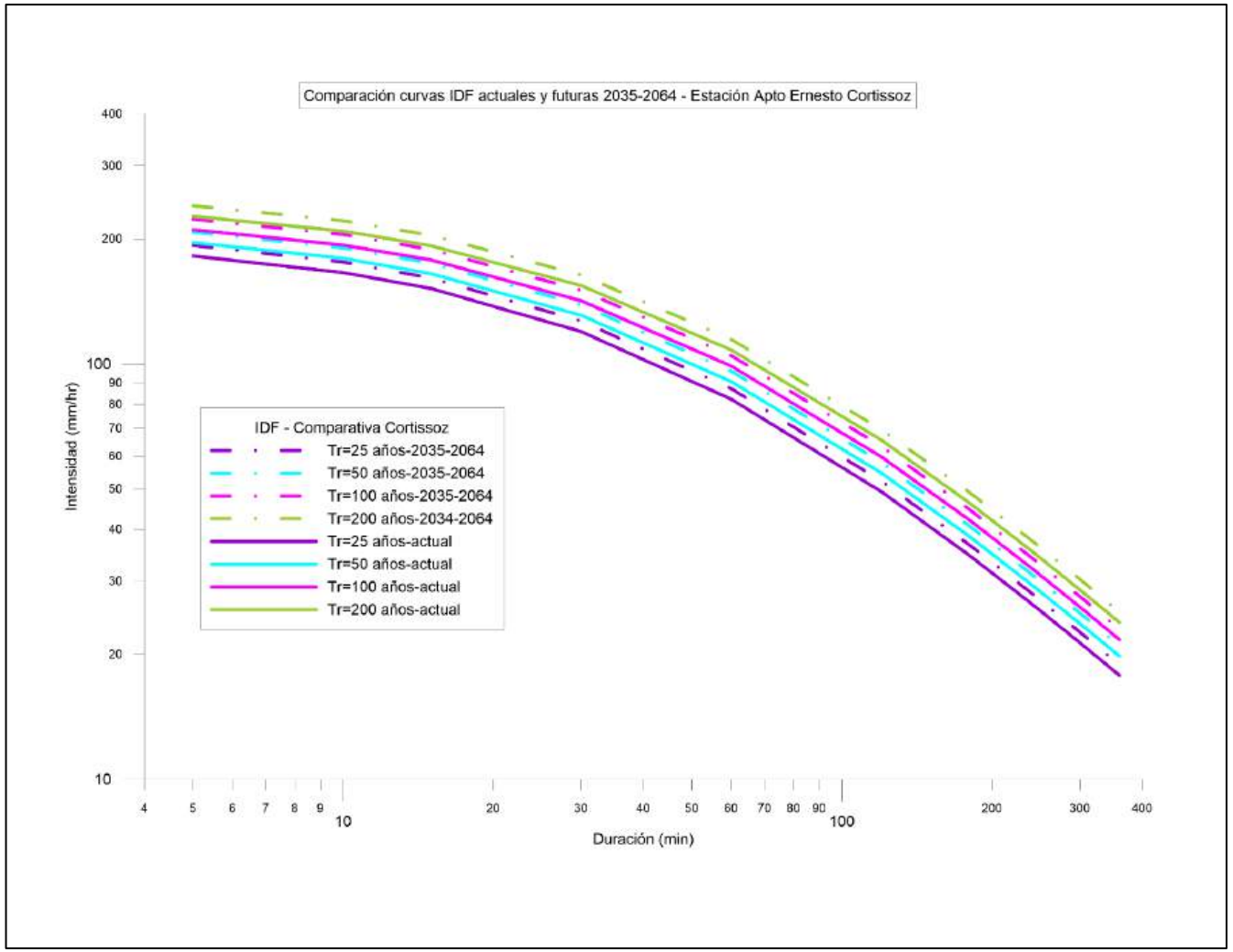


Figura 25.9 Comparación entre las curvas IDF actuales y futuras 2035-2064 para la estación Apto. Ernesto Cortissoz.

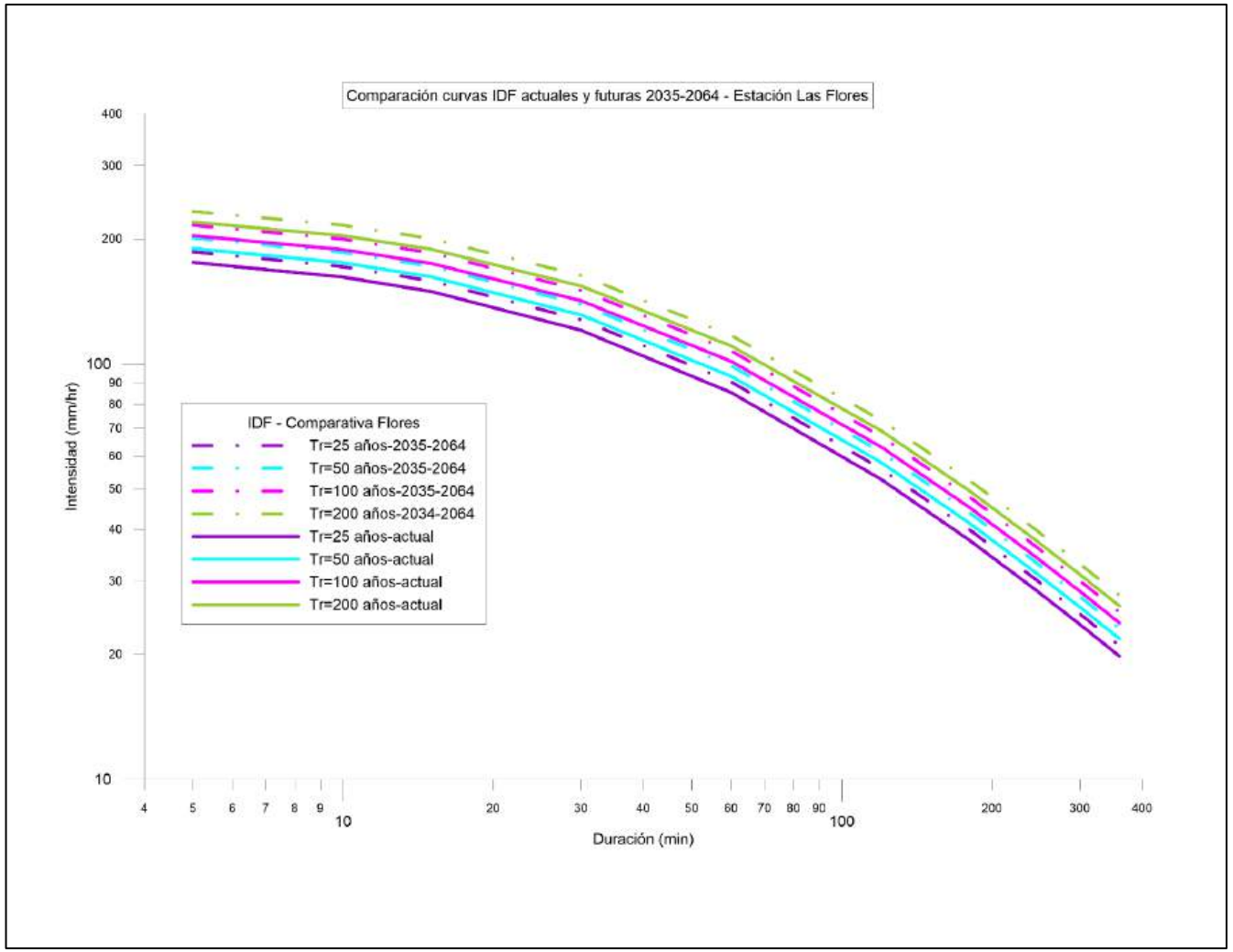


Figura 25.10 Comparación entre las curvas IDF actuales y futuras 2035-2064 para la estación Las Flores.

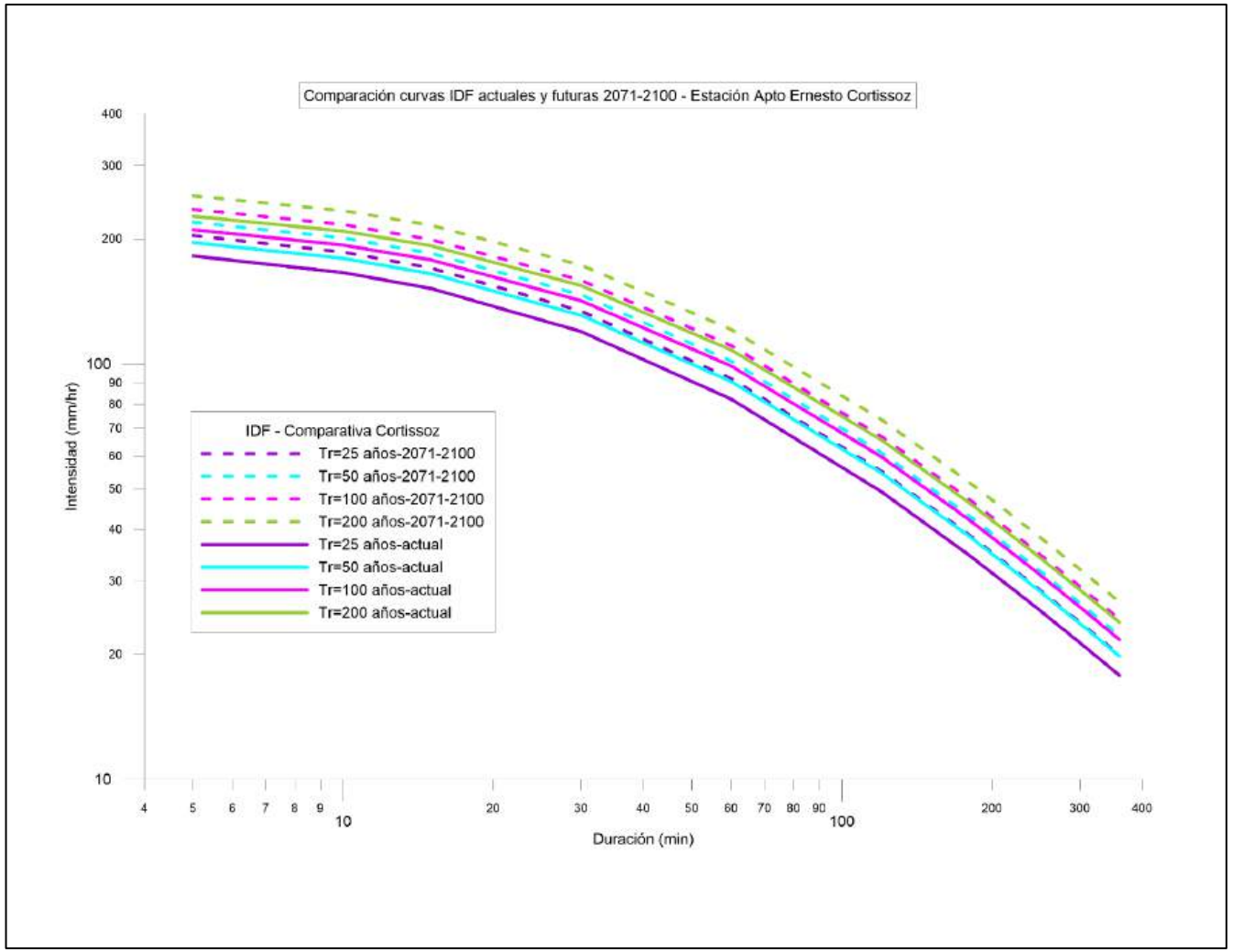


Figura 25.11 Comparación entre las curvas IDF actuales y futuras 2071-2100 para la estación Apto. Ernesto Cortissoz.

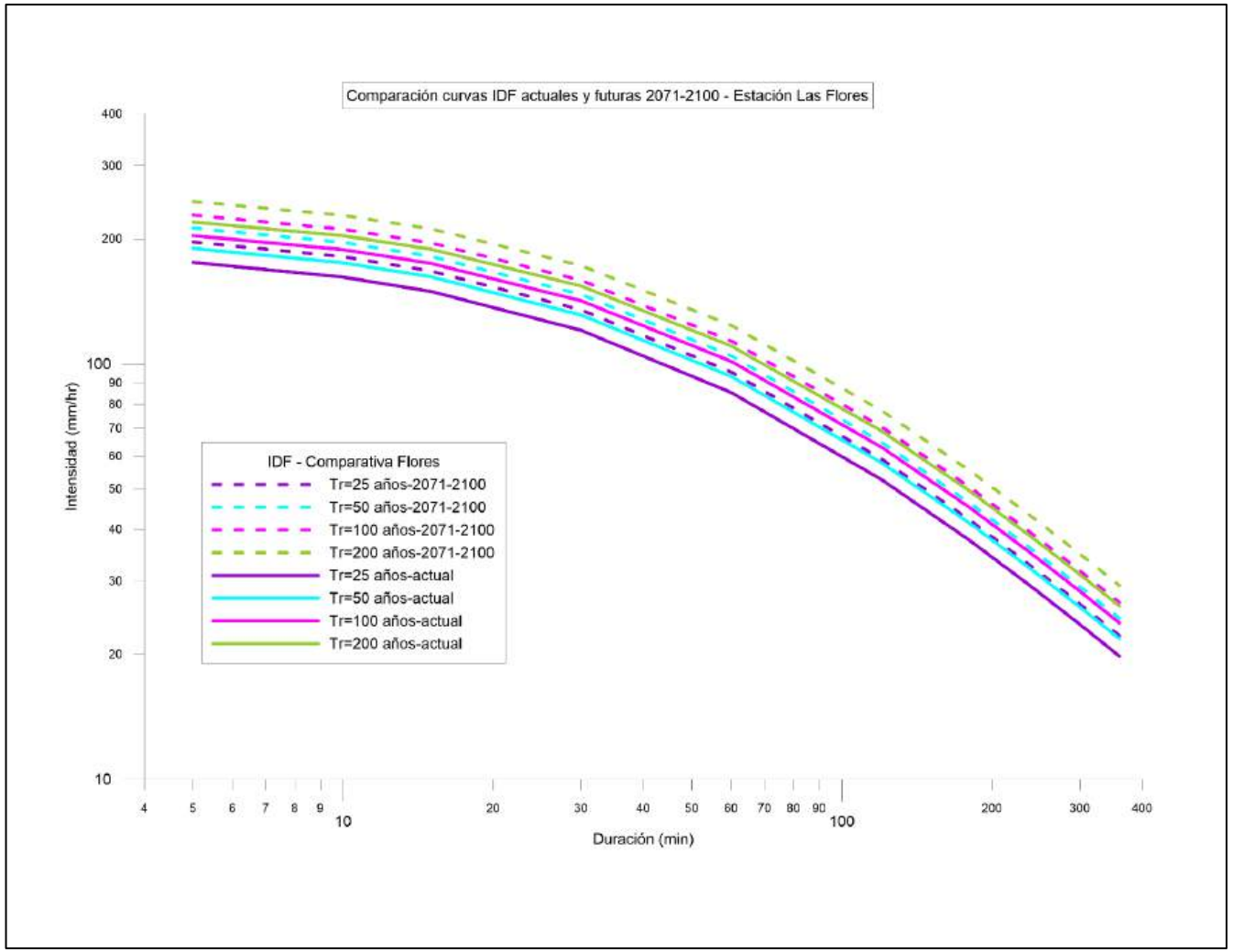


Figura 25.12 Comparación entre las curvas IDF actuales y futuras 2071-2100 para la estación Las Flores.

25.4 Efecto Esperado en la Temperatura para los Periodos de 2035-2064 y 2071-2100

Si consideramos que el insumo necesario para el cálculo del factor de afectación de las precipitaciones corresponde al cambio esperado de las temperaturas de cada uno de los modelos (ΔT°C), podemos estimar los valores esperados del aumento o reducción media esperada para la temperatura. Teniendo en cuenta que las estaciones consideradas se encuentran dentro de una misma unidad de simplificación de los modelos y siendo consecuentes con los análisis de precipitación sólo se considerarán los resultados para la estación Aeropuerto Ernesto Cortíssoz.

