CONSULTORIA PARA REALIZAR LOS ESTUDIOS GEOLÓGICOS, GEOTÉCNICOS, HIDROLÓGICOS Y DISEÑOS DE OBRAS DE MITIGACIÓN, PARA LA ATENCIÓN DE AMENAZAS, EN DOCE (12) PUNTOS CRÍTICOS DEL ÁREA DE JURISDICCIÓN DE LA CDMB



ESTUDIO GEOLOGICO – GEOTECNICO-HIDROLOGICO Y DISEÑO DE OBRAS DE MITIGACION SECTOR NAZARETH-TRES ESTRELLAS, ESCARPA SUR ENTRE CARRERAS 8 Y 9

Bucaramanga, Santander **Diciembre de 2016.**

CONSULTORIA PARA REALIZAR LOS ESTUDIOS GEOLÓGICOS, GEOTÉCNICOS, HIDROLÓGICOS Y DISEÑOS DE OBRAS DE MITIGACIÓN, PARA LA ATENCIÓN DE AMENAZAS, EN DOCE (12) PUNTOS CRÍTICOS DEL ÁREA DE JURISDICCIÓN DE LA CDMB

MUNICIPIO DE BUCARAMANGA, SANTANDER

Consultor:
INGENIEROS DE SERVICIOS GENERALES DE OBRA INSEGO S.A.S

Director:
EDGAR LEONARDO GÓMEZ RONCANCIO
Ingeniero civil.

Bucaramanga, Santander **Diciembre de 2016.**

EQUIPO DE TRABAJO

EDGAR LEONARDO GÓMEZ RONCANCIO
Ingeniero civil
Director.

Estudio y Análisis Geológico y Geomorfológico:

Jenny Carolina Cordero Castellanos
Geóloga
Esp. Geotecnia Ambiental

José Luis González Montañez
Geólogo

Estudio y Análisis Geotécnico:

William Eduardo Cortes Peña
Ingeniero civil
Esp. Geotecnia Ambiental

Marco Antonio Sandoval Morantes
Ingeniero civil
Esp. Vías Terrestres

Alexander Fabián Domínguez León

Ensayos de Laboratorio y Exploración Mecánica:

CONSTRUAN S.A.S

Dibujante:

Andrés Felipe Mendoza Espinosa

Topografía
Daniel Eduardo Moreno
Topógrafo

CONTENIDO.

INTRODUCCIÓN **11**

1. OBJETIVO **13**

2. ALCANCE **14**

3. LOCALIZACION DEL PROYECTO **15**

4. ANALISIS GEOLOGICO **17**

4.1. METODOLOGÍA **17**
4.2. GEOLOGIA **18**
4.2.1. GEOLOGÍA REGIONAL 18
4.2.2. UNIDADES GEOLÓGICAS DE INGENIERÍA (UGI) 27
4.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL **33**
4.3.1. Marco geológico y tectónico de Colombia 33
4.3.2. Marco geológico y tectónico del Departamento de Santander 34

5. GEOMORFOLOGÍA **40**

5.1. MORFOGÉNESIS **40**
5.2. MORFOMETRÍA **42**
5.3. MORFODINAMICA **44**
5.4. ELEMENTOS GEOMORFOLÓGICOS **51**
5.4.1 Geoformas de origen denudacional 51
5.4.2 Geoformas de origen antropogénico 52

6. COBERTURA DEL SUELO **55**

7. EVALUACION HIDROLOGÍCA SECTOR NAZARETH-TRES ESTRELLAS, ESCARPA SUR ENTRE CARRERAS 8 Y 9 ..... **59**

7.1. PARAMETROS MORFOLOGICOS **60**
7.1.1. AREA DE LA CUENCA (A) 60
7.1.2. PERIMETRO DE LA CUENCA 60
7.1.3. LONGITUD MAYOR DEL RIO (L) 61
7.1.4. FORMA DE CUENCA 61
- FACTOR DE FORMA (FF) 62
7.2. SISTEMA DE DRENAJE **63**
- GRADO DE RAMIFICACION 63
- DENSIDAD DE DRENAJE 63
7.3. PENDIENTE MEDIA DEL DRENAJE. **64**

7.4. CLIMATOLOGÍA E HIDROLOGÍA GENERAL 66
7.4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CLIMA 66
7.4.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA TEMPERATURA, HUMEDAD Y BRILLO SOLAR 68
7.4.3. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PRECIPITACIÓN 71
7.5. DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS 73
7.6. INFORMACIÓN HIDROLÓGICA 74
7.7. CARACTERIZACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN 76
7.7.1. PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL 78
7.7.2. VARIACIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN TOTAL 83
7.7.3. PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS 87
7.7.4. LLUVIAS DE CORTA DURACIÓN 96
7.7.5. CURVAS IDF PARA EL SECTOR NAZARETH-TRES ESTRELLAS, ESCARPA SUR ENTRE CARRERAS 8 Y 9 98
7.7.6. LLUVIAS ACUMULADAS PARA EL SECTOR DE NAZARETH-TRES ESTRELLAS, ESCARPA SUR ENTRE CARRERAS 8 Y 9 100
7.8. CALCULO DE LA ESCORRENTIA 102
7.9. DIMENSIONAMIENTO CANALETAS DE CORONACION 107

8. HIDROGEOLOGIA 110

8.1. INFORMACIÓN SECUNDARIA: 110
8.2. HIDROGRAFÍA: 114
8.3. RECARGA DEL ACUÍFERO: 114
8.4. ANÁLISIS HIDROLÓGICO: 115
8.5. RELACIÓN ENTRE LLUVIAS Y NIVELES FREÁTICOS 118
8.6. ANÁLISIS DE DESLIZAMIENTOS: 119
8.7. RELACIÓN DE LLUVIAS – DESLIZAMIENTOS: 120
8.8. AFECTACIÓN DE LA ZONA POR PROBLEMAS DE AGUA: 121
8.9. PARÁMETROS HIDROLÓGICOS: 121
8.10. CONCLUSIÓN HIDROGEOLÓGICA: 121
8.11. CRITERIOS PARA DEFINICIÓN Y DISEÑO DE MEDIDAS DE DRENAJE: 123

9. SISMOLOGÍA 124

9.1. AMENAZA SÍSMICA SEGÚN LA NORMA NSR-10. 124
9.1.1 Movimiento sísmico de diseño. 126
9.1.2 Efectos locales 127
9.1.3 Tipo de Perfil del suelo 127
9.1.4 Coeficiente de Importancia. 129
9.1.5 Espectro Elástico de Diseño. 129
9.2. AMENAZA SÍSMICA SEGÚN LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA DE 2001. 132
9.3. RESULTADO DE LA SISMOLOGÍA DE ACUERDO A LA NSR-10 Y LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE BUCARAMANGA DE 2001. 133
9.4. ANÁLISIS Y SISMO DE DISEÑO PARA EL MODELO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO (H.5.2.5 TITULO H, NSR-10). 133

10. EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA (ANALISIS DE ESTABILIDAD). 135

10.1. GENERALIDADES: 135
10.2. MODELOS DE ESTABILIDAD 136
10.2.1. ESCENARIO ESTÁTICO: 136
10.2.2. ESCENARIO DINÁMICO: 136
10.3. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD EN CONDICIONES ACTUALES. 137
10.3.1. ANALISIS ESTATICO 137
10.3.1.1. Análisis Estático, condiciones actuales 137
10.4. RESULTADO DEL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD EN CONDICIONES ESTÁTICAS ACTUALES. 138
10.5. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD EN CONDICIONES PSEUDOESTATICAS ACTUALES. 138
10.5.1. ANALISIS DINAMICO 138
10.5.1.1. Análisis Dinámico, condiciones actuales 138
10.6. RESULTADO DEL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD EN CONDICIONES DINÁMICAS ACTUALES. 139

11. MEDIDAS DE MITIGACIÓN ESTRUCTURALES: 141

11.1. OBRAS DE MITIGACION: 141
11.1.1. PANTALLA ANCLADA: 142
11.1.2 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD CON OBRAS DE MITIGACIÓN 146
11.1.3 ANÁLISIS ESTÁTICO 146
Análisis Estático, con obras de estabilización 146
11.1.4 RESULTADO DEL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD EN CONDICIONES ESTÁTICAS CON OBRAS DE ESTABILIZACIÓN. 146
11.1.5ANÁLISIS DE ESTABILIDAD EN CONDICIONES PSEUDOESTATICAS CON OBRAS DE ESTABILIZACIÓN. 147
11.1.6ANÁLISIS DINÁMICO 147
Análisis Dinámico, con obras de estabilización 147
11.1.7RESULTADO DEL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD EN CONDICIONES DINÁMICAS CON OBRAS DE ESTABILIZACIÓN. 147

12 CONCLUSIONES 148

BIBLIOGRAFÍA 151

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Unidades Geológicas de Ingeniería (UGI) según su origen 28
Tabla 2. Origen principal de las geoformas (Verstappen & Van Zuidam, 1975) 41
Tabla 3. Clasificación de procesos erosivos utilizados con propósitos de análisis de ingeniería. 45
Tabla 4. Movimientos en masa identificados en el SIMMA (Catálogo) 48
Tabla 5. Parámetros morfológicos de la microcuenca 65
Tabla 6. Principales Parámetros meteorológicos promedios mensuales anuales..... 66
Tabla 7. Inventario de estaciones IDEAM no suspendidas – Departamento de Santander, de influencia en el sector Nazareth-Tres Estrellas, Escarpa Sur entre Carreras 8 y 9 68
Tabla 8. Relación de temperatura del Período (1975 – 2005) 69
Tabla 9.Inventario de estaciones en el Área Metropolitana de Bucaramanga 75
Tabla 10. Inventario de estaciones seleccionadas para el estudio regional..... 76
Tabla 11. Valores máximos anuales, promedio, desviación y coeficiente de variación 93
Tabla 12. Valores de precipitación máxima en las estaciones de Bucaramanga..... 94
Tabla 13. Valores de precipitación máxima estaciones Zona occidente de Bucaramanga 94
Tabla 14. Valores de precipitación máxima período de retorno de 100 años 95
Tabla 15. Intensidades máximas. Estación CDMB 99
Tabla 16. Resultados curva de frecuencia lluvia acumulada Estación CDMB. 101
Tabla 17. Coeficientes de escorrentía. 104
Tabla 18. Calculo del tiempo de concentración Tc 106
Tabla 19. Intensidades máximas para la Estación La Floresta. 106
Tabla 20: Velocidad de Frente Húmedo. 117
Tabla 21: Espesores de Frente Húmedo. 118
Tabla 22 NSR-10 Tabla A.2.3-1..... 125
Tabla 23**:** Apéndice A-4 - Valores de Aa, Av, Ae y Ad y definición de la zona de amenaza sísmica de municipios 126
Tabla 24 Clasificación de los perfiles de suelos, título A de la NSR-10, tabla A.2.4-1. 127
Tabla 25 NSR-10 tabla A.2.4-3 Valores del coeficiente Fa, para la zona de periodos cortos del espectro. 128
Tabla 26 NSR-10 tabla A.2.4-4 Valores del coeficiente Fv, para la zona de periodos intermedios del espectro. 128
Tabla 27 Tipo de suelo de acuerdo al título A de la NSR-10, tabla A.2.4-1 y valores de Fa y Fv tomados de la Tabla 25 y Tabla 26 129
Tabla 28: valores de coeficiente de Importancia I..... 129
Tabla 29: valores de K_{st}/a_{max} mínimos para análisis seudoestaticos en taludes..... 133
Tabla 30: Valores F.S, Análisis Estático en condiciones actuales 138
Tabla 31: Valores F.S, Análisis Dinámico en condiciones actuales 139
Tabla 32: Niveles de amenaza, resolución 1294 de 2009, Normas Geotécnicas, CDMB. 140
Tabla 33: Valores F.S, Análisis Estático con Obras de Mitigación. 146
Tabla 34: Valores F.S, Análisis Dinámico con obras de mitigación..... 147

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1. Ubicación general del área de estudio. 15
Figura 2. Ubicación detallada del área de estudio. 16
Figura 3. Unidad Neis de Bucaramanga ubicada al este del Municipio de Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 1999). 20
Figura 4. Formación Silgará en los alrededores de Matanza y Suratá. Ubicada al Noreste del Municipio de Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 1999). 20
Figura 5. Formación Bucaramanga Miembro Órganos (Qbo), al oeste del Municipio de Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 2001). 22
Figura 6. Formación Bucaramanga Miembro Finos, al norte del municipio de Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 2001). 24
Figura 7. Formación Bucaramanga Miembro Gravoso, al norte del municipio de Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 2001). 25
Figura 8. Formación Bucaramanga Miembro Limos Rojos (Tomado de INGEOMINAS, 2001). 26
Figura 9. Perfil típico y espesores promedio de la Formación Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 2001). 27
Figura 10. Suelos Miembro Gravoso (Fm Bucaramanga) (Sft2) 29
Figura 11. Panorámica del área en estudio, en donde se identifican las UGI presentes. 31
Figura 12. Mapa de Unidades Geológicas de Ingeniería (UGI) geológico para el área en estudio. 32
Figura 13. Porcentaje de las UGI en el área en estudio. 32
Figura 14. Bloque Norandino en la esquina septentrional de Suramerica y su compleja interacción con las Placas Nazca, Caribe y Suramerica. Tomado de Cediel et al., 2003. 33
Figura 15. Esquema tectónico del Departamento de Santander. En el cuadro rojo se encuentra el área de estudio. Modificado de Royero y Clavijo, 2001. 35
Figura 16. Esquema estructural del Departamento de Santander. Tomado de Royero y Clavijo, 2001. 37
Figura 17. Desvío del Río Suratá debido a la acción de la Falla de Bucaramanga. Tomado de Diederix et al., 2008. 38
Figura 18. Ubicación de la zona de estudio con respecto a las Fallas regionales presentes. Tomado de Google Earth 2015. 39
Figura 19. Mapa morfométrico para el área de estudio. 43
Figura 20. Porcentaje de unidades morfométricas presentes en el área de estudio. .. 43
Figura 21. Procesos de erosión (ER-1) y Movimientos en masa (MM-1 y MM-2) para el área en estudio. 46
Figura 22. Consulta de Inventario de fenómenos de remoción en masa en el Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA), perteneciente al Servicio Geológico Colombiano. 47
Figura 23. Consulta del catálogo de fenómenos de remoción en masa en el Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA), perteneciente al Servicio Geológico Colombiano. 47
Figura 24. Mapa de procesos morfodinámicos en el área en estudio. 50
Figura 25. Elementos geomorfológicos presentes en el área de estudio. 53

Figura 26. Mapa de unidades de elementos geomorfológicos de la zona de estudio. 54
Figura 27. Porcentaje de unidades de elementos geomorfológicos para el área de estudio. 54
Figura 28. Coberturas del suelo presentes en el área en estudio 57
Figura 29. Mapa de cobertura del suelo para el área en estudio. 58
Figura 30. Porcentaje de ocupación de las clases de la cobertura del suelo para el área en estudio. 58
Figura 31. Delimitación de la subcuenta de la quebrada Dos Aguas cerca al sector Nazareth-Tres Estrellas, Escarpa Sur entre Carreras 8 y 9 59
Figura 32. Ubicación Área de Estudio respecto a la Quebrada Dos Aguas 59
Figura 33. Microcuenca Quebrada Dos Aguas 65
Figura 34. Localización estaciones Hidroclimatológicas aferentes al área metropolitana de Bucaramanga 67
Figura 35 Temperatura media mensual multianual estación UIS (1975 – 2005)..... 69
Figura 36Humedad relativa promedio mensual multianual E. Aeropuerto Palonegro 70
Figura 37. Brillo solar mensual multianual estación Aeropuerto Palonegro (1975 – 2005) 70
Figura 38. Precipitación media mensual multianual Aeropuerto Palonegro (1975 – 2005) 71
Figura 39. Histograma de precipitación media anual multianual estaciones analizadas 72
Figura 40. Isoyetas período retorno 2 años. 73
Figura 41. Precipitación Media mensual multianual estación Floresta (1978-2008) ... 77
Figura 42. Histograma de precipitación media anual porcentual las estaciones analizadas. 78
Figura 43. Precipitación anual Estación Bucaramanga..... 78
Figura 44. Precipitación anual Estación UIS. 79
Figura 45. Precipitación anual Estación La Floresta. 79
Figura 46. Precipitación anual Estación Apto Palonegro. 80
Figura 47. Precipitación anual Estación La Laguna. 80
Figura 48. Precipitación anual Estación Palo Gordo 81
Figura 49. Precipitación anual Estación CDMB 81
Figura 50. Precipitación anual Estación Club Campestre 82
Figura 51. Precipitación anual Estación La Esperanza. 82
Figura 52. Precipitación anual Estación La Flora. 83
Figura 53. Precipitación anual Estación PTAR 83
Figura 54. Curvas Isoyetas medias anuales con base en las estaciones seleccionadas (mm)..... 84
Figura 55. Relación de la elevación y precipitación estaciones de Bucaramanga 85
Figura 56. Relación de la elevación y precipitación de las estaciones en la zona Occidente 86
Figura 57. Valores totales anuales de precipitación estaciones en la zona Occidente 86
Figura 58. Precipitación máxima en 24 horas Estación Bucaramanga 87
Figura 59. Precipitación máxima en 24 horas Estación UIS. 88
Figura 60. Precipitación máxima en 24 horas Estación La Floresta. 88
Figura 61 Precipitación máxima en 24 horas Estación Aeropuerto Palonegro. 89
Figura 62. Precipitación máxima en 24 horas Estación La Laguna 89

Figura 63. Precipitación máxima en 24 horas Estación Palogordo 90
Figura 64. Precipitación máxima en 24 horas Estación CDMB 90
Figura 65. Precipitación máxima en 24 horas Estación Club Campestre 91
Figura 66. Precipitación máxima en 24 horas Estación La Esperanza 91
Figura 67. Precipitación máxima en 24 horas Estación La Flora 92
Figura 68. Precipitación máxima en 24 horas Estación PTAR 92
Figura 69.Distribución Gumbel para máximos de precipitación en 24 horas 96
Figura 70. Curvas IDF Sintéticas para la Estación CDMB – Método de Bell 100
Figura 71. Curva frecuencia lluvia acumulada diferentes periodos retorno 101
Figura 72. Área de aporte a las obras de manejo de agua superficial del sector. 107
Figura 73. Capacidad hidráulica, canaleta proyectada 108
Figura 74. Localización cuenca en estudio con un área de 464km^2. Tomado de INGEOMINAS, 2007. 111
Figura 75. Mapa de localización de las principales afluentes de drenaje del área metropolitana de Bucaramanga y su área de influencia (Cuenca superior rio Lebrija. Fuente: IGAC – Autores). 113
Figura 76 Esquema del modelo Hidrológico de Bucaramanga. 116
Figura 77. Mecanismos de falla (CDMB-Gómez Sully-1989) 119
Figura 78. NSR-10 Figura A.2.3-1, Zonas de amenaza sísmica aplicables a edificaciones en función de Aa y Av. 124
Figura 79. NSR-10 Figura A.2.3-2, Mapa de valores Aa. 125
Figura 80. NSR-10 Figura A.2.3-3, Mapa de valores Av. 126
Figura 81. Espectro elástico de diseño. Fuente: NSR-10. Figura A.2.6-1. 130
Figura 82. Espectro elástico de diseño para el tipo de suelo C. Fuente: Autor 131
Figura 83. Microzonificación sísmica del lugar de estudio de 2001 (Fuente: Estudio de Microzonificación Sismo geotécnica Indicativa del área metropolitana de 2001). 132
Figura 84. Vista en planta, ubicación de las secciones para el modelo de estabilidad. 135
Figura 85. Vista en perfil, sección tipo para el modelo de estabilidad. 137
Figura 86. Pantalla Anclada, detalles. 142
Figura 87. Anclaje, detalles. 143
Figura 88. Bulbo, lechada de cemento. 143
Figura 89. Zapata, detalles. 144
Figura 90. Malla de refuerzo, detalles. 145
Figura 91. Detalle de canaletas de coronación. 145

INTRODUCCIÓN

La meseta donde se localiza gran parte del municipio de Bucaramanga y su área metropolitana se encuentra altamente poblada por lo cual ha obligado a la población a migrar y construir en las zonas que presentan amenazas por fenómenos de remoción en masa, erosión e inundación; por tal motivo la CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA (CDMB) en miras de proteger a la comunidad presente en dichos sectores requiere conocer su estado actual por medio de la evaluación de los factores de amenaza con el fin de controlar los problemas que se puedan presentar.

Los deslizamientos o movimientos de remoción en masa se presentan por factores climáticos, topográficos, geológicos, geomorfológicos y que en conjunto generan susceptibilidad al suelo natural. Por otra parte, los factores conocidos como antrópicos, están directamente relacionados con el uso del suelo y las actividades socioeconómicas que en el tiempo reflejan el efecto causado sobre el territorio y permiten a su vez identificar las amenazas y riesgos.

Es procedente la realización del estudio geotécnico y geológico debido a la posible afectación de múltiples viviendas que en caso de emergencia podrían provocar grandes pérdidas materiales y sobretodo pérdida del gran número de vidas que se encuentran en el sector. Por lo cual la empresa de INGENIEROS DE SERVICIOS GENERALES DE OBRA INSEGO S.A.S representado legalmente por el ingeniero **EDGAR LEONARDO GÓMEZ RONCANCIO** ejecutó para la CDMB el contrato de consultoría que lleva por objeto “CONSULTORIA PARA REALIZAR LOS ESTUDIOS GEOLÓGICOS, GEOTÉCNICOS, HIDROLÓGICOS Y DISEÑOS DE OBRAS DE MITIGACIÓN, PARA LA ATENCIÓN DE AMENAZAS, EN DOCE (12) PUNTOS CRÍTICOS DEL ÁREA DE JURISDICCIÓN DE LA CDMB”.

La realización del estudio y la planificación del proyecto en ejecución tiene en cuenta la reglamentación existente, dentro de las cuales cabe mencionar las normas Geotécnicas de la CDMB (2009), la reglamentación pertinente establecida por el Plan Básico de Ordenamiento Territorial, los requisitos exigidos por la ley 400 de 1997, descritos en la Norma Sismo resistente NSR-10 título H; se inicia con algunas generalidades y se enumeran los trabajos realizados en campo y laboratorio, además de la caracterización del suelo y los análisis de amenaza respectivos.

1. OBJETIVO

OBJETIVO GENERAL:

Realizar la consultoría para la elaboración de los estudios geotécnicos que incluyen el diseño de obras de mitigación de la amenaza por fenómenos de remoción en masa en el Sector de Nazareth-Tres estrellas, escarpa sur entre carreras 8 y 9, del municipio de Bucaramanga-Santander.

OBJETIVOS ESPECÍFICO:

- Efectuar el levantamiento topográfico del sector Nazareth-Tres estrellas, escarpa sur entre carreras 8 y 9.
- Ejecutar la caracterización geotécnica del sector Nazareth-Tres estrellas, escarpa sur entre carreras 8 y 9, por medio de muestreo ejecutado por perforaciones de campo de profundidad variable entre 10 y 20 metros, análisis de laboratorio de los ensayos de corte directo, compresión simple, granulometría, límite líquido y humedad natural.
- Caracterizar geológica y geomorfológicamente el sector Nazareth-Tres estrellas, escarpa sur entre carreras 8 y 9, del municipio de Bucaramanga-Santander.
- Realizar el análisis hidrológico que establezca los parámetros básicos para el dimensionamiento de las obras hidráulicas necesarias para el adecuado manejo del agua de escorrentía si es el caso, en el sector Nazareth-Tres estrellas, escarpa sur entre carreras 8 y 9
- Generar el modelo geológico geotécnico de acuerdo a la caracterización geotécnica, geológica, geomorfológica y morfometrica.
- Analizar los diferentes modelos geológicos geotécnicos por medio de métodos determinísticos para evaluar la amenaza a fenómenos de remoción en masa.
- Proponer las medidas de mitigación a la amenaza por fenómenos de remoción en masa para la reducción de los riesgos asociados a estos fenómenos.

2. ALCANCE

A continuación, se define el alcance de la consultoría para el sector Nazareth-Tres estrellas, escarpa sur entre carreras 8 y 9:

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

3. LOCALIZACION DEL PROYECTO

El barrio Nazareth - Tres Estrellas se encuentra adscrito al municipio de Bucaramanga, más específicamente hacia la zona occidental del área metropolitana, el cual pertenece a la jurisdicción de la CDMB (Figura 1y Figura 2).

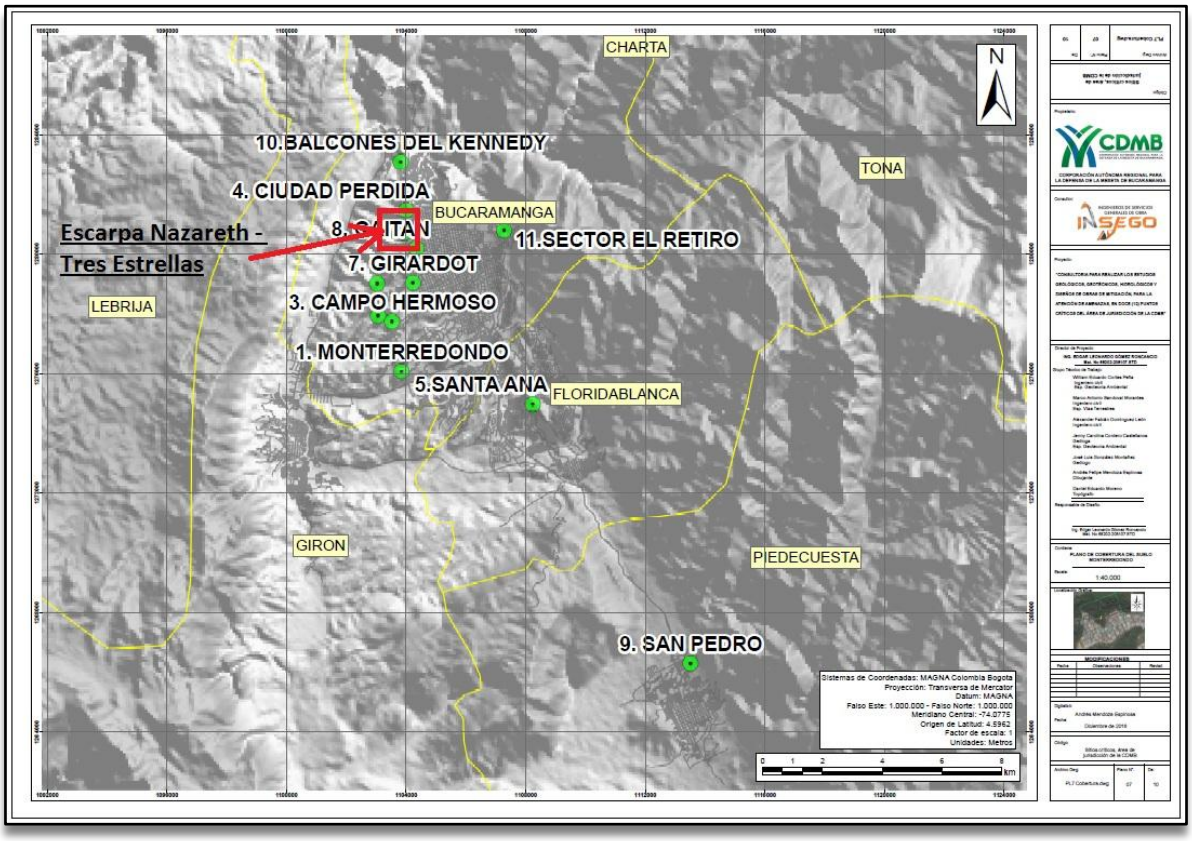


Figura 1. Ubicación general del área de estudio.



Figura 2. Ubicación detallada del área de estudio.

4. ANALISIS GEOLOGICO.

4.1. METODOLOGÍA

La metodología usada para el desarrollo del presente trabajo consta de las siguientes fases:

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

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

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

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

4.2. GEOLOGIA

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

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

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

4.2.1. GEOLOGÍA REGIONAL

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

- Neis de Bucaramanga (p€b): Definido por Goldsmith (1971), esta unidad está constituida por una secuencia de roca metasedimentaria de alto grado de metamorfismo conformado principalmente por paraneis pelítico, semipelítico y arenáceo, esquistos y neis calcáreo, mármol, neis horbléndico y anfibolita. El gneis incluye dos tipos de zonas de migmatita, una donde el paraneis está mezclado con roca granítica gnéisica y otra donde ambos están cortados por masas pequeñas de granito no foliado (Ward *et al.,* 1973). Aflora al oriente del área metropolitana de Bucaramanga y se localiza al este de la Falla Bucaramanga (Figura 3). Entre los municipios de Floridablanca y Piedecuesta esta unidad presenta variación en la orientación de la foliación, lo cual indica perturbaciones tectónicas severas. Se encuentra en contacto con intrusivos jurásicos graníticos y se considera de edad precámbrica (Ward *et al*., 1973).

- Formación Silgará (pDs): Nombre propuesto por Ward *et al*., (1973) para referirse a una secuencia de rocas clásticas metamorfizadas de estratificación delgada, compuestas por filitas, cuarcitas, esquistos, metareniscas y menores cantidades de pizarra y filita calcárea, cuya sección tipo se localiza en la Quebrada Silgará. Las relaciones estratigráficas sugieren que esta unidad suprayace al Neis de Bucaramanga e infrayace rocas del Devónico (Figura 4).

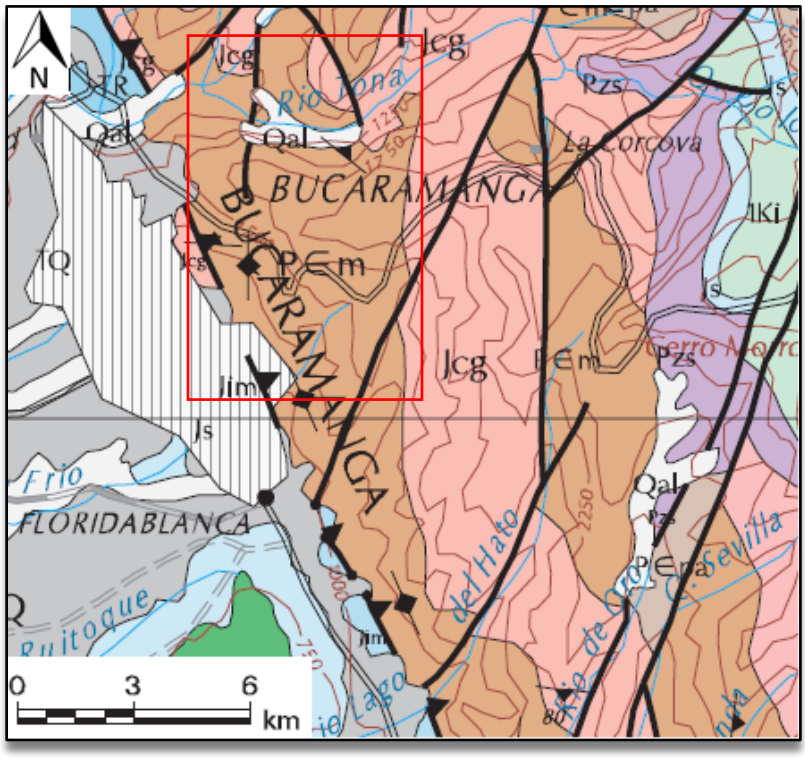


Figura 3. Unidad Neis de Bucaramanga ubicada al este del Municipio de Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 1999).

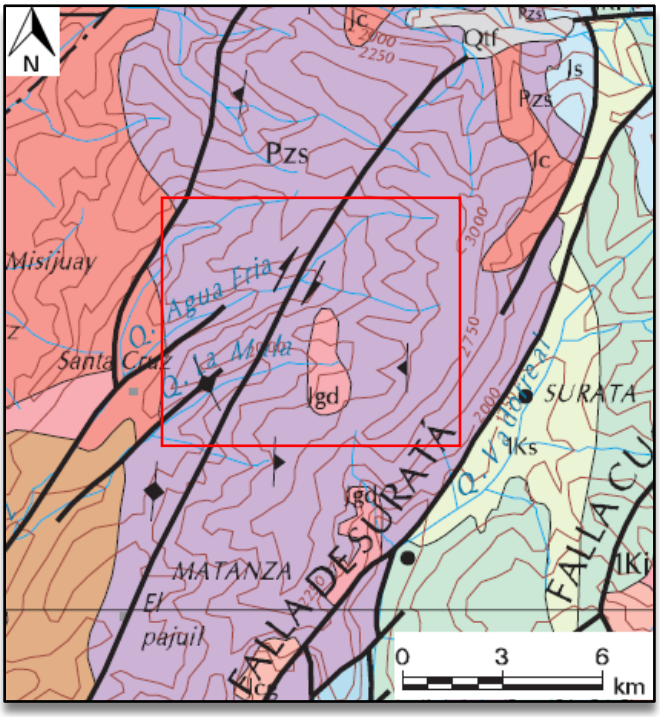


Figura 4. Formación Silgará en los alrededores de Matanza y Suratá. Ubicada al Noreste del Municipio de Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 1999).

- Formación Bucaramanga: La Formación Bucaramanga hace parte de los depósitos cuaternarios descritos por Ward *et al*., (1973). Esta unidad inicialmente fue propuesta por Hubach (1951), quien la subdivide en: Miembro Órganos (Qbo) y Miembro Finos (Qbf). Posteriormente De Porta (1959) divide la formación Bucaramanga en tres paquetes: uno inferior conformado por niveles discontinuos de gravas clasto soportados y con lentes arenosos intercalados con un espesor de 150m; un segundo paquete con un espesor de 18m ubicado en la parte superior, compuesto de sedimentos arcillosos y un tercer paquete de 8 a 15 metros de espesor, constituido por una mezcla de fragmentos angulares gruesos y finos arenosos. Sin embargo después de trabajos de campo detallados el INGEOMINAS subdivide esta unidad en cuatro miembros: Órganos (Qbo), Finos (Qbf), Gravoso (Qbg) y Limos Rojos (Qblr); de acuerdo con las dataciones publicadas en el proyecto hidroeléctrico Fonce-Suárez, la edad de la Formación Bucaramanga es menor que 730.000 años (Pleistoceno) (INGEOMINAS, 1997).

Morfológicamente esta unidad corresponde a un abanico aluvial erosionado posiblemente asociado en gran parte al Río Suratá, acumulado sobre una depresión de origen tectónico, sobre la cual se ubica el casco urbano de la ciudad de Bucaramanga. Este abanico limita al nororiente y oriente con el Macizo de Santander, al noroccidente y occidente con el Cerro de Palonegro y el Río de Oro, y al sur con la Mesa de Ruitoque. Presenta una superficie suavemente ondulada, con pendiente ligeramente inclinada al occidente, entre 2º y 7º, y una extensión aproximada de 60 a 80 km². El valor real del espesor de la Formación Bucaramanga es aún desconocido, sin embargo a partir de cortes geológicos se ha estimado un valor promedio de 250 m en las zonas con mayor espesor.

El ambiente de depositación de esta unidad ha sido considerado como un ambiente fluvial, con alternancia de materiales de origen aluvial tipo cono de deyección, flujos de escombro, canal y lagunar, en base a la granulometría que presentan dichos

materiales, los rasgos geomorfológicos que presenta esta formación, así como los posibles agentes de transporte y la fuente de los materiales (Julivert, 1958).

A continuación, se describen las características geológicas de cada uno de estos miembros, de acuerdo con la información geológica que se presenta en los estudios del INGEOMINAS (2001).

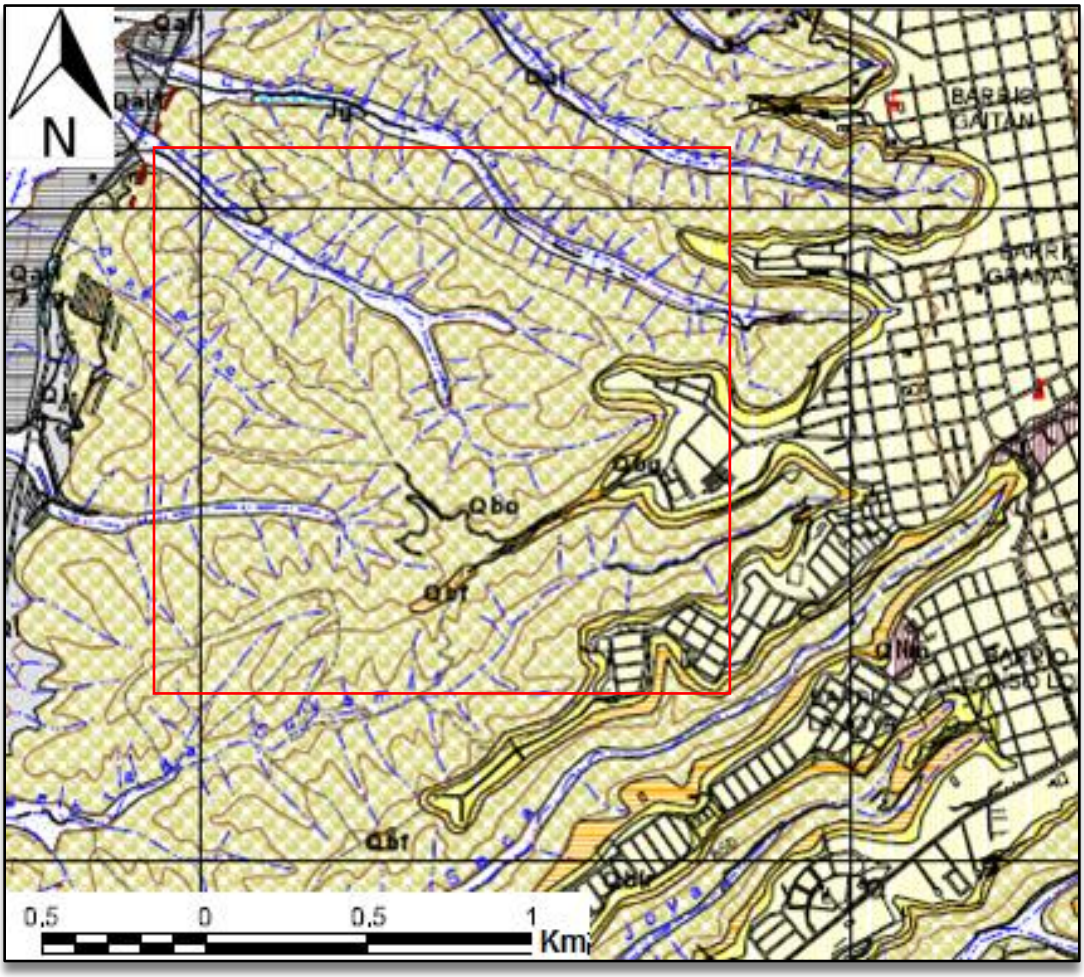


Figura 5. Formación Bucaramanga Miembro Órganos (Qbo), al oeste del Municipio de Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 2001).

- Miembro Órganos (Qbo): Esta unidad fue definida por Hubach (1951) y presenta un espesor mayor a 180m, siendo este el más potente de la Formación Bucaramanga. Presenta una serie de niveles polimícticos de fragmentos gruesos de aspecto conglomerático, con alternancia de capas y lentes limo arenosos, con

variaciones laterales y verticales en composición y textura, según Bueno y Solarte (1994). Los niveles lenticulares descritos por Hubach (1951), algunos son niveles limo-arenosos de hasta 5 m; otros son niveles de aspecto conglomerático que forman los depósitos de gravas y bloques poco consolidados dispuestos en forma de capas gruesas a muy gruesas, con espesores hasta de 15 m. El tamaño de los cantos varía entre 10 y 30 cm, alcanzando bloques mayores de 1 m de diámetro con una composición predominante de areniscas silíceas de grano medio, bien cementadas y en menor proporción fragmentos de rocas ígneas ácidas de textura fanerítica, neises micáceos de color amarillo hasta rosado, areniscas lodosas rojizas de grano fino y alto contenido de micas, cuarzo lechoso, liditas y cherts. Los niveles gravosos presentan matriz arcillosa pardo amarillenta y los niveles finos presentan material arcillo arenosos y areno arcilloso de consistencia compacta, con trazas de materia orgánica (Figura 5).

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

Geomorfológicamente se caracteriza por presentar escarpes con un grado de alteración moderada de consistencia plástica para el material arcilloso (Figura 6). El ambiente de depositación para este miembro de la Formación Bucaramanga, es un ambiente aluvial de intercanales, poco profundo, de baja energía y de escasas interdigitaciones de flujo de escombros de facies arenosas (INGEOMINAS, 2001).

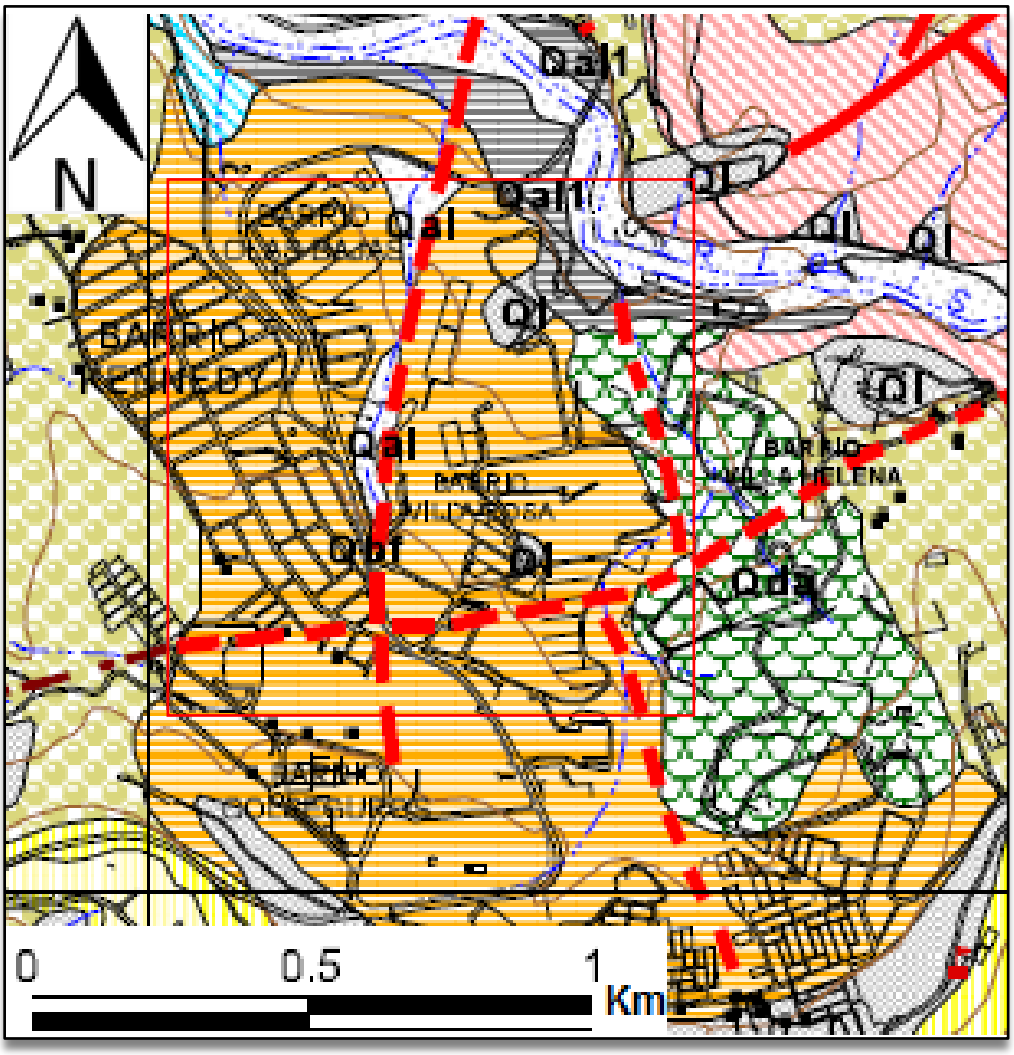


Figura 6. Formación Bucaramanga Miembro Finos, al norte del municipio de Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 2001).

- Miembro Gravoso (Qbg): Definido por Niño y Vargas (1992), se encuentra ubicado sobre la escarpa occidental y norte de Bucaramanga (Figura 7). Conforma los escarpes superiores de la parte alta del barrio La Gran Ladera y el nacimiento de la quebrada La Iglesia, en los alrededores de los barrios Lagos del Cacique, Diamante II y San Luis. Presenta un espesor que varía entre 8 y 30 m. presentando niveles gravosos, gravo arenosos y gravo lodosos. Los cantos están compuestos por rocas metamórficas e ígneas y sedimentarias tales como areniscas cuarzosas, areniscas limosas y limolitas moradas. El tamaño grava presenta un diámetro promedio de 15 cm, y predomina sobre bloques de rocas de hasta 80 cm de

diámetro. A modo general el Miembro Gravoso es matriz soportado, presentando en sitios puntuales, material clasto soportado. Se encuentra suprayaciendo el Miembro Finos presentando contacto neto, continuo y suavemente onduloso. Infrayace el Miembro Limos Rojos en contacto gradacional (Niño y Vargas, 1992).

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

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

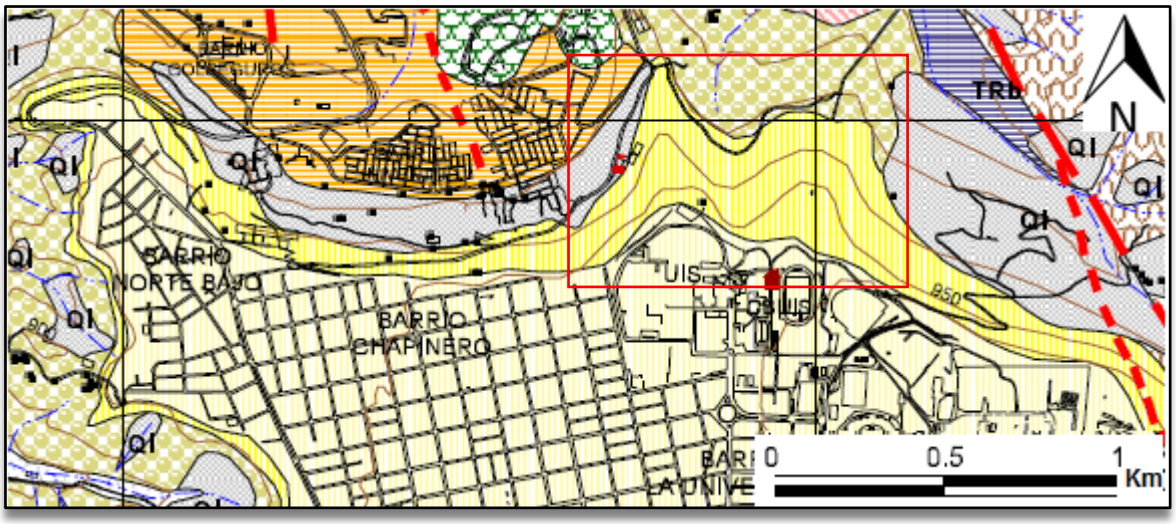


Figura 7. Formación Bucaramanga Miembro Gravoso, al norte del municipio de Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 2001).

Presenta arenas arcillosas gravosas y limos de colores rojizos, amarillentos y naranjas. En algunos sectores se aprecian bloques angulares de arenisca

meteorizados, embebidos dentro de limos rojos y se asocian superficialmente a este miembro. Este depósito se encuentra suprayaciendo el Miembro Gravoso en contacto gradacional. La parte más superficial de este miembro presenta un alto grado de meteorización formando niveles de oxidación (INGEOMINAS, 2001). Geomorfológicamente se caracteriza por constituir la parte superficial de la llamada inicialmente “Meseta de Bucaramanga”, presentando una topografía plana con pendientes menores al 7%, de drenaje escaso, paralelo y superficial (Niño y Vargas, 1992) (Figura 8).

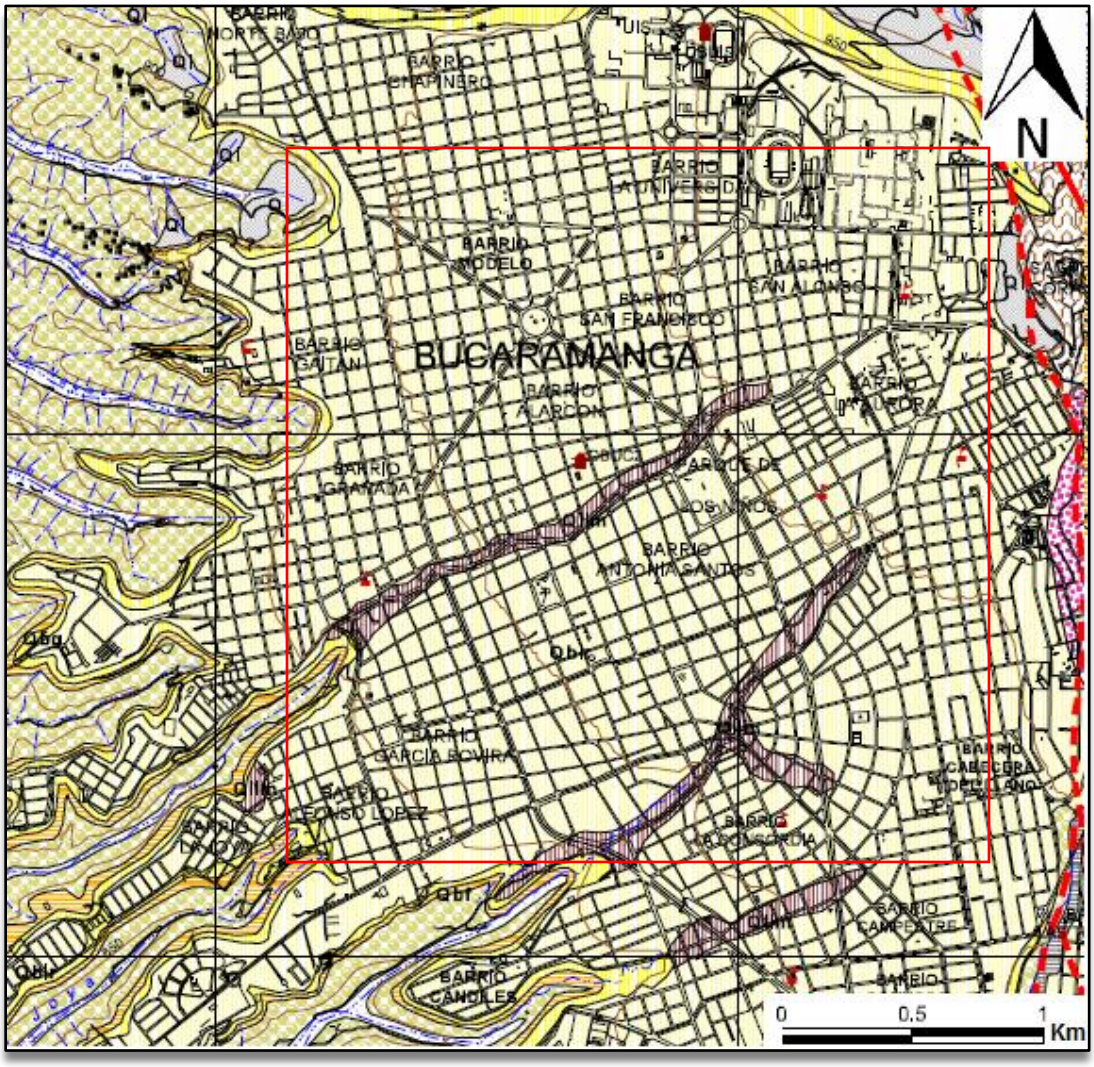


Figura 8. Formación Bucaramanga Miembro Limos Rojos (Tomado de INGEOMINAS, 2001).

En la Figura 9 se muestra de manera esquemática el perfil del subsuelo correspondiente a la Formación Bucaramanga.

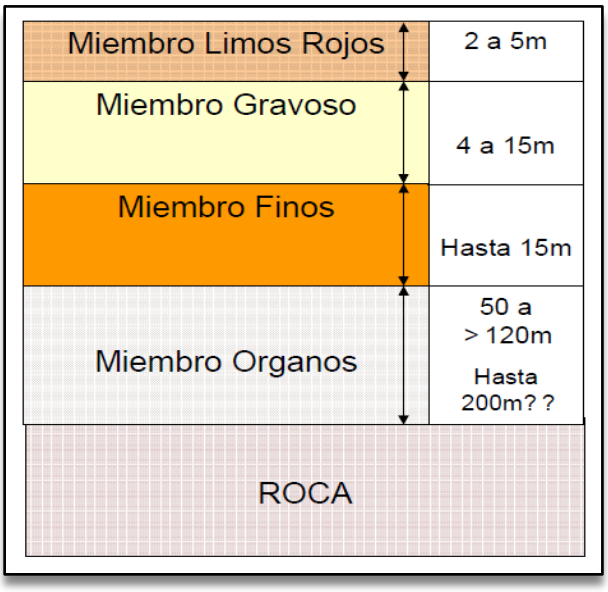


Figura 9. Perfil típico y espesores promedio de la Formación Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 2001).

4.2.2. UNIDADES GEOLÓGICAS DE INGENIERÍA (UGI)

Generalidades

Las UGI corresponden a zonas delimitadas teniendo en cuenta que representen alto grado de homogeneidad con respecto a las propiedades geotécnicas básicas, cumpliendo con las características de área y espesores mínimos cartografiables, de acuerdo con la escala de trabajo y con base en la definición de unidades litoestratigráficas (SGC, 2015).

Estas formaciones superficiales incluyen rocas con diferente grado de meteorización, suelos y depósitos inconsolidados según su origen (Tabla 1), que puede ser correlacionables con procesos morfodinámicos, debido a la acción de agentes exógeno6os y endógenos que modelan la superficie terrestre.

La caracterización de estas unidades permite evaluar el comportamiento mecánico de un terreno, siendo esta evaluación el insumo principal para el desarrollo de obras civiles. A partir de esta información se elabora el mapa de Unidades Geológicas de Ingeniería, el cual proporciona de manera visual las condiciones físicas de estas unidades en superficie.

Tabla 1. Unidades Geológicas de Ingeniería (UGI) según su origen

ORIGEN DE LA UGS	TIPO DE UGS
Derivadas de roca In situ	- Roca inalterada - Saprolito - Suelos Residual
Depósitos aluviales	- Aluviones recientes o de lecho de río - Llanuras aluviales - Abanicos o conos aluviales, terrazas aluviales y depósitos fluviotorrenciales.
Depósitos lacustres y paludales	- Planicie lacustrina, artesa lagunar, plano anegadizo
Depósitos de ladera, de vertiente o coluviales	- Coluviones - Flujos (de lodo, tierra y de escombros) - Derrubios de pendiente
Depósitos costeros	- Deltas, Barras, Playas, etc.
Depósitos volcánicos	- Tefras, surges, flujos piroclásticos, ignimbritas y flujos de lodos volcánicos - Lahares, cenizas y coladas de Lava
Depósitos eólicos	- Dunas, medanos - Loess - Cenizas volcánicas
Depósitos de glaciares	- Morrenas y Tillitas - Fluvioglaciares, valle glaciar, abanicos de lavado
Depósitos antrópicos	- Rellenos sanitarios o de basuras - Rellenos de excavaciones - Escombreras o botaderos

Fuente: Hermelin, 1985 y Salazar, 1995 en SGC, 2015

Unidades de Suelo

Para la clasificación de las Unidades de Suelo, se tuvo en cuenta la nomenclatura utilizada por INGEOMINAS (2007), la cual subdivide los suelos en transportados, antrópicos y residuales, de acuerdo al origen de los materiales. En el área se reconocieron las siguientes UGI:

- Suelos del Miembro Limos Rojos (Fm Bucaramanga) (Sfl2): Hacia la zona de estudio se presenta sobre el barrio de Nazareth, en donde geomorfológicamente se asocia a una ladera subhorizontal. El límite con el Miembro Gravoso se da en la zona escarpada del barrio hacia el norte, oeste y sur, donde morfométricamente se demarca (Figura 11).

- Suelos Miembro Gravoso (Fm Bucaramanga) (Sft2): Material de tamaño arenoa media con matriz areno-arcillosa, de armazón clasto soportado. Posee clastos de hasta 80 cm subrangulares no esférico de rocas ígneas y metamórficas, los cuales se encuentran orientados. Posee tonalidades naranjas a rojizas. Este se encuentra bordeando todo el barrio Nazareth por la escarpa occidental.

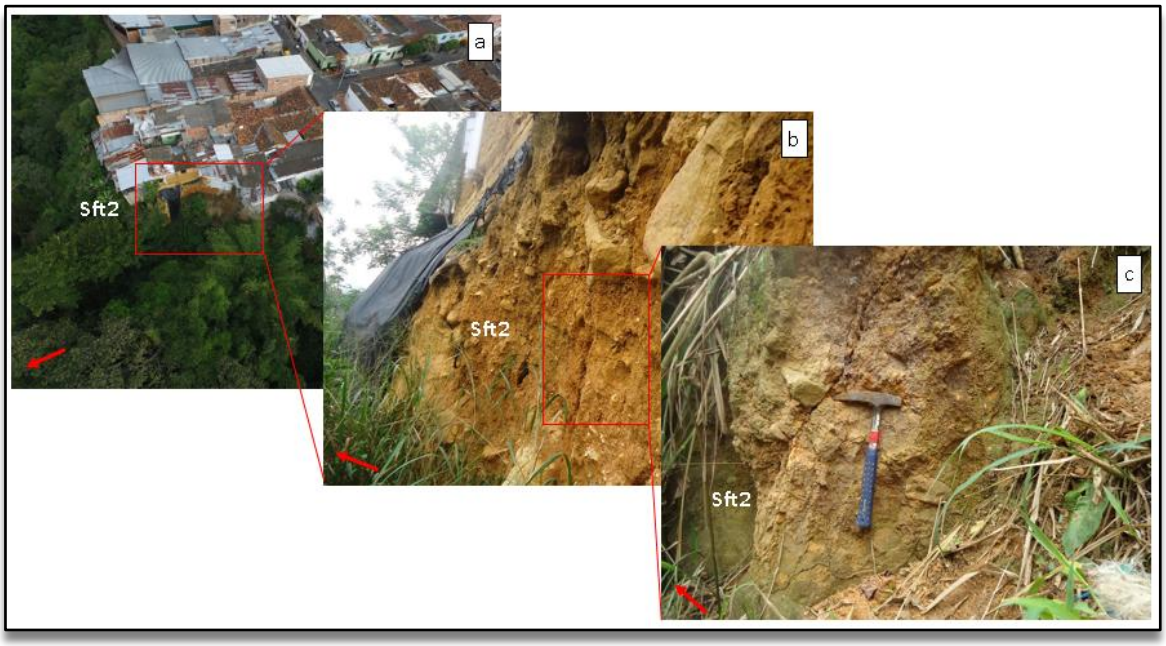


Figura 10. Suelos Miembro Gravoso (Fm Bucaramanga) (Sft2)

- Suelos Miembro Finos (Fm Bucaramanga) (Sfl1): Hacia la zona de estudio se evidencia este miembro a través de correlación geomorfológica a partir de lomos angostos y redondeados vistos en áreas aledañas a la zona de estudio, en donde se muestra material de color amarillo, con procesos de erosión laminar altos (Surcos-Carcavas), e intercalaciones de materiales con propiedades geomecánicas diferentes, el cual corresponde a algunas características de este tipo de suelo (Figura 11).

- Suelos Miembro Órganos (Fm Bucaramanga) (Sft3): Este suelo se encuentra aflorando hacia la parte baja del Barrio. Presenta una tonalidad marrón – anaranjada y está constituida por material semi-consolidado de matriz areno-arcillosa. Este se evidencia partir de las variaciones morfométricas en el área en estudio, donde se correlaciona con la geoforma de laderas moderadas Éste se presenta principalmente hacia la zona sur del área de estudio.

- Suelos Coluvión Antiguo (Sco2): Son masas incoherentes de materiales sueltos y heterogéneos, de suelos y/o fragmentos de roca angulares a subangulares, depositados por la gravedad, lavado de ela lluvia o movimientos de masa. Materiales clastro- soportados o matriz-soportadossegun el origen de los sedimentos. Tamaño de grano desde arena, limo a bloques de 1,5 m de diámetro, subredondeado a subangulares. Espesores desde 0.5 cm a 3 m. consitencia muy baja a baja en los recientes y media a alta en los antiguos. Meteorizacion intermedia a alta.

Todas las unidades se muestran en la Figura 11.



Figura 11. Panorámica del área en estudio, en donde se identifican las UGI presentes.

El resultado de la correcta identificación, caracterización y levantamiento de las UGI en el área de estudio, se plasma en el mapa de UGI (Figura 12). En la Figura 13 se muestra el porcentaje de ocupación dentro del área de estudio de cada unidad.

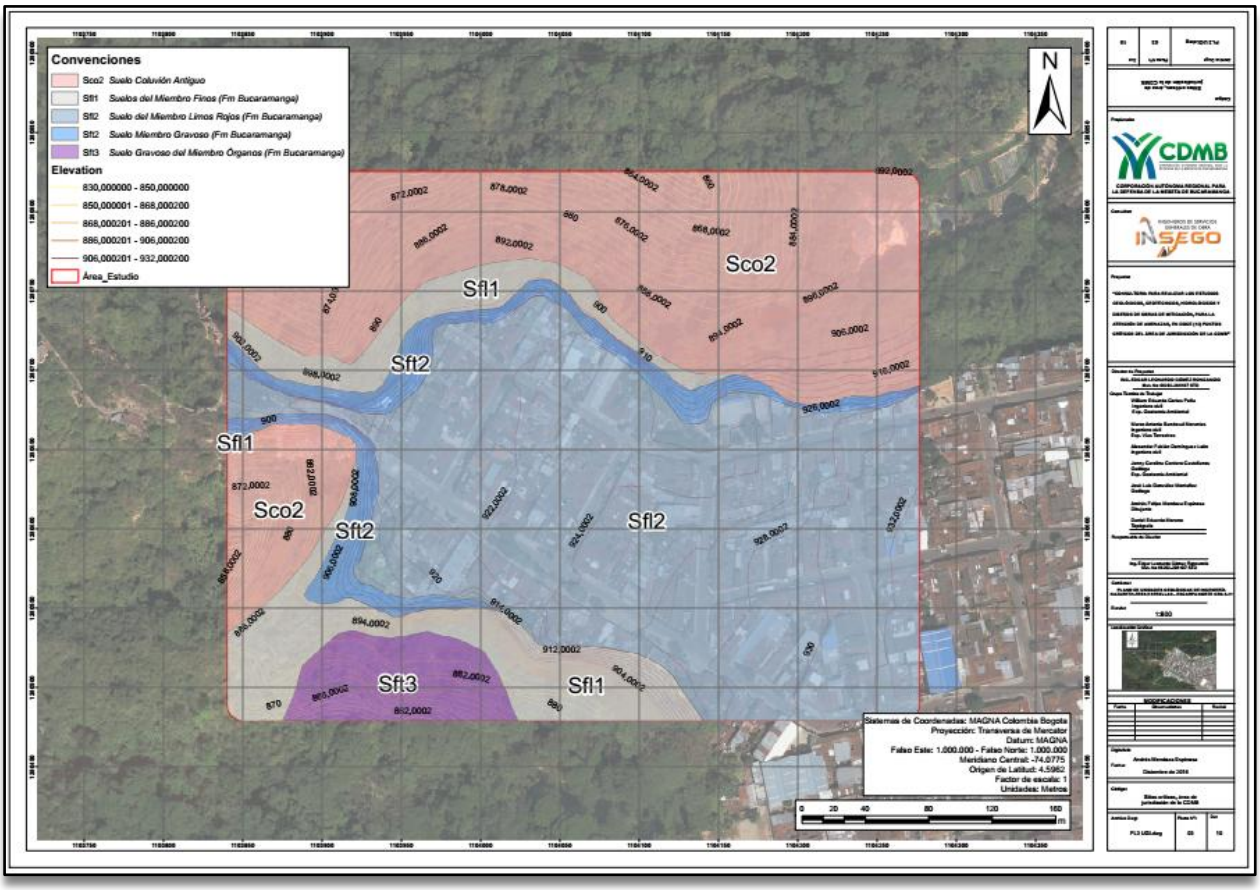


Figura 12. Mapa de Unidades Geológicas de Ingeniería (UGI) geológico para el área en estudio.

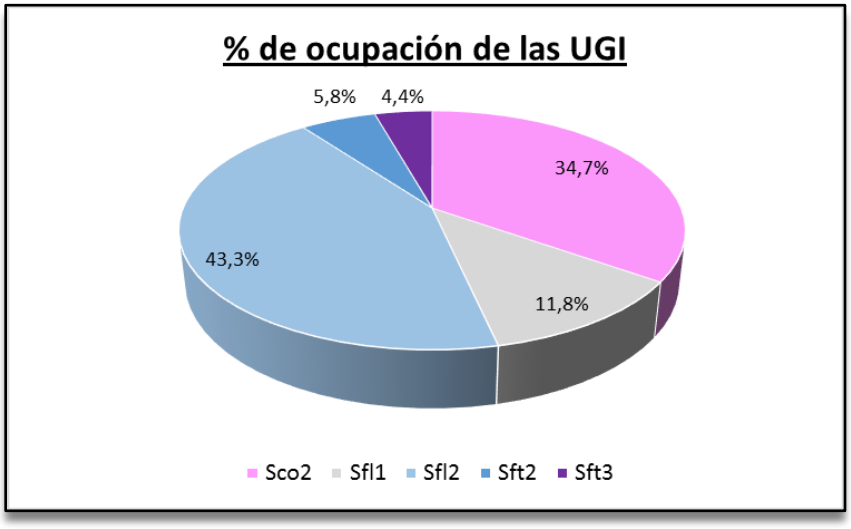


Figura 13. Porcentaje de las UGI en el área en estudio.

4.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

4.3.1. Marco geológico y tectónico de Colombia

El segmento septentrional de Suramérica en donde se encuentran la cadena montañosa de los Andes de Ecuador, Colombia y Venezuela ha sido reconocida como el Bloque Nor-andino el cual corresponde a un segmento geológicamente diferente de la Cordillera de Los Andes (Cediel et al., 2003) ya que es un territorio geológicamente complejo y tectónicamente dinámico (Royero y Clavijo, 2001), en donde ocurre la interacción de tres placas litosféricas principales: la Placa de Nazca ubicada en el Pacífico, la Placa Caribe y la Placa Suramericana en donde se incluye el Bloque Norandino (Cediel et al., 2003; Royero y Clavijo, 2001) (Figura 14).

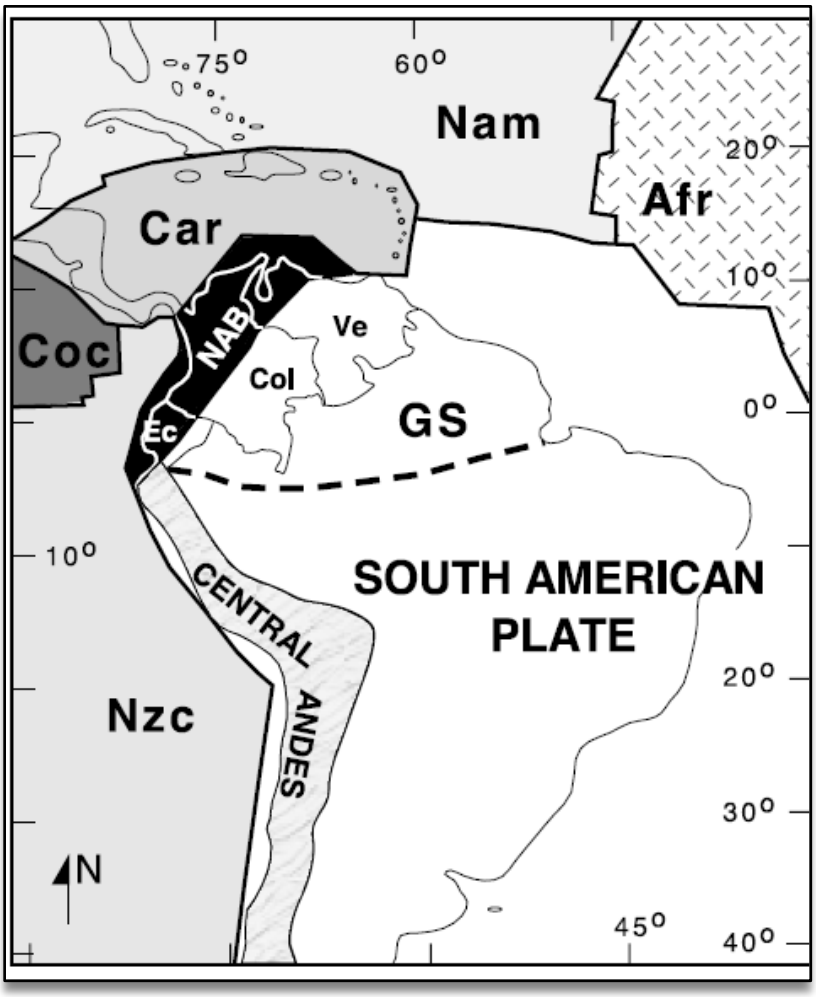


Figura 14. Bloque Norandino en la esquina septentrional de Suramerica y su compleja interacción con las Placas Nazca, Caribe y Suramerica. Tomado de Cediel *et al*., 2003.

La Placa de Nazca se encuentra subduciendo al oriente bajo la Placa Suramericana a una tasa de subducción de 65-70 mm/año (Rhea, et al., 2010). La Placa de Nazca se forma en el último episodio de fragmentación de la Placa Farallón a principios del Mioceno cuando la Placa de Cocos se separa completamente reduciendo considerablemente el tamaño de la misma y este fragmento de la Placa Farallón es renombrado como Placa de Nazca (Lonsdale, 2005).