25.4.1 Cambio de Temperatura para el Periodo 2035-2064

Para el cálculo del efecto sobre la temperatura en el periodo 2035-2064 consideramos los 35 resultados, sin embargo, al hacer la desestimación de los valores aberrantes se considera que los resultados de los modelos TaiESM1 y GFDL-CM4_gr2 no se deben considerar. Así las cosas, se tomaron en consideración los valores de los modelos de la Tabla 25.23:

Tabla 25.23 Valores considerados para el análisis de las temperaturas del periodo 2035-2064.

Modelo	ΔT °C
MIROC-6	1.59
UKESM1-0-LL	2.51
TaiESM1	
NorESM2-MM	1.88
NorESM2-LM	1.64
NESM3	2.83
MRI-ESM2-0	1.73
MPI-ESM1-2-LR	0.71
MPI-ESM1-2-HR	1.26
MIROC-ES2L	1.72
KIOST-ESM	1.67
KACE-1-0-G	2.29
IPSL-CM6A-L3	0.81
INM-CM5-0	1.43
INM-CM4-8	1.37
IITM-ESM	1.49
HadGEM3-GC31-MM	4.62
HadGEM3-GC31-LL	2.50

Modelo	ΔT °C
GISS-E2-1-G	1.97
GFDL-ESM4	1.37
GFDL-CM4_gr2	
GFDL-CM4	2.30
FGOALS-g3	1.44
EC-Earth3-Veg-LR	1.71
EC-Earth3	2.02
CanESM5	2.44
CNRM-ESM2-1	2.08
CNRM-CM6-1	1.99
CMCC-ESM2	1.19
CMCC-CM2-SR5	1.41
CESM2-WACCM	1.94
CESM2	2.10
BCC-CSM2-MR	1.10
ACCESS-ESM1-5	1.98
ACCESS-CM2	2.12

Tomando los datos de los 33 modelos mencionados se estiman los valores descriptivos de estos datos, los cuales se presentan en la Tabla 25.24:

Tabla 25.24 Valores descriptivos de los resultados de cambio de temperatura para el periodo 2035-2064

	$\Delta T°C$
Media	1.855
Error típico	0.121
Mediana	1.730
Moda	1.370
Desviación estándar	0.697
Varianza de la muestra	0.486
Curtosis	6.854
Coeficiente de asimetría	1.855
Rango	3.910
Mínimo	0.710
Máximo	4.620
Suma	61.210
Cuenta	33.000
Nivel de confianza (95.0%)	0.247

Al ser la media positiva, se puede inferir que el valor de cambio de temperatura configura un incremento de las temperaturas medias. Si tomamos el valor de nivel de confianza descrito podemos afirmar que con un 95% de confianza el valor de incremento de la temperatura para el periodo 2035-2064 estará en el siguiente rango:

$$1.608℃ < \mu_{\Delta T℃} < 2.102℃$$

25.4.2 Cambio de Temperatura para el Periodo 2071-2100

Para el cálculo del efecto sobre la temperatura en el periodo 2071-2100 consideramos los 35 resultados, sin embargo, al despreciar los valores aberrantes se considera que el resultado del modelo TaiESM1 no se debe considerar. Así las cosas, se tomaron en consideración los valores de los modelos de la Tabla 25.25:

Tabla 25.25 Valores considerados para el análisis de las temperaturas del periodo 2071-2100.

Modelo	ΔT °C
MIROC-6	3.26
UKESM1-0-LL	4.86
TaiESM1	
NorESM2-MM	3.61
NorESM2-LM	3.64
NESM3	3.16
MRI-ESM2-0	3.36
MPI-ESM1-2-LR	2.07
MPI-ESM1-2-HR	2.55
MIROC-ES2L	3.23
KIOST-ESM	2.93
KACE-1-0-G	4.25
IPSL-CM6A-L3	2.61
INM-CM5-0	2.60
INM-CM4-8	2.63
IITM-ESM	2.50
HadGEM3-GC31-MM	7.03
HadGEM3-GC31-LL	4.34

Modelo	ΔT °C
GISS-E2-1-G	3.54
GFDL-ESM4	3.13
GFDL-CM4_gr2	3.76
GFDL-CM4	4.13
FGOALS-g3	2.85
EC-Earth3-Veg-LR	3.97
EC-Earth3	4.50
CanESM5	4.85
CNRM-ESM2-1	4.50
CNRM-CM6-1	4.54
CMCC-ESM2	3.09
CMCC-CM2-SR5	3.11
CESM2-WACCM	4.19
CESM2	4.34
BCC-CSM2-MR	2.14
ACCESS-ESM1-5	3.60
ACCESS-CM2	4.24

Tomando los datos de los 34 modelos mencionados se estiman los valores descriptivos de estos datos, los cuales se presentan en la tabla:

Tabla 25.26 Valores descriptivos de los resultados de cambio de temperatura para el periodo 2071-2100

	ΔT°C
Media	3.620
Error típico	0.169
Mediana	3.569
Moda	#N/A
Desviación estándar	0.987
Varianza de la muestra	0.974
Curtosis	2.873
Coeficiente de asimetría	1.109
Rango	4.967
Mínimo	2.066

Máximo	7.033
Suma	123.095
Cuenta	34.000
Nivel de confianza (95.0%)	0.344

Al ser la media positiva, se puede inferir que el valor de cambio de temperatura configura un aumento de las temperaturas medias. Si tomamos el valor de nivel de confianza descrito podemos afirmar que con un 95% de confianza el valor de incremento de la temperatura para el periodo 2071-2100 estará en el siguiente rango:

$$3.276℃ < \mu_{\Delta T℃} < 3.965℃$$

Según los resultados obtenidos de ambos periodos a partir de los modelos, se puede inferir que se esperan en general aumentos de los valores medios de la temperatura. En particular los aumentos para el periodo de 2035-2064 se estiman en 1.9°C mientras que los del periodo de 2071-2100 se estiman en 3.6°C, es decir aproximadamente el doble. En contraste a los resultados de los análisis de las lluvias críticas, este aumento se estima para los valores medios del parámetro de temperatura, pero no permite hacer conclusiones respecto a los valores extremos esperados para éste, es decir, que si bien se esperaría un aumento en los valores mínimos y máximos del parámetro respecto a los valores actuales, no se puede concluir que esto sea cierto.

26 ESTIMACIÓN DE LOS HIETROGRAMAS DE DISEÑO ASOCIADOS A DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO Y CONSIDERAN O NO EL EFECTO DEL CAMBIO CLIMATICO

A partir de las curvas IDF incrementadas se definen nuevos hietogramas de diseño para los diferentes periodos de retorno. La visualización de estos hietogramas se presenta de la Figura 26.1 a la Figura 26.4:

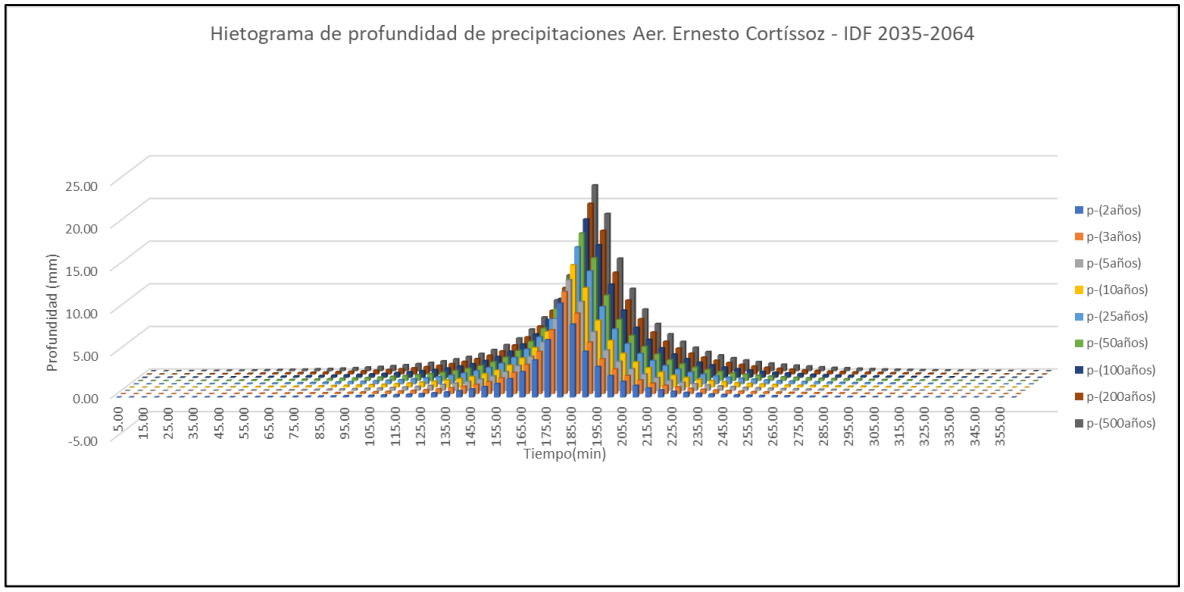


Figura 26.1 Hietograma para la estación Apto. Ernesto Cortissoz IDF futuras 2035-2064.

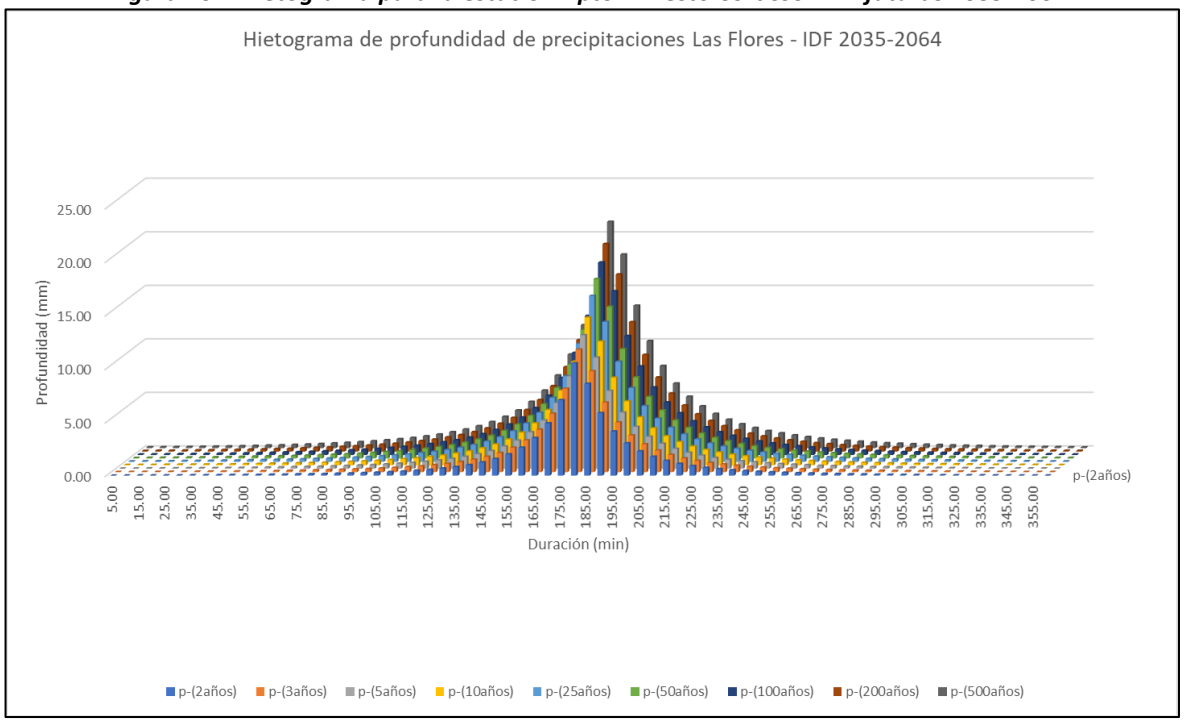


Figura 26.2 Hietograma para la estación Las Flores IDF futuras 2035-2064.

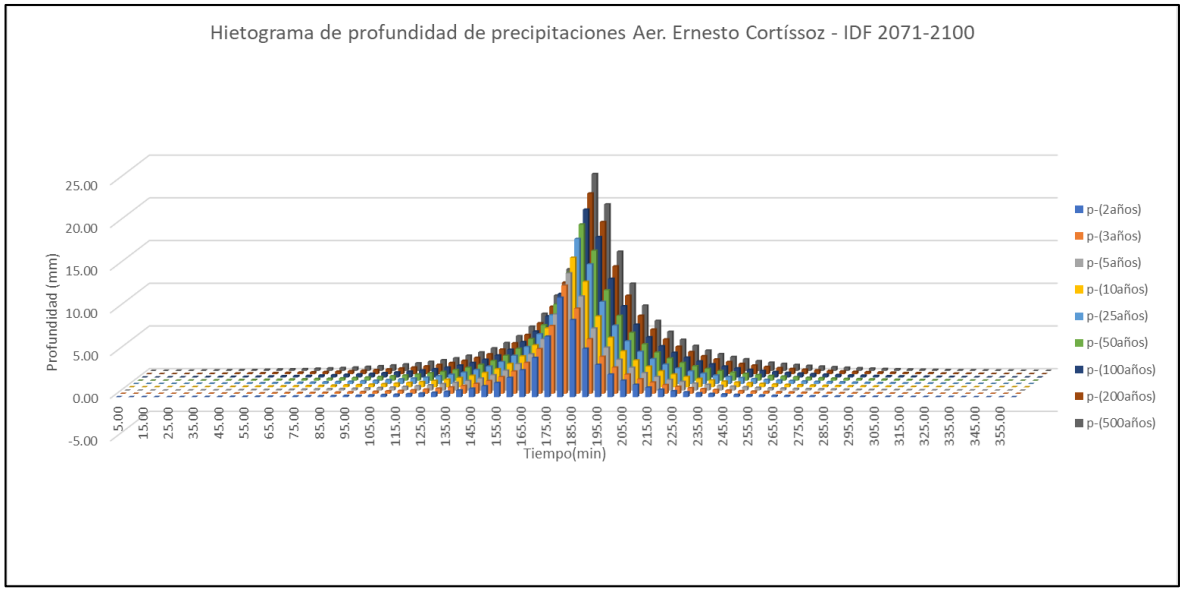


Figura 26.3 Hietograma para la estación Apto. Ernesto Cortissoz IDF futuras 2071-2100.

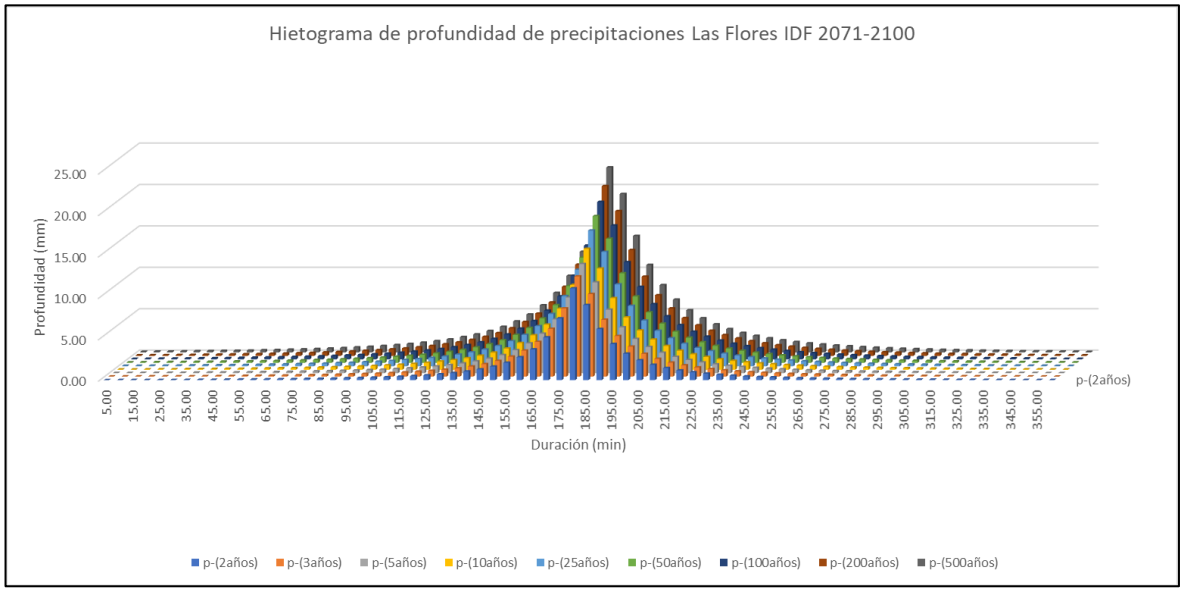


Figura 26.4 Hietograma para la estación Las Flores IDF futuras 2071-2100.