La evolución de la Placa Caribe, la cual se encuentra al norte del territorio colombiano ha sido controversial en las últimas décadas, se han planteado básicamente dos grupos de modelos diferentes: Los modelos “del Pacífico” que proponen un origen de la corteza oceánica caribe en el Mesozoico Tardío en la región del Pacífico y una deriva a su posición actual en medio de las dos américas (Pindell et al.,1988;); y otro modelo alternativo el cual propone la formación de la corteza caribe al oeste de su posición actual pero en medio de las dos américas (Meschede y Frisch, 1998). La tasa de desplazamiento de la placa Caribe con respecto a la placa Suramericana es de aproximadamente 20mm/año (Pérez et al., 2001).

4.3.2. Marco geológico y tectónico del Departamento de Santander

El Departamento de Santander se encuentra conformado por los Terrenos de Santander, Floresta y el Supraterreno Cretácico en el sentido de Etayo et al. (1983). Sin embargo, el uso de estos términos ha dado lugar una serie de confusiones en la aplicación e interpretación de los mismos, por tal razón Royero y Clavijo han optado por subdividir el Departamento de Santander en tres provincias: el Macizo de Santander, la Cordillera Oriental y el Valle Medio del Magdalena (Figura 15).

La Provincia del Macizo de Santander se encuentra al oriente de la Falla de Bucaramanga y esta subdividida en los bloques Floresta, Cucutilla, Pamplona y Ocaña. En términos generales, estos bloques incluyen fallas inversas y sistemas de

fallamiento en pequeños bloques y la presencia de anticlinales y sinclinales con direcciones que van desde el SE-NW hasta SW-NE. Esta provincia está constituida principalmente por rocas metamórficas precámbricas y paleozoicas; rocas ígneas paleozoicas y mesozoicas y, rocas sedimentarias paleozoicas, mesozoicas y cenozoicas (Royero y Clavijo, 2001).

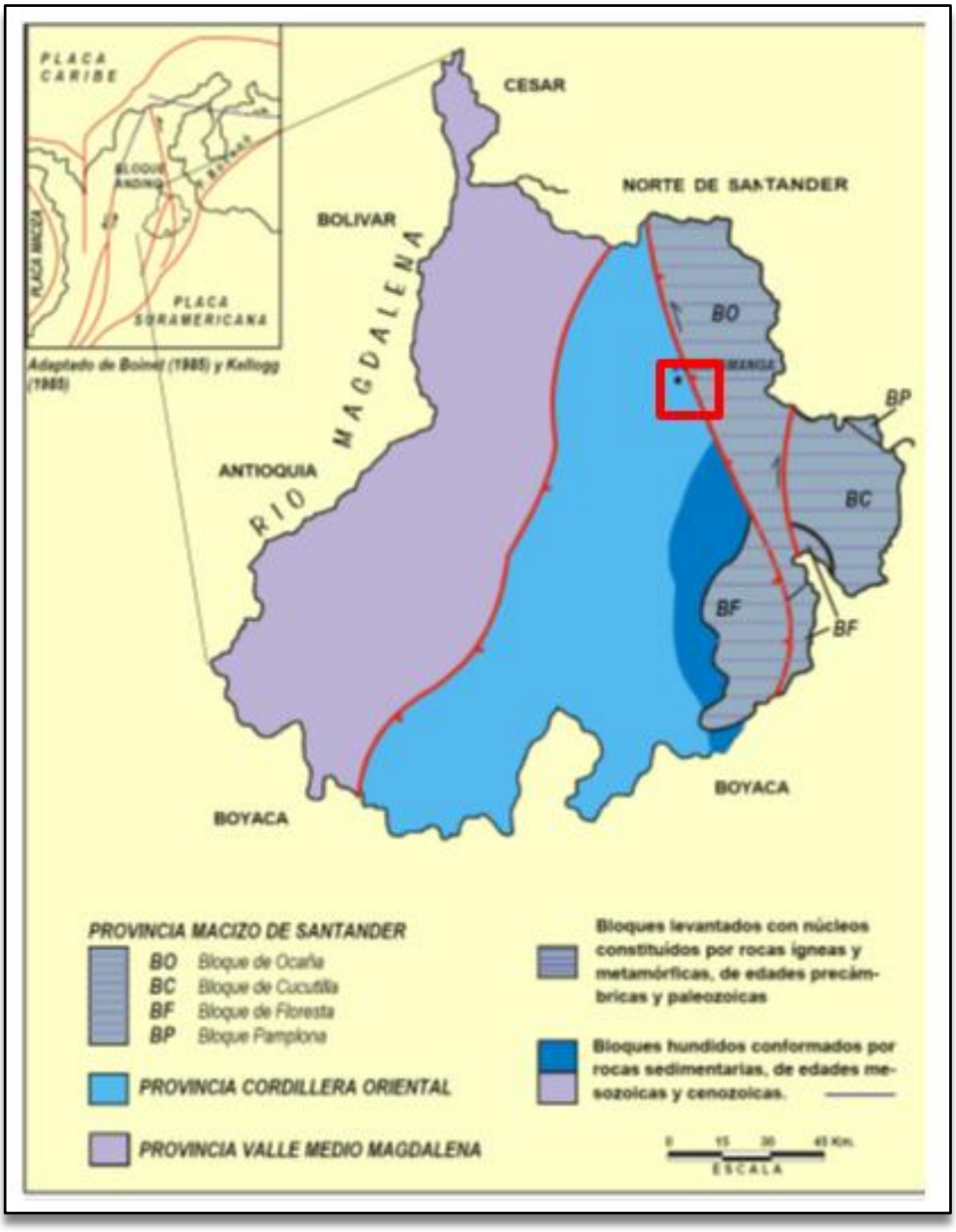


Figura 15. Esquema tectónico del Departamento de Santander. En el cuadro rojo se encuentra el área de estudio. Modificado de Royero y Clavijo, 2001.

La Provincia de la Cordillera Oriental se encuentra entre la Falla de Bucaramanga y la Falla La Salina. Se caracteriza por pliegues anticlinales y sinclinales amplios limitados por fallas inversas de direcciones NE a NW. Esta provincia se caracteriza por la presencia de rocas sedimentarias jurásicas y cretácicas (Royero y Clavijo, 2001). La Provincia del Valle Medio del Magdalena se encuentra al occidente del departamento y está caracterizada tectónicamente por un estilo estructural de plegamiento con anticlinales y sinclinales amplios y suaves. Las rocas presentes en esta provincia son sedimentarias mesozoicas y cenozoicas (Royero y Clavijo, 2001). En la Figura 16 se encuentran las principales estructuras que se encuentran en el Departamento de Santander, y posteriormente se encuentra una breve descripción de las estructuras que tienen mayor interés en el presente estudio.

Falla de Bucaramanga: Corresponde al segmento meridional de la estructura considerada anteriormente como la Falla Bucaramanga-Santa Marta en el sentido de París et al. (2000). Esta falla corresponde a una falla de rumbo con movimiento sinestral y dirección NNW. la cual muestra un desarrollo geomorfológico bastante evidente que incluye lomos de presión, lomos de obturación, silletas de falla, cauces desviados, lagos de falla entre otros (Royero y Clavijo 2001, Ward y Goldsmith, 1971). Una característica destacable de esta falla es el desplazamiento sinestral del Río Suratá de 2.5 km el cual se ha considerado como el afluente que aporto los sedimentos al Abanico Aluvial de Bucaramanga (Diederix et al., 2008) (Figura 17), según Jiménez et al. (2014) en base a investigaciones de paleomagnetismo del abanico (la Falla de Bucaramanga tiene una tasa de desplazamiento de 3mm/año como máximo).

Sistema de Fallas del Suarez: Dentro de este sistema de fallas se incluyen las Fallas del Suarez, del Rio de Oro y la Falla de Chimitá-Café Madrid (INGEMINAS, 2009). Se extiende por una longitud de 120 km desde Barbosa hasta la Falla de Bucaramanga al norte; su trazo tiene una dirección N20°E y una inclinación hacia el occidente (Royero y Clavijo, 2001).

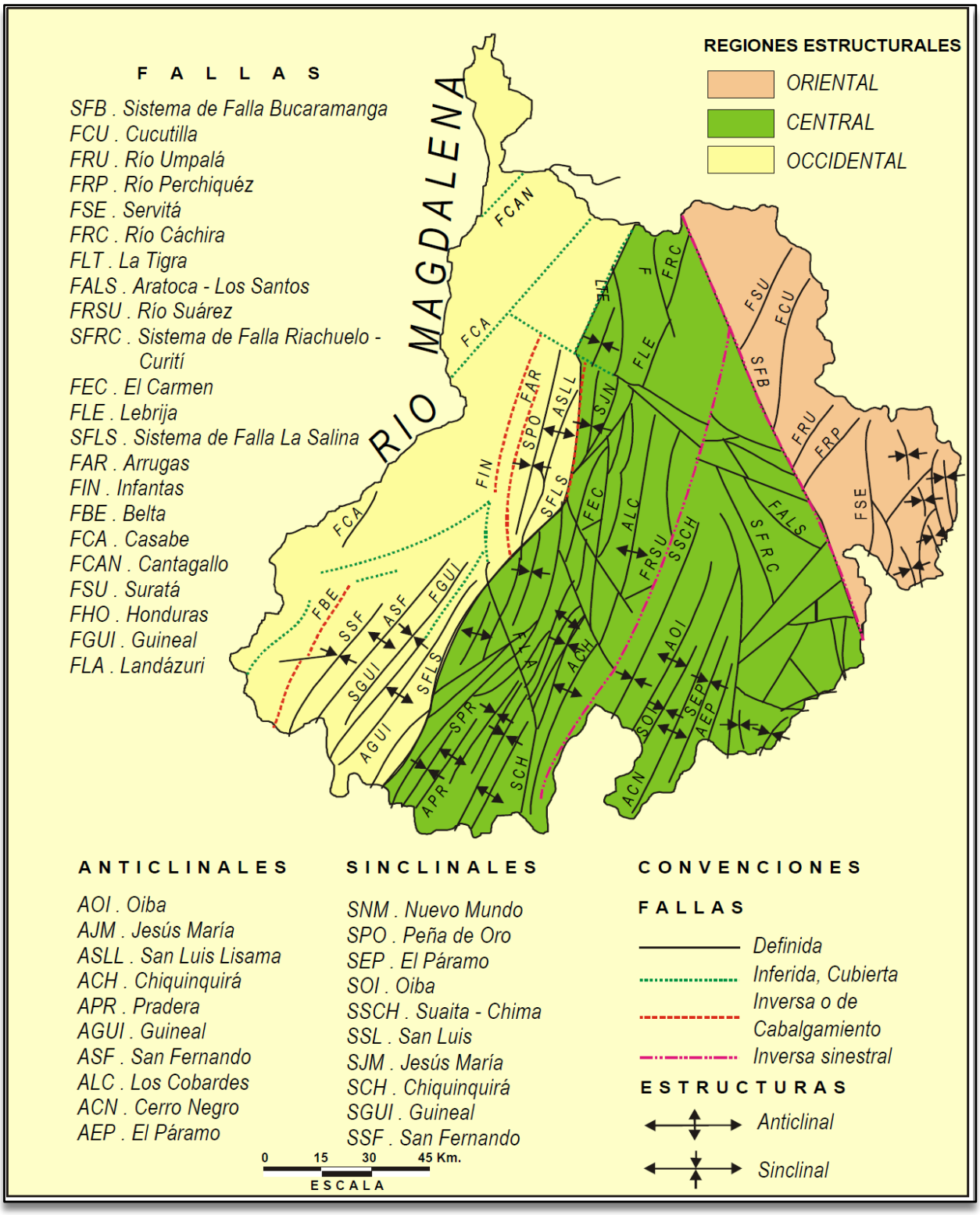


Figura 16. Esquema estructural del Departamento de Santander. Tomado de Royero y Clavijo, 2001.

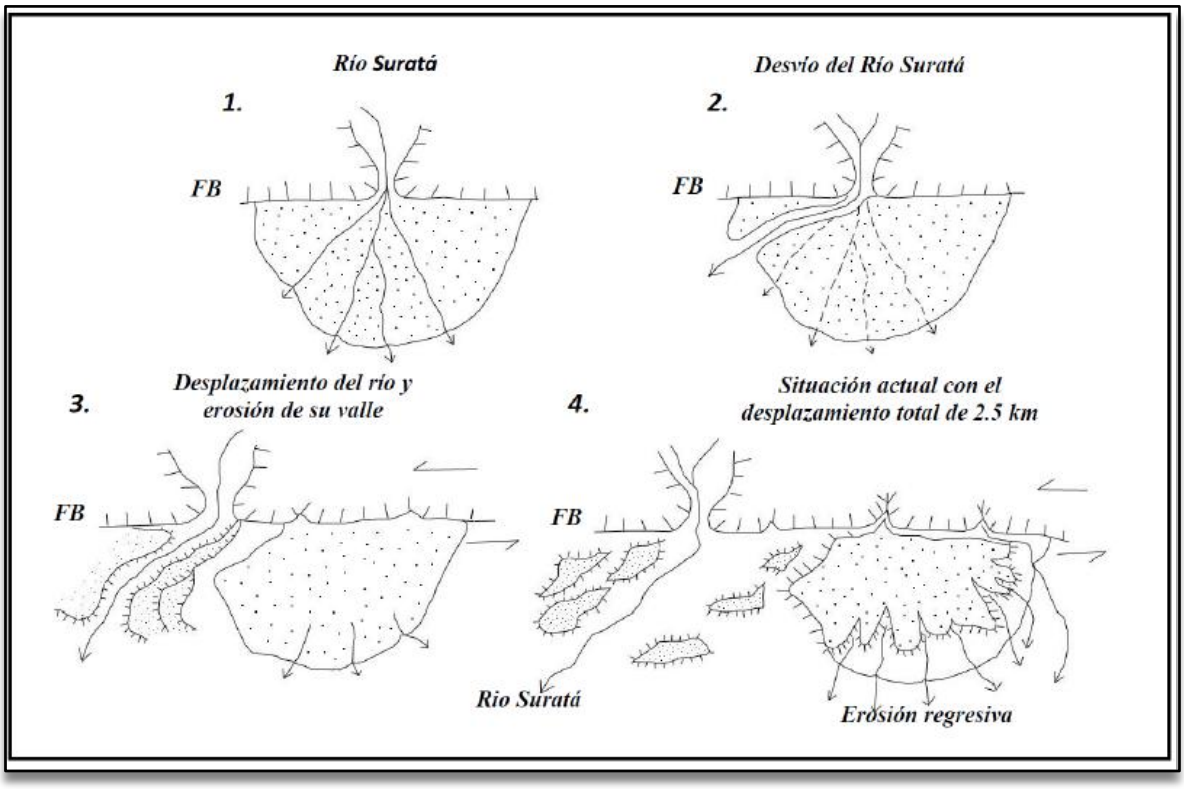


Figura 17. Desvío del Río Suratá debido a la acción de la Falla de Bucaramanga. Tomado de Diederix *et al.*, 2008.

Nido sísmico de Bucaramanga: Corresponde a una zona sísmica de intermedia profundidad, aproximadamente 160 kilómetros de profundidad, ubicada en el Departamento de Santander a 6.8° N y 73.1°W. Este sector tiene una alta tasa de actividad sísmica con relación a su volumen y a la relativa tranquilidad sísmica del área circundante. Esta generación de sismos en el Departamento de Santander se ha tratado de explicar con diversas teorías sin embargo ninguna ha sido capaz de explicar totalmente la naturaleza de dicho nido, por lo que en términos generales se ha explicado por la compleja interacción de las placas de Nazca, Caribe y Suramérica (Cortes et al., 2005; Taboada et al., 2000; Zafiri et al., 2007).

Para el área de estudio los fallamientos y lineamientos regionales han sido participes de la formación y estructuración del sitio a través del tiempo geológico, como también en la actualidad (Ubicación cercana al llamado Nido Sísmico de Bucaramanga y de la Falla Bucaramanga – Santa Marta) (Figura 18). Para conocer

a mayor detalle la afectación tectónica puntual actual se recomienda el planteamiento de un estudio adicional de geología estructural cuaternaria para así determinar el potencial en el área de estudio (Análisis de vectores a partir de lecturas GPS y diagramas de discriminación tectónica).



Figura 18. Ubicación de la zona de estudio con respecto a las Fallas regionales presentes. Tomado de Google Earth 2015.

5. GEOMORFOLOGÍA

Huggett en el 2007, define a la Geomorfología como el estudio de las características físicas de la superficie terrestre, sus formas de relieve como ríos, colinas, llanuras, playas, dunas de arena, Terrazas y otras innumerables algunos autores también incluyen las geoformas de origen submarino, anteriormente otros autores como Bloom en el 2005 habían propuesto una definición de esta como el estudio científico a través del análisis, descripción sistemática y entendimiento de las formas de la superficie terrestre y los procesos que las forman. Estas geoformas se encuentran asociadas de forma directa a factores como la climatología, la hidrografía, geología, pedología, entre otros.

Para un estudio detallado se considera que un insumo primordial para la homogenización de las unidades con características de comportamiento geomecánico, el cual para la escala de trabajo de este estudio correspondería a un mapa de elementos geomorfológicos, en donde su objetivo fundamental se centra en identificar y caracterizar las geoformas desde los siguientes puntos de vista: morfogénesis, morfodinámica y morfometría (SGC, 2015).

5.1. Morfogénesis

La morfogénesis corresponde al origen de las formas del terreno, es decir, las causas y procesos que dieron la forma al paisaje. El origen del paisaje depende de los procesos endogenéticos y la modificación de los agentes exogenéticos (agua, viento, hielo), que actúan sobre la superficie terrestre en diferentes proporciones e intensidades, y durante intervalos de tiempos geológicos, modelando el terreno (SGC, 2013) (Tabla 3).

En el área de estudio se destacan principalmente los ambientes denudacionales y antrópogénicos.

Tabla 2. Origen principal de las geoformas (Verstappen & Van Zuidam, 1975)

ORIGEN PRINCIPAL	DESCRIPCIÓN	EJEMPLOS
FLUVIAL	Erosión fluvial y sedimentación.	Geoformas de acumulación y complejas planicies aluviales, transicionales y erosionales.
LACUSTRE	Erosión lagunar y sedimentación.	Geoformas producto de niveles de agua alta (terrazas) y/o fondos de lagos (Evaporitas, playa)
MARINO	Erosión marina y sedimentación.	Geoformas de ambientes de alta energía (grano grueso), baja energía (grano fino).
VOLCÁNICO	Actividad volcánica.	Geoformas de conos, cráteres, escarpes volcánicos, flujos de lava y labradas en materiales piroclásticos
DENUDACIONAL	Meteorización, desgaste de masa, erosión linear.	Geoformas asociadas a desgastes, efectos litológicos no mayores. Geoformas influenciadas por la litología y erosión fluvial linear y asociadas a procesos denudativos específicos (desgaste de masas).
ESTRUCTURAL	Fallamiento	Geoformas asociadas con las capas de rocas estratificadas o estructuralmente controladas, relacionadas con plegamientos, fallamiento y levantamientos.
ESTRUCTURAL-DENUDACIONAL		Geoformas que involucran tanto procesos denudacionales como estructurales

KARSTICO	Solución y re-depositación	Geoformas positivas (colinas), negativas (depresiones) y estructurales.
EÓLICO	Erosión por el viento y sedimentación	Geoformas de acumulación (activas y no activas) y de deflación
GLACIAL	Erosión y sedimentación	Geoformas erosionales dominantes de glaciación continentales, de montañas y de acumulación (morrenas, hielo, y lomos)
ANTROPOGÉNICO		Formas del relieve producidas por modificaciones causadas por la intervención del hombre.

5.2. Morfometría

Es la parte de la geomorfología que representa la descripción cuantitativa de características del terreno como longitud, inclinación y altura de las laderas. En este estudio solo vamos a tener en cuenta la variable de pendiente. Esta se define como el ángulo existente entre la superficie del terreno y la horizontal. Su valor se expresa en grados de 0º a 90º o en porcentaje, se relaciona con los movimientos en masa de manera que; a mayor el grado de pendiente aumenta la susceptibilidad a los movimientos en masa (SGC; 2013).

Este mapa se desarrolla a partir de una interpolación dada por una red irregular de triángulos (TIN) con los valores dados por el mapa topográfico facilitado a lo largo del proyecto. Posteriormente, a partir del TIN, se genera el mapa de pendientes (Figura 19) en el cual las divisiones se dieron según SGC; 2013. Adicionalmente se presenta en la Figura 20 un diagrama de porcentajes de las unidades presentes en el mapa morfométrico.

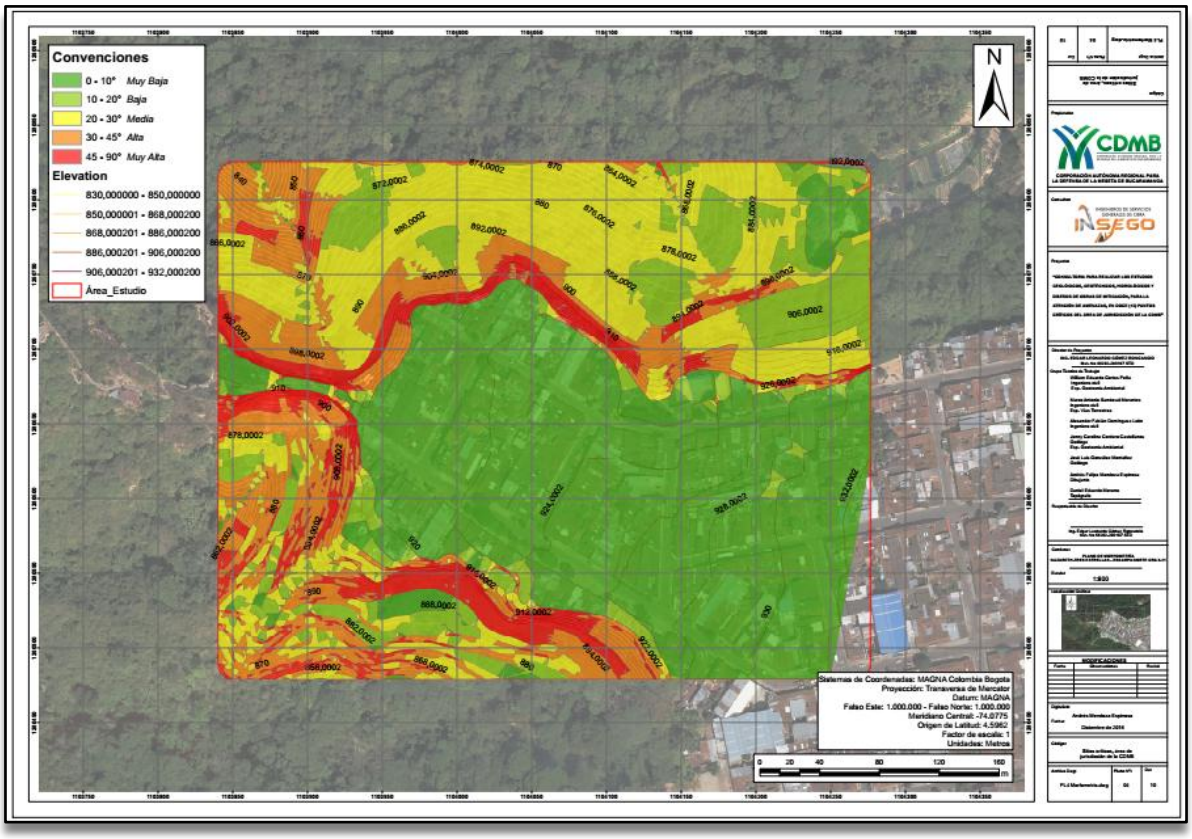


Figura 19. Mapa morfométrico para el área de estudio.

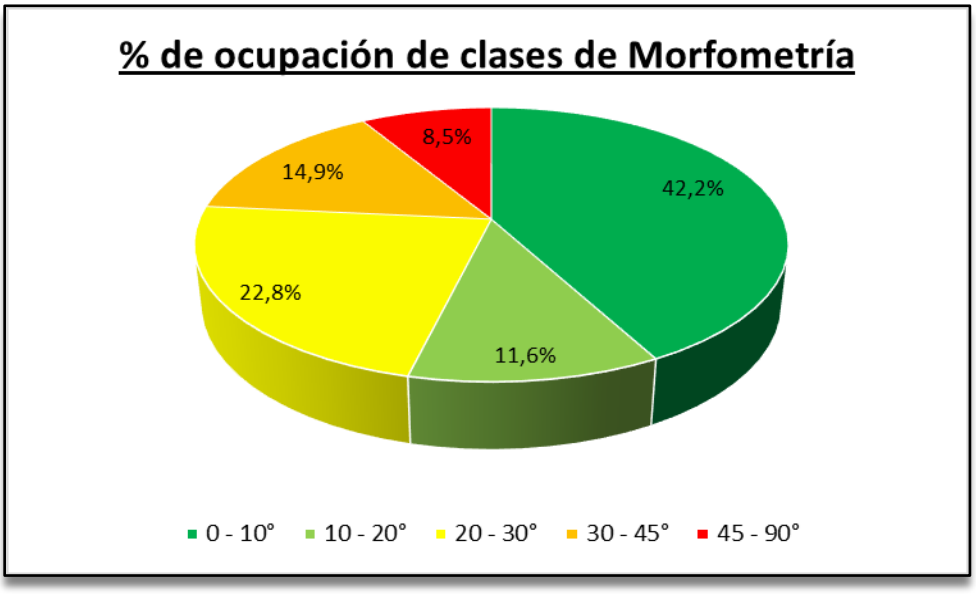


Figura 20. Porcentaje de unidades morfométricas presentes en el área de estudio.

5.3. Morfodinamica

La morfodinámica trata de los procesos activos en el presente o aquellos que se pueden activar en el futuro. Se refiere a la dinámica exógena, relacionada con la actividad de los agentes como el vientes, agua, hielo y acción de la gravedad terrestre, que modifica las geoformas preexistentes (Carvajal, 2011).

Los procesos hacen referencia a los cambios físicos y químicos (Meteorización, erosión y depositación), que generan modificación de los materiales y las formas superficiales de la tierra, definiendo un equilibrio dinámico de las geoformas (Gradacion = degradación y agradación de materiales) – (Thornbury, 1960; en Carvajal, 2011). Estos eventos naturales que son específicos de cada ambiente morfogenético, afectan y modelan la superficie terrestre con diferentes grados de intensidad, imprimiéndole al terreno características propias de cada ambiente (Carvajal, 2011).

5.3.1 Erosión

Estos corresponden al fenómeno definido como el resultado de los procesos de separación, transporte y acumulación de partículas, productos de la meteorización y de la sedimentación, por acción de los llamados agentes erosivos siendo los principales el agua, el viento, el hielo y los organismos vivos, los cuales se constituyen en medios de transporte (CORPES e INGEOMINAS; 1998). Para su clasificación se usa la metodología planteada por Carvajal, 2012; la cual es la guía para el desarrollo de éste tipo de nomenclatura, según SGC, 2015.

Tabla 3. Clasificación de procesos erosivos utilizados con propósitos de análisis de ingeniería.

Tipo de erosión	Espaciamiento entre canales (m)					
	< 5	5 a 15	15 a 50	50 a 150	150 a 500	> 500
Erosión laminar	Severa	Moderada	Suave			
Surcos (< 50 cm de profundidad)	Severa	Severa	Moderada	Suave		
Barrancos (51-150 cm de profundidad)	Severa	Severa	Severa	Moderada	Suave	
Cárcavas (> 150 cm de profundidad)	Severa	Severa	Severa	Severa	Moderada	Suave

Grado de erosión		
Área erosionada (% unidad)	**Grado erosión R**	**Descripción**
< 25	Sin erosión	Geoforma original
25-50	Erosión baja	Geofroma denudada
51-74	Erosión media	Geoforma remanente
75-89	Erosión alta	Geoforma residual
> 90	Erosión muy alta	Ban lands

Grado de erosión	
Cobertura vegetal (%)	**Descripción**
> 90	Sin erosión
> 75	Erosión baja
51-74	Erosión media
25-50	Erosión alta
< 25	Erosión muy alta

Fuente: Carvajal, 2012

Para el área de estudio principalmente se tiene el proceso de erosión dado en MM-1 / ER-1, de tipo laminar y en surcos, con espaciamiento menor a 5 metros; con un

área erosionada entre el 75-89 %, con cobertura vegetal del 25-50%, para lo cual tendríamos una clasificación de erosión intermedia a severa. Este se presenta alrededor del barrio Nazareth, por toda la escarpa occidental del Abanico de Bucaramanga (Figura 21).



Figura 21. Procesos de erosión (ER-1) y Movimientos en masa (MM-1 y MM-2) para el área en estudio.

6.3.1 Movimientos en masa

Para el desarrollo correcto de la caracterización y levantamiento de los deslizamientos y/o zonas de movimientos en masa (Activas/ no activas/ Antiguas), primeramente se da la búsqueda de información asociada a registros históricos a partir del Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA), perteneciente al Servicio Geológico Colombiano. En este se encuentran información del catálogo histórico, el cual es útil para la calibración y validación del modelo; como también información asociada a inventario de movimientos en masa desarrollados por usuarios, el cual se revisa también en el SIMMA, y se complementa con información levantada en campo (Figura 22 y Figura 23).

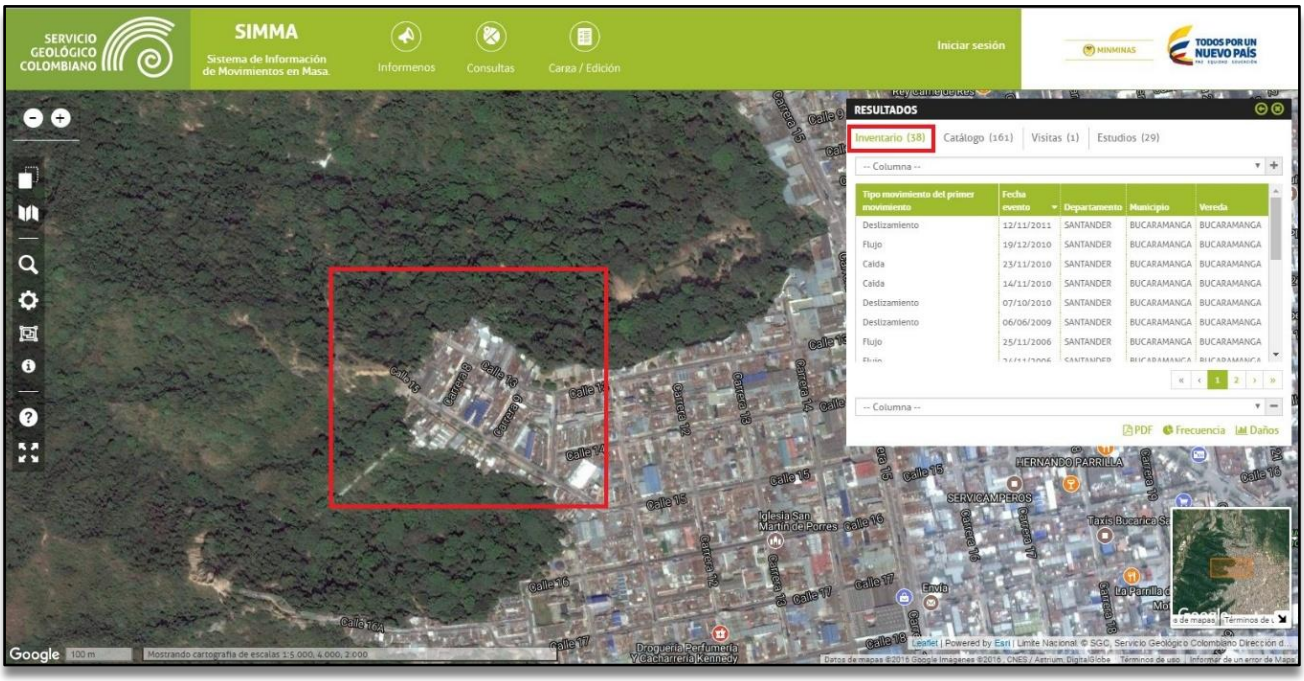


Figura 22. Consulta de Inventario de fenómenos de remoción en masa en el Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA), perteneciente al Servicio Geológico Colombiano.

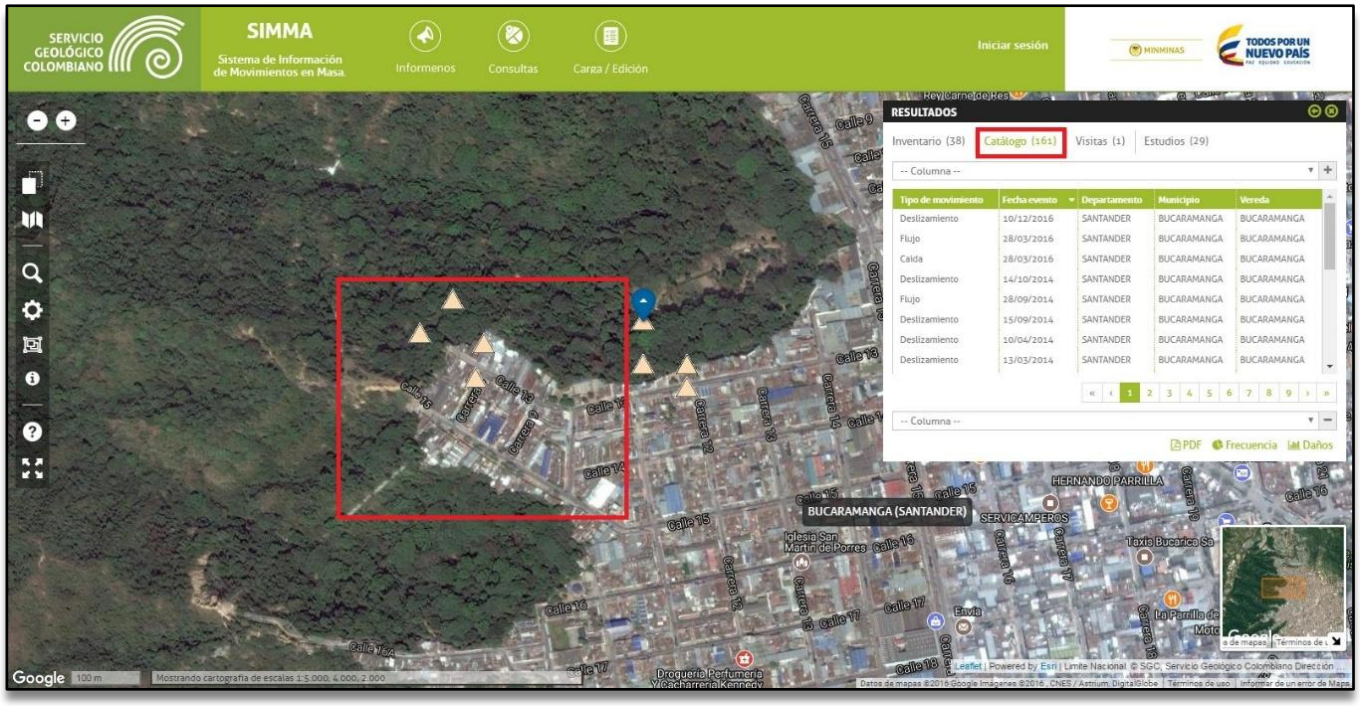


Figura 23. Consulta del catálogo de fenómenos de remoción en masa en el Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA), perteneciente al Servicio Geológico Colombiano.