Similar al análisis de las IDF actuales, los hietogramas fueron estimados usando el método de bloques alternos. Los resultados de la modelación de inundaciones mediante el uso de los nuevos hietogramas se abordan en el informe 3, en que se incluyen los análisis de los efectos del cambio en las precipitaciones críticas.

27 MEDIDAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

El efecto del cambio climático como se mencionó con anterioridad se manifestará mediante el incremento en la temperatura y que adicionalmente, las lluvias serán más intensas. A nivel mundial se ha encontrado que un número creciente de investigadores y partes interesadas han empezado a abordar el cambio climático desde la base: concibiendo modelos científicos, planes climáticos, estrategias bajas en carbono y políticas de desarrollo con beneficios colaterales para el clima. A este aspecto se destaca que poco se sabe sobre las características comparativas de estas intervenciones, incluida su eficacia relativa, sus potenciales y la reducción de emisiones. Los resultados de Mahendra Sethi (2020), demuestran que las intervenciones orientadas a la tecnología en los sectores de los residuos urbanos, el transporte y la energía tienen el mayor potencial marginal de reducción, mientras que las intervenciones a nivel de todo el sistema, por ejemplo, las medidas relacionadas con la forma urbana tienen un potencial marginal de reducción menor pero un alcance más amplio. Los autores también demuestran que la integración de medidas en todos los sectores urbanos genera sinergias en la reducción de emisiones de GEI (Gases efecto invernadero). Dentro de las medias de adaptación al cambio climático se tiene las siguientes:

27.1 DISEÑO DE POLÍTICAS DE CIUDAD

Estudios de adaptación al cambio climático en otros lugares del mundo, han demostrado una importante mitigación de GEI a partir de iniciativas políticas intersectoriales. Por ejemplo, proyectos que generan energía solar en los tejados para el consumo en hogares ecológicos, así como vehículos eléctricos públicos y privados (Sugar y Kennedy 2012, Litjens et al 2018). Del mismo modo, la gestión integrada de residuos demuestra tanto la mitigación de GEI de los hogares y las industrias, como la disminución de la contaminación atmosférica local a escala de la ciudad (Liamsanguan y Gheewala 2008).

27.2 OPTIMIZACIÓN EN LA DISPOSICIÓN DE RESIDUOS

La gestión de residuos consiste en recoger, transportar, procesar y eliminar diversos materiales de desecho. Cuando los residuos se envían a los vertederos, su descomposición provoca emisiones de metano y dióxido de carbono, que pueden afectar negativamente al medio ambiente. El objetivo de la gestión sostenible de residuos es evitar que vaya al vertedero la mayor cantidad posible de residuos. Esto puede lograrse mejorando los programas de reciclaje o disminuyendo la generación de residuos sólidos. El 81% de los planes de acción por el clima examinados incluyen la optimización de las operaciones con residuos.

27.3 INVERTIR EN ENERGÍAS RENOVABLES

Las inversiones en energías renovables pueden vincularse a muchos de los temas tratados anteriormente, ya que la descarbonización del suministro eléctrico es una parte importante del avance de los vehículos eléctricos y de la mejora de la eficiencia de los edificios. Reducir la

dependencia de los combustibles fósiles es fundamental para avanzar en nuestros objetivos climáticos y está incluido en los planes de acción climática recientes de la mayoría de las ciudades. El 79% de los planes de acción climática examinados incluyen la inversión en energías renovables. Un ejemplo del uso de energías renovables, lo adelantó TECNOGLASS., con el uso de energía fotovoltaica.

Las ciudades han estado a la vanguardia de la sostenibilidad y la innovación climática, y sus planes de acción climática sirven como testimonio de esta importante labor. Al centrarse en mejorar la eficiencia de los edificios, invertir en vehículos eléctricos, optimizar las operaciones de residuos, mejorar el transporte público e invertir en energías renovables, las ciudades están dando pasos significativos para disminuir sus emisiones de gases de efecto invernadero.

27.4 Invertir en Infraestructura para Vehículos Eléctricos

El transporte es uno de los principales responsables de las emisiones de gases de efecto invernadero en el mundo, por lo que las inversiones en sistemas de transporte limpios son importantes para hacer frente al cambio climático. Una estrategia común que se discute en los planes de acción climática para disminuir las emisiones del transporte es fomentar los vehículos de cero emisiones (ZEV) o los vehículos eléctricos (EV). Esto puede hacerse invirtiendo en infraestructuras de recarga, electrificando las flotas municipales y aplicando programas de incentivos para animar a los residentes a pasarse a los VE. El 81% de los planes de acción climática examinados incluyen la inversión en infraestructuras para vehículos eléctricos.

27.5 Mejorar la Eficiencia Energética en Edificaciones

Casi el 40% de las emisiones mundiales de dióxido de carbono relacionadas con la energía proceden de los edificios, y se prevé que las emisiones se dupliquen de aquí a 2050. Los edificios más antiguos pueden presentar ineficiencias energéticas significativas, en gran parte debido a la gran cantidad de energía necesaria para calentar o enfriar edificios con un aislamiento deficiente. Dado que se prevé que los días de calor extremo aumenten debido al cambio climático, la capacidad de enfriar y mantener la temperatura de los edificios de forma eficaz es vital. Reforzar la eficiencia energética en los edificios significa mejorar el aislamiento, invertir en electrodomésticos de bajo consumo e incluir las energías renovables en el diseño de los edificios. Barranquilla puede fomentar la eficiencia energética en los nuevos edificios aplicando políticas o normas para las nuevas construcciones y ofreciendo programas que fomenten la rehabilitación de los edificios más antiguos.

La revisión bibliográfica sobre esta temática demuestra que las ciudades a nivel mundial han estado a la vanguardia de la sostenibilidad y la innovación climática, y sus planes de acción climática sirven como testimonio de esta importante labor. Al centrarse en mejorar la eficiencia de los edificios, invertir en vehículos eléctricos, optimizar las operaciones de residuos, mejorar el transporte público e invertir en energías renovables, las ciudades están dando pasos significativos para disminuir sus emisiones de gases de efecto invernadero.

28 CONCLUSIONES

28.1 AMENAZA POR INUNDACIÓN

- El estudio pretende la evaluación del riesgo detallada (a escala 2.000) por Movimientos en Masa, y básica (a escala 1:5.000) por inundación y torrencialidad, y busca el análisis de la vulnerabilidad al cambio climático de la Ladera Occidental de la Ciudad de Barranquilla, Atlántico.

- El área de estudio se extiende por 1914 Ha., aproximadamente, que abarcan los barios Miramar, Campo alegre, Carlos Meissel, Nueva Colombia, La Esmeralda, Lipaya, Cuchilla de Villate, El Bosque, La Sierrita, Las Américas, Santo Domingo de Guzmán, Carrizal, 20 de Julio, Santa María y Siete de Abril.

- La revisión de los antecedentes permite reconocer que la expansión urbana y demográfica de Barranquilla, la falta de infraestructura adecuada y el mal manejo de aguas subterráneas y superficiales, conllevan un aumento en la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo ante movimientos en masa, especialmente, en los cerros occidentales de la ciudad.

  De hecho, de los 62 eventos registrados en el Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA) del Servicio Geológico Colombiano (SGC), apenas uno se sitúa fuera del polígono de estudio (en Riomar). A pesar de las advertencias de las autoridades, la construcción de viviendas en áreas de riesgo y la acumulación de desechos antrópicos (como escombros), persisten en la zona.

- Los tipos de movimiento en masa más comunes en Barranquilla son los deslizamientos rotacionales, las caídas, las reptaciones y los flujos, gestados, primordialmente, en el contacto de las dos unidades geológicas más importantes de la ciudad: la formación Hibacharo y una unidad geológica compuesta por calizas arrecifales y terrígenas, arenas calcáreas y depósitos de gravas intercaladas con arenas gravosas y niveles de lodos.

- La información secundaria accedida establece una relación directa entre la actividad antrópica y los movimientos en masa, siendo la parte central del área la más afectada. Los principales factores de inestabilidad son el relleno de los cauces para la construcción de viviendas, sin un sistema de drenaje adecuado; la erodabilidad de las rocas; la expansividad, los importantes espesores, y la susceptibilidad ante la saturación de los niveles arcillosos; el carcavamiento; las discontinuidades estructurales; la sobrecarga; las filtraciones; las pendientes pronunciadas; la colonización sin control; las canteras antiguas; la desestabilidad de la base de las laderas y la precipitación intensa.

- En el marco de la ejecución de este estudio la cartografía base se genera a través de un levantamiento topográfico utilizando la tecnología LiDAR, con la implementación de drones. Este proceso permitió obtener simultáneamente un Modelo Digital de Superficie (MDS/DSM), un Modelo Digital del Terreno (MDT/DTM) y un Ortomosaico.

- Tras evaluar el régimen de lluvias en la zona, se efectúa la caracterización de las condiciones hidrológicas, identificando los factores que influyen en inundaciones y movimientos en masa. La información recolectada y procesada de las estaciones pluviométricas cercanas, representa uno de los más importantes insumos para la evaluación de los fenómenos contemplados.

  En este camino, se accede a las curvas IDF de las estaciones Aeropuerto Ernesto Cortissoz y Las Flores (Ideam, 2016), de las que se efectúa la extrapolación de los valores de intensidad, para generar nuevas curvas IDF y determinar ecuaciones para periodos de retorno de 200 y 500 años. Con estos datos se obtienen los hietogramas de diseño (de profundidad e intensidad de la lluvia) para cada estación.

- En lo que a la evaluación de la amenaza por inundación respecta, la modelación hidráulica que se realiza implementa los datos topográficos, el modelo de elevación y el régimen de precipitaciones en Barranquilla. Con este objetivo, se utiliza el software RiverFlow2D de Hydronia para realizar una modelación en dos dimensiones, con el análisis del flujo saliente y la obtención de valores discretizados para los flujos modelados de los polígonos norte y sur, por separado.

  La zonificación de amenaza por inundación efectuada se basa en el tipo e intensidad del potencial efecto sobre los elementos expuestos en una zona específica. Organismos internacionales establecen que el grado de amenaza se obtiene al combinar la velocidad y la profundidad del agua, en lugar de considerarlas individualmente. En este caso, se adopta la asignación del grado de amenaza definido por la USBR, compilada por el Acer Technical Memorandum N°11, y en atención de la Guía Metodológica del Ideam (2018), que describe la amenaza en función del tipo de elemento expuesto.

  <u>De la zona del polígono norte o zona de Miramar, se pueden resaltar las siguientes conclusiones:</u>

  - El modelo y su calibración fue satisfactorio, siendo que la condición de lluvias normales es decir las lluvias de 2 años de periodo de retorno son coincidentes con condiciones de lluvias fuertes anuales en las que las estructuras existentes han tenido buenos desempeños.
  - Para la zona se identificaron 3 zonas de especial interés:
    - ✓ Zona superior cerca a los culverts que atraviesan la vía Circunvalar, en donde a medida que se involucran lluvias críticas de mayor precipitación comienzan a percibirse desbordes desde las modelaciones con lluvia de 50 años de tiempo de retorno. Teniendo en cuenta esto es conveniente tener una adecuada limpieza de estos culverts, considerando que en la actualidad existe ya acumulación de sólidos y basuras en el canal existente, lo cual podría conllevar a obstrucciones parciales o totales futuras que exacerben la situación de desbordes en un evento crítico.
    - ✓ Hacia la parte sur se detectó otra zona de culvert, la cual se modeló considerando que no hubiera salida de agua, considerando posibles taponamientos producto de la caída de troncos y acumulaciones de basura.

No obstante que se detectó una gran acumulación de agua en el sector durante las modelaciones, se destaca el hecho que aún para la condición más crítica el nivel del agua no alcanzó a sobrepasar la vía circunvalar.

- ✓ Adicionalmente se identificó un encharcamiento en uno de los lotes cercanos a la vía circunvalar. Si verificamos que dicho encharcamiento aún para la condición más extrema no llegó a condición de amenaza alta ni tampoco llegó a niveles por encima de la vía alterna.

- Finalmente, se resalta que si bien hubo algunas celdas aisladas que mostraron valores de amenaza media o alta, en la zona alta del polígono de Miramar en las zonas de las urbanizaciones. Estos puntos al ser aislados indican puntos ya sea de concentración o puntos en que el modelo asume pendientes altas para las paredes de los edificios, por lo que dichos indicativos de amenaza son despreciables.

<u>De la zona del polígono sur o Ladera occidental de Barranquilla al sur de la Cra 38, se destacan las siguientes conclusiones:</u>

- Las condiciones de calibración y modelación fueron acordes para los modelos de periodo de retorno bajo, respecto a lo encontrado en la zona.
- En general se vieron resultados en que los resultados de inundación indican que las zonas críticas por el fenómeno fueron localizadas y no generalizadas, lo cual es congruente con zonas urbanas en que las cuencas son pequeñas y que no tienen caudales permanentes (los caudales “permanentes” existentes son de aguas residuales). Al depender los flujos de mayoría de cauces de la precipitación, no se tiene efecto sobre un cuerpo de agua existente, sino que los flujos aparecen durante los eventos de lluvia.
- En particular se encontraron algunos sectores en los que hubo flujos que llegaron a generar condiciones de amenaza localizada de interés:
  - ✓ A la altura de la Cll 103 con Cra 33, se encontró una zona de concentración de amenaza media a alta. Si bien parte de estos resultados quedan dentro de la zona canalizada, posibles obstrucciones en el culvert (por basuras, follajes, etc.) generarían desbordes a zonas cercanas.
  - ✓ Sobre la Cra. 27B con Cll 81D, se presentan varios puntos de amenaza y aunque en su mayoría sobre el cauce, se ven puntos alrededor asociados con desbordes o altas velocidades de sus afluentes.
  - ✓ En la Cra 21 con Cll 75B se percibió una zona de amenaza alta en la confluencia de varias vías, y algo similar sucede en la Cll 72B con cra 22B. Cercanos a estos puntos se evidenciaron puntos de amenaza alta, aunque la mayoría ya encauzados.
  - ✓ Cerca a la zona de la Cra 12A con circunvalar se encuentran zonas de amenaza alta, que si bien en general la zona de amenaza alta se encuentra en el cauce y por ende no afectaría en gran forma a la población, se extiende una zona de amenaza media alrededor de la zona, índice de desbordes del arroyo.

- ✓ Sobre la zona de la Cll 77 con Cra 9J1 en las inmediaciones del IED José Raimundo Sojo, se concentra una zona de amenaza alta, producto del cruce de un arroyo en la zona. De igual forma entre las diagonales 69 y 69C y entre carreras 9L y 10, se encuentran también unas zonas de amenaza media y alta, en lo que también sería un cruce de un arroyo pluvial, que también genera una zonas de amenaza alta aguas abajo en la diag 69D con calle 75
- ✓ Sobre la Cll 93 entre las carreras 9 y 9B se concentra una zona de amenaza media y alta, en forma aislada que vale la pena tener en cuenta pues afecta alrededor de 6 manzanas por la acumulación de flujos.
- ✓ En la zona de la Cll 60A con Cra 9A se encuentra una zona de amenaza alta concentrada, y en cercanías a este punto también se encuentran puntos de alta amenaza en la Cra 9L entre calles 60A y 61 y en la Cll 63 con cra 9B, correspondientes a zonas afluentes de la canalización sobre la Cra 9B, la cual de igual forma muestra desbordamientos sobre entre las Cll 60b y la Cll 60B en donde se evidencia una zona de amenaza media.
- ✓ También se puede verificar zonas de amenaza alta en las intersecciones de la Cll 54E con Cra 2G y en la Cll 55D con Cra 3A, zonas previas a la canalización que se observa en la Cll 73B con Cra 3A.

- Así como estos puntos mencionados existen algunos otros de amenaza media y alta dentro del área de estudio que corresponden a zonas puntuales de interés donde en general para las zonas más altas y con pendiente del área de estudio corresponden a zonas de flujos rápidos, mientras que para las zonas de la parte baja en general se encuentran sectores afectados por acumulaciones de flujo lento pero de mayor profundidad. Se recomiendan las siguientes estrategias con el fin de reducir los efectos de inundaciones en el área de estudio:
  - ✓ Ampliar las obras de infraestructura existentes y construir obras adecuadas en zonas de amenaza que permitan la gestión del agua de lluvia, tales como canales de desagüe, colectores pluviales, zanjas de infiltración, entre otros. Es importante que estas estructuras sean diseñadas y construidas de acuerdo a las necesidades específicas de cada zona y con periodos de retorno altos que consideren eventos a largo plazo (por lo menos Tr=100años).
  - ✓ Crear zonas verdes en áreas urbanas, ya que esto puede ayudar a reducir la cantidad de agua que fluye hacia las alcantarillas y canalizaciones. Las zonas verdes también pueden mejorar la calidad del aire y proporcionar áreas recreativas para los residentes.
  - ✓ Establecer un plan de limpieza de canales que permita extraer no sólo sedimentos, troncos y follaje de árboles que lleguen a las canalizaciones, sino también poder sacar basuras y demás residuos que pudieran llegar a los cauces.
  - ✓ Promover la educación sobre el cuidado del medio ambiente y el manejo adecuado de los residuos. Los residuos sólidos pueden obstruir las alcantarillas y provocar inundaciones, particularmente. Por ello, es fundamental que la población esté

consciente de la importancia de mantener las calles y las alcantarillas libres de residuos.

- ✓ Capacitar a la población e implementar un sistema de alerta temprana que permita a los residentes de las zonas vulnerables prepararse ante una posible inundación. Esto puede incluir la instalación de sirenas, la distribución de folletos informativos o la creación de una aplicación móvil. La educación respecto a las amenazas por inundaciones también debe ayudar a evitar las pérdidas de vidas humanas por cuenta de personas que voluntariamente entran a los flujos rápidos buscando recuperar algún bien material.

- Las avenidas torrenciales son fenómenos naturales destructivos que involucran flujos hiperconcentrados de sedimentos y detritos, con altas velocidades e impactos. Este fenómeno es característico de zonas montañosas con pendientes pronunciadas, donde los flujos de agua se vuelven erosivos y transportan sedimentos, rocas y otros materiales a gran velocidad. Sin embargo, la ciudad de Barranquilla no se ve afectada por avenidas torrenciales; el fenómeno predominante en la ciudad son las inundaciones. Esta afirmación se basa en las premisas extraídas de la Guía metodológica para la zonificación de amenazas por avenidas torrenciales del SGC (2021).

  Ante las evidencias encontradas y los elementos de decisión analizados, se puede afirmar que el evento de Avenida torrencial no se presenta en la zona de estudio, siguiendo la información antecedente investigada, y lo establecido por la literatura como condicionante para este tipo de eventos. Los valores de índices morfométricos indicaron una propensión a la ocurrencia de eventos de inundaciones y no de avenidas torrenciales.

28.2 CONCLUSIONES AVR POR MOVIMIENTOS EN MASA

A continuación, se presentan los resultados de las principales temáticas abordadas en el presente estudio. Para tal fin se presentan las principales conclusiones de temáticas como la geología, geomorfología, hidrología y amenazas.

Geología y Geomorfología

- Durante la fase de campo se pudo comprobar la presencia de plegamientos suaves y amplios en las rocas del Neógeno y fallas normales, observados en la Formación La Popa, en los frentes de explotación de las canteras de cementos Argos. Estas fallas tienen longitudes hasta de 800 metros, de dirección NE y NW, con desplazamientos verticales que alcanzan los 3 metros, generando grabens de poca extensión. Estas fallas en general no son activas.

- Desde el punto de vista geológico se identificaron unidades de Roca Dura como las Calizas Arrecifales de la Formación La Popa Conjunto Superior (Rdca); Roca Blanda de Areniscas Cuarzosas de la Formación La Popa Conjunto Superior (Rbac), Arcillolitas Calcáreas (Margas) de la Formación La Popa Conjunto Inferior (Rbam) y Arcillolitas Laminadas de la Formación Las Perdices

(Rbal); Roca Muy Blanda de Caliza alcalinosa del Conjunto Superior de la Formación La Popa (Rmbca); Material Suelto de Arenas de la Formación Las Perdices (Maspe) y Arenas de la Formación La Popa (Maspo).

- Desde el punto de vista geotécnico se encontró que la roca dura presenta un comportamiento estable debido a la alta resistencia de las calizas y a que sus discontinuidades se encuentran rellenas con carbonato de calcio que le dan buena estabilidad. Sin embargo, no se descarta la posibilidad la existencia en profundidad de zonas con disolución que generan porosidad secundaria, facilitando la infiltración y formación de cavernas que pueden generar problemas de hundimientos en edificaciones.

- En la zona de estudio predominan las arcillolitas laminadas de la formación Perdices que ocupan el 41.63% del área; asociado a estas rocas es común encontrar movimientos en masa de tipo traslacional y rotacional que afectan infraestructura vial, viviendas y redes de servicios públicos (agua, energía, acueducto y alcantarillado) que inciden en la calidad de vida de los habitantes de estos sectores. En estas rocas es común observar problemas de expansión de arcillas en presencia de agua, lo anterior genera fracturamiento en pisos y paredes de las viviendas construidas sobre estos materiales.

- Los movimientos en masa descritos en el informe y cartografiados como (Stmm) ocupan el 4.23% del área estudiada (81,20 ha); superficie que tuvo un aumento de 26.11 ha con relación a las áreas cartografiadas en el año 2010 (55,16 ha). De lo anterior se puede establecer que en los últimos 11 años el incremento de área afectada por Movimientos en Masa en la zona de estudio es de 32.9 %, dato que ratifica la actividad permanente de los procesos de inestabilidad en estas laderas.

- El inventario de movimientos en masa permitió identificar 49 sitios inestables que fueron cartografiados y clasificados de acuerdo con la metodología de Cruden y Varnes 1996; valor inferior al reportado en el estudio del año 2010 (65), lo anterior se debe a que la distribución retrogresiva y ensanchada de algunos movimientos ha permitido la captura e inclusión de movimientos de menor tamaño que ahora hacen parte de otros de mayor tamaño como se observa en el sector de Me Quejo y Nueva Colombia. En conclusión, muchos de los deslizamientos pequeños existentes en el 2010, se han unido, generando áreas de afectación mayores que afectan de manera importante tanto las viviendas como las líneas vitales.

- Todos los movimientos cartografiados tienen importancia y requieren de intervenciones que ayuden a controlar o mitigar la afectación que generan sobre la población allí asentada donde cada propietario debe hacer inversiones en mantenimiento o reconstrucción de las viviendas que generalmente están construidas sin ningún tipo de especificación técnica.

- Algunos procesos cartografiados tienen actividad intermitente y fueron descritos por primera vez 1998 y actualmente continúan generando afectación sobre viviendas, vías de comunicación y redes de servicios públicos.

- En sectores inestables como Villa caracas (Barrio el Bosque) se continúan disponiendo escombros de construcción y de cortes de talud para nivelar el terreno en constante movimiento y reconstruir las viviendas afectadas, esta actividad genera sobrecargas en la ladera y favorece los procesos de infiltración de aguas lluvias y de las generadas por las actividades cotidianas de las personas allí asentadas.

Hidrología y Cambio Climático

- Barranquilla cuenta un número de estaciones hidro climatológicas muy pequeña, que es necesario incrementar, dada la importancia y tamaño de la ciudad. Para efectos de los análisis y predicciones se utilizaron las estaciones de las flores y aeropuerto Ernesto Cortissoz, que son las más completas con las que cuenta la ciudad. Los análisis realizados muestran que en general el comportamiento entre las dos estaciones es muy similar, por lo que todo el sector se puede considerar como una zona homogénea desde el punto de vista hidrológico.

- El estudio adelantado sobre vulnerabilidad al cambio climático en Barranquilla corresponde a un estudio de detalle, en el que se analiza, y realizan las respectivas proyecciones a partir de las curvas IDF, del aeropuerto Ernesto Cortissoz y las Flores, para el periodo comprendido entre 1971 y 2010. Desafortunadamente, esta información está incompleta y es imprescindible contar con los registros actualizados con duraciones de cada cinco (5) minutos.

- Con la parametrización definitiva para las estaciones se procede a diseñar los hietogramas de diseño. Para esto se utilizará no sólo la información de IDFs calculadas, sino que además se utilizó el método de los Bloques Alternos (Chow et al., 1994). Este método establece un procedimiento mediante el cual es posible generar un hietograma de una tormenta de diseño que permita incorporar lluvias críticas de múltiples duraciones para un periodo de retorno dado.

- La comparación entre los hietogramas para Las Flores y para el Aeropuerto Ernesto Cortissoz arrojan similitudes grandes, lo que indicaría una homogeneidad de las tormentas críticas entre los dos puntos de medición.

- Los valores de precipitación más altos se concentran entre los 60 minutos y 300 minutos del hietograma, siendo que por fuera de estos rangos los valores son muy cercanos a cero (0). Esto nos indica que las tormentas críticas cuentan con duraciones cercanas a las cuatro (4) horas, motivo por el cual al realizar el ajuste inicial del IDEAM se presentaban las incongruencias en lluvias de duraciones de 5 a 6 horas.

- Los modelos climáticos globales (GCM por sus siglas en inglés) son la herramienta matemática más importante para generar simulaciones del clima futuro bajo diversas concentraciones de emisiones de gases de efecto de invernadero para diversos escenarios socioeconómicos. Sin embargo, estos modelos operan a resoluciones espaciales por encima de los 100 km. Los GCMs no poseen la capacidad de simular procesos convectivos que generalmente ocurren a resoluciones espaciales mucho menor. Los modelos Regionales Climáticos (RCM por sus siglas en

inglés) representan una mejora en la resolución espacial, operando con resolución entre 10 km y 50 km.

- Para este estudio en particular, luego de las evidencias analizadas en la literatura, utilizamos el modelo de Martel et al., 2021, quienes proponen una adaptación de las curvas IDF basada en el conocimiento científico actual. Siguiendo el enfoque de la relación Clausius-Clayperon (CC), los autores proponen un factor de ajuste que depende de los cambios más probables de temperatura locales o regionales.

- Para el análisis de cambio climático de Barranquilla, se utilizaron 34 modelos. Se tienen 34 modelos GCM – Modelo del Clima global, estos modelos contienen los diferentes escenarios de emisiones, destacándose que se trabajó con el SSP5-8.5, el cual representa el escenario más alto de emisiones de gases de efecto invernadero desarrollados en el proceso SSP donde las emisiones de dióxido de carbono se triplican para el 2075. Para cada modelo GCM se recomienda analizar 30 años de datos diarios y seleccionar los valores máximos de cada año para el periodo historio de 1981 – 2010 y el periodo futuro 2035 – 2064, 2071 – 2100 para los parámetros de precipitación y temperatura.

- Revisando los resultados anteriores podemos decir que se estima que para el periodo de 2035-2064 se dará un aumento promedio de las precipitaciones máximas de 3% respecto a los valores estimados actualmente, y un aumento de un 6% con un 95% de confianza. Por su parte es estima para el periodo de 2071-2100 se dé un aumento promedio de las precipitaciones máximas de 6% respecto a los valores estimados actualmente, y un aumento de un 12% con un 95% de confianza. Si bien estos resultados fueron encontrados para la estación Apto. Ernesto Cortissoz, al estar tan cerca de la Estación Las Flores y estar dentro de una misma área de influencia de las simplificaciones de los modelos de cambio climático, se tomarán estos mismos incrementos para la estación Las Flores.

- Es importante destacar que los incrementos expuestos anteriormente impactan directamente en un aumento sobre las lluvias críticas, pero no necesariamente esto implica que se dé un aumento en las precipitaciones anuales totales. Podría ser posible que se presenten largas temporadas de sequía sucedidas por lluvias intensas que alcancen precipitaciones puntuales asociadas a los valores de lluvias críticas, pero con un valor de precipitación anual que bien podría descender o aumentar.

- De las gráficas comparativas mostradas en el contenido del informe para las estaciones de Las Flores y Apto. Ernesto Cortissoz se puede establecer que se produce un incremento sustancial de la intensidad, en el que las curvas actuales ya no coinciden con las de periodos de retorno similares en el periodo futuro. Es decir, la curva de intensidad para un periodo de retorno de 50 años actual ya no corresponde con la curva futura para el mismo periodo de retorno, sino que en contraste coincide con la del periodo de retorno inferior, es decir con la curva IDF futura para el periodo de retorno de 25 años. Esto lo que implicaría sería un descenso en el desempeño esperado de las estructuras hidráulicas, puesto que, si en la actualidad se diseña una estructura

con un periodo de retorno de 100 años, a futuro la misma cambiaría su periodo de retorno de desempeño al periodo de retorno de 50 años o inferior.

- Si bien el incremento de las precipitaciones críticas es más marcado en las curvas IDF futuras del periodo 2071-2100, se pudo corroborar que para las curvas IDF futuras a 2035-2064 para las precipitaciones de duraciones cortas (0 – 60 min) las curvas IDF de periodos de retorno inferiores se acercan bastante a las del periodo de retorno siguiente en las curvas actuales.

- Con respecto a impactos del recurso hídrico ante cambio climático en Colombia, el cambio en el ciclo hídrico podría generar desabastecimiento de agua para consumo humano especialmente en las regiones Caribe y Andina, desmejoraría el saneamiento básico con implicaciones en la salud humana, incrementaría los costos de provisión de agua y en algunos casos podría ocasionar conflictos entre la población y entidades encargadas de la gestión de los recursos y de la provisión de agua potable.
- El anterior fenómeno, tendrá una incidencia directa sobre los materiales que afloran en la zona de estudio, que corresponden básicamente a estratos subhorizontales de rocas sedimentarias, de edad Terciaria, de origen marino profundo y transicional-continental, pertenecientes a las formaciones Perdices (Mioceno-Oligoceno) y La Popa (Pleistoceno), intercaladas con unidades de Areniscas Friables. Esto en el entendido, que las elevadas temperaturas que se presentarán generaran cambios importantes en el contenido de humedad del suelo lo cual a su vez se traducirá en incrementos en el agrietamiento del terreno.

- El Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) publicado en el año 2007, ha demostrado que está ocurriendo un calentamiento global que ha generado fenómenos como el ascenso del nivel del mar y un cambio climático, que se ha manifestado en ascenso en temperaturas nunca registrados. Como es bien sabido, estos fenómenos globales afectarán los ecosistemas y los sistemas socioeconómicos en diferentes regiones del planeta. Desafortunadamente, todos los países serán impactados en mayor o menor grado y Colombia no es la excepción. Lo anterior implica la imperiosa necesidad de la toma de decisiones en programas de mitigación del calentamiento global y de adaptación al cambio climático.