A partir de lo anterior se destaca que en el área de estudio no se encuentran identificados históricamente estos eventos respecto al inventario, pero respecto al catálogo se presentan una serie de deslizamientos:

Tabla 4. Movimientos en masa identificados en el SIMMA (Catálogo)

ID	Tipo	Subtipo
7197	Deslizamiento	No identificado
11511	Deslizamiento	No identificado
11772	Deslizamiento	No identificado
6136	Deslizamiento	No identificado
4675	Deslizamiento	No identificado
4676	Deslizamiento	No identificado
4607	Deslizamiento	No identificado
4677	Deslizamiento	No identificado
4678	Deslizamiento	No identificado

Todos los deslizamientos encontrados no poseen información detallada respecto a las características del movimiento. La fecha de cada uno de estos es la misma, la cual es 20-01-2012. Posiblemente estos eventos demarcados pueden ser correlacionados con las zonas del movimiento en masa denominado MM-1/ER-1 en el presente informe.

Posteriormente a la revisión del catálogo y el inventario de movimientos en masa, se realiza en campo la cartografía respectiva de estos procesos de inestabilidad, usando la metodología y el formato adoptado por el Proyecto Multinacional Andino Geociencias para las Comunidades Andinas (PMA-GCA) (2007), ajustado por el SGC (SGC, 2015). A partir de esto se encuentra:

MM-1 / ER-1: Deslizamiento de tipo caída de detritos, según el sistema de clasificación de Cruden y Varnes, 1996, de estado activo, con estilo complejo y de enjambre, y de distribución retrogresivo; con presencia de fracturamiento vertical al talud, asociado principalmente al suelo del miembro gravoso (Sft2). Las causas del movimiento posiblemente se asocian taludes con baja cobertura vegetal, lo cual

hace que agentes externos generen un aumento en el grado de erosión, con su consecuencia en la generación de deslizamientos (Figura 21).

MM-2: Deslizamiento de tipo flujo según el sistema de clasificación de Cruden y Varnes, 1996, de subtipo escombros y basuras, de estado activo, estilo único, y distribución movil. Este se da como acción antrópica producto de la acumulación de materiales residuales en un sitio no determinado para este fin. Se presenta hacia la zona del escarpe, con dirección de flujo hacia el NE/NW (Figura 21).

MM-3: Deslizamiento de tipo flujo según el sistema de clasificación de Cruden y Varnes, 1996, de subtipo escombros y basuras, de estado activo, estilo único, y distribución movil. Se presenta hacia la zona del escarpe, con dirección de flujo hacia el SW (Figura 21).

Todos los procesos evidenciados respecto a esta temática se plasman en el mapa de morfodinámica (Figura 24).

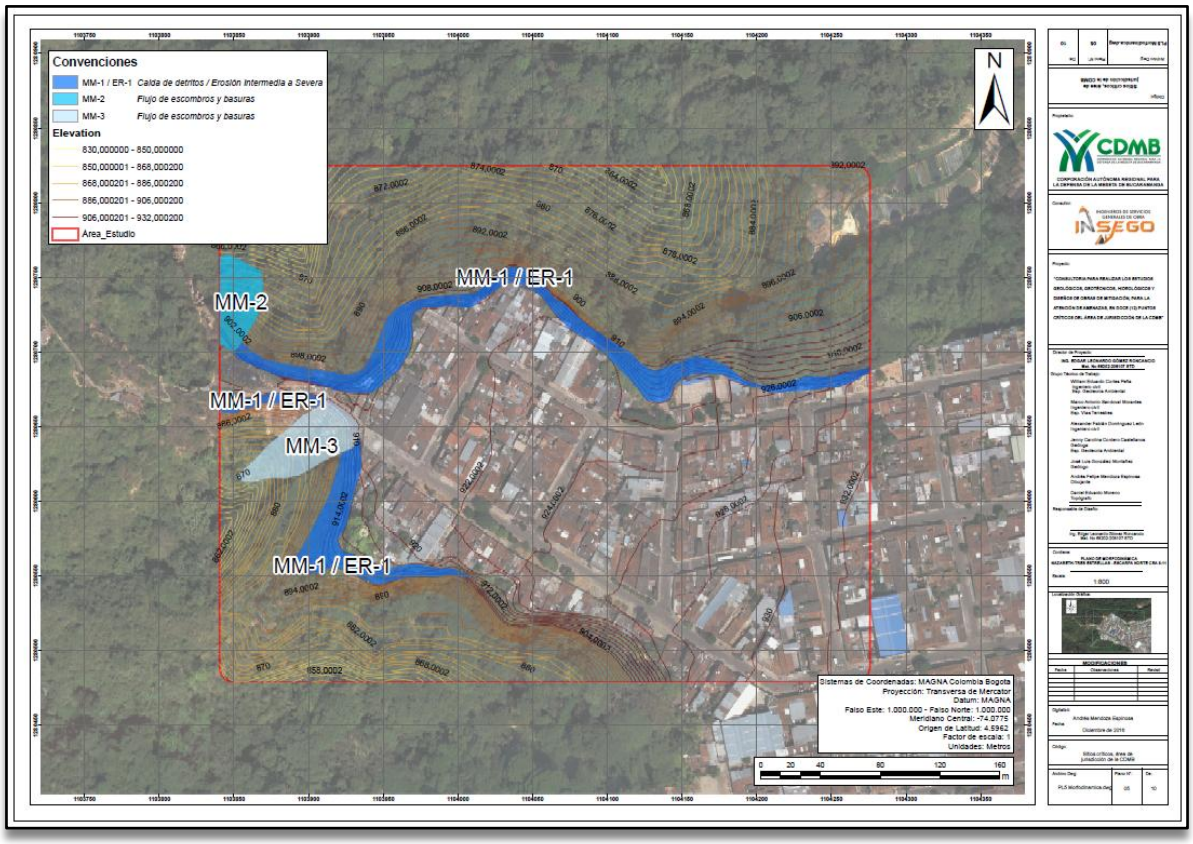


Figura 24. Mapa de procesos morfodinámicos en el área en estudio.

5.4. Elementos Geomorfológicos

A partir de la relación de la morfometría, la morfogenética y la morfodinámica, se realiza la cartografía geomorfológica dada en unidades de elementos geomorfológicos debido a la escala de trabajo (Carvajal, 2012; SGC, 2015).

Para la realización de este trabajo se utilizó la metodología, nomenclatura y definiciones que el Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB) ha utilizado en trabajos anteriores (INGEOMINAS, 2007), la cual es basada en orígenes geomorfológicos el ITC de Holanda (Verstappen & Van Zuidam, 1975; Verstappen, 1983; Van Zuidam, 1986), y que es correlacionada actualmente con Carvajal, 2012.

5.4.1 Geoformas de origen denudacional

Son Geoformas las cuales se encuentran asociadas directamente con factores externos como el agua y el viento, lo que conlleva a un proceso erosivo y de posterior depositación por medio de agua de lluvia, escorrentía y ríos.

- **Lomos angostos y redondeados (D5)**

Divisorias de aguas que terminan en crestas semiagudas, semiredondeadas a redondeadas, en donde la inclinación de sus laderas oscila entre 20° y 35°.

- **Laderas subhorizontales (D6)**

Superficie natural suavemente inclinada del terreno con pendiente menores a 10°, ligeramente disectada, donde se desarrollan suelos residuales. Esta se presenta sobre el Barrio Nazareth.

- **Hondonadas paralelas y subparalelas (D9)**

Son depresiones alargadas paralelas a la pendiente del terreno, formadas por erosion profunda, algunas de las cuales se asocian a corrientes de agua.

- **Laderas muy inclinadas (D10)**

Son superficies naturales del terreno con laderas muy empinadas, producto de procesos denudacionales principalmente, donde dichas laderas presentan inclinaciones entre 40-70°. La vegetación sobre esta geoforma es en algunos casos escasa. En la zona de estudio se observa sobre esta geoforma el movimiento en masa presente (MM-1/ER-1).

- **Lomos denudacionales (D12)**

Divisorias de aguas que presentan terminación en forma de crestas semiredondeadas, aplanadas e incluso llanas. Presenta pendientes rectas a levemente cóncavas, con inclinaciones mayores a 10°.

- Cuerpo o depósito de movimiento en masa (D15)

Es la masa de suelo o roca, o mezcla de ambas resultante del movimiento ladera abajo, es decir es el lugar donde se han depositado el material transportado.

5.4.2 Geoformas de origen antropogénico

Formas del relieve producidas por modificaciones causadas por la intervención del hombre.

- **Obras de Ingenieria (A7)**

Son obras de ingeniería civil dadas para mitigar y prevenir movimientos en masa. En el área de estudio se presenta una obra de una pantalla en concreto lanzada en la zona del escarpe. Adicionalmente se presenta una obra relacionada a aguas hcia la zona SW del estudio, sobre la geoforma de lomos angostos y redondeados (D5).

- **Llenos de escombros (A3)**

Son Geoformas irregulares asociadas a botaderos de desechos o esteriles provenientes de la explotación minera y de la construcción. A esa geoforma se asocian los dos movimientos en masa de tipo flujos de escombros y basuras.

Las clases asociadas a elementos geomorfológicos se encuentran identificados en la Figura 26.

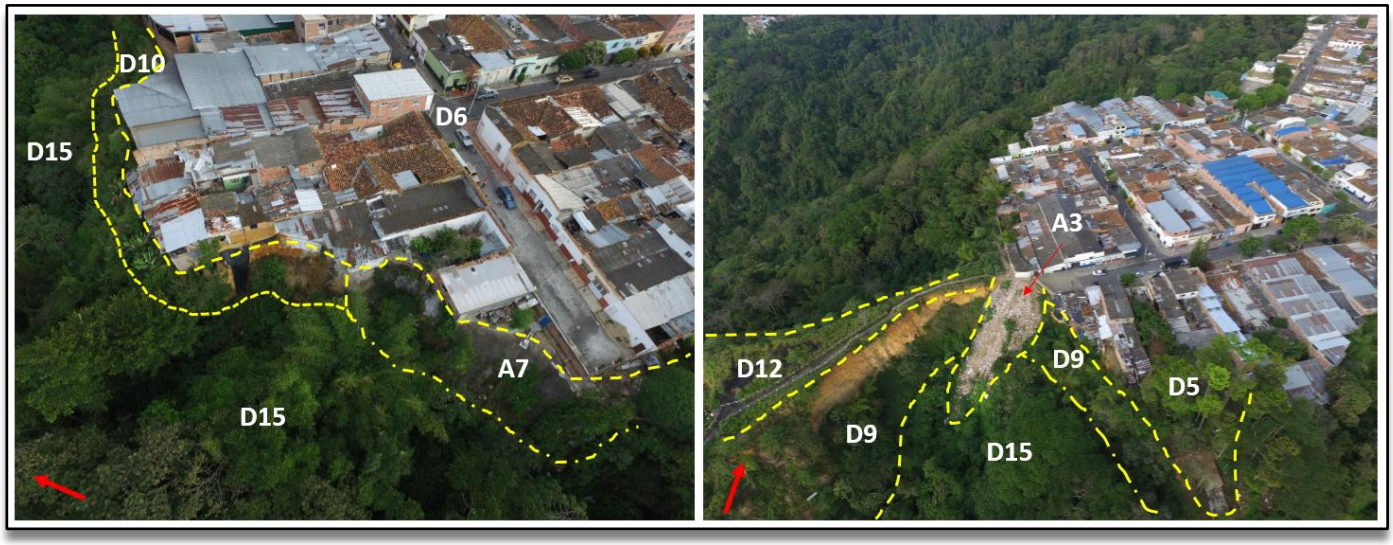


Figura 25. Elementos geomorfológicos presentes en el área de estudio.

El resultado de la correcta identificación, caracterización y levantamiento de las unidades geomorfológicas superficiales en el área de estudio se plasma en el mapa geomorfológico del área de estudio (Figura 26) como también el porcentaje de ocupación dentro del área de estudio de cada unidad (Figura 27).

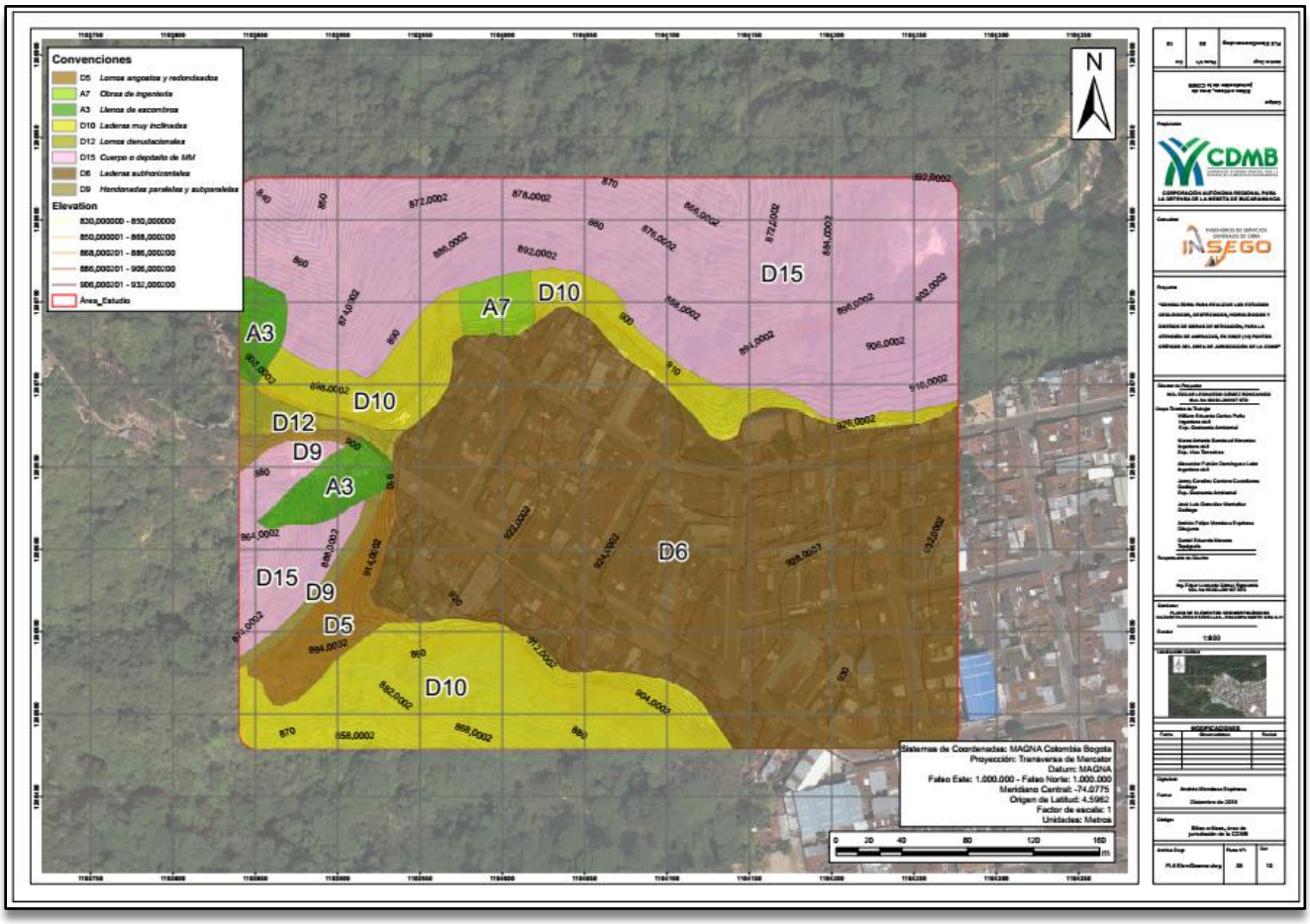


Figura 26. Mapa de unidades de elementos geomorfológicos de la zona de estudio.

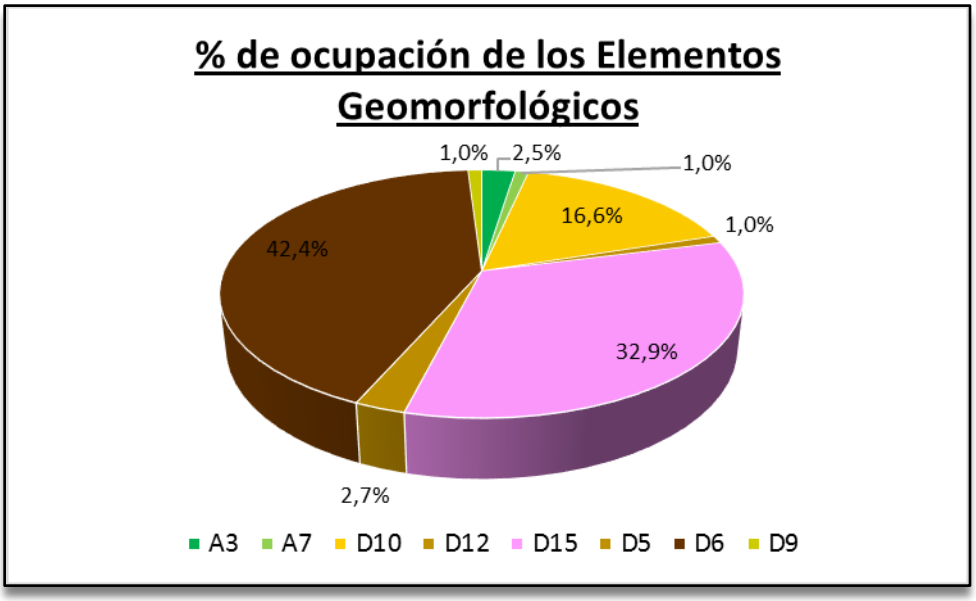


Figura 27. Porcentaje de unidades de elementos geomorfológicos para el área de estudio.

6. COBERTURA DEL SUELO

El análisis de coberturas del suelo es indispensable para el estudio puntual de los procesos de afectación por remoción en masa. Este se basa en la implicación de la utilidad que presta un tipo de cobertura al ser humano, es decir, las funciones económicas o actividades humanas dentro de una porción específica de la tierra (Janssen, 2000 en SIAC; 2014).

Para el desarrollo de esta cartografía temática, se toman las unidades de cobertura ajustada según la metodología Corine Land Cover, perteneciente al IDEAM e IGAC (2003) (SGC, 2015).

Dentro del área de estudio se obtuvieron una totalidad de cinco (5) unidades en el área, asociadas a seis (6) clases, dentro de las cuales se encuentran:

Tejido urbano contínuo (Tuc): Construcciones edificadas por el hombre para su servicio, ubicadas en el perímetro urbano, dentro de las cuales se encuentran las clases: residencial, educativa, salud, deportiva, institucional, vial, de trasporte, entre otras. Este se da para toda la zona urbana vista en la zona de estudio.

Zonas de disposición de residuos (Zdr): Son espacios en los que se depositan restos de construcción, residuos urbanos, desechos industriales y material esteril de minas. En este se destacan los presentados hacia la zona central del área en estudio.

Instalaciones recreativas (Ir): Son los terrenos dedicados a las actividades de camping, deporte, parques de atracción, golf, hipódromos y otras actividades de recreación y esparcimiento, incluyendo los parques habilitados para esparcimiento, no incluidos dentro del tejido urbano. En este se destaca el Parque morrico, el cual se presenta hacia la zona sur del área de estudio.

Tierras desnudas (Td): Áreas sin cobertura vegetal las cuales han sufrido procesos de erosión por causas naturales o antrópicas o que el hombre ha intervenido en forma de terraplenes, canteras, manejo de material para construcciones que otros elementos naturales continúan moldeando (viento, ríos), en otros casos se debe a la práctica de la quema de la capa vegetal.

Arbustales: Comprenden los territorios cubiertos por vegetación arbustiva desarrollados en forma natural en diferentes densidades y sustratos. Un arbusto es una planta perenne, con estructura de tallo leñoso, con una altura entre 0,5 y 5 m, fuertemente ramificado en la base y sin una copa definida (FAO, 2001; en IDEAM, 2010).

Herbazal: Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente herbáceos desarrollados en forma natural en diferentes densidades y sustratos, los cuales forman una cobertura densa (>70% de ocupación) o abierta (30% - 70% de ocupación) (IDEAM, 2010).

Consociación: Es una consociación de clases, la primera ocupa más del 70%. En esta se encuentra la clase:

- **Arbustos/Herbazales (Ar/Hb)**

Las clases relacionadas a cobertura del suelo se encuentran identificadas en la Figura 28.



Figura 28. Coberturas del suelo presentes en el área en estudio

Estas unidades se cartografiaron en campo y se corroboraron sus límites con la imagen aérea tomada actual, obteniendo así el mapa de cobertura del suelo (Figura 29). Adicionalmente, en la Figura 30 se muestran los porcentajes de ocupación de las clases.

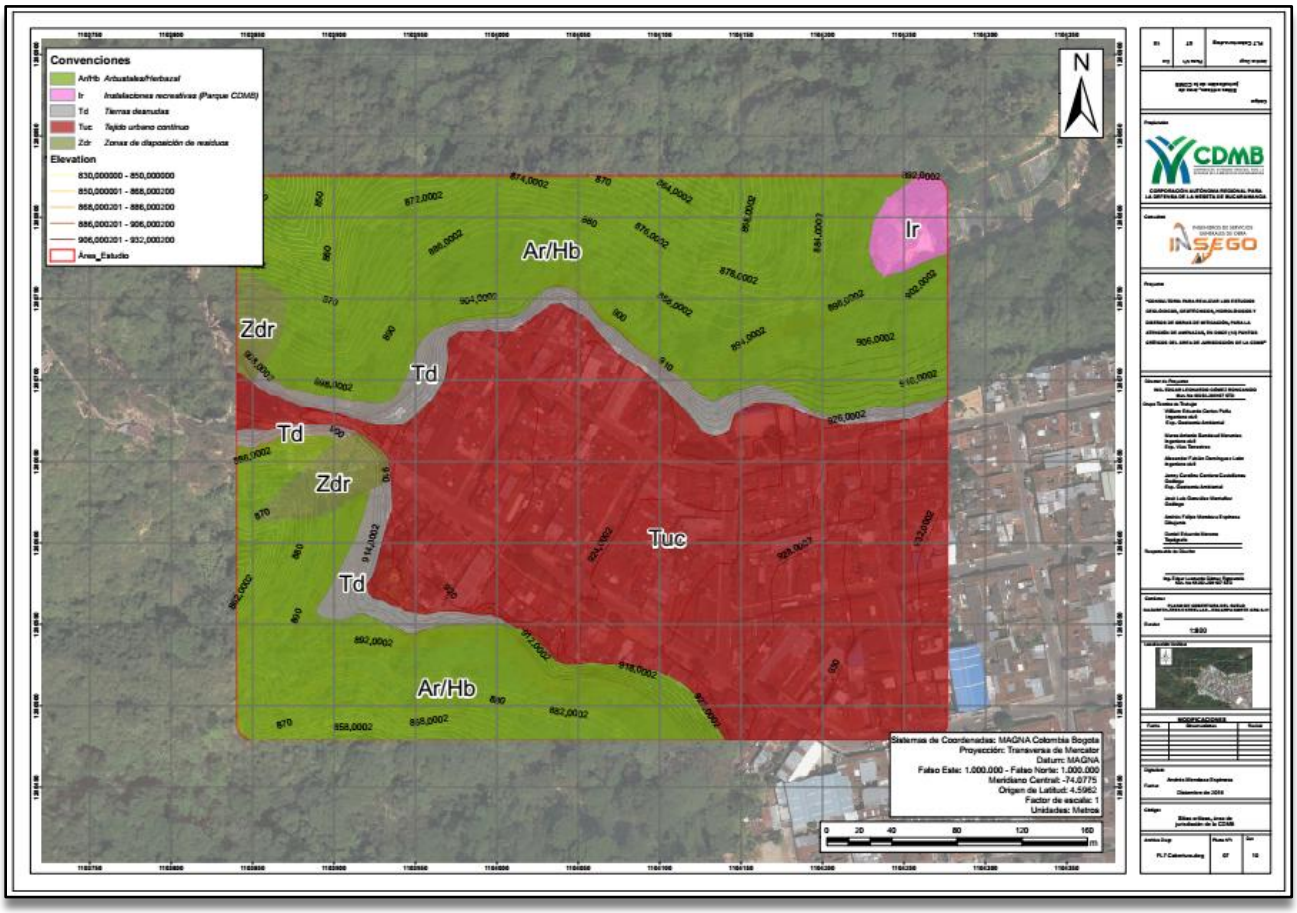


Figura 29. Mapa de cobertura del suelo para el área en estudio.

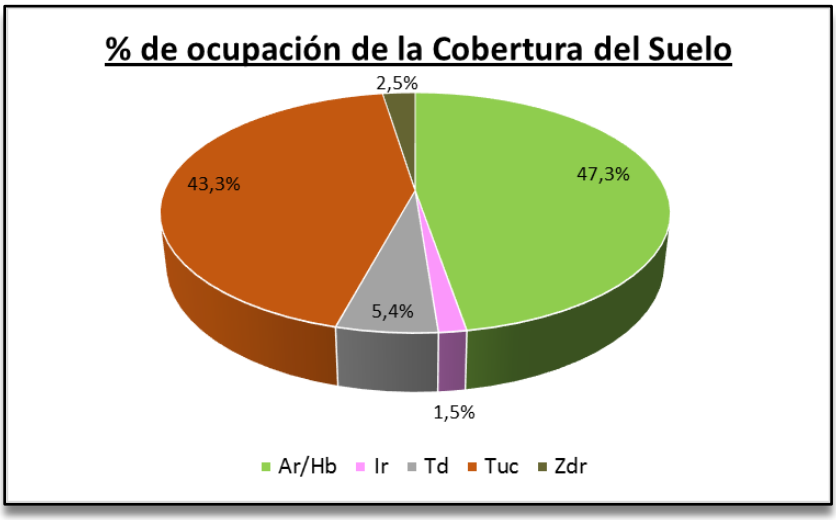


Figura 30. Porcentaje de ocupación de las clases de la cobertura del suelo para el área en estudio.

7. EVALUACION HIDROLOGÍCA SECTOR NAZARETH-TRES ESTRELLAS, Escarpa Sur entre Carreras 8 y 9



Figura 31. Delimitación de la subcuenta de la quebrada Dos Aguas cerca al sector Nazareth-Tres Estrellas, Escarpa Sur entre Carreras 8 y 9



Figura 32. Ubicación Área de Estudio respecto a la Quebrada Dos Aguas

El lugar de estudio hace parte de la cuenca de la quebrada Dos Aguas, la cual se encuentra al Sur de la zona de estudio, y se comunica al sector por un área de drenaje desde la corona del talud Nazaret-Tres Estrellas y por el cual corren aguas de escorrentía.

7.1. PARAMETROS MORFOLOGICOS

El relieve del ámbito de las cuencas en estudio, es en general montañoso y propia de la zona fisiográficamente del paisaje es ondulado a plano, concerniente a la cobertura vegetal el área de cuenta con amplia cobertura vegetal en toda la margen de la quebrada constituida por especies propias de la zona tropical. En lo que respecta a este ítem, se desarrolló el marco teórico y el cálculo de los principales parámetros geomorfológicos en el Área de Proyecto de la microcuenca asociado a su capacidad de respuesta a la precipitación en forma de escorrentía, tales como: Área, Perímetro, Longitud del Cauce Principal, Ancho Promedio, Coeficiente de Compacidad. Factor de forma, Grado de Ramificación, Densidad de drenaje y Pendiente Media.

7.1.1. AREA DE LA CUENCA (A)

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

7.1.2. PERIMETRO DE LA CUENCA

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

7.1.3. LONGITUD MAYOR DEL RIO (L)

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

7.1.4. FORMA DE CUENCA

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

- **ANCHO PROMEDIO**

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

$$Ap = A/L$$

Dónde:

Ap: Ancho promedio de la cuenca (Km).
A: Área de la cuenca (Km^2)
L: Longitud mayor cauce del afluente (Km).

- **COEFICIENTE DE COMPACIDAD (Kc)**

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

Su fórmula es la siguiente:

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{P * A}} \quad \text{ó} \quad kc = 0.28\sqrt{\frac{P}{A}}$$

Dónde:

Kc: Coeficiente de Compacidad (km/km^2).

P: Perímetro de la Cuenca (Km)
A: Área de la Cuenca (Km^2).

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

- **FACTOR DE FORMA (Ff)**

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

$$Ft = \frac{Ap}{L}$$

Siendo:

Ft: Factor de Forma.
Ap: Ancho promedio de la cuenca (Km)
L: Longitud del curso más largo (Km).

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

7.2. SISTEMA DE DRENAJE

El sistema de drenaje de una cuenca está conformado por un curso de agua principal y sus tributarios: observándose por lo general, que cuanto más largo sea el curso de agua principal, más llena de bifurcaciones será la red de drenaje. Con la finalidad de determinar las características de dicha red, se definen los siguientes índices:

- **GRADO DE RAMIFICACION**

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

- **DENSIDAD DE DRENAJE**

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

intensidad de las precipitaciones influirá inmediatamente sobre el volumen de las descargas delos ríos. La expresión es la siguiente:

$$Dd = \frac{Li}{A}$$

Siendo:

Dd: Densidad de drenaje (Km/Km2).

Li: Longitud total de los cursos de agua (Km)

A: Área de la cuenca (Km2)

Monsalve, refiere que Dd usualmente toma los siguientes valores:

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

7.3. PENDIENTE MEDIA DEL DRENAJE.

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

$$Ic = \frac{HM - Hm}{1000 * L}$$

Siendo:

Ic: Pendiente media del río

L: longitud del río

HM y Hm: Altitud Máxima y mínima del lecho del río, referidas al nivel medio de las aguas del mar.

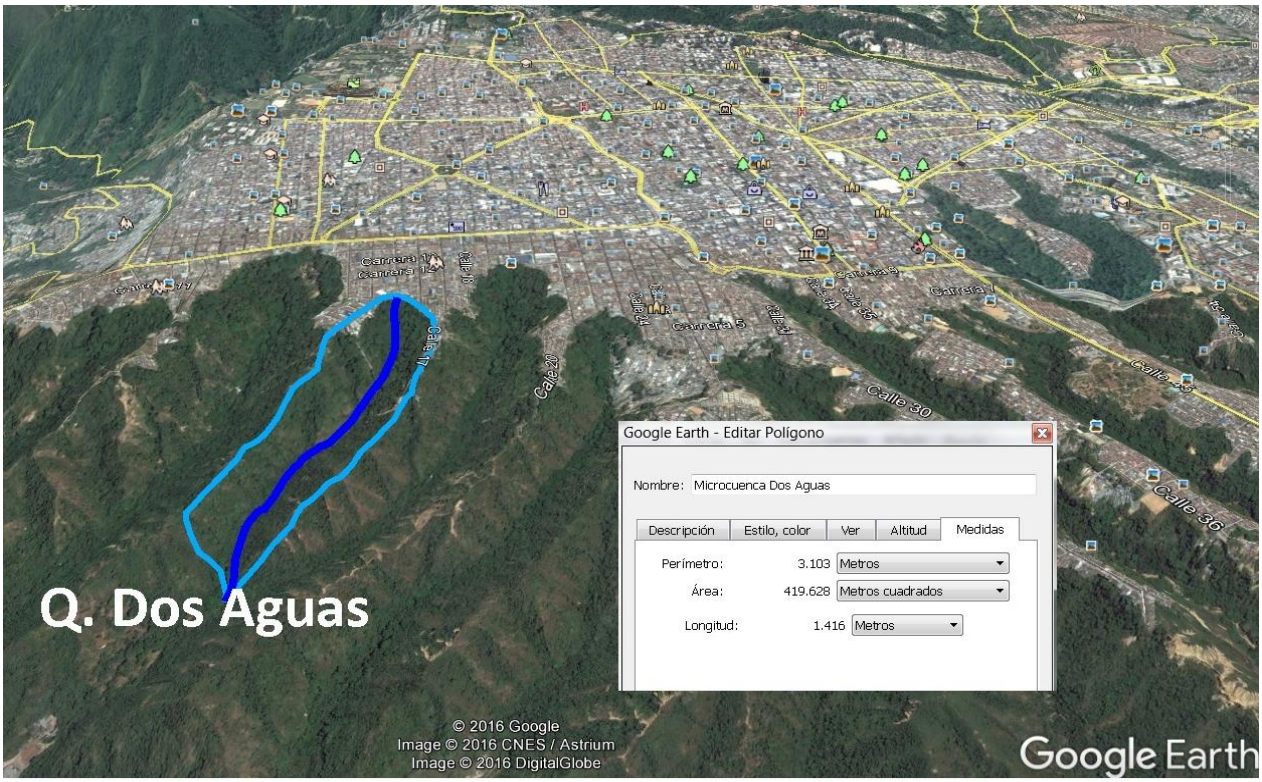


Figura 33. Microcuenca Quebrada Dos Aguas

Tabla 5. Parámetros morfológicos de la microcuenca

DATOS	UNIDAD	PARAMETROS MORFOLOGICOS DE LA MICROCUENCA, DRENAJE PRINCIPAL INNOMINADO
AREA	Km²	0,419
COTA SUP.	msnm	931
COTA INF.	msnm	726
LOG. CAUCE	km	1,416
PERIMETRO	km	3,103
ANCHO PROMEDIO	km	0,296
COEF. COMPACIDAD	km/km²	0,761977079
FACTOR DE FORMA		0,208971719
DENSIDAD DE DRENAJE	km/km²	3,37947494
PENDIENTE MEDIA DEL DRENAJE	%	14,47740113
PENDIENTE MEDIA DEL DRENAJE	m/Km	144,7740113
PENDIENTE MEDIA DEL DRENAJE	m/m	0,144774011

Fuente: Autores

7.4. CLIMATOLOGÍA E HIDROLOGÍA GENERAL

7.4.1. Descripción general del clima

Para la identificación del clima, se utilizan los parámetros presentados por el IDEAM para la ciudad de Bucaramanga a nivel mensual y se aplican al sector Nazareth-Tres Estrellas, Escarpa Sur entre Carreras 8 y 9 como se muestra en la Tabla 6. (FUENTE: IDEAM)

Tabla 6. Principales Parámetros meteorológicos promedios mensuales anuales

MEDIOS	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Precipitación	52,4	70,8	131,9	152,9	123,5	89	84,4	91,8	92,6	157	110,9	57,9
N° de días	8	9	14	18	19	17	18	20	18	20	14	9
T. Max. Abs.	29,2	30,5	29,6	29	29	29,2	29	30,2	29,4	28,8	29	28,4
T. Min. Abs.	15	15,4	15,6	16,7	16,6	15,6	14,2	12,4	15,5	13	15,8	15,6
T. máx. med.	27,3	27,6	27,9	27,5	276	27,6	27,6	28,2	28	27,6	26,9	26,9
Temperatura	21,1	21,4	21,6	21,4	21,3	21,3	21,3	21,3	21,1	20,6	20,7	20,7
T. min. Med.	16,7	16,9	16,9	17,2	17,3	17	16,6	16,4	16,5	16,3	17	16,8
Humedad	82	83	84	87	88	87	85	84	86	89	90	88
Brillo	216,4	163,1	149,1	132,7	152,1	142,6	172,2	155,7	153,7	145,4	148,1	188,6
Evaporación	135,5	128,7	135,2	117,8	122,5	110,4	124	121,8	121,1	115,7	127,7	116,5
Nubosidad	4	5	5	6	6	6	5	6	6	6	6	5

Además, de la red de estaciones consultada como se observa en la tabla 6 Inventario de estaciones en el área Metropolitana de Bucaramanga, con información hidrometeorológica que fue referida en el estudio regional, de las 20 estaciones seleccionadas pertenecientes a la CDMB y el IDEAM y con las cuales se realizó el respectivo análisis espacial y temporal de la lluvia se destaca cinco estaciones con las cuales se realizó el respectivo análisis espacial y temporal de la lluvia que corresponden a las estaciones de Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander, Aeropuerto Palonegro, CDMB y la Flora, se Destaca la estación CDMB

como la más cercana al sector en estudio (2243.7 m). En la **Tabla 7** se presentan las estaciones IDEAM que se encuentran activas, involucradas en el análisis espacial y temporal de la lluvia, cercanas al sector Nazareth-Tres Estrellas, Escarpa Sur entre Carreras 8 y 9.