- Los anteriores resultados son más críticos que los escenarios de cambio climático para el periodo 2011-2100, adelantados por el IDEAM (2018), Ruíz (2018), donde se destaca lo siguiente:

  - ✓ “La temperatura media en el territorio nacional continuará incrementándose durante el transcurrir del siglo XXI de tal manera que para el período 2011-2040 habría aumentado en 1.4±0.4°C, para 2041- 2070 en 2.4±0.5°C y para 2071-2100 en 3.2±0.7°C. Los aumentos más significativos de la temperatura media se esperarían en gran parte de las regiones Caribe y Andina especialmente en los departamentos de Sucre, Norte de Santander, Risaralda, Huila y Tolima”.
  - ✓ “Las proyecciones de cambio climático evaluaron que la humedad relativa, se reduciría en Colombia, en 1.8% para el 2011-2040, 2.5% para 2041-2070 y 5.0% para 2071-2100. Lo anterior implica que los menores cambios del clima se presentarían en: la Península de

La Guajira, la cual mantendría sus características desérticas, el Chocó, donde continuaría prevaleciendo el clima superhúmedo, la Amazonía, que seguiría siendo húmeda y en gran parte de los Llanos Orientales, donde el clima semihúmedo persistiría. **Los cambios más significativos se esperarían en la Región Caribe que cambiaría de un clima semihúmedo (condiciones actuales) a semiárido y luego a árido para finales del siglo XXI**".

- ✓ Los anteriores resultados, muestran que el panorama a nivel Colombia es bastante desolador, pero son resultados muy regionales que se deben manejar con precaución.

Amenazas por Inundación y Remoción en Masa

- ➢ Para los cerros nor-occidentales, se encontró que la mayor parte de los deslizamientos detectados, se presentaron en zonas cuya pendiente fluctuaba entre 10 y 15 grados. Si bien el área es pequeña (82 Ha), los daños han afectado grandes sectores de algunos barrios: las terrazas, Loma Roja, Cuchilla de Villate, etc.

- ➢ El efecto del cambio climático para periodo de exposición de 50 años tiene una influencia muy importante en el régimen de lluvias de Barranquilla, ya que los veranos serán más prolongados y las lluvias más intensas, tal como se ilustro en el volumen de vulnerabilidad al cambio climático. El cambio climático tendrá dos efectos adversos sobre las laderas:

  - ✓ En primer lugar, los veranos prolongados, generarán un fuerte resecamiento del terreno, que se manifestará en agrietamientos hasta profundidades importantes, que facilitará el flujo de agua de escorrentía hacia el interior del talud.
  - ✓ Las lluvias serán más intensas, lo cual a su vez implicará una fácil infiltración en un terreno que se encuentra muy agrietado. Esto a su vez, desencadenará en un incremento en el número de deslizamientos que se presentarán en la ciudad. Los existentes, por otro lado, incrementarán su área de afectación.
  - ✓ Este escenario corresponde al más crítico, ya que se ha generado a partir de unas nuevas curvas IDF, en las que se ha tenido en cuenta el efecto del cambio climático. La distribución de amenazas por efecto de cambio climático en el periodo 2035-2070, para periodo de exposición de 50 años, en el sector nor-occidental que es el más crítico es el siguiente:

    - o AMENAZA BAJA. Se observa una disminución importante a nivel de las áreas de amenaza baja, esto como consecuencia del incremento de las áreas de amenaza alta y media. La mayor parte del área de estudio se encuentra ubicado en amenaza baja. La distribución porcentual por área de estudio es la siguiente:

      - AMENAZA BAJA 1437 Ha.
      - AMENAZA MEDIA: 266 Ha.
      - AMENAZA ALTA: 109 Ha.

    - o La variación del área de amenaza alta, teniendo en cuenta el periodo de exposición se ilustra en la Figura 28.1. De dicha figura, se concluye que la situación

se tornará más crítica, en la medida en que se tiene en cuenta el efecto del cambio climático. En conclusión, si la condición de las laderas nor-occidentales es ya de por sí crítica, el efecto del cambio climático generará efectos aún más adversos que es necesario abordar en el menor tiempo posible (ver Figura 28.2).

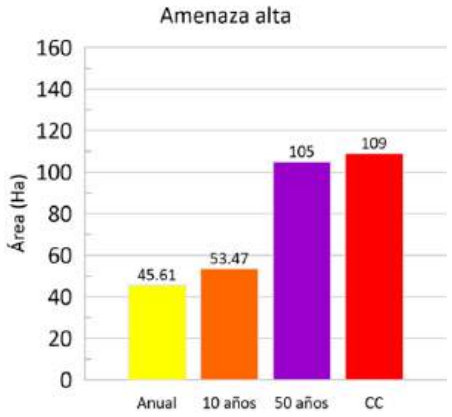


Figura 28.1 Evolución de las zonas de amenaza alta de acuerdo con el periodo de exposición y teniendo en cuenta el efecto del cambio climático (CC)

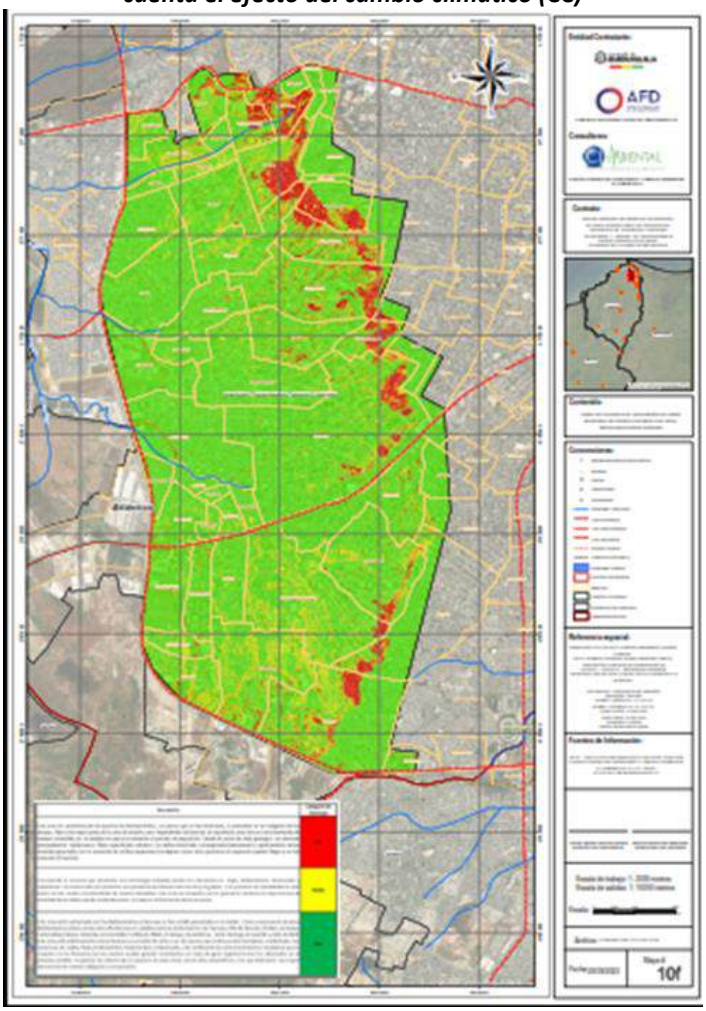


Figura 28.2 Mapa de amenaza por efecto de cambio climático. Periodo de exposición 50 años

- Otro efecto grave que se tendrá es que los daños generados por las arcillas expansivas serán mucho mayores. Esto debido a que los cambios extremos de temperatura generarán grandes agrietamientos del terreno. En la Figura 28.3, se ilustra las áreas con presencia de arcillas expansivas en Barranquilla, las cuales ocupan un área aproximada de 792 hectáreas, equivalente el 44%, del área de los cerros nor-occidentales. De los análisis realizados se concluye lo siguiente:

  - ✓ Las arcillas expansivas en general corresponden a arcillas con un potencial de expansión alto, alcanzando valores de expansión del orden de 5.0 a 12.0 ton/m2. Estos terrenos se caracterizan por su intenso agrietamiento, lo cual se manifiesta en afectaciones a viviendas que presentan deficiencias constructivas (viviendas de un piso).
  - ✓ Existe una amplia zona caracterizada por el agrietamiento del terreno (ver Figura 28.3). Este fenómeno ha ocasionado el agrietamiento de numerosas viviendas, las cuales a su vez presentan serias deficiencias constructivas. Estos sectores se identifican por la presencia de arcillas expansivas, las cuales en época de verano sufren contracciones importantes, que se manifiestan en forma de fuertes agrietamientos del terreno. En invierno por otro lado, las grietas facilitan la infiltración del agua, presentándose incrementos en el volumen que las estructuras no están en capacidad de soportar.
  - ✓ Las arcillas expansivas se detectaron en su totalidad, en la formación perdices (conjuntos superior e inferior), constituidas por arcillas de color carmelito de alta plasticidad, con contenidos de humedad que fluctúan entre el 15% y 50%, límite líquido entre 50 %y 75%, y un índice de plasticidad que varía entre 25% y 40%. Los resultados de expansión libre muestran expansiones superiores al 100%, lo cual es comprobable utilizando la metodología de Seed (1962).
  - ✓ Mediante los ensayos de consolidación y expansión libre se pudo verificar que las presiones de expansión fluctúan entre 5.0 y 12.0 ton/m^2. Sin embargo, en el estudio adelantado por el INGEOMINAS (1997), registraron valores de expansión hasta de 30 t/m^2.
  - ✓ Los resultados de los ensayos de laboratorio muestran que las arcillas de la formación Perdices clasifican como de media a alta expansión, con capacidad de cambios volumétricos altos. Este aspecto está directamente relacionado con la existencia de minerales expansivos tipo montmorillonita y la predominancia de partículas tamaño arcilla. Tal como se ha mencionado anteriormente, los anteriores fenómenos se esperan se tornen más críticos debido precisamente a mayores temperaturas y lluvias más intensas.
  - ✓ Para la planificación territorial se recomienda se tome en cuenta el mapa de amenaza con un tiempo de retorno de 50 años.

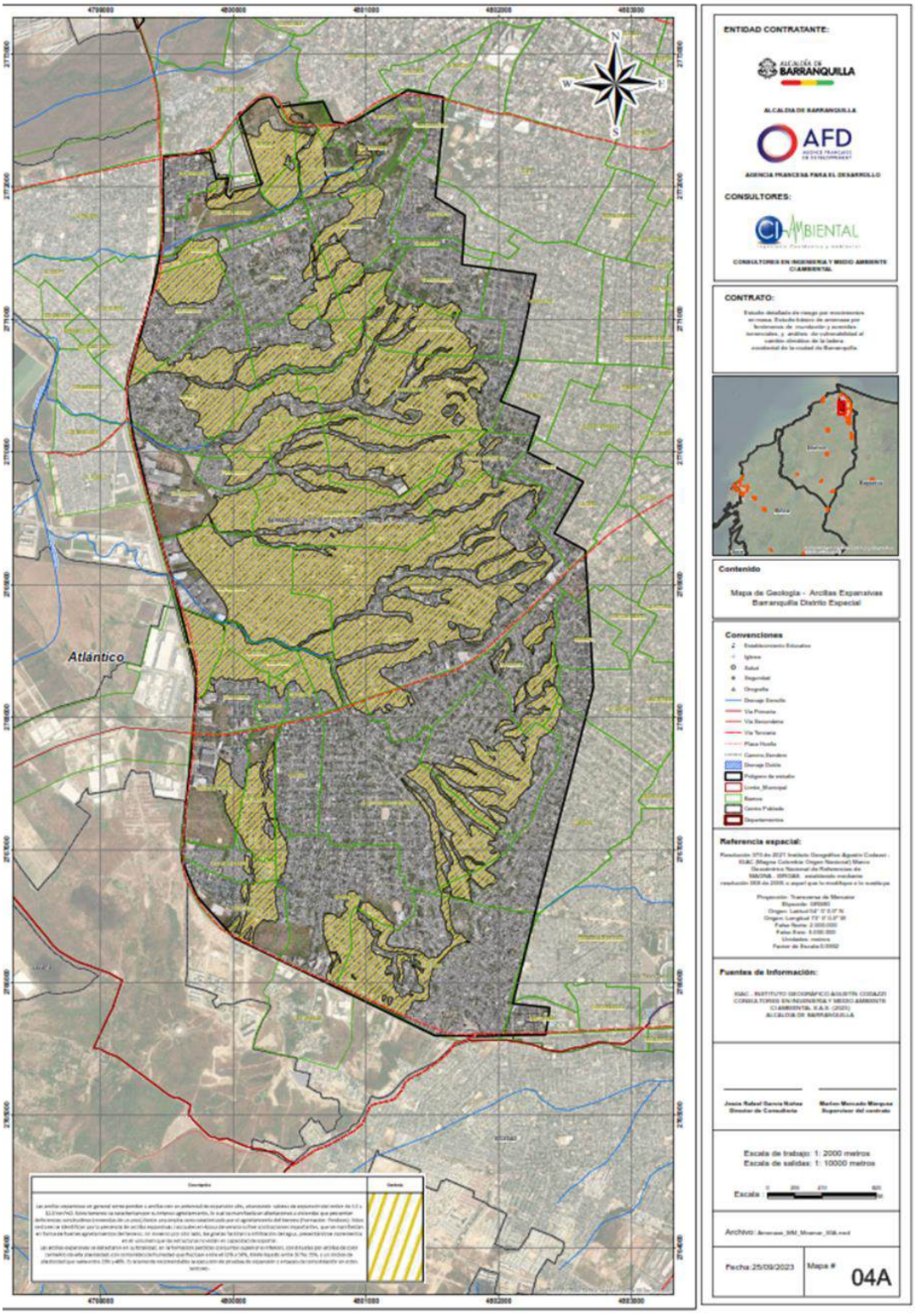


Figura 28.3 Presencia de arcillas expansiva en los cerros nor-occidentales (achurado amarillo)

Evaluación de Vulnerabilidad

- Las edificaciones se identificaron mediante visitas a la zona de estudio, las cuales se realizaron mediante un registro fotográfico de manera interna y externa, diligenciando un formato designado para ello. Su predominancia de construcción de viviendas encontrada fue "autoconstrucción", es decir, sin supervisión por profesionales del área de la construcción para la ladera sur occidental, para le barrio Miramar de identifico que el 100% de sus construcciones son diseñadas y construidas con supervisión profesional.

- La evaluación de los elementos expuestos permitió la caracterización de las viviendas y edificaciones encontradas en el área de estudio denominado ladera occidental, la cual en mayor porcentaje son edificaciones correspondientes a uso residencial tanto para la ladera sur occidental como para el barrio Miramar que es clasificado de manera independiente, ya que los predios correspondientes a dicha área corresponden a conjuntos residenciales.

- La ladera sur occidental representa un 74% correspondiente a edificaciones cuyo sistema estructural es mampostería no reforzada, a diferencia del barrio Miramar que el 60% de las edificaciones su sistema estructural es pórticos en concreto reforzado y un 40'% en mampostería reforzada, es por ello por lo que se realiza un análisis de manera independiente.

- En cuanto a la fragilidad de edificaciones, se encontró que para la ladera sur occidental se presenta en su mayoría una fragilidad moderada, lo cual era de esperarse debido a la tipología de construcción utilizada y a los resultados entregados de daño tanto en sus elementos verticales, horizontales como no estructurales, asimismo, para el barrio Miramar se tiene una fragilidad baja a muy baja.

- De acuerdo con la evaluación de vulnerabilidad en edificaciones se tiene que para las manzanas conformadas en la ladera occidental la vulnerabilidad presentada es de 92% lo cual corresponde a una vulnerabilidad alta, exceptuando el barrio Miramar que corresponde a una vulnerabilidad baja con el 83%.

- La vulnerabilidad por movimientos en masa de edificaciones y personas presentó valores en general altos para las manzanas de la ladera sur occidental y para el barrio Miramar se presentan valores bajos, utilizando la metodología propuesta por SGC, lo cual significa que para eventos por movimientos en masa las edificaciones y personas que habitan en ellas se verán más afectadas en los barrios de la ladera sur occidental a diferencial del barrio Miramar.

- Como medida de disminución de la vulnerabilidad estructural de las viviendas se propone el mejoramiento de su comportamiento mediante una intervención al sistema estructural, para la intervención técnica y estructural se tiene como referente el nuevo documento AIS-410-23 expedido por la Asociación de Ingeniería Sísmica en colaboración con la organización internacional *Build Change*, con presencia en Colombia, el cual da los lineamientos para la *Evaluación y Reducción de Vulnerabilidad Sísmica en Viviendas de Mampostería*, el cual está indicado para ser usado en viviendas de origen informal cuyo sistema estructural principal es en mampostería y tienen una altura de hasta tres pisos, el cual fue incluido al Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes – NSR-10 mediante el Decreto 1401 del 25 de

agosto de 2023, para los efectos de la aplicación de dicho documento la Alcaldía de Barranquilla podrá utilizar herramientas de financiación como el subsidio de "Casa digna-Vida digna" establecido en el Decreto 867 del 17 de mayo de 2019, en cuyo artículo 2.1.1.7.8 – Condiciones de las intervenciones de mejoramiento, se encuentran las de reforzamiento estructural y mitigación de vulnerabilidad, y que en el artículo 2.1.1.7.10 – Valor del subsidio de vivienda, se determina que "El valor del subsidio familiar de vivienda de interés social para áreas urbanas que otorgue FONVIVIENDA, con cargo a los recursos del Presupuesto General de la Nación en la modalidad de mejoramiento en el marco del Programa "Casa Digna, Vida Digna", será otorgado por un valor equivalente hasta dieciocho (18) salarios mínimos legales mensuales vigentes."

- Para los fines de planificación territorial se recomienda considerar el mapa de vulnerabilidad de edificaciones.

Evaluación del Riesgo

- El riesgo evaluado en edificaciones en general presenta valores bajos a medios para los barrios localizados en la ladera sur occidental siendo del 58% riego bajo y medio - alto del 42%; a diferencia del barrio Miramar que de acuerdo con su tipología, estado y calidad de la construcción el riesgo que presenta sus edificaciones es bajo.

- De acuerdo con la evaluación del riesgo en personas por movimientos en masa en general presenta un riesgo bajo, lo anterior en función de la fragilidad de personas, lo cual indica que para los predios correspondientes al barrio Miramar se contempla una fragilidad totalmente baja y para los demás barrios de la ladera occidental un riego bajo a medio.

- La pérdida probable total se estima en $ 83.710.535.141 para un periodo de 50 años y anualmente se estima en un total de $990.020.511.

- Se deberán proponer alternativas de mitigación, las cuales se evaluarán en el capítulo de medidas de mitigación.

- Para los fines de planificación territorial se recomienda considerar los mapas de riesgo de edificaciones y riesgo mitigable.

28.3 RECOMENDACIONES AVR POR MOVIMIENTOS EN MASA

La principal conclusión del estudio es que, en caso de que no se tomen medidas apropiadas, las inundaciones, los movimientos en masa y los movimientos por arcillas expansivas en la ladera occidental de la ciudad de Barranquilla, van a ser intensificadas por el cambio climático, por un crecimiento urbano con superficies impermeables y por el crecimiento de la población asentada en zonas de alto riesgo. El calentamiento global aumentará la intensidad de las precipitaciones extremas en Barranquilla, el aumento del área impermeable de la ciudad aumenta la escorrentía impactando inundaciones y deslizamientos, mientras que la población en zonas de riesgo contribuye a desestabilizar la ladera además de exponerse al desastre.

Al mismo tiempo, el estudio da insumos para identificar medidas costo efectivas que reduzcan el riesgo de las amenazas en cuestión, inclusive si la intensidad de las precipitaciones extremas aumenta. La estrategia para reducir el riesgo y a su vez contrarrestar el impacto del cambio climático debe incluir una combinación de medidas que abarque todas las dimensiones de la gestión de riesgo:

- Reducir la amenaza, controlando en la medida de lo posible, las variables que la originan (i.e. captura y retención del agua lluvia en el lugar donde cae, control de fugas de agua en terrenos inestables y medidas estructurales incluyendo drenes, pilotes, anclajes).

- Reducir la vulnerabilidad de las viviendas y de la infraestructura pública con reforzamiento e infraestructura de protección.

- Como medida de disminución de la vulnerabilidad estructural de las viviendas se propone el mejoramiento de su comportamiento mediante una intervención al sistema estructural, para la intervención técnica y estructural se tiene como referente el nuevo documento AIS-410-23 expedido por la Asociación de Ingeniería Sísmica en colaboración con la organización internacional *Build Change*, con presencia en Colombia, el cual da los lineamientos para la *Evaluación y Reducción de Vulnerabilidad Sísmica en Viviendas de Mampostería*, el cual está indicado para ser usado en viviendas de origen informal cuyo sistema estructural principal es en mampostería y tienen una altura de hasta tres pisos, el cual fue incluido al Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes – NSR-10 mediante el Decreto 1401 del 25 de agosto de 2023. Para los efectos de la aplicación de dicho documento la Alcaldía de Barranquilla podrá utilizar herramientas de financiación como el subsidio de "**Casa digna-Vida digna**" establecido en el Decreto 867 del 17 de mayo de 2019, en cuyo artículo 2.1.1.7.8 – Condiciones de las intervenciones de mejoramiento, se encuentran las de reforzamiento estructural y mitigación de vulnerabilidad, y que en el artículo 2.1.1.7.10 – Valor del subsidio de vivienda, se determina que "El valor del subsidio familiar de vivienda de interés social para áreas urbanas que otorgue FONVIVIENDA, con cargo a los recursos del Presupuesto General de la Nación en la modalidad de mejoramiento en el marco del Programa "Casa Digna, Vida Digna", será otorgado por un valor equivalente hasta dieciocho (18) salarios mínimos legales mensuales vigentes."

- Reducir la exposición reubicando en lugares seguros a la población e infraestructura en zonas de alto riesgo no mitigable.

- Estar preparado para atender el riesgo remanente con alertas tempranas y capacidad de respuesta.

- Evitar el desarrollo de la ciudad de las zonas de alta amenaza.

- Monitoreo, información y conocimiento de las amenazas, la vulnerabilidad y la exposición para respaldar la toma de decisiones.

Teniendo en cuenta que la precipitación extrema está detrás de los riesgos analizados en este estudio, algunas de las medidas recomendadas responden a todos mientras que otras medidas son específicas para cada riesgo.

1. **Evitar el desarrollo de la ciudad de las zonas donde el riesgo no es mitigable.**
   Las medidas de gestión de riesgo con mayor relación beneficio costo son las medidas de prevención de riesgo. Son las medidas para evitar la creación de nuevo riesgo cuando todavía no existe. Son las de mayor relación beneficio costo porque no hay que incurrir en costos de infraestructura para reforzar o proteger, ni tampoco reubicar población e infraestructura de zonas de alto riesgo.

   1.1. Excluir del desarrollo las zonas de alta amenaza y requisitos específicos para zonas de amenaza media y baja en el Plan de Ordenamiento Territorial.
   Se recomienda adoptar los mapas de amenaza de inundación y de movimientos en masa producidos por el presente estudio para períodos de retorno de 50 años, para limitar el desarrollo en la actualización del POT:
   - ✓ Se recomienda que no se permita desarrollo en las manzanas categorizadas como de amenaza alta para inundaciones y deslizamientos
   - ✓ Se recomienda que los estudios para el diseño y construcción de cimentaciones sobre suelos expansivos, sean muy estrictos, es decir, estos no son estudios de la geotecnia clásica. Los suelos expansivos pueden expandirse al absorber agua, lo que genera presiones ascendentes, o contraerse durante la sequía, lo que puede provocar daños estructurales. Debido a lo anterior es altamente recomendable que en sectores con presencia de arcillas expansivas se tengan en cuanta los siguientes aspectos en los estudios de suelos:
     - Determinar el tipo de arcilla presente y su potencial de expansión.
     - Realizar ensayos de laboratorio como los límites de Atterberg, análisis granulométrico, contenido de humedad, entre los ensayos básicos.
     - Realizar ensayos de expansión libre y potencial de expansión y presión de expansión, para modelar los cambios volumétricos esperados.
     - Evaluar las condiciones ambientales, como la fluctuación del nivel freático y los cambios climáticos, que pueden afectar el comportamiento de las arcillas.
     - Realizar sondeos y perforaciones profundas orientados a determinar la profundidad y distribución de las arcillas expansivas en el sitio.
     - Identificar zonas con mayor potencial de expansión y evaluar su impacto en la construcción.
     - Es necesario realizar análisis de la interacción suelo-estructura, con el fin de evaluar cómo la presencia de arcillas expansivas puede afectar la cimentación y la estructura de la edificación.
     - Considerar la magnitud de los movimientos del suelo y su impacto en la estabilidad de la construcción.
     - Finalmente evaluar varias alternativas para la solución propuesta dentro de las que se destacan: cimentaciones profundas, drenaje controlado (Sistemas de drenaje superficial y subterráneo para controlar el nivel freático y evitar la acumulación de agua en las arcillas expansivas), mejoramiento del suelo (Técnicas como la estabilización con cal, cemento o inyecciones para mejorar las propiedades mecánicas de las arcillas expansivas), y finalmente un Diseño Estructural Adecuado (Estructuras flexibles que puedan adaptarse a los

movimientos del suelo sin sufrir daños). En general el estudio de suelos, deberá hacer recomendaciones precisas para minimizar el efecto de las arcillas expansivas sobre las viviendas y los pavimentos, ay que durante el estudio se detectó grandes daños en viviendas debido a la presencia de este material.

- ✓ Se recomienda que en zonas de arcillas expansivas se exija estudio geotécnico específico y diseño de cimentación apropiado.
- ✓ Prohibir la disposición de cualquier tipo de residuos domésticos, escombros de construcción o materiales de corte en estas laderas con propósitos de nivelar los terrenos ya que estos generan sobrecargas que ayudan a mantener activos estos movimientos.

1.2. Dar un uso público/comunitario a las zonas de alta amenaza y controlar el desarrollo de nuevos asentamientos ilegales luego de la reubicación de población en riesgo.

Sería ideal tener recursos humanos, policivos y económicos para controlar el desarrollo informal en la ciudad en general, sin embargo, los autores son conscientes de las altas exigencias que esta tarea tiene no solo en Barranquilla sino en cualquier ciudad del país. Por esta razón, la recomendación se limita a controlar el desarrollo informal en las zonas de alta amenaza, particularmente después de haber liberado la zona luego de una reubicación de población en zonas de riesgo.

La recomendación se refiere a que los procesos de reubicación de población en zonas de alta amenaza aseguren que la reubicación va acompañada de la intervención inmediata del área liberada para destinarla a un uso público compatible con la amenaza presente, y que luego de la reubicación, durante la intervención del área y durante su uso posterior, haya una estrategia de control de nuevos asentamientos.

La vinculación de la comunidad a esta estrategia puede ser fundamental. Si el nuevo uso del predio beneficia a la comunidad y si se vincula a la comunidad en su cuidado, se incrementa la probabilidad de éxito.

2. Plan de manejo integral de aguas lluvias

En la última década, con el programa de canalización de los arroyos, Barranquilla ha logrado un gran avance en su sistema de drenaje urbano, no solo controlando el riesgo de inundaciones y crecientes súbitas urbanas que históricamente cobraron vidas y pérdidas patrimoniales, sino que también ha contribuido a la competitividad de la ciudad al reducir en gran medida la interrupción del funcionamiento de la ciudad que ocurría durante los aguaceros en temporada invernal. La mejor manera de incrementar el impacto de este logro es complementarlo con un plan de manejo de agua lluvia con el objetivo de reducir la escorrentía que llega al sistema de drenaje urbano. Esto, además de reducir la presión sobre el sistema de canalización de arroyos, es una medida de mitigación de cambio climático que contrarresta el esperado incremento de la intensidad de eventos precipitación extrema y la consecuente escorrentía.

El Plan de manejo de aguas lluvias debe también incluir un manejo de aguas lluvias diferencial para las zonas de riesgo de deslizamiento y para las zonas de arcillas expansivas, donde hay que

prevenir la infiltración de agua al máximo. De esta manera, un plan integral de manejo de aguas lluvias contribuye a reducir los tres riesgos objeto de este estudio.

El objetivo de un Plan de Manejo de agua lluvia para Barranquilla es el de garantizar que la ciudad crezca sin incrementar el volumen de escorrentía que llega al sistema de drenaje urbano, aún más, podría buscar reducir la escorrentía que llega al sistema de drenaje. Al mismo tiempo, el plan debe buscar minimizar el agua que se infiltra en zonas de deslizamiento y en zonas de arcillas expansivas. Dicho Plan podría tener al menos los siguientes elementos:

2.1. Conocimiento, monitoreo y modelación para toma de decisiones y definición de prioridades

Tomar decisiones y priorizar inversiones para reducir el riesgo es mucho más eficiente cuanto se cuenta con información confiable. La ciudad se beneficiaría de una red más fina de monitoreo de lluvias y drenaje urbano en toda la ciudad y de humedad del suelo movimientos del suelo en zonas de deslizamiento. Esta información permitiría hacer una modelación y calibración más fina de los fenómenos en cuestión para ayudar a entender mejor la situación y orientar la toma de decisiones.

Un **modelo de escorrentía-drenaje pluvial-Infiltración en la ladera occidental**, alimentado por monitoreo sistemático en campo de las variables apropiadas, permitiría mantener actualizado el mapa de amenazas y riesgos de deslizamiento, así como evaluar el impacto y la relación costo-beneficio de diferentes medidas mitigar riesgo de deslizamientos.

Un **modelo integrado de escorrentía-drenaje pluvial-canalización de arroyos**, alimentado por monitoreo sistemático en campo de las variables apropiadas, permitiría mantener actualizado el mapa de amenazas y riesgos de inundaciones, así como evaluar el impacto y la relación costo-beneficio de medidas de manejo de agua lluvia para mitigar riesgo de inundaciones.

Una **Red de monitoreo** de deslizamientos e inundaciones que incluya pluviómetros, monitoreo de escorrentía, humedad del suelo, inclinómetros entre otros, sería de gran utilidad para aportar datos para los modelos arriba mencionados y eventualmente para un sistema de alerta temprana.

2.2. Fomento de la recolección y uso de agua lluvia

La recolección de agua lluvia en tanques para uso, reduce la cantidad de lluvia que cae a la superficie reduciendo escorrentía e infiltración, contribuyendo a la reducción de inundaciones y deslizamientos. Además, contribuye a la seguridad hídrica, a la reducción de la presión de demanda sobre los acueductos y a la reducción de la factura del agua. El Ministerio de Ambiente publicó en 2022 los "*Lineamientos para potenciar el Uso de Agua Lluvia*" y aunque están pensados para zonas de escasez hídrica, puede ser adaptado a la ciudad de barranquilla.

Recomendaciones:

- ✓ Incluir incentivos en el POT para recolección y uso de aguas lluvias en nuevas edificaciones. Si se quiere actuar de manera agresiva, podría exigirse que todas las nuevas construcciones recojan y usen aguas lluvias. Un nivel intermedio puede ser con incentivos como incrementar el índice de construcción permitido para edificaciones con recolección y uso de aguas lluvias. Ambas opciones podrían ser por cuencas, priorizando aquellas cuencas cuyo sistema de drenaje está bajo mayor presión.
- ✓ Para construcciones existentes se sugiere considerar una reducción del impuesto predial para aquellas construcciones con uso de aguas lluvias.
- ✓ En todos los casos, para que esta medida sea efectiva en Barranquilla, el agua lluvia debe ser usada en uso sanitario (inodoros) o usos que sean necesarios durante la época de lluvias, ya que usos como riego no aportan porque en época de lluvia no hay que regar y el tanque se llenaría al principio de la época invernal, contribuyendo muy poco el resto de la temporada.