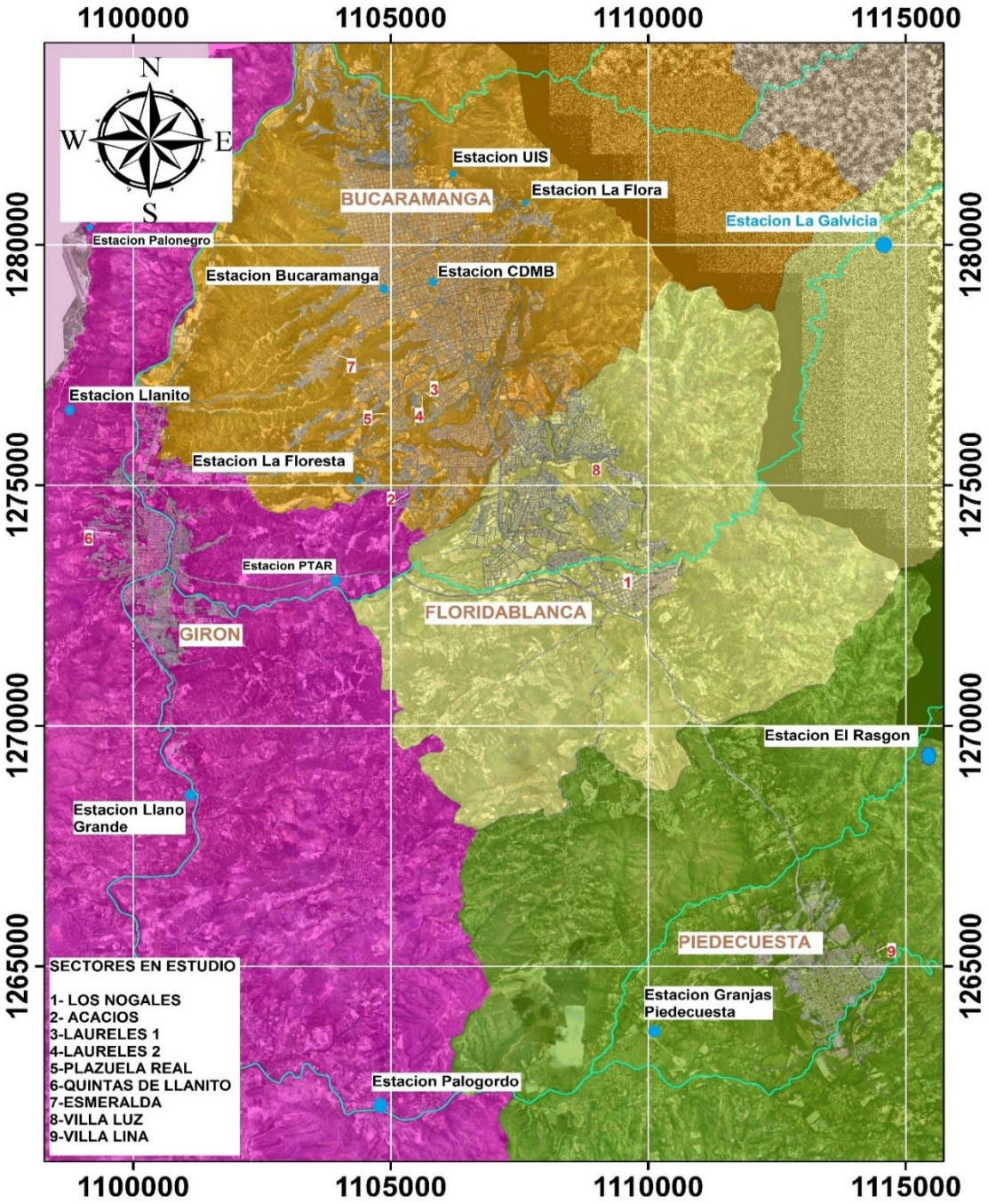


Figura 34. Localización estaciones Hidroclimatológicas aferentes al área metropolitana de Bucaramanga

Tabla 7. Inventario de estaciones IDEAM no suspendidas – Departamento de Santander, de influencia en el sector Nazareth-Tres Estrellas, Escarpa Sur entre Carreras 8 y 9

N°	Nombre Estacion	Municipio	Corriente	Instalada	Tipo	Coordenada Este	Coordenada Norte	Elevacion (m.s.n.m)
1	Bucaramanga IDEAM	Bucaramanga	Surata	01/10/1998	PG	1106527	1278528	1025
2	Univ Ind Santander	Bucaramanga	Tona	01/01/1957	CP	1108365	1280375	1018
3	Floresta LA	Floridablanca	Q. La Iglesia	01/06/1978	PG	1104693	1274837	925
13	CDMB	Bucaramanga	De Oro	01/01/1979	PG	1105857	1279071	950
14	Club Campestre	Floridablanca	Frio	10/01/1982	PG	1106399	12773072	940
17	La Flora	Bucaramanga	Surata	01/01/1979	PG	1107543	1280894	1100
19	PTAR	Giron	Frio	08/01/1985	CO	1102856	1272989	758

7.4.2. Descripción general de la temperatura, humedad y brillo solar

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

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

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

Tabla 8. Relación de temperatura del Período (1975 – 2005)

ESTACION	ALTURA (msnm)	TEMPERATURA (°C)		
		MEDIA	MAXIMA	MINIMA
LLANO GRANDE	777	25,1	27,3	21,6
UIS	1018	23	24,9	28,8
AEROPUERTO PALONEGRO	1190	21,3	23,2	19,2

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

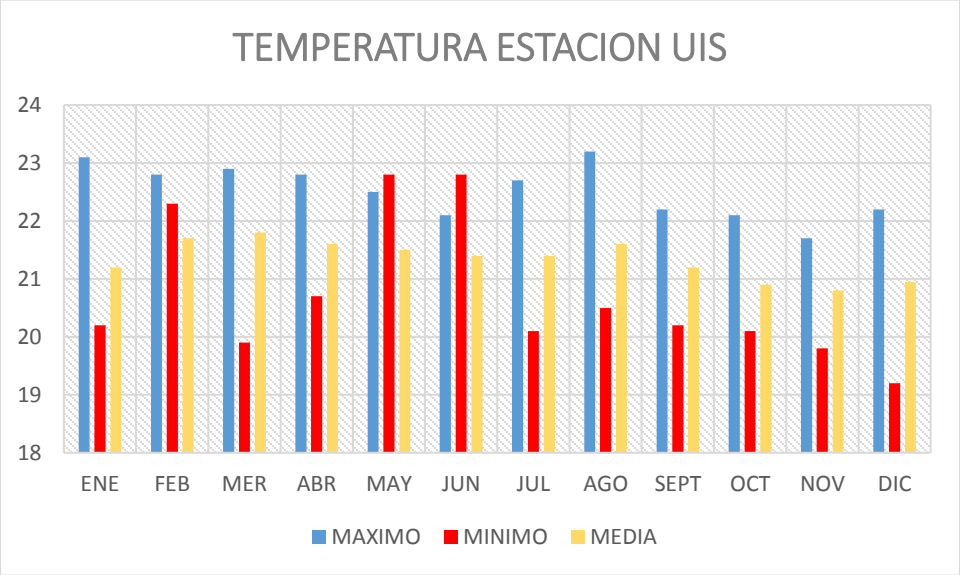


Figura 35 Temperatura media mensual multianual estación UIS (1975 – 2005)

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

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

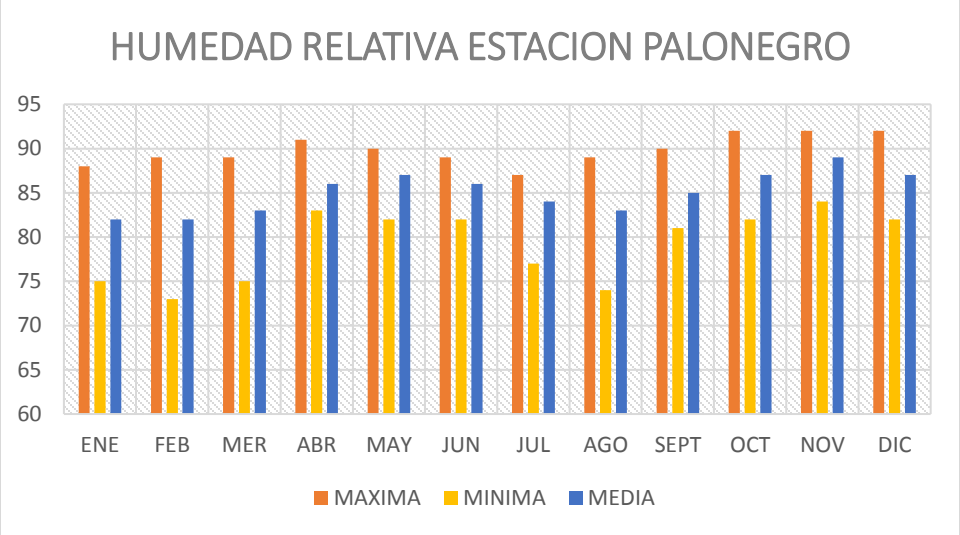


Figura 36Humedad relativa promedio mensual multianual E. Aeropuerto Palonegro

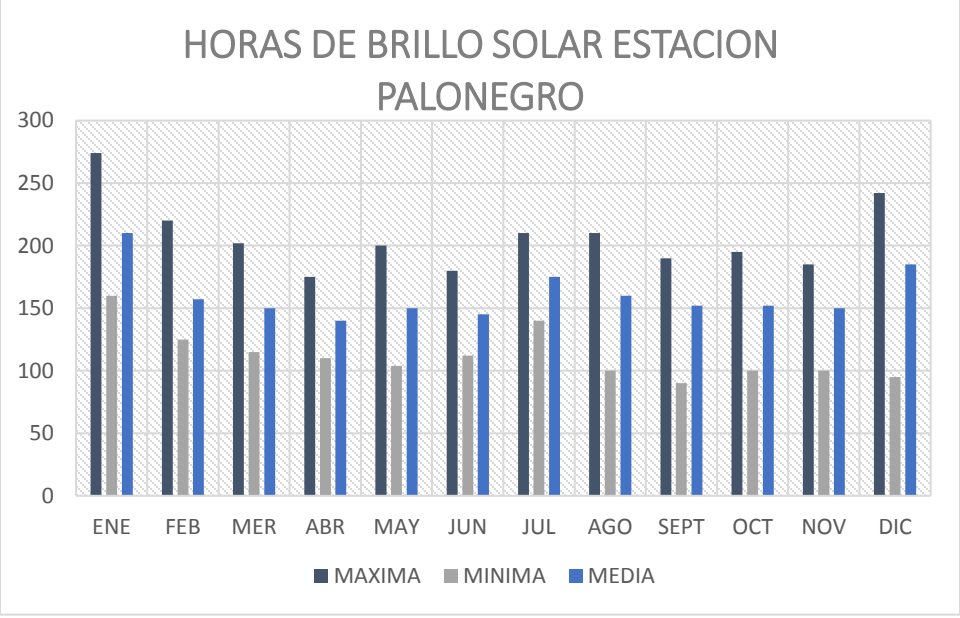


Figura 37**.** Brillo solar mensual multianual estación Aeropuerto Palonegro (1975 – 2005)

7.4.3. Descripción general de la precipitación

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

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

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

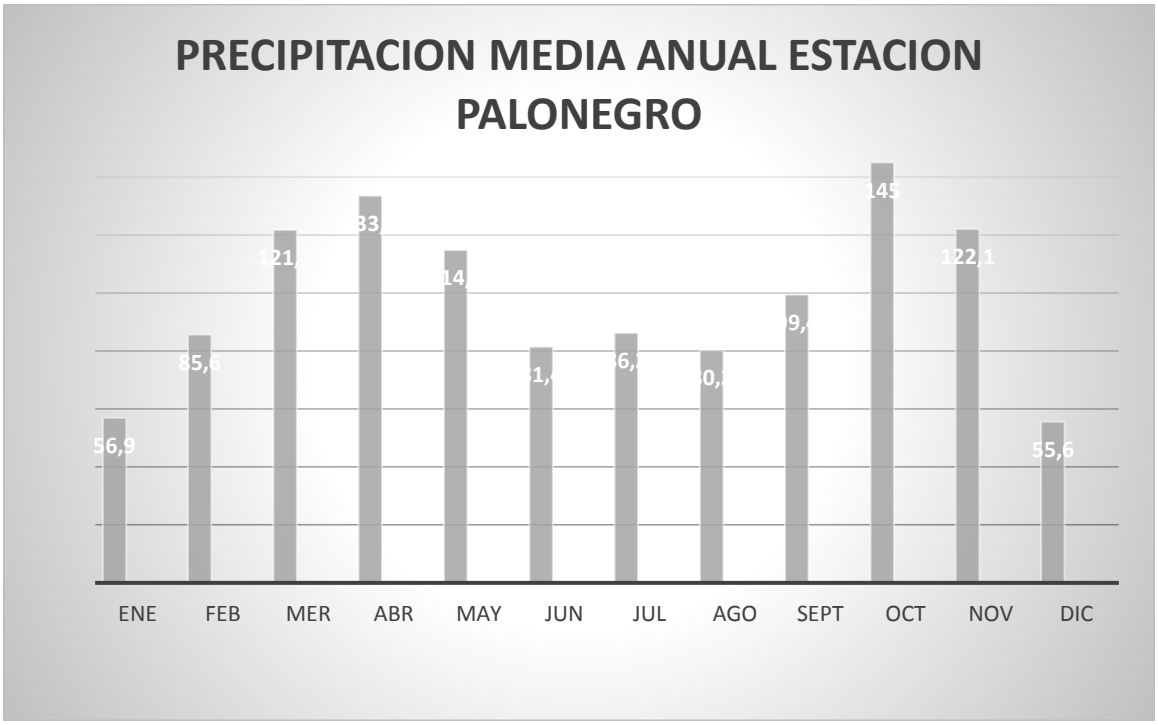


Figura 38**.** Precipitación media mensual multianual Aeropuerto Palonegro (1975 – 2005)

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

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

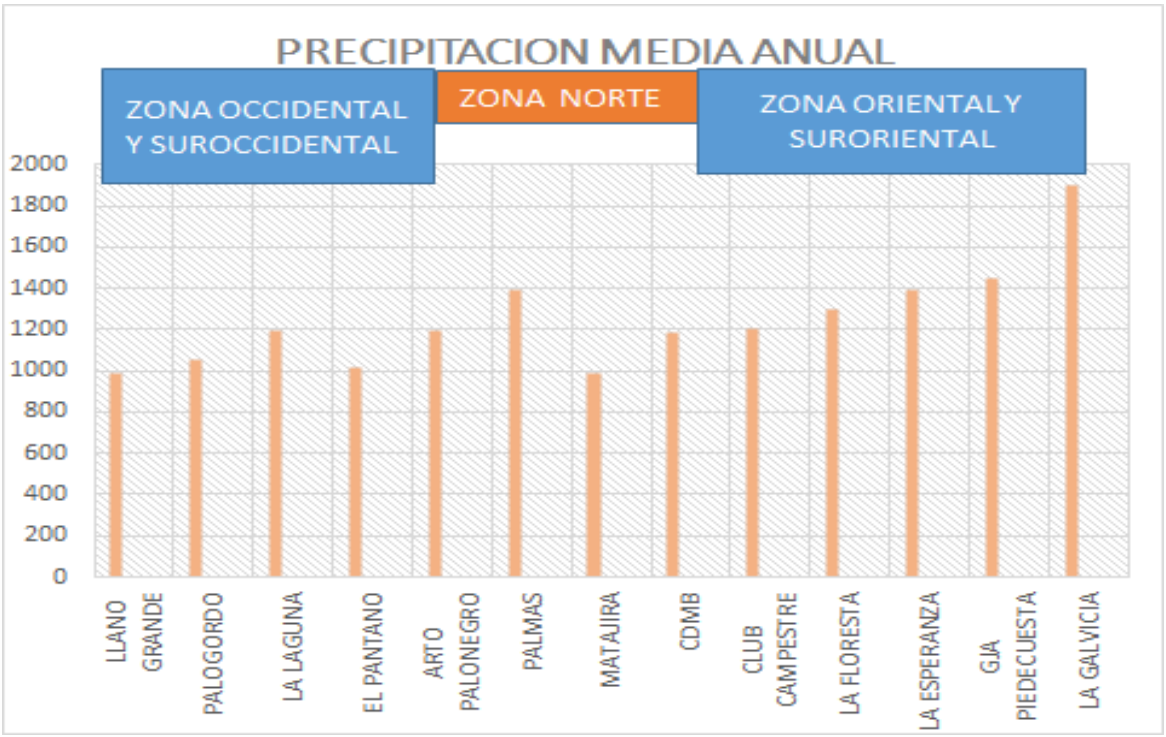


Figura 39**.** Histograma de precipitación media anual multianual estaciones analizadas

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

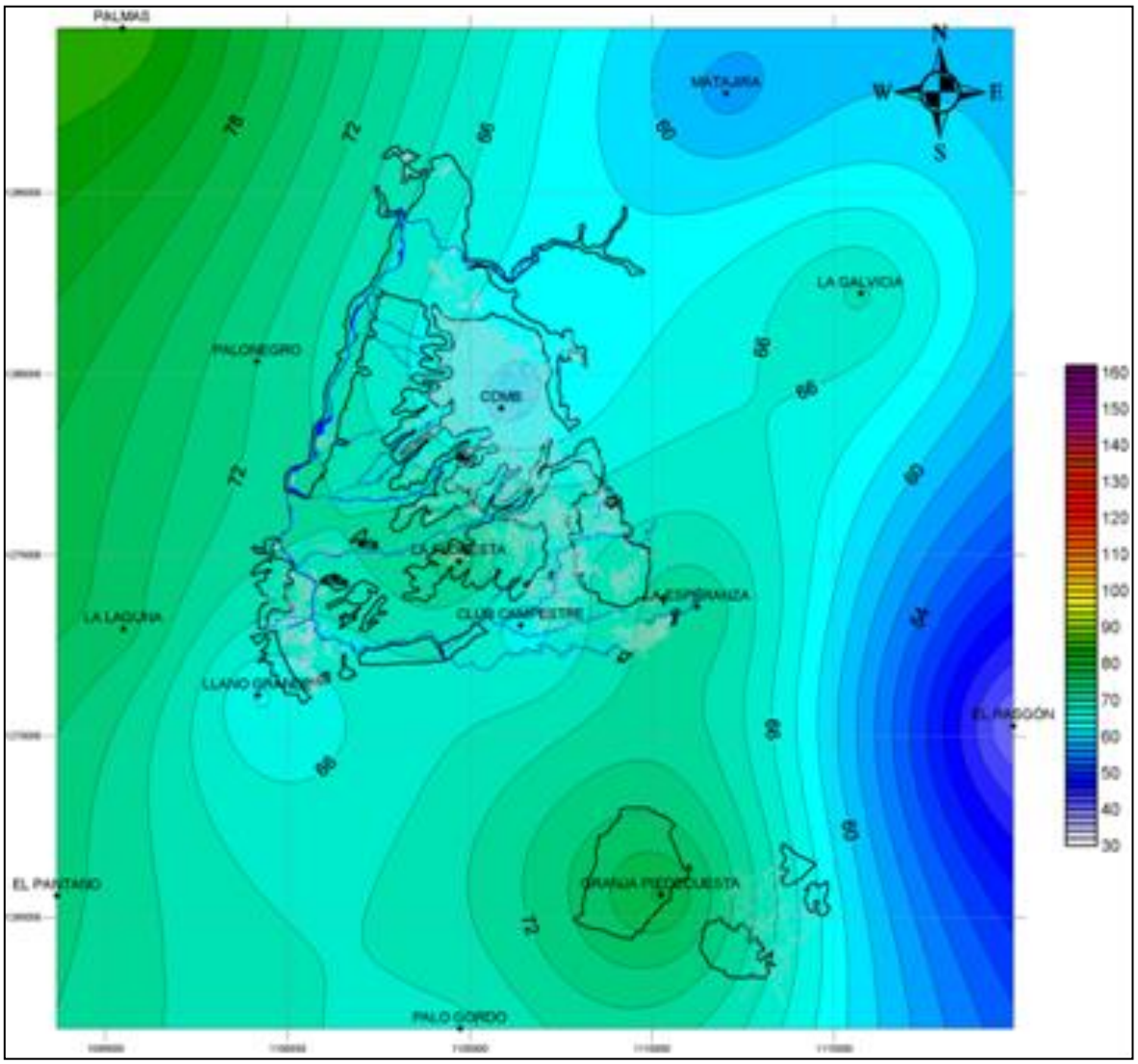


Figura 40. Isoyetas período retorno 2 años.

7.5. DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS

Antes de adquirir los datos hidrometeorológicos de la zona de estudio, se realizó un análisis cualitativo indicativo de la calidad de los registros, encontrándose que la periferia al área metropolitana es de menor cubrimiento espacial, mientras que en las proximidades a las cabeceras municipales mejora la calidad de registro.

Seguidamente se elaboró el inventario de información oficial existente con base en el catálogo de estaciones WEB del IDEAM. Se observaron principalmente las

estaciones con registros climatológicos (CO, CP y SP), de tipo Pluviométrico (PM) y Pluviográfico (PG), por ser ésta la información de mayor relevancia para el estudio.

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

7.6. INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

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

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

No obstante el reconocimiento de las potencialidades del territorio y su red de monitoreo, de esa extensa red conformada según el IDEAM por 69 estaciones en los municipios de Bucaramanga, Lebrija, Girón, Piedecuesta, Floridablanca, Tona, Rionegro y Matanza, solo 32 se encuentran a la fecha activas, conforme a la Tabla 9.

Tabla 9.Inventario de estaciones en el Área Metropolitana de Bucaramanga

N°	CODIGO	ESTACION	TIPO	MUNICIPIO	CORRIENTE	INSTALADA
1	2319503	APTO GOMEZ NIÑO	SINOPTICA SUPLEMENTARIA	BUCARAMANGA	DE ORO	01/06/1940
2	2319083	BUCARAMANGA IDEAM	PLUVIOGRAFICA	BUCARAMANGA	SURATA	01/10/1996
3	2319080	HMAT R.11	PLUVIOMETRICA	BUCARAMANGA	DE ORO	01/06/1984
4	2319504	UNV IND SANTANDER	CLIMATOLOGICA PRINCIPAL	BUCARAMANGA	TONA	01/01/1957
5	2319505	VIVERO CHIMITA	CLIMATOLOGICA PRINCIPAL	BUCARAMANGA	SURATA	01/08/1968
6	2319746	ESPERANZA LA	LIMNIMETRICA	FLORIDABLANCA	FRIO	01/01/1977
7	2319059	FLORESTA LA	PLUVIOGRAFICA	FLORIDABLANCA	Q DE LA IGLESIA	01/06/1978
8	2319040	GALVICIA LA	PLUVIOMETRICA	FLORIDABLANCA	TONA	01/01/1968
9	2319743	CONQUISTADOR EL	LIMNIMETRICA	PIEDECUESTA	DE ORO	01/07/1978
10	2319070	PIEDECUESTA GJA	PLUVIOGRAFICA	PIEDECUESTA	LATO	01/07/1970
11	2319701	PRIMAVERA	LIMNIMETRICA	PIEDECUESTA	MANCO	01/07/1978
12	2319740	ANGOSTURAS	LIMNIGRAFICA	LEBRIJA	LEBRIJA	01/08/1972
13	2319513	APTO PALONEGRO	SINOPTICA PRINCIPAL	LEBRIJA	DE ORO	01/08/1974
14	2319026	LAGUNA LA	PLUVIOMETRICA	LEBRIJA	Q LA ANGULA	01/05/1967
15	2319044	NARANJO EL	PLUVIOMETRICA	LEBRIJA	Q SAN BENITO	01/04/1971
16	2319038	PALMAS	PLUVIOMETRICA	LEBRIJA	Q HONDA	01/11/1967
17	3701502	BERLIN	CLIMATOLOGICA ORDINARIA	TONA	JORDAN	01/05/1968
18	3701701	BERLIN	LIMNIMETRICA	TONA	JORDAN	01/05/1972
19	2319030	PICACHO EL	PLUVIOMETRICA	TONA	TONA	01/07/1967
20	2319013	TONA	PLUVIOMETRICA	TONA	TONA	01/06/1958
21	2319729	CAFÉ MADRID	LIMNIMETRICA	GIRON	LEBRIJA	01/12/1968
22	2319511	LLANO GRANDE	CLIMATOLOGICA ORDINARIA	GIRON	DE ORO	01/07/1971
23	2319028	PALO GORDO	PLUVIOMETRICA	GIRON	DE ORO	01/06/1967
24	2319060	PANTANO EL	PLUVIOMETRICA	GIRON	Q LA ANGULA	01/11/1967
25	2406007	PARROQUIA LA	PLUVIOGRAFICA	GIRON	Q AGUA BLANCA	01/09/1959
26	2406503	TRIGUEROS HDA	CLIMATOLOGICA PRINCIPAL	GIRON	SOGAMOSO	01/03/1996
27	2319730	VAHONDO	LIMNIMETRICA	GIRON	DE ORO	01/12/1969
28	2319034	MATAJIRA	PLUVIOMETRICA	MATANZA	SURATA	01/10/1967
29	2319035	LLANO DE PALMAS	PLUVIOMETRICA	RIO NEGRO	Q HONDA	01/11/1967
30	2319046	PAPAYAL	PLUVIOMETRICA	RIO NEGRO	LEBRIJA	01/05/1971
31	2319036	PORTACHUELO	PLUVIOMETRICA	RIO NEGRO	NEGRO	01/10/1967
32	2319713	PTE SARDINAS	LIMNIGRAFICA	RIO NEGRO	SANTA CRUZ	01/10/1967

De estas 32 estaciones fueron seleccionadas para los análisis hidrológicos, 20 estaciones conforme los resultados de lo observado sobre su tipo, confiabilidad, completitud de registros y consistencia de los mismos; dicho listado se presenta en la Tabla 10.

Tabla 10. Inventario de estaciones seleccionadas para el estudio regional

N°	ENTIDAD	NOMBRE ESTACION	MUNICIPIO	CORRIENTE	INSTALADA	TIPO	COORDENADA ESTE	COORDENADA NORTE	ELEVACION (M.S.N.M.)
1	IDEAM	BUCARAMANGA IDEAM	BUCARAMANGA	SURATA	01/10/1996	PG	1106527	1278528	1025
2	IDEAM	UNIV IND SANTANDER	BUCARAMANGA	TONA	01/01/1957	CP	1108365	1280375	1018
3	IDEAM	FLORESTA	FLORIDABLANCA	Q DE LA IGLESIA	01/06/1978	PG	1104693	1274837	925
4	IDEAM	GALVICIA LA	FLORIDABLANCA	TONA	01/01/1968	PM	1115726	1282234	1779
5	IDEAM	PIEDECUESTA GJA	PIEDECUESTA	LATO	01/07/1970	PG	1110238	1265631	1000
6	IDEAM	APTO PALONEGRO	LEBRIJA	DE ORO	01/08/1974	SP	1099158	1280356	1189
7	IDEAM	LAGUNA LA	LEBRIJA	Q LA ANGULA	01/05/1967	PM	1095486	1272971	1050
8	IDEAM	PALMAS	LEBRIJA	Q HONDA	01/11/1967	PM	1095458	1289566	855
9	IDEAM	LLANO GRANDE	GIRON	DE ORO	01/07/1971	CO	1099176	1271139	777
10	IDEAM	PALO GORDO	GIRON	DE ORO	01/06/1967	PM	1104719	1261933	950
11	IDEAM	PANTANO EL	GIRON	Q LA ANGULA	01/11/1967	PM	1093661	1265599	1280
12	IDEAM	MATAJIRA	MATANZA	SURATA	01/10/1967	PM	1112029	1287752	996
13	CDMB	CDMB	BUCARAMANGA	DE ORO	01/01/1979	PG	1105857	1279071	950
14	CDMB	CLUB CAMPESTRE	FLORIDABLANCA	FRIO	10/01/1982	PG	1106399	1273072	940
15	CDMB	EL RASGON	PIEDECUESTA	DE ORO	01/01/1987	CO	1119913	1270294	2185
16	CDMB	LA ESPERANZA	FLORIDABLANCA	FRIO	19/09/1979	CO	1111228	1273582	1000
17	CDMB	LA FLORA	BUCARAMANGA	SURATA	01/01/1979	PG	1107543	1280310	1100
18	CDMB	LA MARIANA	TONA	FRIO	06/01/1981	PM	1117627	1280310	2250
19	CDMB	PTAR	GIRON	FRIO	08/01/1985	CO	1102856	1272989	785
20	CDMB	SEVILLA	PIEDECUESTA	TRINCHERAS	08/01/1981	PM	1119428	1267670	1907

7.7. CARACTERIZACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN

Un análisis regional, permite concluir que la estación con registro de precipitación más cercana al sitio Nazareth-Tres Estrellas, Escarpa Sur entre Carreras 8 y 9 es la estación pluviográfica CDMB, por ello se presenta de forma particular la distribución de la precipitación media anual de la misma por medio de una gráfica de columnas, que indica que el régimen de precipitación en la estación es bimodal con picos en los meses de mayo y octubre del orden de 108 y 99 mm respectivamente, y dos meses de menor precipitación entre 44 y 58 mm en diciembre y enero (ver figura).

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

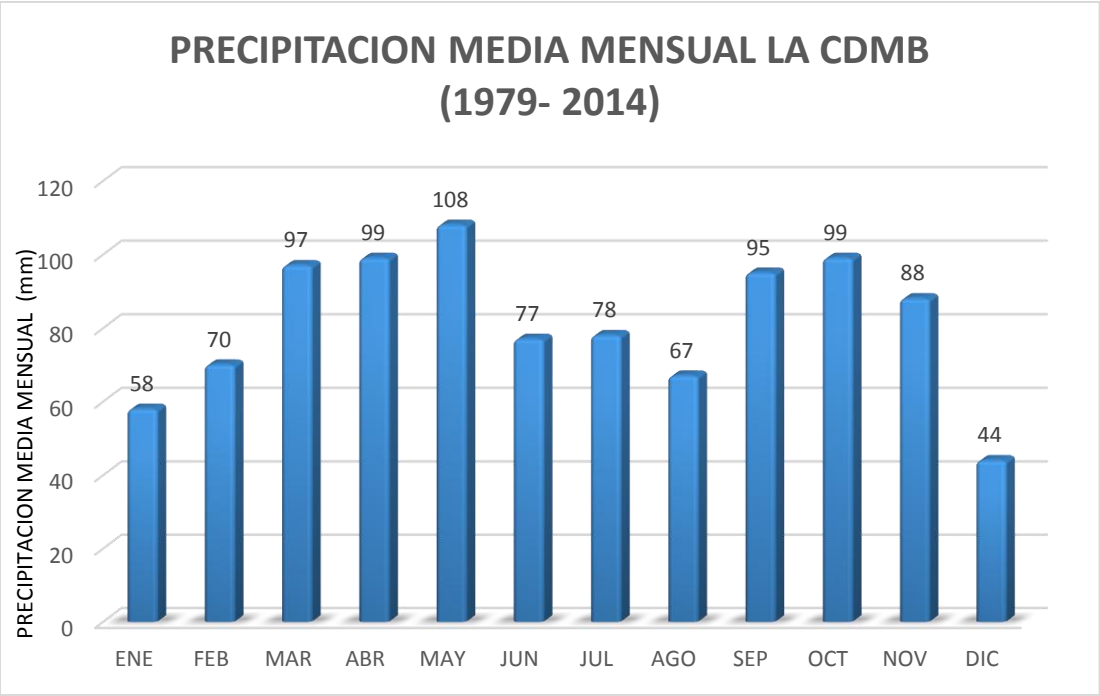


Figura 41. Precipitación Media mensual multianual estación Floresta (1978-2008)

A continuación, se muestra el Histograma de precipitación media anual porcentual de las estaciones analizadas en un radio de 10 Km del sector Nazareth-Tres Estrellas, Escarpa Sur entre Carreras 8 y 9 en la ciudad de Bucaramanga.

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

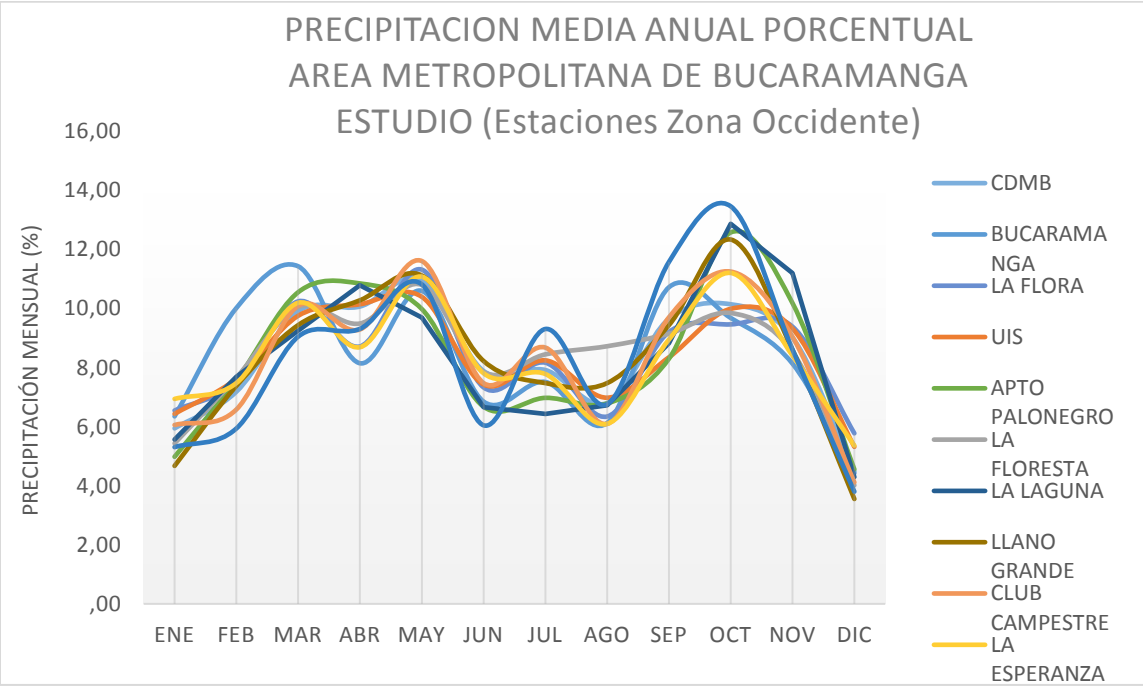


Figura 42. Histograma de precipitación media anual porcentual las estaciones analizadas.