2.3. Manejo in situ de la escorrentía de edificaciones de privados para no generar escorrentía aguas abajo.

Tradicionalmente el desarrollo de nuevas edificaciones en Barranquilla como en la mayoría de las ciudades, resulta en superficies impermeables como cubiertas, andenes y parqueaderos impermeables que evitan que el agua lluvia se infiltre en el terreno natural como lo hacía antes de construir la edificación. Esta escorrentía que ya no se infiltra aumenta el riesgo de inundaciones y de deslizamientos. El objetivo de esta recomendación es exigir que los nuevos desarrollos den la ciudad reciban la lluvia y manejen la escorrentía in situ para no generar escorrentía aguas abajo ni sobrecargar el sistema de alcantarillado. Esto medida es práctica común en un gran número de ciudades en Estados Unidos y Europa, demostrando su efectividad y que los extra-costos compensan en reducción de riesgo. El Sexto Reporte de Cambio climático del IPCC reporta que "*based on modelling of two RCP (4.5 and 8.5) scenarios Kaspersen et al. (2017) noted flooding in four European cities could increase by up to 10% for every 1% increase in impervious surface area*".

Recomendaciones:

- ✓ Incluir incentivos en el POT para instalar infraestructura de infiltración de aguas lluvias en nuevas edificaciones, donde las condiciones del suelo lo permitan (zonas de arcillas expansivas por ejemplo deben ser descartadas). Si se quiere actuar de manera agresiva, podría exigirse que todas las nuevas construcciones infiltren la totalidad de las aguas lluvias. Un nivel intermedio puede ser con incentivos como incrementar el índice de construcción permitido para edificaciones con infiltración de aguas lluvias. Ambas opciones podrían ser por cuencas, priorizando aquellas cuencas cuyo sistema de drenaje está bajo mayor presión.

  También se puede exigir que se mantenga con superficies permeables toda o al menos una parte importante del área del lote de nuevas edificaciones no construida en altura.

- ✓ Para construcciones existentes se sugiere considerar una reducción del impuesto predial para aquellas construcciones que incrementen la permeabilidad de su predio, como recuperar la permeabilidad de patios y zonas de parqueo con adoquines permeables y jardines.
- ✓ Se recomienda hacer un estudio para evaluar la posibilidad de instaurar una tasa ambiental o cobro de alcantarillado pluvial para cobrar por la escorrentía generada por las edificaciones. El cobro por escorrentía es algo común en muchas ciudades de Estados Unidos y Europa, en algunos casos como un cobro de alcantarillado pluvial. Este cobro debe ser asociado a la escorrentía real generada, es decir que los predios que no generan escorrentía no pagarían. Esto funcionaría como incentivo para manejo in situ de la escorrentía. En algunas ciudades de Estados Unidos y Europa, el cobro se hace proporcional al área impermeable del predio que genera escorrentía.

2.4. Infraestructura pública que promueve la infiltración

Tradicionalmente la infraestructura pública también se ha hecho con superficies impermeables que reducen la infiltración de agua lluvia en el suelo. Vías, andenes y parques son en su mayoría impermeables. Esta recomendación propone que la ciudad adopte la política de infraestructura pública que permite la infiltración y adopte estándares técnicos. Un ejemplo de estándares es la norma NS166-EAAB-ESP 2018, del Acueducto de Bogotá para Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible. Además, se pueden identificar oportunidades para recuperar la permeabilidad de infraestructura pública bien sea remplazando superficies, o cambiando de tipo de superficie cuando la superficie actual esté deteriorada y requiera reparación.

Por último, reforzar el programa de arborización de parques y separadores de la ciudad garantizando la permeabilidad de las zonas aledañas, ya que los árboles contribuyen a regular la humedad del suelo.

3. Plan Maestro para la ladera occidental de la Ciudad de Barranquilla y estrategia de implementación por fases.

La modelación de amenaza por remoción en masa de la ladera occidental de Barranquilla, considerando los escenarios de cambio climático para el período 2035-2070, arrojó que la mayor parte del área no es apta para asentamientos humanos. En resumen, los usos compatibles con el nivel de amenaza son los de restauración y conservación ambiental y recreación pasiva. En algunos lugares donde la amenaza es menor, se puede pensar en otros usos públicos como parques con infraestructura liviana y flexible para recreación y actividades deportivas.

Teniendo en cuenta que la mayor parte de esta zona está poblada, se propone diseñar un plan maestro de lo que sería el uso definitivo del suelo de esta zona y un plan de implementación por etapas que permita reubicar paulatinamente la población, empezando por la de mayor riesgo y simultáneamente ir reclamando el espacio liberado dándole su uso definitivo. El uso definitivo debe ser servicio a la comunidad, con una estrategia para incentivar su uso de manera que la misma comunidad contribuya a proteger el espacio de nuevas invasiones.

Adicionalmente a una estrategia por etapas para la reubicación de la población en riesgo y la implementación paulatina del plan maestro de la zona, se debe contar con una estrategia de mitigación del riesgo de remoción en masa para mitigar el riesgo de las comunidades que habitan la zona mientras paulatinamente se procede a la reubicación. La estrategia de mitigación de riesgo también aplica a las zonas de riesgo medio para que reduzcan su nivel de riesgo y evitar que, por el contrario, por mal manejo del suelo o por cambio climático, pasen a ser de alto riesgo.

3.1. Plan Maestro

El plan maestro presentará con el uso del suelo definitivo para toda la ladera. Incluirá los usos definitivos de las áreas de riesgo alto, principalmente restauración forestal, senderos para y áreas de parque. También incluirá el uso del suelo en las áreas de riesgo medio y bajo, áreas que seguirán siendo habitadas. La infraestructura de servicios también deberá ser diseñada con el mayor detalle posible, prestando particular atención a la red de transporte peatonal y vehicular, esta red es importante porque puede tener un rol de mitigación del riesgo como se detalla más adelante.

3.2. Estrategia de Implementación

Se recomienda que se prevea una implementación del plan maestro por etapas, de manera que se vaya implementando en la medida de que haya recursos. Se definirán los criterios con los que se priorizará el orden de las etapas. El principal criterio será el nivel de riesgo de la zona a intervenir, de manera que se inicie con la reubicación de las comunidades en alto riesgo, pero seguramente habrá otros criterios técnicos para el orden de las intervenciones.

Es importante que al momento de implementar las etapas que incluyen reubicación de población, se cuente con el presupuesto para implementar el plan maestro en el espacio liberado por la comunidad reubicada, de manera que al área liberada se le pueda dar el uso definitivo y se pueda montar la estrategia de protección y control de nuevos asentamientos informales.

3.3. Estrategia de Mitigación de riesgo

La mayor parte de la ladera seguirá siendo habitada, y como tiene riesgo medio y bajo es fundamental reducir ese riesgo tanto para proteger los activos y la población, como para prevenir que pasen a mayores niveles de riesgo que requieran reubicaciones no previstas.

Algunas medidas de mitigación pueden ser:

- ✓ Control de fugas de agua de las conexiones informales de agua.
  Teniendo en cuenta que las fugas de agua pueden terminar infiltrándose en el terreno y contribuyendo a la desestabilización de la ladera, sería beneficiose contar con una estrategia para control de fugas que incluya socialización e involucramiento de la comunidad, visitas periódicas. Esta estrategia podría estar coordinada por la TripleA como parte de su programa de suministro de agua a comunidades vulnerables.

- ✓ Programa de recolección de aguas lluvias.

La opción de recolección y uso de aguas lluvias puede ser atractivo para las comunidades de la ladera occidental, particularmente si existe un incentivo por parte de la ciudad. Este incentivo puede ser el aporte de parte o la totalidad de los materiales donde los beneficiarios ponen la mano de obra. Se puede contar con diseños estándar, manuales impresos y formación a la comunidad. Esta estrategia es de mayor utilidad en las zonas consolidadas de la ladera.

- ✓ Arborización.

- ✓ Medidas estructurales de mitigación.
  Como parte de esta consultoría se identificaron y diseñaron obras prioritarias orientados a estabilizar los deslizamientos activos como drenes, pilotes y anclajes, sin embargo, es probable que en la formulación del Plan Maestro se identifiquen otras obras necesarias.

- ✓ Reforzamiento de viviendas.
  Para esto existe el documento AIS-410-23 (Asociación de Ingeniería Sísmica y la Organización Build Change), que establece lineamientos para la Evaluación y Reducción de Vulnerabilidad Sísmica en Viviendas de Mampostería de origen informal con altura de hasta tres pisos, y que fue incluido al Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes – NSR-10 mediante el Decreto 1401 del 25 de agosto de 2023. Para la implementación de esta estrategia, la Alcaldía de Barranquilla podrá utilizar herramientas de financiación como el subsidio de "Casa digna-Vida digna" establecido por el Decreto 867 de 2019, que cobija intervenciones de reforzamiento estructural y mitigación de vulnerabilidad, y que para vivienda de interés social en áreas urbanas puede ser de hasta dieciocho (18) salarios mínimos legales mensuales vigentes.

- ✓ Estrategia y Sistema de drenaje.
  Una de las principales estrategias de mitigación es el diseño de un sistema de drenaje que conduzca la escorrentía por fuera de la ladera para reducir la escorrentía infiltrada. Parte de la estrategia y del sistema puede ser la red vial vehicular y peatonal. Las vías, los andenes y los senderos peatonales y de bicicleta pueden ser diseñados para impedir la infiltración y para conducir la escorrentía por fuera de la zona de riesgo. Las vías mismas o canales debajo pueden servir de sistema de drenaje.

4. Obras de estabilización prioritarias

Esta medida es de gran importancia ya que la tendencia actual, es la incrementarse el área de afectación, dado el carácter retrogresivo de todos los deslizamientos inventariados.

- ➢ Plan de inversión que contemple la estabilización de los sectores críticos.
- ➢ Las obras propuestas en el presente estudio a nivel de prediseño corresponden a:
  - o Pilotes y micropilotes en tres bolillo.
  - o Batería de drenes horizontales.
  - o Terraceo y conformación del terreno.
  - o Pozos drenantes con batería de drenes.
  - o Muros en concreto reforzado, cimentados sobre micropilotes.

5. Sistema de monitoreo de amenazas y alerta temprana

A pesar de las medidas que se puedan tomar para mitigar el riesgo, las comunidades estarán expuestas durante el tiempo que tome la implementación, y en todo caso, siempre habrá riesgo residual. Para mitigar este riesgo remanente es importante tener la capacidad de emitir alertas tempranas y de responder ante estas alertas y de estar preparado para intervenir luego de un evento de desastre. Alertas tempranas oportunas y respuestas adecuadas reducen el impacto potencial de un evento.

Sin embargo, la decisión de instalar y operar un sistema de alerta temprana conlleva una gran responsabilidad ya que una vez en operación, estos sistemas deben ser confiables, funcionar sin interrupciones, de manera continua y con los mismos estándares de calidad porque una vez ofrecidos, la sociedad confía en ellos y un error puede resultar en impactos mayores a los que hubieran ocurrido antes de tener un sistema de alerta temprana.

Además, un sistema de alerta temprana no es efectivo si no hay protocolos de respuesta conocidos por los responsables de implementarlos y por la comunidad. Esto debe ser refrescado permanentemente, cuando cambian los funcionarios y con simulacros regulares para mantener a la comunidad entrenada.

5.1. Monitoreo y alerta temprana de movimientos en masa

Se recomienda diseñar un sistema de monitoreo y alerta temprana que cuente al menos con pluviómetros, sensores de humedad del suelo e inclinómetros para detectar movimientos del terreno que provean información en tiempo real.

Esta información generalmente alimenta un sistema automático de análisis de los datos que valida permanente las condiciones y emite alertas cuando se superan parámetros definidos para cada sitio de riesgo. Estas alertas automáticas van a expertos quienes validan la situación antes de emitir la alerta al público.

5.2. Monitoreo y alerta temprana de inundaciones

Se recomienda diseñar un sistema de monitoreo y alerta temprana que cuente al menos con pluviómetros, sensores de nivel de agua en los canales y eventualmente un radar meteorológico para hacer pronóstico local de precipitaciones, que provean información en tiempo real.

Esta información generalmente alimenta un sistema automático de análisis de los datos que valida permanente las condiciones y emite alertas cuando se superan parámetros definidos para cada sitio de riesgo. Estas alertas automáticas van a expertos quienes validan la situación antes de emitir la alerta al público.

6. Recomendaciones respecto a las zonas de riesgo mitigable y no mitigable

- Dentro del estudio se identificaron zona de riesgo alto mitigable y no mitigable. Las zonas de riesgo mitigable, podrán ser reclasificadas una vez se implementen las medidas de mitigación necesaria para estabilizar las laderas. Las zonas de riesgo alto no mitigable,

implicará la implementación de medidas de mitigación, que para su ejecución necesitará la reubicación de las viviendas, y lo más importante, estas zonas ya recuperadas deberán ser reclasificadas como zonas de protección, donde no se deberá permitir su uso para futuros desarrollos urbanísticos o invasiones. Estas obras, y la definición de zona de protección, permitirá la recuperación de zonas verdes que han desaparecido prácticamente de Barranquilla.

- Para el sector de la carrera 38, específicamente en la zona estabilizada, se recomienda clasificar todo el sector como zona de protección. Si bien el análisis del presente estudio arrojó valores de riesgo bajo y medio, la acción antrópica podría llegar a tener efectos negativos sobre la estabilización del sector. En general es altamente recomendable que la Alcaldía evite el desarrollo de proyectos urbanísticos y viviendas alrededor de estas zonas. Vemos con preocupación que actualmente parte de los terrenos ya han sido invadidos. Es urgente que las autoridades de la alcaldía procedan a la recuperación de estos sectores.

28.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES: CAMBIO CLIMÁTICO

De lo expuesto anteriormente se concluye:

- El Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) publicado en el año 2007, ha demostrado que está ocurriendo un calentamiento global que ha generado fenómenos como el ascenso del nivel del mar y un cambio climático, que se ha manifestado en ascenso en temperaturas nunca antes registrados. Como es bien sabido, estos fenómenos globales afectarán los ecosistemas y los sistemas socioeconómicos en diferentes regiones del planeta. Desafortunadamente, todos los países serán impactados en mayor o menor grado y Colombia no es la excepción. Lo anterior implica la imperiosa necesidad de la toma de decisiones en programas de mitigación del calentamiento global y de adaptación al cambio climático.
- Estudios adelantados por el IDEAM (2108), Ruíz (2018), Costa(2007) muestran que, en Colombia, la temperatura media está aumentando a una tasa de cambio de 0.13°C por década para el período 1971-2000. Los departamentos en los que se están presentando los mayores aumentos son: Córdoba, Valle, Sucre, Antioquia, La Guajira, Bolívar y Chocó con 0.14°C/década; Santander y Norte de Santander con 0.16°C/década; Cauca, San Andrés y Tolima con 0.18°C/década y Caquetá con 0.23°C/década; indicando de alguna manera que son lugares que han sentido mayormente el calentamiento global sobre el territorio nacional. Es importante destacar, sin embargo, que, al estar el departamento del Atlántico, tan cercano a al departamento de Bolívar, se hayan presentado incrementos significativos en la temperatura en este lugar.
- Los escenarios de cambio climático para el periodo 2011-2100, adelantados por el IDEAM (2018), Ruíz (2018), muestran lo siguiente:
    - “La temperatura media en el territorio nacional continuará incrementándose durante el transcurrir del siglo XXI de tal manera que para el período 2011-2040 habría aumentado en 1.4±0.4°C, para 2041- 2070 en 2.4±0.5°C y para 2071-2100 en 3.2±0.7°C. Los aumentos más significativos de la temperatura media se esperarían en gran parte de las regiones Caribe y Andina especialmente en los departamentos de Sucre, Norte de Santander, Risaralda, Huila y Tolima”.

- “Desde un punto de vista más regional, las poblaciones que sentirían las mayores reducciones de precipitación (valores por debajo de -36%), debido a cambio climático, son los ubicados en los siguientes municipios: Antioquia: Amalfi, Anori, Ituango, Segovia y Yarumal. Atlántico: Campo de la Cruz, Santa Lucia y Suan. Bolívar: Arenal, Córdoba, Magangue, Maria La Baja, Pinillos, San Fernando, San Juan Nepomuceno, San Pablo, Simiti y Zambrano”.
- “Las proyecciones de cambio climático evaluaron que la humedad relativa, se reduciría en Colombia, en 1.8% para el 2011-2040, 2.5% para 2041-2070 y 5.0% para 2071-2100. Lo anterior implica que los menores cambios del clima se presentarían en: la Península de La Guajira, la cual mantendría sus características desérticas, el Chocó, donde continuaría prevaleciendo el clima superhúmedo, la Amazonía, que seguiría siendo húmeda y en gran parte de los Llanos Orientales, donde el clima semihúmedo persistiría. **Los cambios más significativos se esperarían en la Región Caribe que cambiaría de un clima semihúmedo (condiciones actuales) a semiárido y luego a árido para finales del siglo XXI**”.