7.7.1. Precipitación total anual

A continuación, se presentan las gráficas de precipitación anual de cada una de las estaciones de la zona occidental identificadas en un radio de 10 Km del sitio Nazareth-Tres Estrellas, Escarpa Sur entre Carreras 8 y 9.

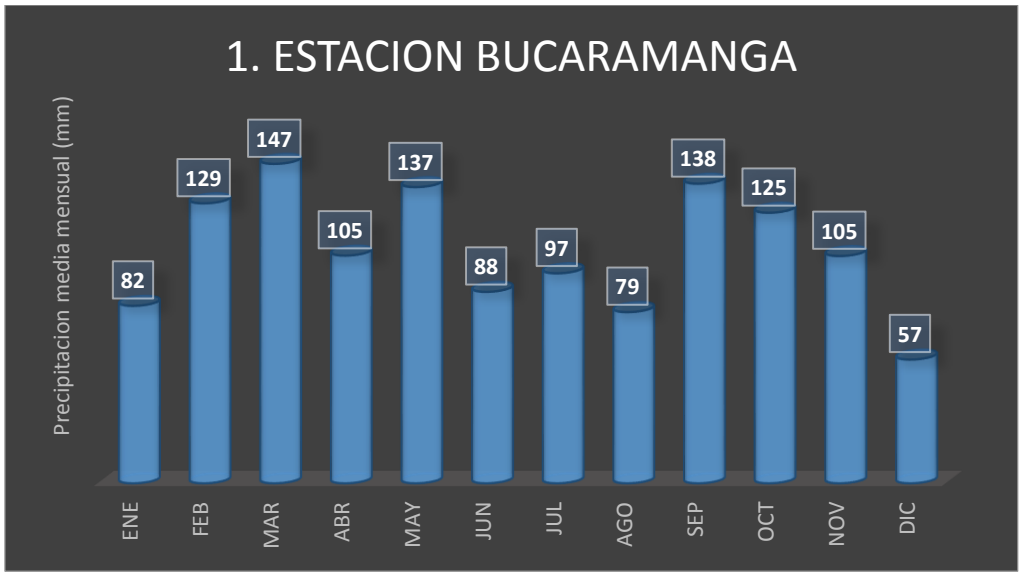


Figura 43. Precipitación anual Estación Bucaramanga



Figura 44**.** Precipitación anual Estación UIS.

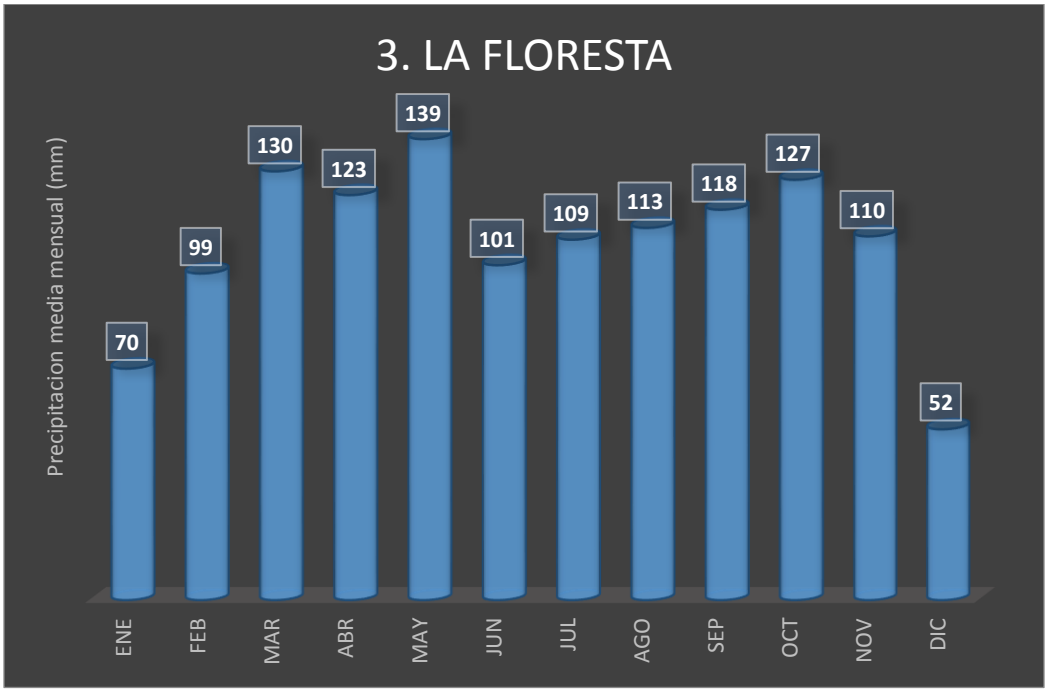


Figura 45**.** Precipitación anual Estación La Floresta.

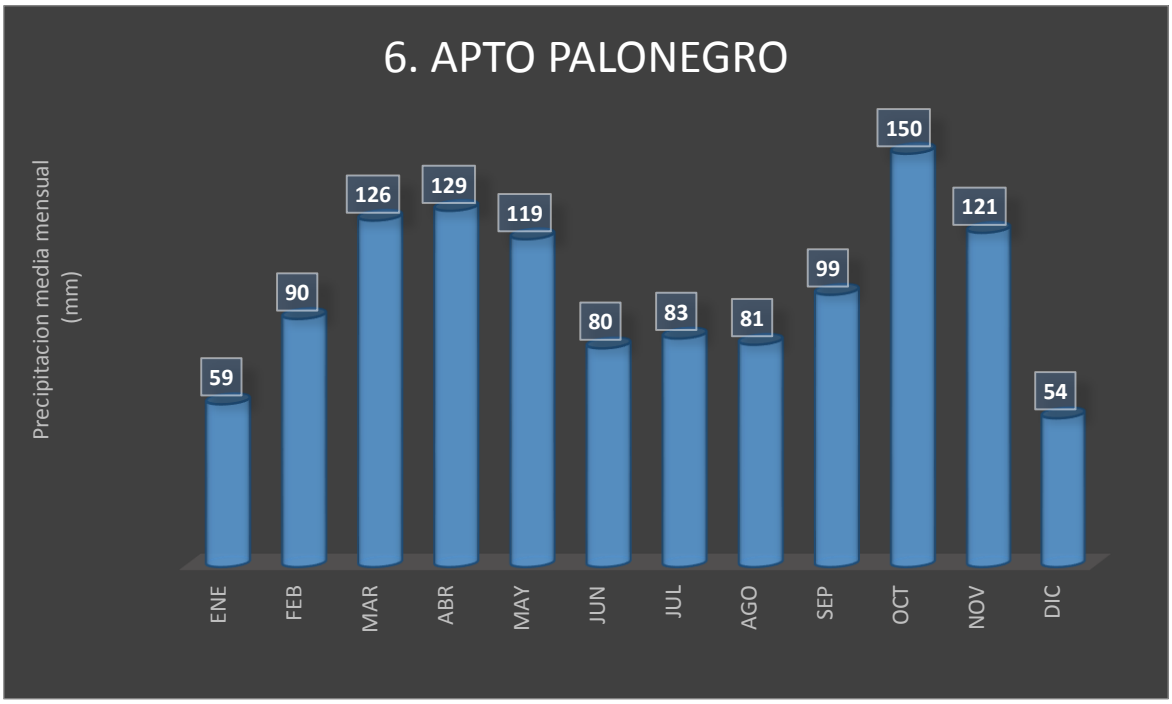


Figura 46**.** Precipitación anual Estación Apto Palonegro.

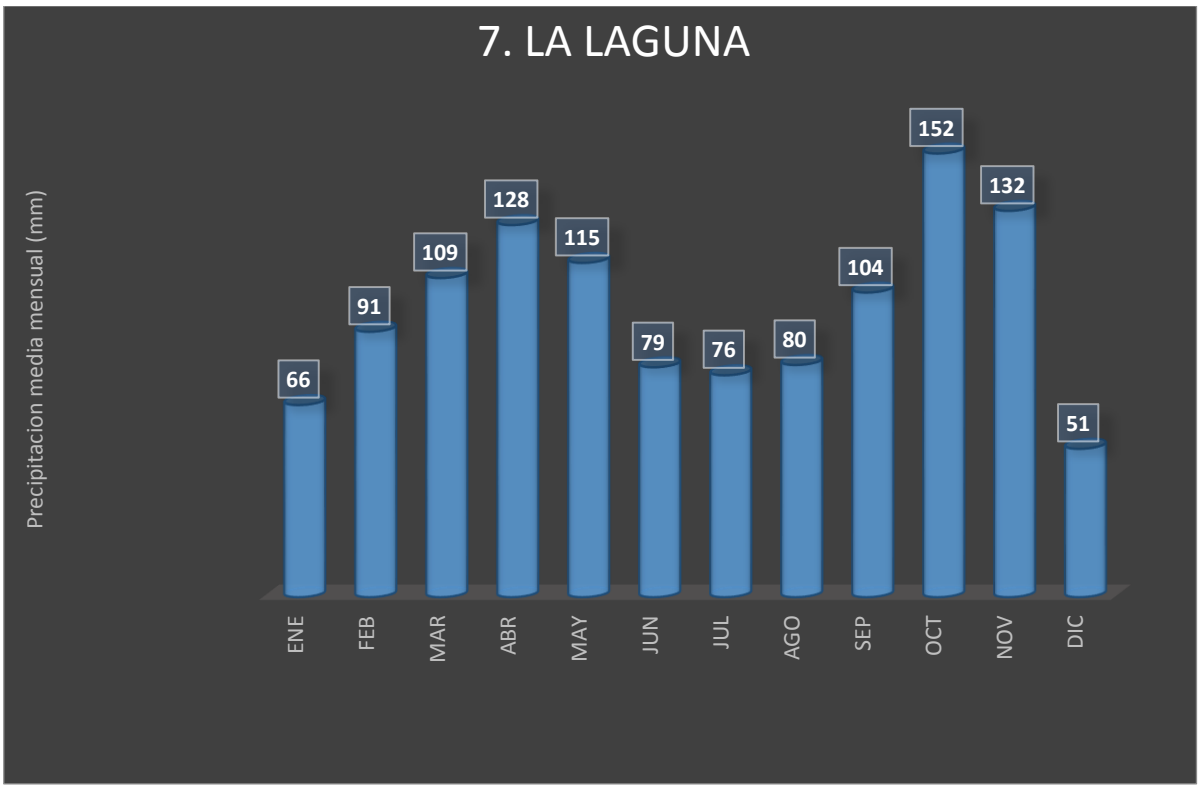


Figura 47**.** Precipitación anual Estación La Laguna.

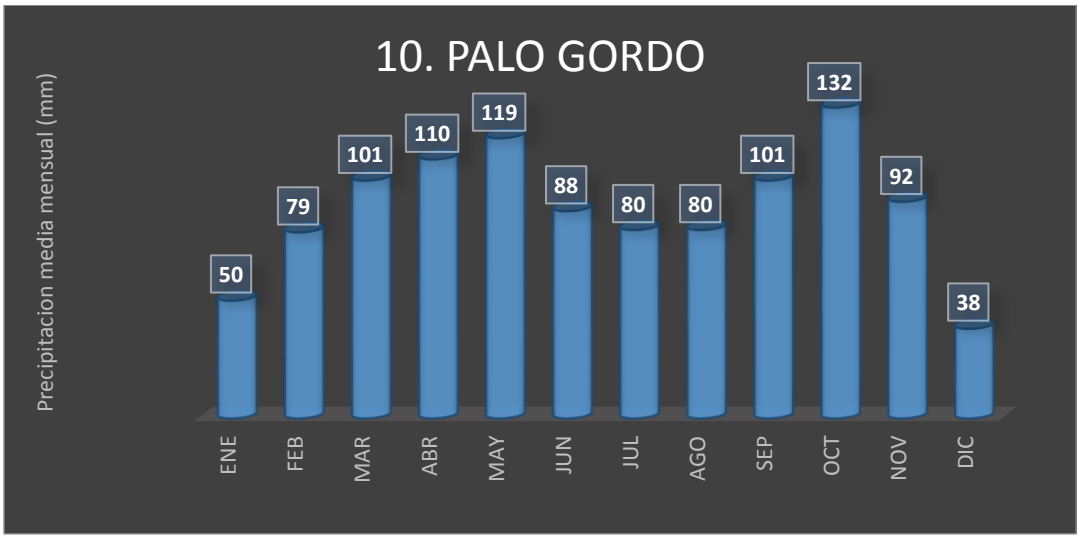


Figura 48**.** Precipitación anual Estación Palo Gordo

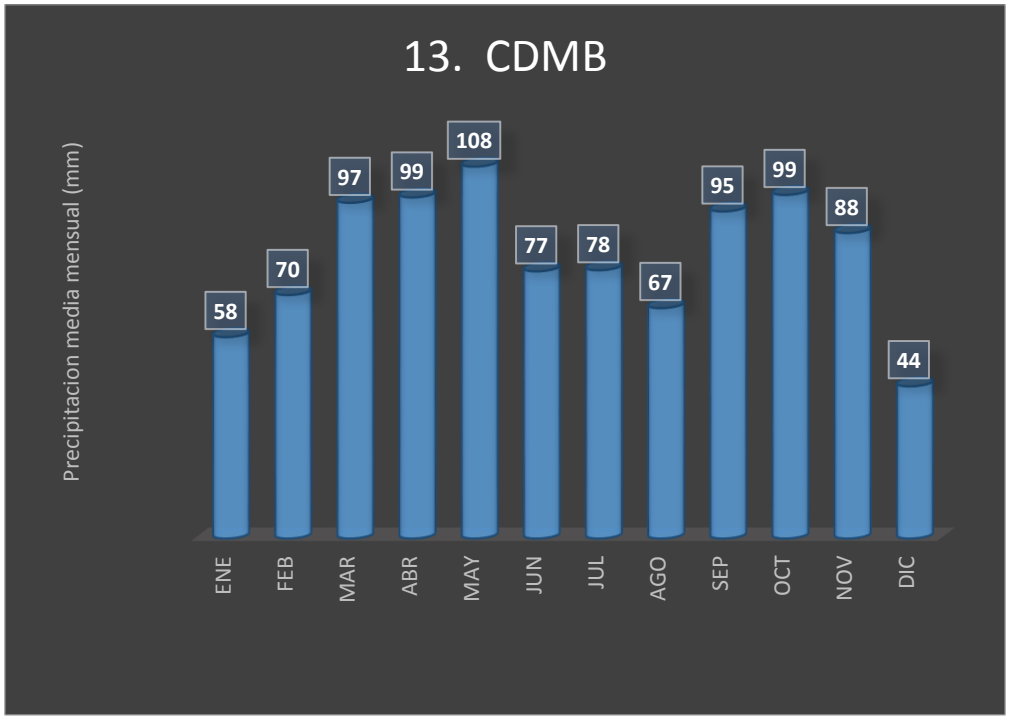


Figura 49**.** Precipitación anual Estación CDMB

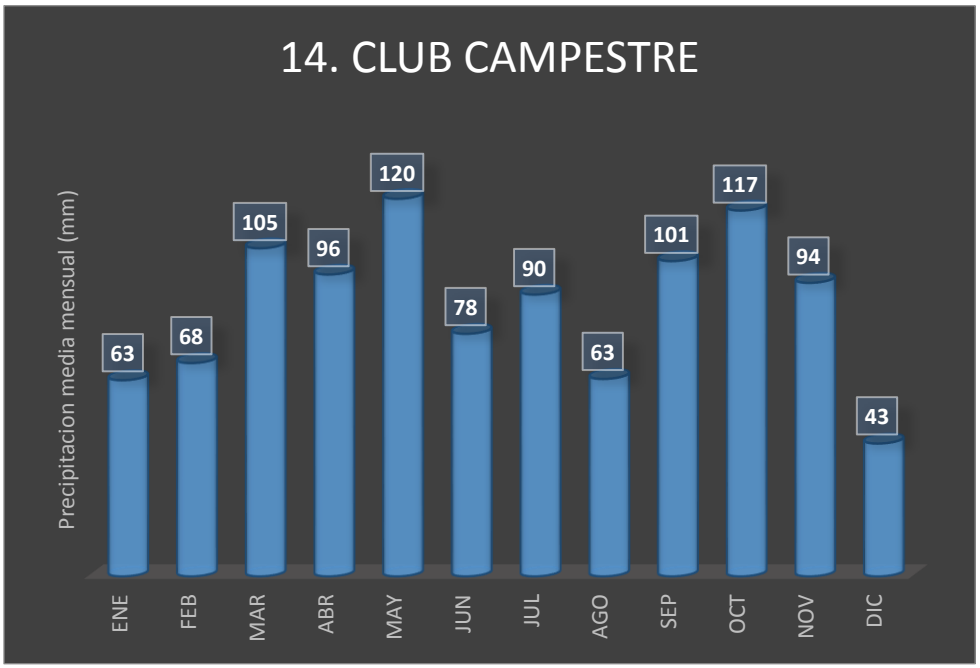


Figura 50. Precipitación anual Estación Club Campestre



Figura 51**.** Precipitación anual Estación La Esperanza.

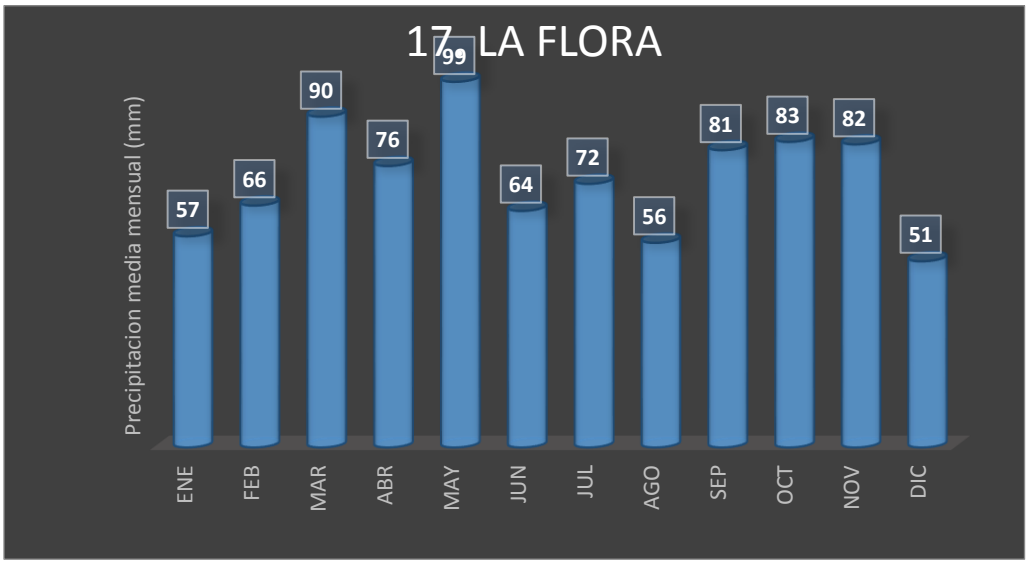


Figura 52**.** Precipitación anual Estación La Flora.

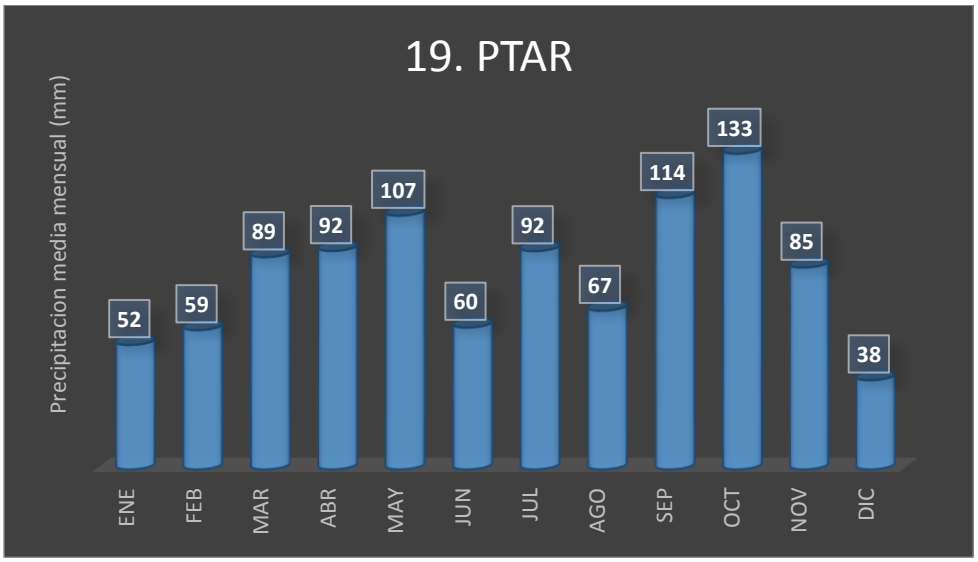


Figura 53. Precipitación anual Estación PTAR

7.7.2. Variación espacial de la precipitación total

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

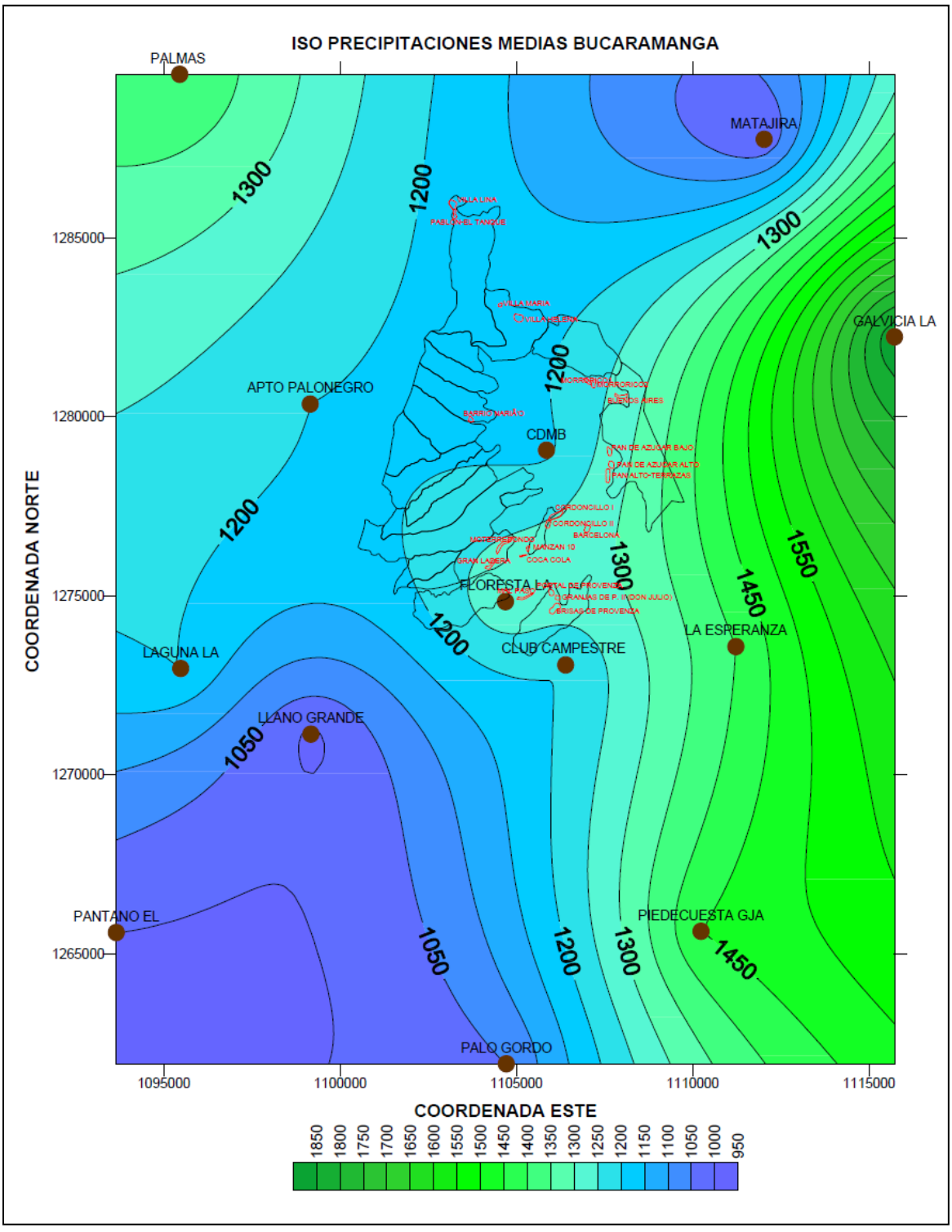


Figura 54. Curvas Isoyetas medias anuales con base en las estaciones seleccionadas (mm)

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

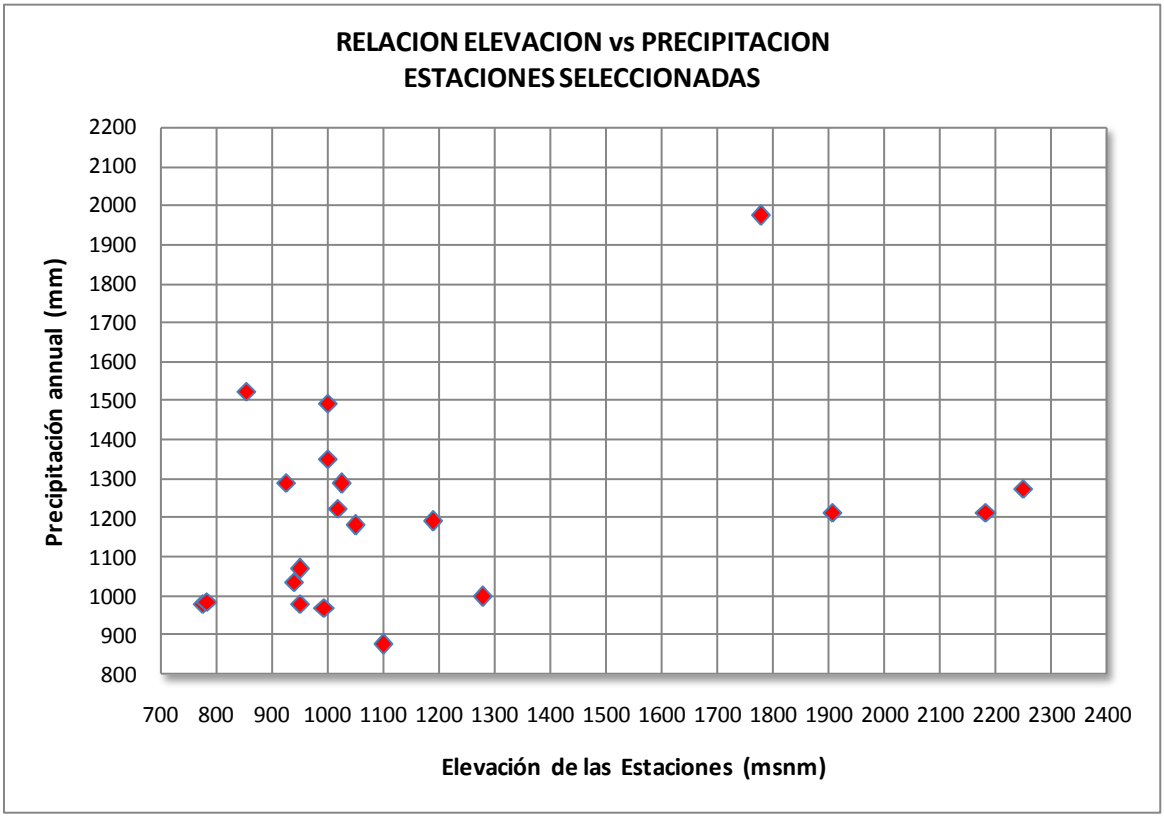


Figura 55. Relación de la elevación y precipitación estaciones de Bucaramanga

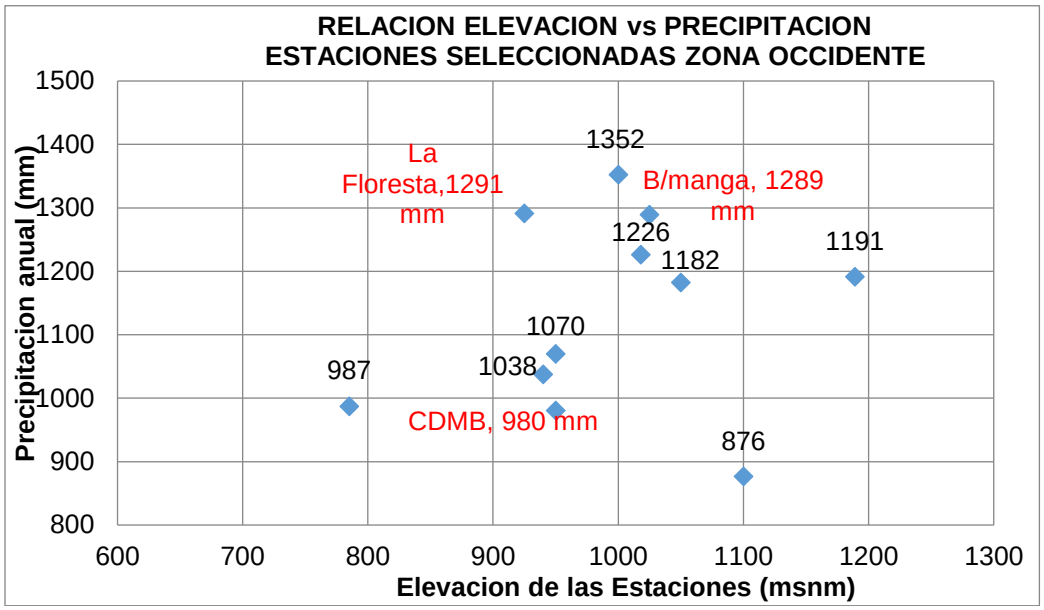


Figura 56. Relación de la elevación y precipitación de las estaciones en la zona Occidente

En particular para la zona occidental donde se encuentra el sitio Bucaramanga Nazareth-Tres Estrellas, Escarpa Sur entre Carreras 8 y 9 se observa la relación entre la precipitación y la elevación en el entorno.

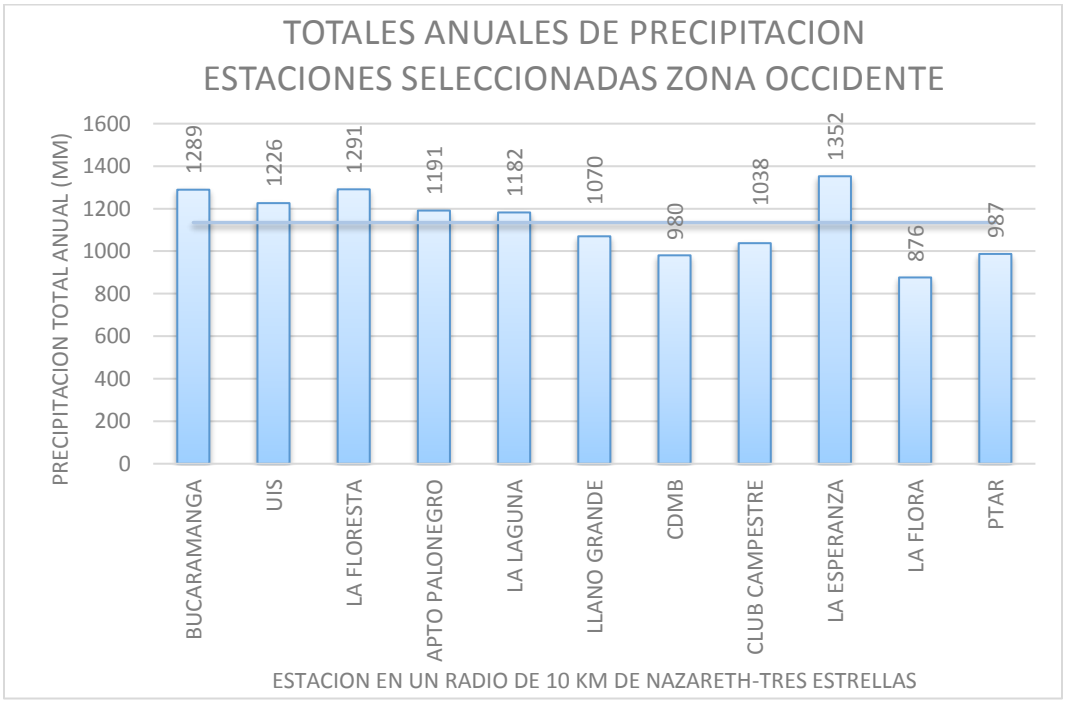


Figura 57. Valores totales anuales de precipitación estaciones en la zona Occidente

7.7.3. Precipitación máxima en 24 horas

Con relación a la precipitación máxima en 24 horas, fueron consultados y procesados los registros de cada una de las estaciones con el fin de determinar los valores máximos, el periodo de recurrencia de los mismos y su promedio estadístico. A continuación, se presenta el resultado de éste análisis para las estaciones próximas al sector Nazareth-Tres Estrellas, Escarpa Sur entre Carreras 8 y 9.

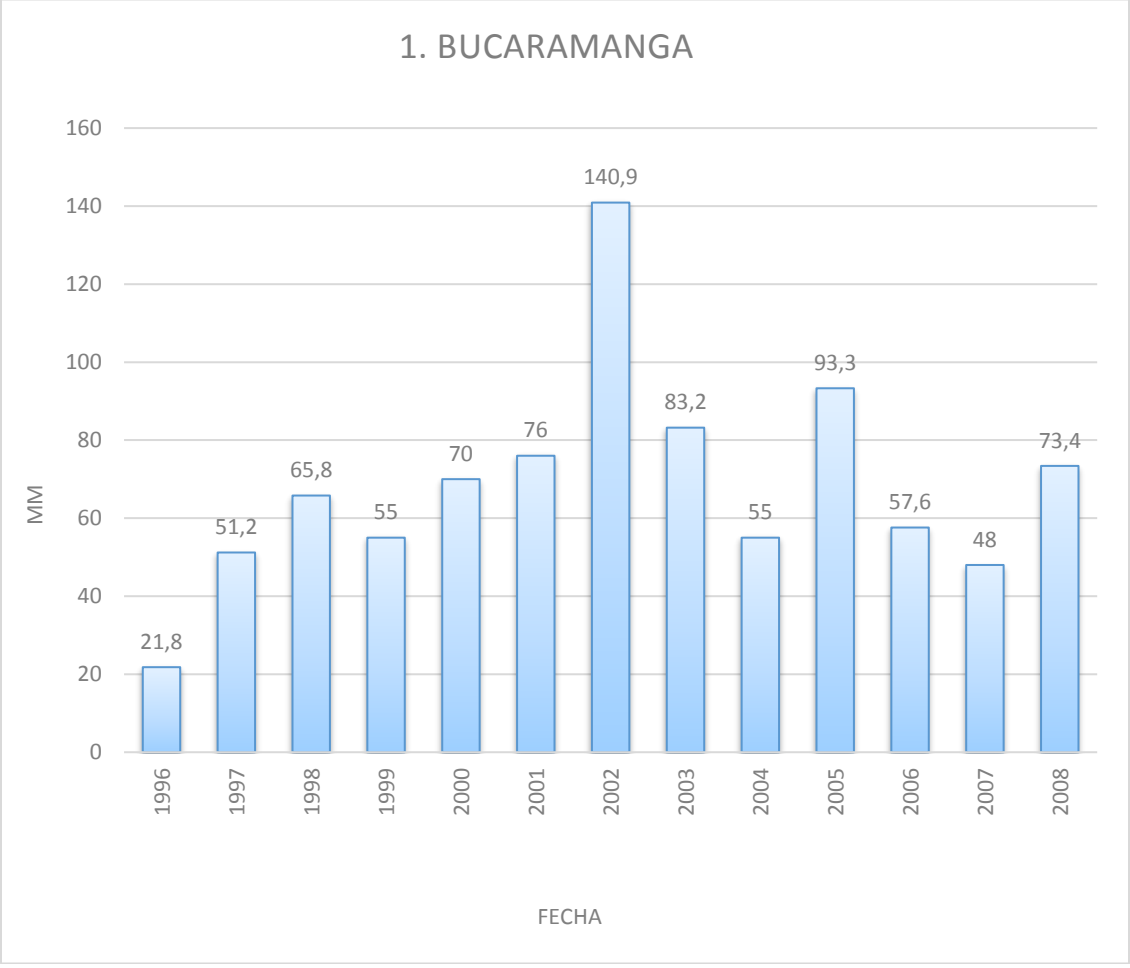


Figura 58. Precipitación máxima en 24 horas Estación Bucaramanga

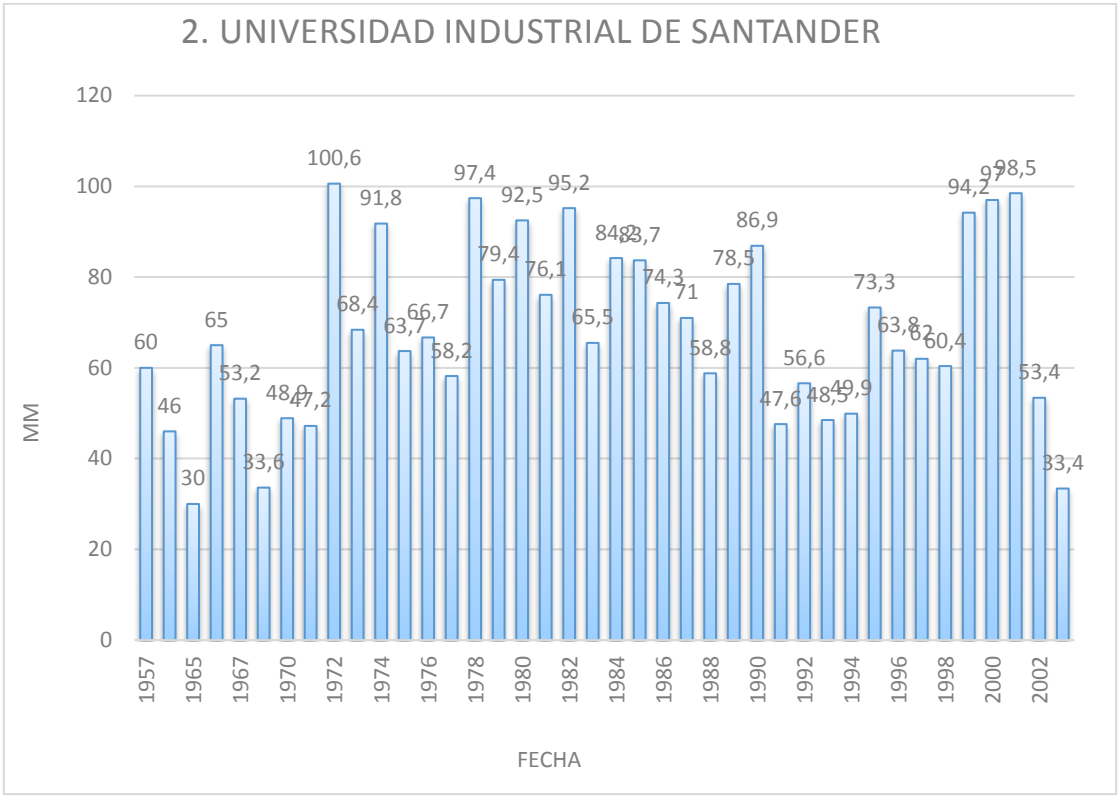


Figura 59**.** Precipitación máxima en 24 horas Estación UIS.

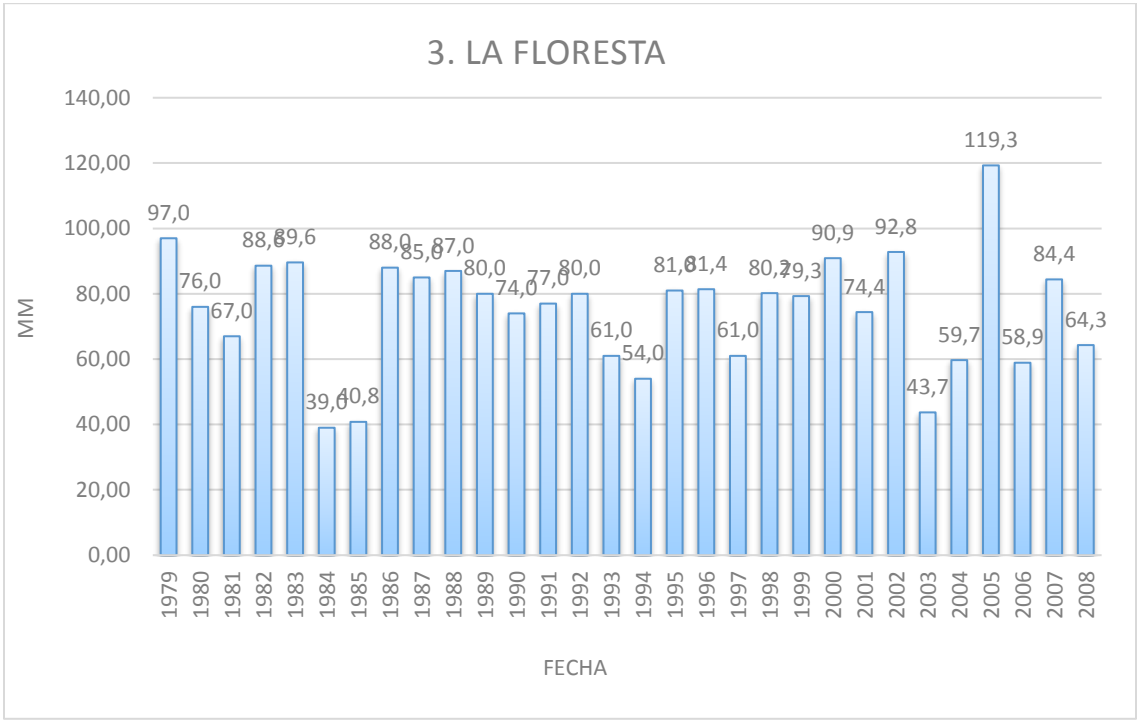


Figura 60**.** Precipitación máxima en 24 horas Estación La Floresta.

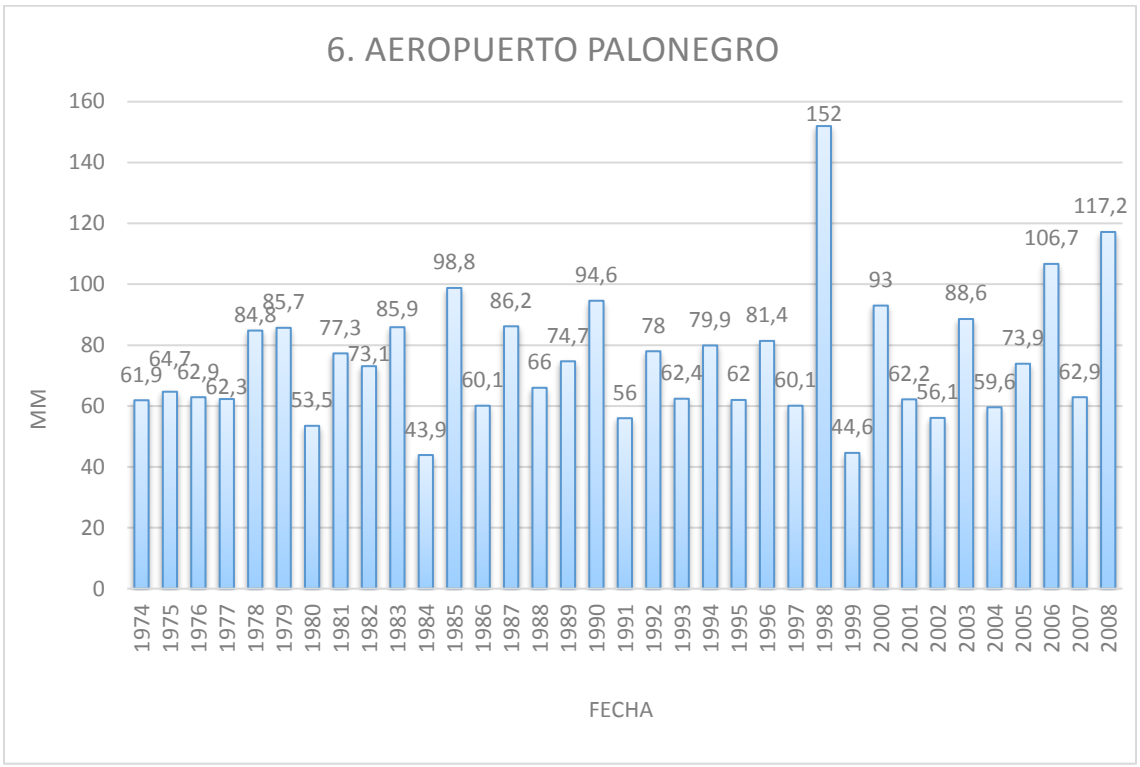


Figura 61 Precipitación máxima en 24 horas Estación Aeropuerto Palonegro.

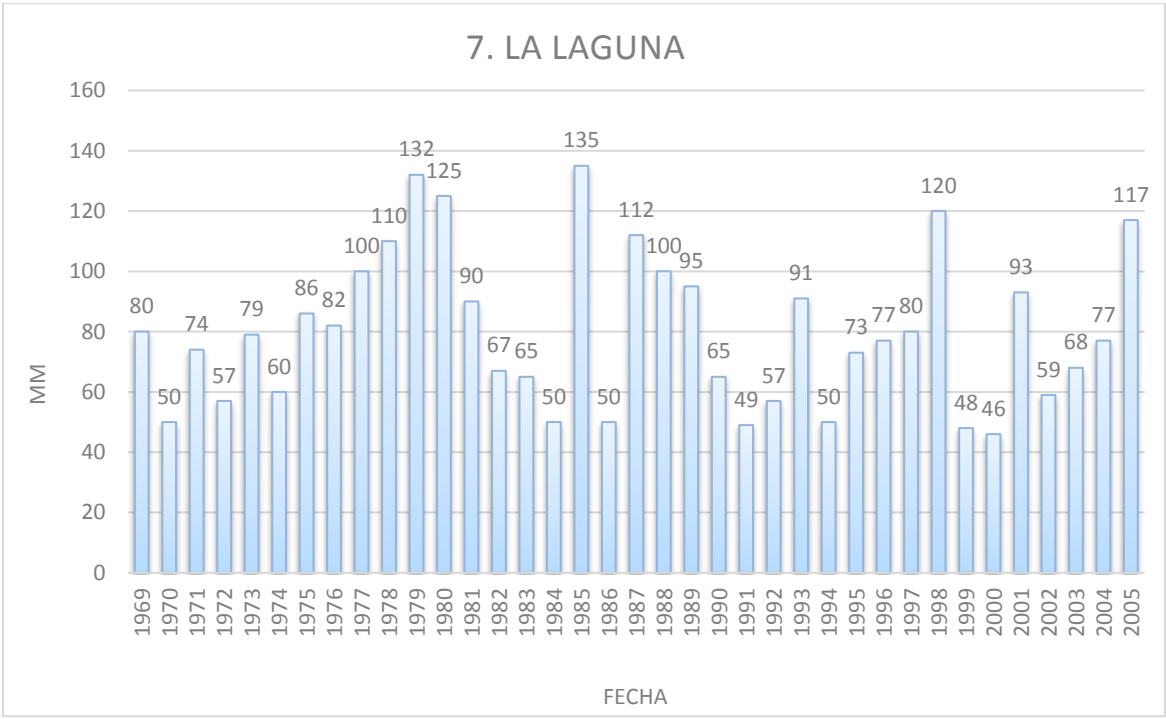


Figura 62. Precipitación máxima en 24 horas Estación La Laguna

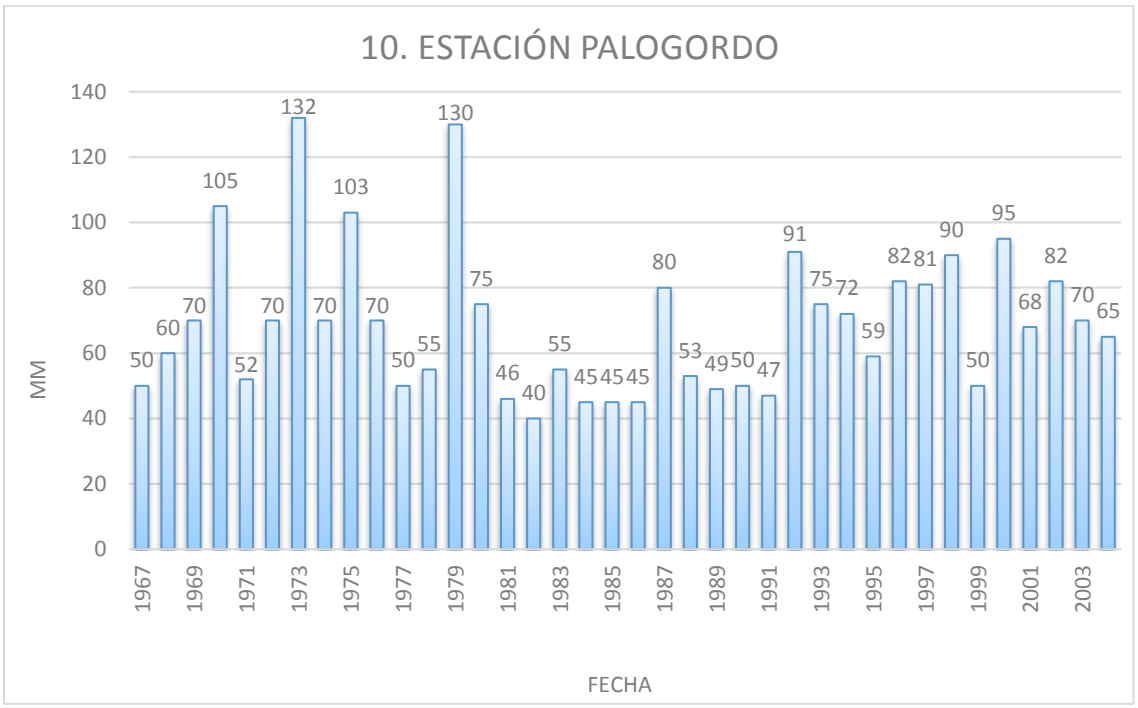


Figura 63. Precipitación máxima en 24 horas Estación Palogordo

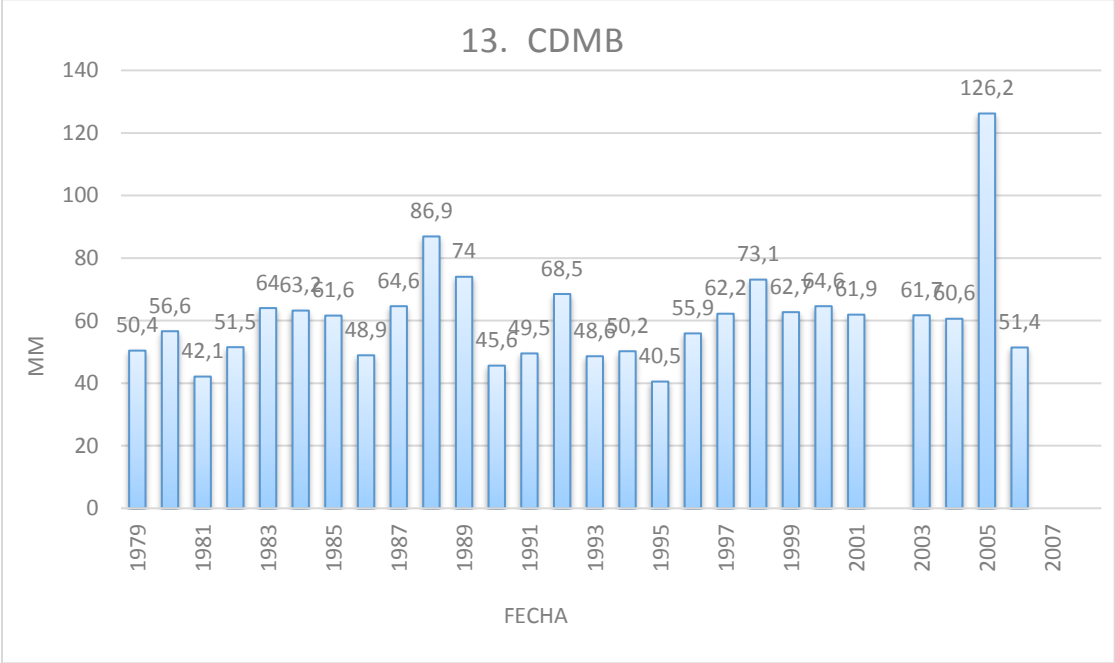


Figura 64. Precipitación máxima en 24 horas Estación CDMB

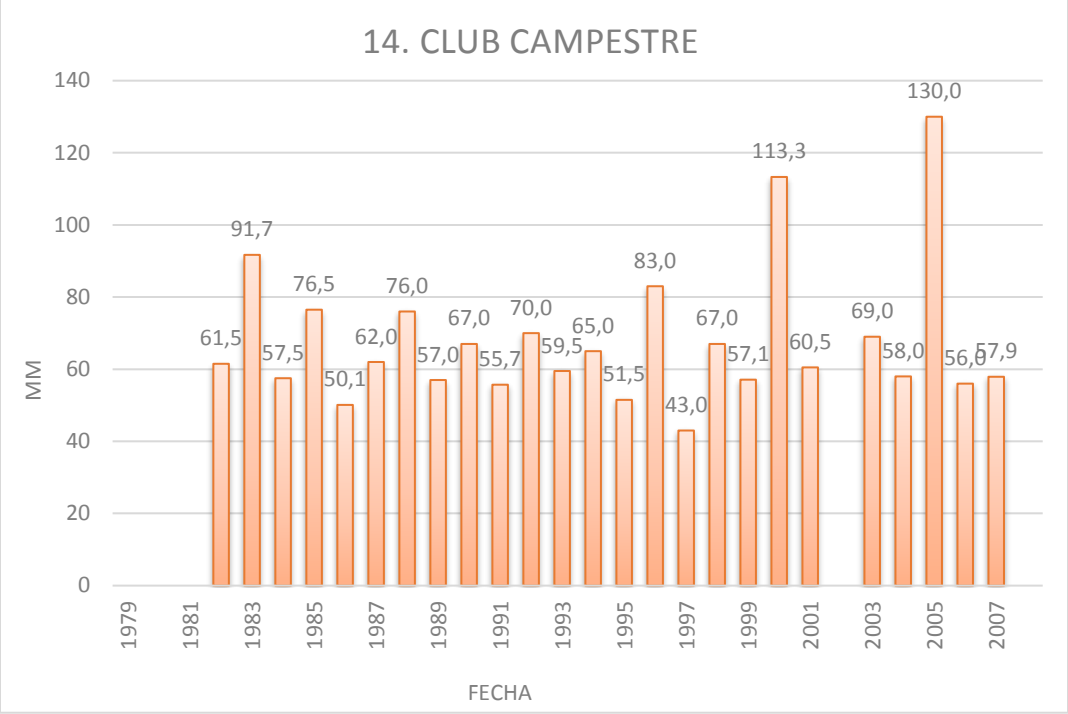


Figura 65. Precipitación máxima en 24 horas Estación Club Campestre

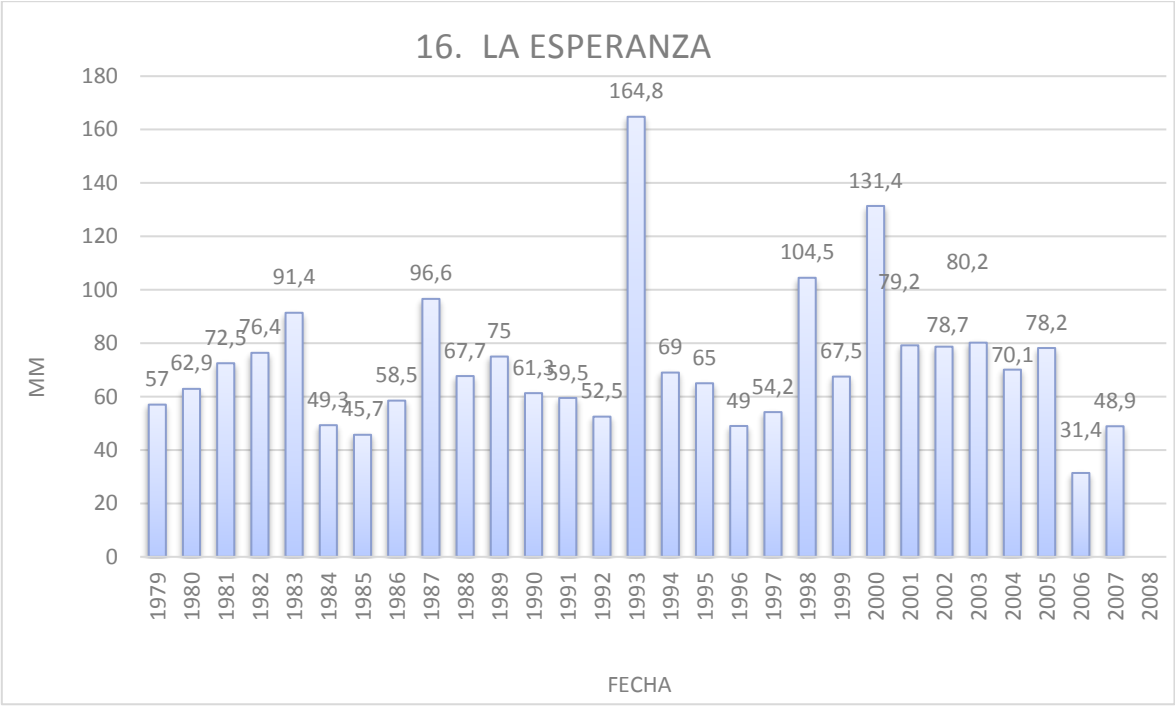


Figura 66. Precipitación máxima en 24 horas Estación La Esperanza

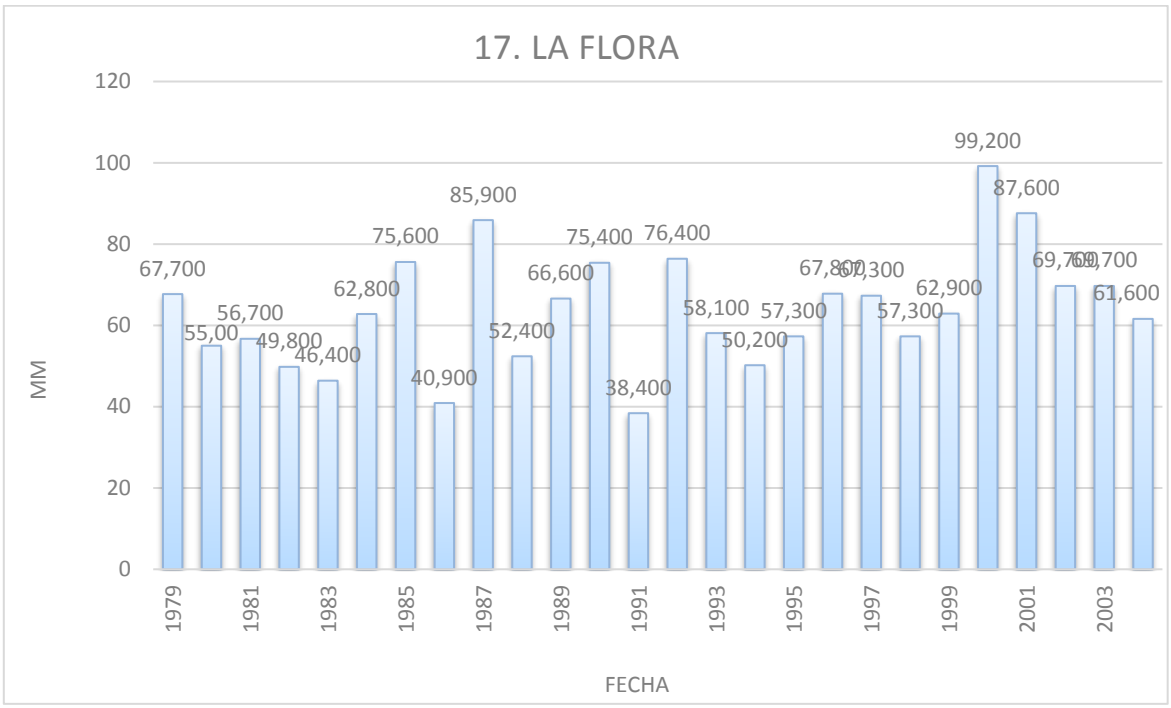


Figura 67. Precipitación máxima en 24 horas Estación La Flora

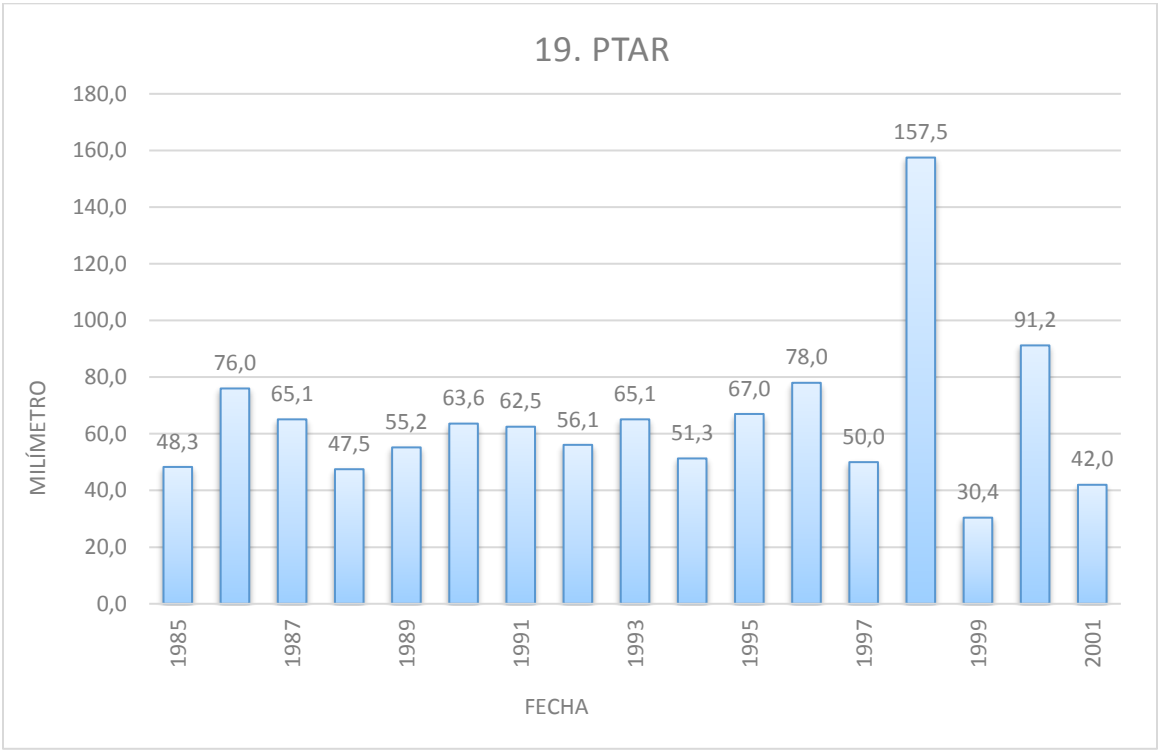


Figura 68. Precipitación máxima en 24 horas Estación PTAR

En la Tabla 11 se presenta el resumen del análisis efectuado con las series de valores de precipitaciones máximas en 24 horas.

Tabla 11. Valores máximos anuales, promedio, desviación y coeficiente de variación

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

La Tabla 12 muestra los valores de precipitación máximas para las estaciones ubicadas en la ciudad de Bucaramanga y de ella se concluye que los valores máximos de precipitación en 24 horas registrados han sido superiores a los 79.10 mm y no mayores de 182.00 mm. El periodo en el cual se han registrado los máximos en cada estación oscila entre 1969 y 2005. En promedio los valores de precipitación máxima en 24 horas se encuentran entre 39.56 mm y 95.00 mm y los

coeficientes de variación no superan el 0.23. Lo anterior permite decir que las series pueden ser empleadas para el análisis en Bucaramanga.

Tabla 12. Valores de precipitación máxima en las estaciones de Bucaramanga

	MAXIMO	MINIMO
MAXIMO ANUAL	182	79,1
AÑO	2005	1969
PROMEDIO	95	39,56
DESVIACION	28,21	11,21
COEF. VARIACION	0,23	0,13

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

Tabla 13. Valores de precipitación máxima estaciones Zona occidente de Bucaramanga

ESTACION	NOMBRE	MAXIMA ANUAL	AÑO	PROMEDIO	DESVIACION	COEF. DESVIACION
1	BUCARAMANGA	140,9	2002	68,6	28,2	0,2
2	UIS	100,6	1972	67,9	19,4	0,19
3	LA FLORESTA	119,3	2005	75,2	17,7	0,15
6	ARP. PALONEGRO	152	1998	75,2	21,5	0,14
7	LA LAGUNA	135	1985	80,2	25,6	0,19
10	PALOGORDO	150	2005	71,4	25	0,17
13	CDMB	86,9	1988	58,6	11,2	0,13
14	CLUB CAMPESTRE	130	2005	67,8	19,6	0,15
16	LA ESPERANZA	164,8	1993	72,4	26,6	0,16
17	LA FLORA	99,2	2000	63,8	14,3	0,14
19	PTAR	157,5	1998	65,1	27,9	0,18
MAXIMO		164,8	2005	80,2	28,21	0,2
MINIMO		86,9	1972	58,6	11,21	0,13

La Tabla 13 indica que los valores máximos de precipitación en 24 horas registrados han sido superiores a los 86.90 mm y no mayores de 164.80 mm. El periodo en el cual se han registrado los máximos en cada estación oscila entre 1972 y 2005. En

promedio los valores de precipitación máxima en 24 horas se encuentran entre 58.57 mm y 80.24 mm y los coeficientes de variación varían entre 0.13 y 0.2.

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

De acuerdo con la Tabla 14, las máximas precipitaciones diarias en la estación La Floresta son de 119.3 mm, estadísticamente pueden alcanzar los 130.57 mm para un periodo de recurrencia de 100 años y la intensidad para dicha lluvia en un aguacero de 30 minutos de duración se estima en 261.14 mm/h como se presenta en la figura.

Tabla 14. Valores de precipitación máxima período de retorno de 100 años

N°	ENTIDAD	NOMBRE ESTACION	MUNICIPIO	TIPO	Maxima Pmax 24 h registrada (mm)	Pmax 24 h para TR=100 años (mm)	intensidad de Pmax 24 h TR=100 años y duracion 30 min (mm)
1	IDEAM	BUCARAMANGA IDEAM	BUCARAMANGA	PG	140,9	157,02	314,05
2	IDEAM	UNIV IND SANTANDER	BUCARAMANGA	CP	100	128,83	257,66
3	IDEAM	FLORESTA	FLORIDABLANCA	PG	119,3	130,57	261,14
4	IDEAM	GALVICIA LA	FLORIDABLANCA	PM	124	143,6	287,2
5	IDEAM	PIEDECUESTA GJA	PIEDECUESTA	PG	133,5	145,66	291,32
6	IDEAM	APTO PALONEGRO	LEBRIJA	SP	152	142,78	285,56
7	IDEAM	LAGUNA LA	LEBRIJA	PM	135	160,57	321,13
8	IDEAM	PALMAS	LEBRIJA	PM	140	170,74	341,47
9	IDEAM	LLANO GRANDE	GIRON	CO	182	152,46	304,93
10	IDEAM	PALO GORDO	GIRON	PM	150	149,88	299,76
11	IDEAM	PANTANO EL	GIRON	PM	132	146,49	292,98
12	IDEAM	MATAJIRA	MATANZA	PM	115	106,2	212,41
13	CDMB	CDMB	BUCARAMANGA	PG	86,9	93,72	187,45

14	CDMB	CLUB CAMPESTRE	FLORIDABLANCA	PG	130	128,93	257,86
15	CDMB	EL RASGON	PIEDECUESTA	CO	79,1	92,17	184,34
16	CDMB	LA ESPERANZA	FLORIDABLANCA	CO	164,8	155,94	311,88
17	CDMB	LA FLORA	BUCARAMANGA	PG	99,2	108,58	217,16
18	CDMB	LA MARIANA	TONA	PM	86,4	99,21	198,41
19	CDMB	PTAR	GIRON	CO	157,5	152,58	305,16
20	CDMB	SEVILLA	PIEDECUESTA	PM	85,7	100,34	200,67

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

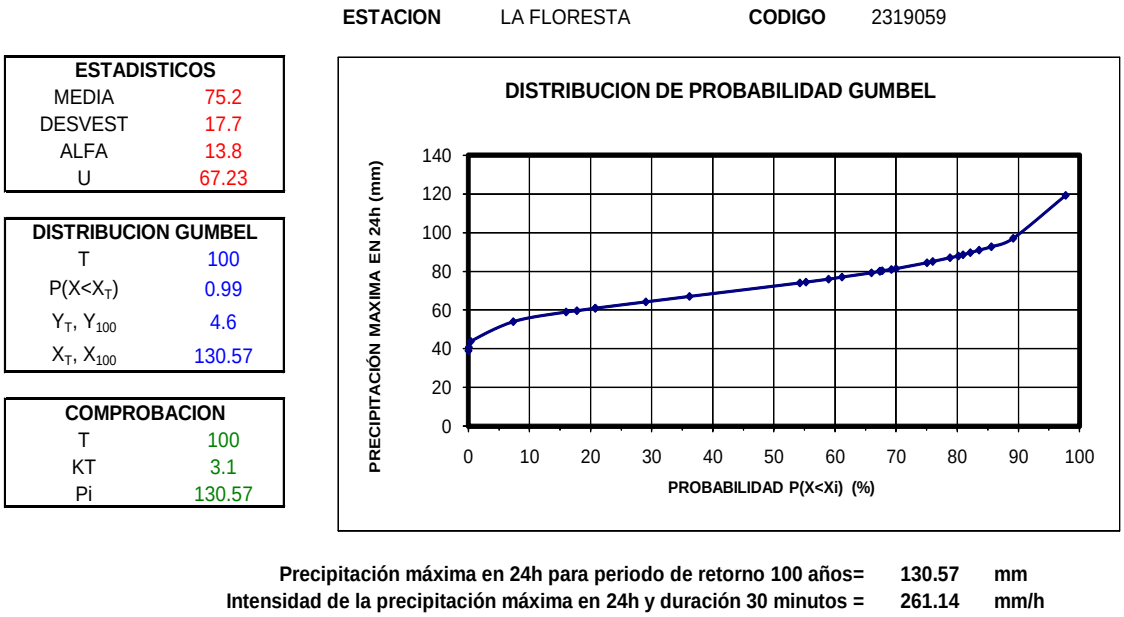


Figura 69.Distribución Gumbel para máximos de precipitación en 24 horas

7.7.4. Lluvias de corta duración

Generalmente las precipitaciones son consideradas uno de los aspectos más influyentes en la estabilidad de las laderas al punto de considerarlas como factor

detonante, bien sea por causa del volumen acumulado en largos periodos de tiempo o por su intensidad comúnmente asociada a cortas duraciones.