- Los anteriores resultados, muestran que el panorama a nivel Colombia es bastante desolador, pero son resultados muy regionales que se deben manejar con precaución.
- El estudio adelantado sobre vulnerabilidad al cambio climático en Barranquilla, por otro lado, corresponde a un estudio de detalle, en el que se parte analiza, y realizan las respectivas proyecciones a partir de las curvas IDF, del aeropuerto Ernesto Cortissoz y las Flores, para el periodo comprendido entre 1971 y 2010.
- Con la parametrización definitiva para las estaciones se procede a diseñar los hietogramas de diseño. Para esto se utilizará no sólo la información de IDFs calculadas, sino que además se hará uso del método de los Bloques Alternos (Chow et al., 1994). Este método establece un procedimiento mediante el cual es posible generar un hietograma de una tormenta de diseño que permita incorporar lluvias críticas de múltiples duraciones para un periodo de retorno dado.
- La comparación entre los hietogramas para Las Flores y para el Aeropuerto Ernesto Cortissoz arrojan similitudes grandes, lo que indicaría una homogeneidad de las tormentas críticas entre los dos puntos de medición.
- Los valores de precipitación más altos se concentran entre los 60 minutos y 300 minutos del hietograma, siendo que por fuera de estos rangos los valores son muy cercanos a cero (0). Esto nos indica que las tormentas críticas cuentan con duraciones cercanas a las cuatro (4) horas, motivo por el cual al realizar el ajuste inicial del IDEAM se presentaban las incongruencias en lluvias de duraciones de 5 a 6 horas.
- Los modelos climáticos globales (GCM por sus siglas en inglés) son la herramienta matemática más importante para generar simulaciones del clima futuro bajo diversas concentraciones de emisiones de gases de efecto de invernadero para diversos escenarios socioeconómicos. Sin embargo, estos modelos operan a resoluciones espaciales por encima de los 100 km. Los GCMs no poseen la capacidad de simular procesos convectivos que generalmente ocurren a resoluciones espaciales mucho menor. Los modelos Regionales Climáticos (RCM por sus siglas en inglés) representan una mejora en la resolución espacial, operando con resolución entre 10 km y 50 km.
- Para este estudio en particular, luego de las evidencias analizadas en la literatura, utilizamos el modelo de Martel et al., 2021, quienes proponen una adaptación de las curvas IDF basada en el conocimiento científico actual. Siguiendo el enfoque de la relación Clausius-Clayperon (CC), los

autores proponen un factor de ajuste que depende de los cambios más probables de temperatura locales o regionales.

- Para el análisis de cambio climático de Barranquilla, se utilizaron 34 modelos Se tienen 34 modelos GCM – Model del Clima global, estos modelos contienen los diferentes escenarios de emisiones, se trabajará con el SSP5-8.5 el cual representa el escenario más alto de emisiones de gases de efecto invernadero desarrollados en el proceso SSP donde las emisiones de dióxido de carbono se triplican para el 2075. Para cada modelo GCM se deben analizar 90 años de datos diarios y seleccionar los valores máximos de cada año para el periodo historio de 1981 – 2010 y el periodo futuro 2035 – 2064, 2071 – 2100 para los parámetros de precipitación y temperatura.
- Revisando los resultados anteriores podemos decir que se estima para el periodo de 2035-2064 se dé un aumento promedio de las precipitaciones máximas de 3% respecto a los valores estimados actualmente, y un aumento de un 6% con un 95% de confianza. Por su parte es estima para el periodo de 2071-2100 se dé un aumento promedio de las precipitaciones máximas de 6% respecto a los valores estimados actualmente, y un aumento de un 12% con un 95% de confianza. Si bien estos resultados fueron encontrados para la estación Apto. Ernesto Cortissoz, al estar tan cerca de la Estación Las Flores y estar dentro de una misma área de influencia de las simplificaciones de los modelos de cambio climático, se tomarán estos mismos incrementos para la estación Las Flores.
- Se aclara que los incrementos expuestos anteriormente impactan directamente en un aumento sobre las lluvias críticas, pero no necesariamente esto implica que se dé un aumento en las precipitaciones anuales totales. Podría ser posible que se presenten largas temporadas de sequía sucedidas por lluvias intensas que alcancen precipitaciones puntuales asociadas a los valores de lluvias críticas, pero con un valor de precipitación anual que bien podría descender o aumentar.
- De las gráficas comparativas mostradas en el contenido del informe para las estaciones de Las Flores y Apto. Ernesto Cortissoz se puede establecer que se produce un incremento sustancial de la intensidad, en el que las curvas actuales ya no coinciden con las de periodos de retorno similares en el periodo futuro. Es decir, la curva de intensidad para un periodo de retorno de 50 años actual ya no corresponde con la curva futura para el mismo periodo de retorno, sino que en contraste coincide con la del periodo de retorno inferior, es decir con la curva IDF futura para el periodo de retorno de 25 años. Esto lo que implicaría sería un descenso en el desempeño esperado de las estructuras hidráulicas, puesto que, si en la actualidad se diseña una estructura con un periodo de retorno de 100 años, a futuro la misma cambiaría su periodo de retorno de desempeño al periodo de retorno de 50 años o inferior.
- Si bien el incremento de las precipitaciones críticas es más marcado en las curvas IDF futuras del periodo 2071-2100, se pudo corroborar que para las curvas IDF futuras a 2035-2064 para las precipitaciones de duraciones cortas (0 – 60 min) las curvas IDF de periodos de retorno inferiores se acercan bastante a las del periodo de retorno siguiente en las curvas actuales.
- Con respecto a impactos del recurso hídrico ante cambio climático en Colombia, el cambio en el ciclo hídrico podría generar desabastecimiento de agua para consumo humano especialmente en las regiones Caribe y Andina, desmejoraría el saneamiento básico con implicaciones en la salud humana, incrementaría los costos de provisión de agua y en algunos casos podría ocasionar conflictos entre la población y entidades encargadas de la gestión de los recursos y de la provisión de agua potable.

29 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2009). Estudio de amenaza sísmica de Colombia.

HARDIN, B. AND DRNEVICH, V.P. (1972b). "Shear modulus and damping in soils: design equations and curves," Journal ofthe Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 98, No. SM7, pp.667-692.

Arcila, M. García, J., Montejo, J., Eraso, J., Valcarcel, J., Mora, M., Viganò, D., Pagani, M. y Díaz, F. (2020). "Modelo nacional de amenaza sísmica para Colombia". Servicio Geológico Colombiano.

Lysmer, J., and Kuhlemeyer, R. L. (1969). Finite dynamic model for infinite media. J. Eng. Mech., ASCE 95, 4, pages 859-877.

CARVAJAL, H., RUIZ, G., 2006. Estado actual de los procesos de inestabilidad de las laderas occidentales de Barranquilla, sector Campo Alegre, departamento del Atlántico. Servicio Geológico Colombiano, Bogotá, 32 p.

CARVAJAL, H., 2012. Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia. Servicio Geológico Colombiano, Bogotá 57 p.

PRACTICE NOTE GUIDELINES FOR LANDSLIDE RISK MANAGEMENT (2007). Australian Geomechanics Society Landslide Taskforce, Landslide Practice Note Working Group.

USAGE (1997). Risk-based analysis in Geotechnical Engineering for Support of Planning Studies, Engineering and Design.

Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk (2013). J. Corominas • C. van Westen • P. Frattini • L. Cascini • J.-P. Malet • S. Fotopoulou • F. Catani • M. Van Den Eeckhaut • O. Mavrouli • F. Agliardi • K. Pitilakis • M. G. Winter • M. Pastor • S. Ferlisi • V. Tofani • J. Herva´s • J. T. Smith. Bull Eng. Geol Environ.

IDEAM. (1.997). Coberturas de tierras.

Actualización POMCA rio Recio y Venadillo Plan de ordenación y manejo de la cuenta hidrográfica.

Leyenda nacional de coberturas de la tierra metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia escala 1.100.000

Mapa de coberturas de la tierra Cuenca Magdalena - Cauca

Suárez-Parra, K. V., Cély-Reyes, G. E., & Forero-Ulloa, F. E. (2016). Validación de la metodología Corine Land Cover (CLC) para determinación espacio-temporal de coberturas: caso microcuenca de la quebrada Mecha (Cómbita, Boyacá), Colombia. Biota Colombiana, 17(1), 1-15.

Gutiérrez Mora, Y. E. Implementación de la metodología Corine Land Cover para generación de la capa geográfica de coberturas de la tierra del año 2019, escala 1: 25000, a partir de imágenes satelitales Planet Scope para la jurisdicción de Corpochivor.

Guía técnica para la formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas hidrográficas (POMCAS).

Tiga Molina, R. Determinación de la zonificación ambiental y la implementación de sistemas de información geográfica–SIG, según guía técnica para la formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas hidrográficas (POMCAS).

ASPECTOS JURÍDICOS DE LA PARTICIPACIÓN CIUDADANA EN LA GESTIÓN AMBIENTAL EN COLOMBIA Luis Fernando Macias

Conducta del consumidor, Estrategia y políticas aplicadas al marqueting, Jaime Rivera Camino, Rolando Arellano Cueva Victor M. Morelo. 2da edición, Libros Profesionales de empresa 2009

Desastres y protección civil: problemas sociales, políticos y organizacionales Escrito por Jesús Manuel Macías Dirección Protección de Seguridad Civil México 1999

Estudio de investigación sobre la percepción del riesgo en una región de pobreza, escenario sierra: el caso de los deslizamientos en huancavelica. Pedro Jesús Mendoza Arana número del contrato: 080-2005 fecha de presentación: 24 de agosto de 2005

INFORMES TEMÁTICOS DE LA DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y ESTADÍSTICA DEL MINISTERIO DE EDUCACIÓN DEL GCBA ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SOCIAL (IVS) Documento metodológico Sonia Susini (colaboración), Silvia Catalá (coordinación) y Silvina Quinteros (análisis territorial). Versión: 19 de marzo de 2009

La Participación y Gestión Social Silvia Galeana de la O y Jose Luis Saenz Villanuevan

La percepción del riesgo y el sentimiento de seguridad Gustavo Wilches-Chaux consultor independiente, profesor universitario y escritor

Percepción del riesgo en relación con capacidades de autoprotección y autogestión, como elementos relevantes en la reducción de la vulnerabilidad en la ciudad de la serena Guillermo Alexis Cid Ortiz2, Carmen Paz Castro, Correa3 y Vanessa Rugiero de Souza Nº 75 / Agosto 2012 / Volumen Nº 27: 105-142 107

Taller Nacional sobre Desastre, Gestión de Riesgo y Vulnerabilidad: Fortalecimiento de la Integración de las Ciencias Naturales y Sociales con los Gestores de RiesgoBuenos Aires, 31 de Julio de 2012 Susana B. Adamo

Validación de una escala de afrontamiento frente a riesgos extremos Esperanza López-Vázquez, Dra en Psicol Soc, (1) María Luisa Marván, Dra

Vulnerabilidad cultural y escenarios de riesgo por inundaciones Martín, D. & Murgida, A. (2004). GEOUSP - Espaço e Tempo, São Paulo, 16, 181- 192. Recuperado el día 3 febrero de 2008, de http://www.geografia.fflch.usp.br/.

http://www.alcoberro.info/pdf/sen3.pdf . Entrevista con Amartya SEN publicada en PHILOSOPHIE MAGAZINE, nº 44, noviembre de 2010, pp. 58-63. [Trad. R.A.].

http://www.fhuce.edu.uy/actio/Textos/8/Carolina%20Pallas.pdf Pallas C (2006) ¿Libertad como antipoder o como poder efectivo?

Definición de estímulo - Qué es, Significado y Concepto http://definicion.de/estimulo/#ixzz2UQ8hGIW

http://www.unisdr.org/2004/campaign/booklet-spa/page9-spa.pdf

Costa, C. (2007). *La adaptación al cambio climático en Colombia*. Revista de Ingeniería Universidad de los Andes.

INVEMAR (2020). Vulnerabilidad al cambio climático y lineamientos de adaptación para el Distrito Especial, Industrial y Portuario de Barranquilla (ITF)

Avila, H. (2012). Perspectiva del manejo del drenaje pluvial frente al cambio climático - caso de estudio: ciudad de Barranquilla, Colombia. Revista de Ingeniería. No 36

CRA (2015). Susceptibilidad de amenazas y vulnerabilidad, como ajuste al plan de ordenamiento territorial de la cuenca hidrográfica Ciénaga de Mallorquín y los arroyos Grande y León. CPM.

GeoAdaptive (2013). Desarrollo Urbano y Cambio Climático. Reporte 2. Análisis de Amenaza y Vulnerabilidad al Cambio Climático. BID

Climate change mitigation in cities: a systematic scoping of case studies. Mahendra Sethi1,2, William Lamb2,3, Jan Minx2,4 and Felix Creutzig1,2

Drobinski, P., et al. 2018. *Scaling precipitation extremes with temperature in the Mediterranean: Past climate assessment and projection in anthropogenic scenarios*. Clim. Dyn. 51 (3): 1237–1257. https://doi.org/10.1007/s00382-016-3083-x.

Houze, R. A., Jr. 1997. *Stratiform precipitation in regions of convection: A meteorological paradox*? Bull. Am. Meteorol. Soc. 78 (10): 2179–2196.

https://doi.org/10.1175/1520-0477(1997)078<2179:SPIROC>2.0.CO;2

IDEAM (2018). *LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y EL CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA*

Kendon, E. J., A. F. Prein, C. A. Senior, and A. Stirling. 2021. *Challenges and outlook for convection-permitting climate modelling*. Philos. Trans. R. Soc. A 379 (2195): 20190547. https://doi.org/10.1098/rsta.2019.0547 .

Martel J.L., Brissette F.P., Picher P.L., Troin M., and R. Arsenault. 2021. *Climate Change and Rainfall Intensity–Duration–Frequency Curves: Overview of Science and Guidelines for Adaptation*. J. Hydrol. Eng., 2021, 26(10): 03121001.

Prein, A. F., C. Liu, K. Ikeda, S. B. Trier, R. M. Rasmussen, G. J. Holland, and M. P. Clark. 2017a. *Increased rainfall volume from future convective storms in the US*. Nat. Clim. Change 7 (12): 880–884. https://doi.org/10.1038/s41558-017-0007-7

Prein, A. F., R. M. Rasmussen, K. Ikeda, C. Liu, M. P. Clark, and G. J. Holland. 2017b. *The future intensification of hourly precipitation extremes*. Nat. Clim. Change 7 (1): 48–52. https://doi.org/10.1038/nclimate3168

Ruíz, F. (2015). INFORME SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA. IDEAM. Subdirección de Meteorología

Thrasher B., Wang W., Michaelis A., Melton F., Lee T. and R. Nemani. 2022. NASA Global Daily Downscaled Projections, CMIP6. Sci Data 9, 262 (2022). https://doi.org/10.1038/s41597-022-01393-4

Trenberth, K. E., A. Dai, R. M. Rasmussen, and D. B. Parsons. 2003. *The changing character of precipitation*. Bull. Am. Meteorol. Soc. 84 (9): 1205–1218.

https://doi.org/10.1175/BAMS-84-9-1205

Westra, S., H. J. Fowler, J. P. Evans, L. V. Alexander, P. Berg, F. Johnson, E. J. Kendon, G. Lenderink, and N. M. Roberts. 2014. *Future changes to the intensity and frequency of short-duration extreme rainfall*. Rev. Geophys. 52 (3): 522–555.

https://doi.org/10.1002/2014RG000464.