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

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

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

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

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

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

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

7.7.5. Curvas IDF para el sector Nazareth-Tres Estrellas, Escarpa Sur entre Carreras 8 y 9

Como se mencionó anteriormente, para hacer comparativo y representativo el análisis regional dentro del contexto del presente estudio, se elaboraron curvas IDF sintéticas empleando la metodología de Bell (1969), ampliamente utilizada en otros

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

estudios en nuestro medio y que permite obtener, en comparación con otros métodos, curvas IDF con distribución adecuada a las condiciones del terreno sin subestimar los efectos de la precipitación de corta duración (entre 0 y 180 minutos) para diferentes periodos de recurrencia. Este método se basa en los registros de precipitación máxima en 24 horas y los valores estadísticos obtenidos de la serie de valores anuales.

Las curvas IDF obtenidas fueron calibradas con la IDF oficial del IDEAM para la Estación UIS (2319504). Para el caso de estudio particular en el Sector Nazareth-Tres Estrellas, Escarpa Sur entre Carreras 8 y 9, se recomienda emplear la curva IDF de la estación más cercana, en este caso la Estación CDMB la cual se presenta en la Tabla 15 y la figura:

Tabla 15. Intensidades máximas. Estación CDMB

CURVAS DE INTENSIDAD-DURACION-FRECUENCIA
13. CDMB

Pmax 24h:	58.6 mm	Promedio de las máximas anuales
Smax 24 horas:	11.2 mm	Desviación standard de la serie.
Relación Cp:	0.63	Relación entre horaria y diaria.

Periodo de Retorno TR (años)	Intensidades máximas en mm/hora para duraciones entre 10 y 180 minutos						
	10	20	30	60	90	120	180
2	67.9	55.2	47.7	35.9	29.9	26.1	21.5
5	82.5	67.1	57.9	43.6	36.3	31.8	26.2
10	92.2	74.9	64.7	48.6	40.6	35.5	29.2
25	104.4	84.9	73.3	55.1	45.9	40.2	33.1
50	113.4	92.2	79.6	59.9	49.9	43.7	36.0
100	122.4	99.5	85.9	64.6	53.9	47.1	38.8

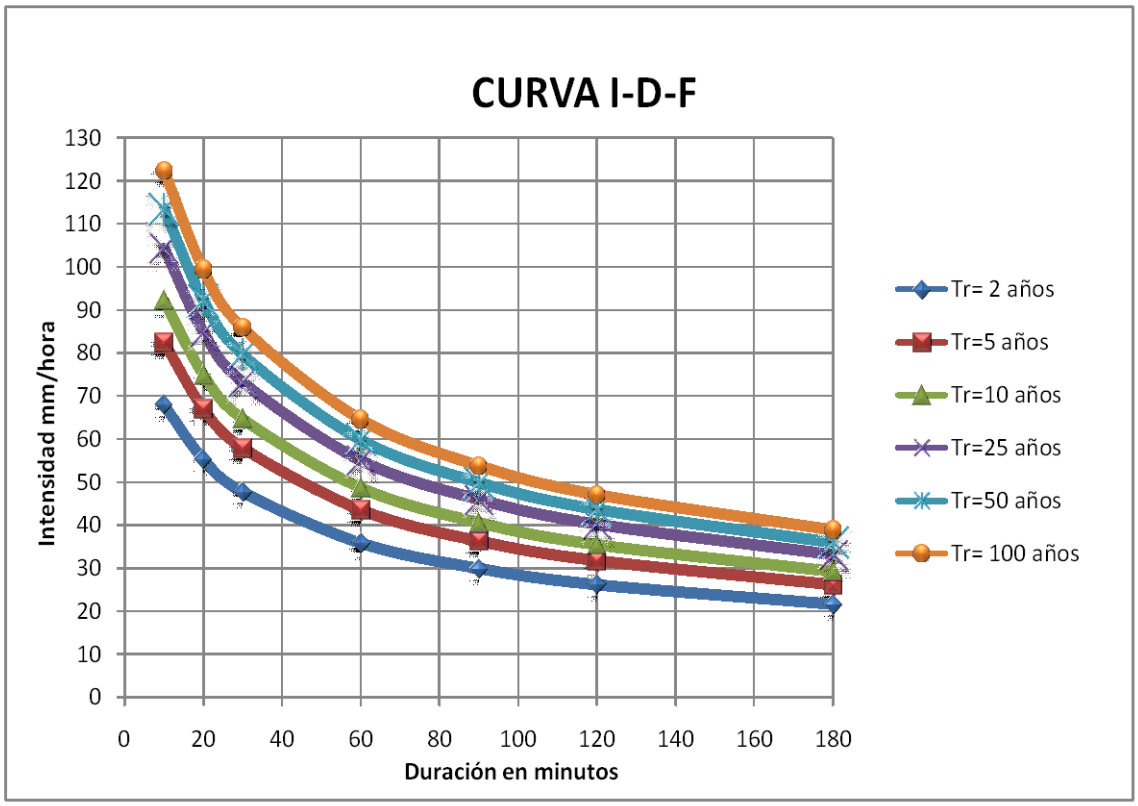


Figura 70. Curvas IDF Sintéticas para la Estación CDMB – Método de Bell

7.7.6. Lluvias acumuladas para el sector de Nazareth-Tres Estrellas, Escarpa Sur entre Carreras 8 y 9

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

Estas curvas para la estación CDMB se observan a continuación:

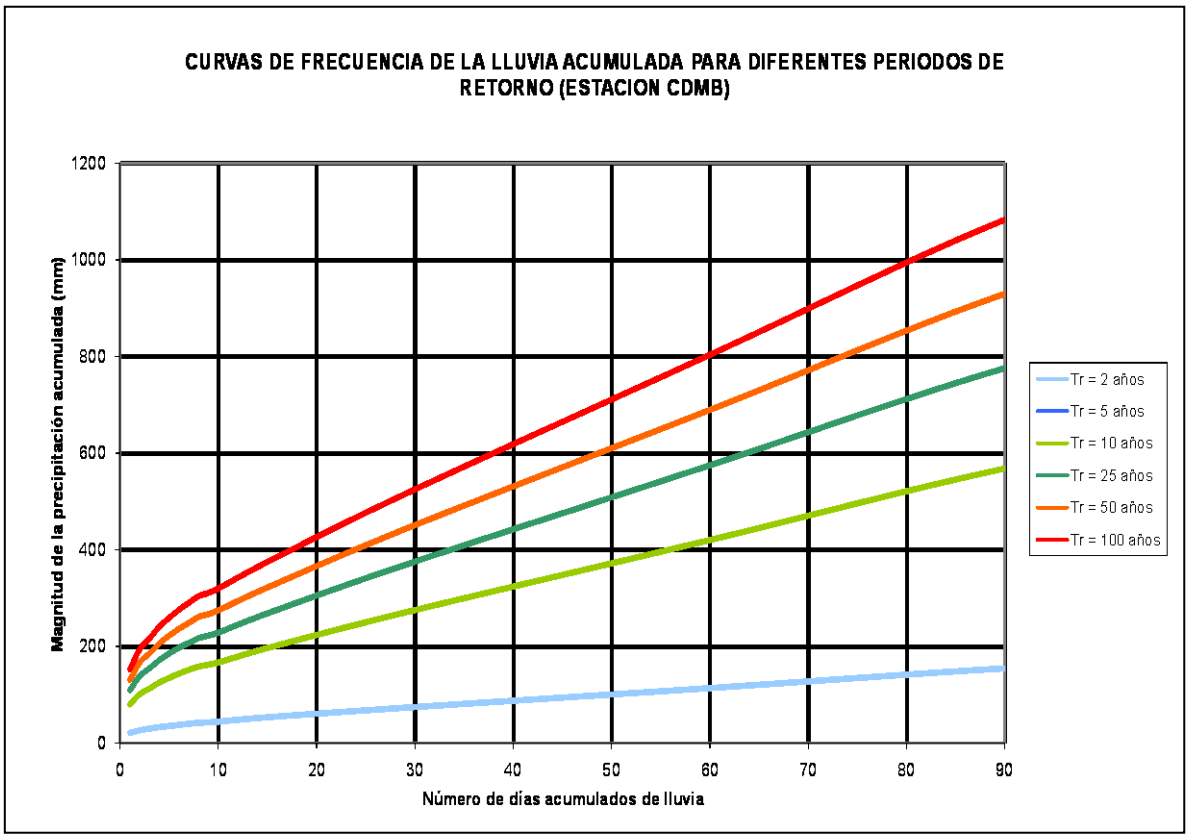


Figura 71**.** Curva frecuencia lluvia acumulada diferentes periodos retorno

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

Tabla 16. Resultados curva de frecuencia lluvia acumulada Estación CDMB.

PERIODO DE	Valor de precipitacion para el numero de dias acumulados indicado (mm)																
RETORNO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	30	60	90	120	240	365
Tr=2 años	21,1	26,6	30,2	33,1	35,8	38,1	40,2	42,2	43,3	44,9	53,8	74,7	113,8	155,1	186,3	319,7	452,4
Tr=5 años	56,3	71,5	80,2	88,8	95,7	101,8	107,3	112,3	115	118,4	139,8	195,3	298,4	403,5	484,3	827,7	1165,9
Tr=10 años	79,6	101,2	113,3	125,7	135,4	144,1	151,7	158,8	162,4	167,2	196,7	275,2	420,7	568	681,6	1164	1638,4
Tr=25 años	109,1	138,7	155,1	172,3	185,6	197,4	207,7	217,5	222,4	228,7	268,6	376,1	575,1	775,9	930,9	1589	2235,4
Tr=50 años	130,9	166,6	186,2	206,9	222,8	237	249,3	261	266,9	274,4	322	451	689,7	930,1	1115,9	1904,3	2678,3
Tr=100 años	152,6	194,2	217	241,2	259,7	276,3	290,6	304,3	311	319,7	374,9	525,3	803,5	1083,1	1299,5	2217,2	3117,8

7.8. CALCULO DE LA ESCORRENTIA

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

Teniendo en cuenta que dentro de la solución de estabilidad propuesta en el sector deberá darse manejo a la escorrentía producida, es de anotar que el coeficiente de escorrentía en zonas urbanas es tendiente a uno en la medida en que el urbanismo se consolida. En este sector en particular se mantienen aún características del terreno natural sobre toda la zona límite del drenaje principal que rodea todo el sector de estudio, ya que la intervención constructiva solo se concentró en el lugar aledaño a la calle 46 y 47, con una longitud de invasión del talud en una franja inferior a 50,0 m.

Para estimar los caudales de escorrentía a manejar en las obras, se emplea dentro del análisis hidrológico el Método Racional[4] dado que se aplica en cuencas homogéneas pequeñas, naturales o urbanas, y preferiblemente en extensiones menores a las 10 hectáreas como en éste caso.

Se representa con la siguiente expresión dimensional:

$$Q = \frac{C * I * A}{3.6}$$

Donde

Q es el caudal pico de la escorrentía que se genera a la salida de una cuenca o área vertiente en m^3/s

A es el área que concentra la escorrentía en km^2.

[4] Chow, Ven Te, Open-Channel Hydraulics, 1960.

I es la intensidad considerada constante en mm/h que tiene el aguacero de duración igual al tiempo de concentración de la cuenca.

C es el coeficiente de escorrentía; su valor está comprendido entre cero y uno, y depende de la morfometría de la cuenca y de su cobertura.

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

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

La aplicación del Método Racional induce a sobreestimar los caudales de creciente[5] y por esta razón Silva (1995) no recomienda su uso en cuencas mayores de 1 km^2.

De las imágenes presentadas dentro de éste informe, se estima teniendo en cuenta la cobertura actual del terreno, que el coeficiente de escorrentía (conforme a la Tabla 17Tabla 17**. Coeficientes de escorrentía.**), puede estar entre valores de 0.25 y 0.40, como ya se mencionó, dada la ocupación del terreno con viviendas, ya que etas se ubican solo en la parte alta de la ladera, mientras que en las cercanías de la confluencia del drenaje natural se encuentra altamente revegetalizado, y se encuentra en buenas condiciones, es decir no se evidencias problemas de erosión.

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

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

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

Tabla 17. Coeficientes de escorrentía.

Type of Drainage Area		Runoff Coefficient, C*
Business:		
	Downtown areas	0,70-0,95
	Neighborhood areas	0,50-0,70
Residential:		
	Single-family areas	0,30-0,50
	Multi-units, detached	0,40-0,60
	Multi-units, attached	0,60-0,75
	Suburban	0,25-0,40
	Apartment Dwelling areas	0,50-0,70
Industrial:		
	Light areas	0,50-0,80
	Heavy areas	0,60-0,90
Parks, Cementeries		0,10-0,25
Play grounds		0,20-0,40
Railroad yard areas		0,20-0,40
Unimproved Areas		0,10-0,30
Lawns:		
	Sandy soil, flat, 2%	0,05-0,10
	Sandy soil, average, 2% - 7%	0,10-0,15
	Sandy soil, sleep, 7%	0,15-0,20
	Heavy soil, Fiat, 2%	0,13-0,17
	Heavy soil, average, 2% - 7%	0,18-0,22
	Heavy soil, sleep, 7%	0,25-0,35
Streets:		
	Asphaltic	0,70-0,95
	Concrete	0,80-0,95
	Brick	0,70-0,85
Drives and Walks		0,75-0,85
Roofs		0,75-0,95
*Higher values are usually appropriate for steeply aloped areas and longer return periods because infoltration and other losses have a proportionally smalter effect on runoff in these cases		

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

- **ECUACIÓN DE KIRPICH (1940)**

$$t_c = 60\left(\frac{0.06628\,L^{0.77}}{S^{0.385}}\right)$$

Donde:

tc = tiempo de concentración(min.)

L = longitud del rio desde aguas arriba hasta la salida (km.)

S = pendiente promedio de la cuenca (m/m.)

- **FÓRMULA DE FEDERAL AVIATION AGENCY (1970)**

$$t_c = 3.26036\,\frac{(1.1 - C)L^{0.50}}{S^{0.333}}$$

Donde:

tc = tiempo de concentración, min.

C= coeficiente de escorrentía de método racional ver Tabla 19

L= longitud del flujo superficial, m

S = pendiente de la superficie, %.

Tabla 18. Calculo del tiempo de concentración Tc

DATOS DE LA MICROCUENCA	UNIDAD	RESULTADOS
AREA	Km²	1,131
COTA SUP.	msnm	937
COTA INF.	msnm	659
LOG. CAUCE	km	2,31
COEF. DE ESCORRENTIA		0,25
TC KIRPICH	min	17,01
TC Aviaton Agence	**min**	**58,17**
TIEMPO DE CONCENTRACION	min	17,14
PENDIENTE	m/km	120,35
AREA	Ha	113,1

Como se observa, el tiempo de concentración es mayor a los 15 minutos, luego las intensidades máximas de precipitación conforme las curvas IDF se muestra en la Tabla 19:

Tabla 19. Intensidades máximas para la Estación La Floresta.

Período de Retorno	**Intensidades máximas Estación La CDMB en mm/h**	
	Duración 10 min	**Duración 20 min**
Tr=50 años	113.4	92.2
Tr=100 años	122.4	99.5

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

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

7.9. DIMENSIONAMIENTO CANALETAS DE CORONACION

$$Q = \frac{C * I * A}{3.6}$$

- **C= 0,4** **I= 122.4 mm/h** **A= 12311 m2**

$$Q = \frac{C * I * A}{3.6} = 167,4 litros / seg$$



Figura 72. Área de aporte a las obras de manejo de agua superficial del sector.

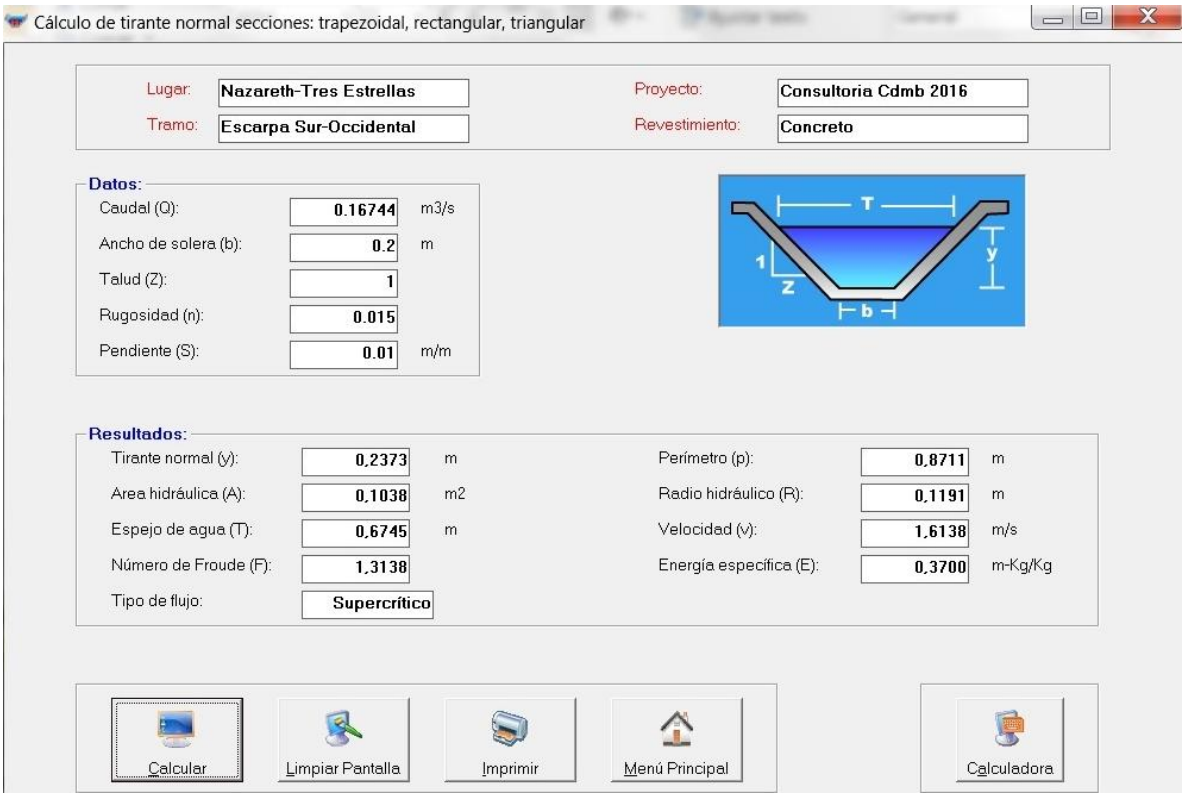


Figura 73. Capacidad hidráulica, canaleta proyectada

Variables para el dimensionamiento de cunetas:

Coeficiente de Rugosidad:

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

Coeficiente de Rugosidad "n" de Manning[6]	
Corrientes Naturales	Numero de Manning
Limpias, orillas rectas, fondo uniforme, altura de lámina de agua suficiente	0,027-0,033
Limpias, orillas rectas, fondo uniforme, altura de lámina de agua suficiente, algo de vegetación	0,033-0,040
Limpias, meandros, embalses y remolinos de poca importancia	0,035-0,050

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

Lentas, con embalses profundos y canales ramificados	0,060-0,080
Lentas, con embalses profundos y canales ramificados, vegetación densa	0,100-0,20001
Rugosas, corrientes en terreno rocoso de montaña	0,050-0,080
Áreas de inundación adyacentes al canal ordinario	0,030-0,2001
Cunetas y canales revestidos	Numero de Manning
Hormigón	0,013-0,017
Hormigón revestido con gunita	0,016-0,022
Encachado	0,020-0,030
Paredes de hormigón, fondo de grava	0,017-0,020
Paredes encachadas, fondo de grava	0,023-0,033
Revestimiento bituminoso	0,013-0,016
Cunetas y canales sin revestir	Numero de Manning
En tierra ordinaria, superficie uniforme y lisa	0,020-0,025
En tierra ordinaria, superficie irregular	0,025-0,035
En tierra con ligera vegetación	0,035-0,045
En tierra con vegetación espesa	0,040-0,050
En tierra excavada mecánicamente	0,028-0,033
En roca, superficie uniforme y lisa	0,030-0,035
En roca, superficie con aristas e irregularidades	0,035-0,045

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

Talud (Z):

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

Ancho de Solera (B):

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

Pendiente:

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

8. HIDROGEOLOGIA

8.1. Información secundaria:

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

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

- **INGEOMINAS, EVALUACION DE AGUA SUBTERRANEA EN EL AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA, SANTANDER A ESCALA 1:25000:** En este estudio a partir de análisis de inventarios de puntos de

recolección de aguas en diferentes zonas del área metropolitana pudieron encontrar diferentes tipos de acuíferos:

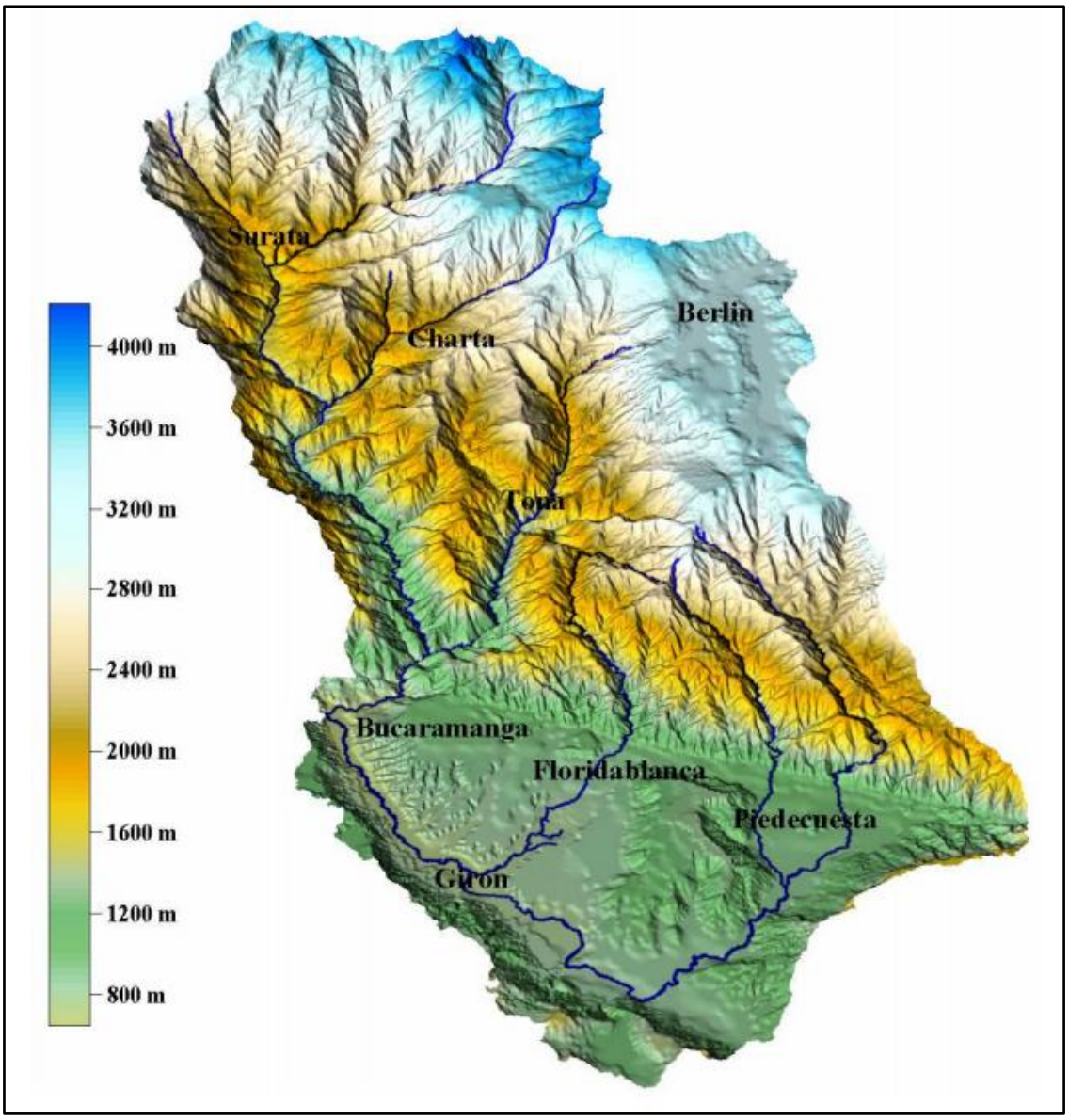


Figura 74. Localización cuenca en estudio con un área de 464km^2. Tomado de INGEOMINAS, 2007.

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

tienen lecturas de niveles estáticos del agua subterránea. Los niveles se encuentran a profundidades que fluctúan entre 0.1 a 19 m y al igual que sucede con los niveles estáticos medidos en los pozos, los niveles más profundos se encuentran hacia la parte occidental del acuífero.

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

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

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

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

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

- **CDMB - Gómez Sully. RELACIONES ENTRE NIVELES FREATICOS, PRECIPITACIONES Y SU INFLUENCIA EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES-1989:** Este estudio recopila información meteorológica, piezómetro e información de deslizamientos del área metropolitana de Bucaramanga con el fin de observar el comportamiento de los niveles con base en las precipitaciones y su influencia en la escarpa occidental en todo lo que tiene que ver con la

ocurrencia de deslizamiento. Para el presente estudio la base y uso de información será de suma importancia ya que evalúa hidrogeológicamente la terraza de Bucaramanga, que el lugar donde se asienta el sector en estudio.

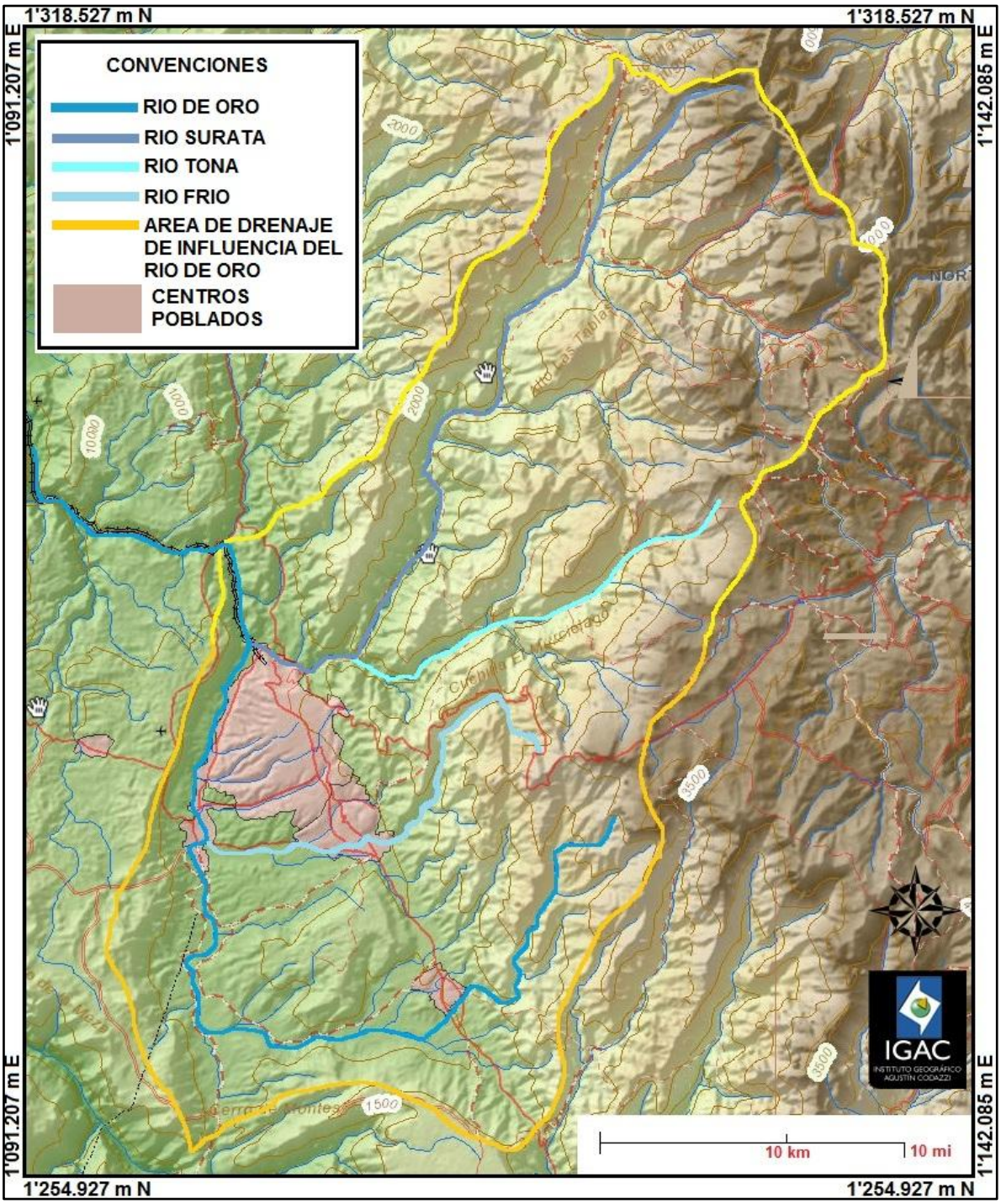


Figura 75. Mapa de localización de las principales afluentes de drenaje del área metropolitana de Bucaramanga y su área de influencia (Cuenca superior rio Lebrija. Fuente: IGAC – Autores).

8.2. Hidrografía:

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

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

8.3. Recarga del acuífero:

Esta se realiza como consecuencia de las precipitaciones pluviales sobre el macizo de Santander, aunque no existe porosidad primaria en muchos de los casos ya que en este sector predominan rocas cristalinas debido al entorno geológico el cual está compuesto principalmente por unidades ígneo – metamórficas (Neis de Bucaramanga pEb – Ortogneis de Berlin pDo – Formación silgara pDs – Tonalita del páramo Rico TRt – Cuarzo monzonita de la corcova TRJc - Cuarzo monzonita de Santa Bárbara Jcs – Formación Girón Jg – Formación los Santos Kils –

Formación Paja Kip y Formación Tablazo Kit) cuya porosidad y permeabilidad se limita a lo que puede ofrecer la meteorización y/o sistemas de fracturas presentes debido a la tectónica de la zona (porosidad secundaria)[7].

Para el lugar de estudio, el cual se encuentra sobre depósitos del cuaternario como es la formación Bucaramanga Qb, de origen Fluvial, esta cuenta con porosidad primaria, de acuerdo a BERMOUDES Y VASQUEZ; 2004[8], los cuales mencionan a los miembros Órganos (Qbo) y miembro gravoso (Qbg) como formaciones de interés Hidrológico, por su grado de porosidad e infiltración, pueden conducir y en un momento dado almacenar agua en espesores pequeños, para toda la zona urbana de Bucaramanga la recarga se genera de dos formas, la primera de manera lateral, la cual capta todo el fluido proveniente del macizo de Santander en el contacto que se especifica por la falla de Bucaramanga y la segunda hace referencia a una recarga distribuida que se da en las zonas libre de construcciones o zonas verdes localizadas en la meseta,

8.4. Análisis Hidrológico:

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

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

[8] - INGEOMINAS, Evaluación de agua subterránea en el área metropolitana de Bucaramanga, Santander a escala 1:25000

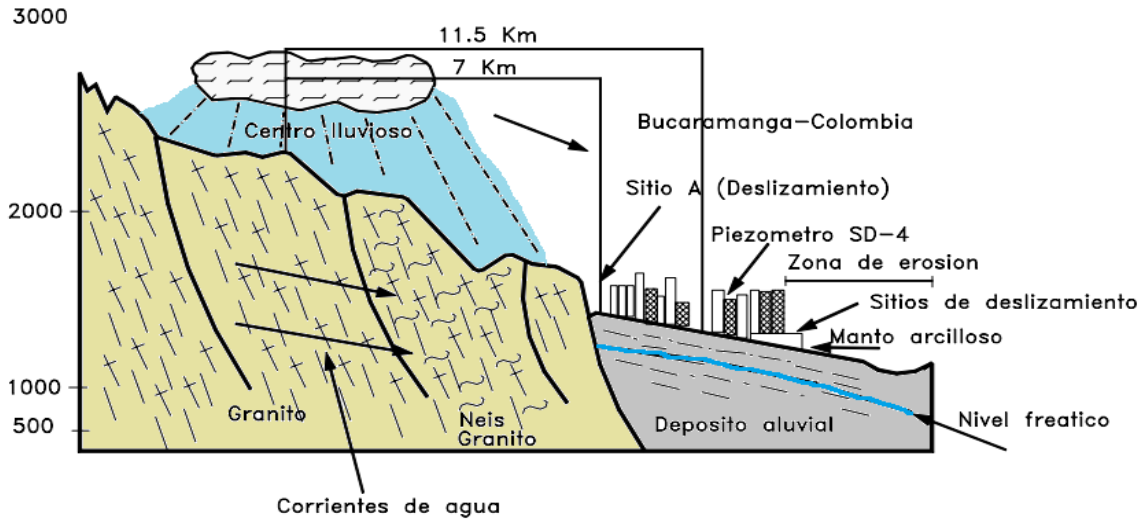


Figura 76 Esquema del modelo Hidrológico de Bucaramanga.[9]

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

De acuerdo a ensayos registrados en el área metropolitana de Bucaramanga y a la formación aluvial descrita en el sector, se obtuvieron medidas de permeabilidad más bajos, 0.00002 m/s, siendo el más típico 0.00010 m/s a grandes profundidades (CDMB - Gómez Sully 1989[10]), además de dar a conocer un coeficiente de almacenamiento el cual es de 0.00611 y una transmisibilidad de 0.0003 m^2/s, determinándose una porosidad de 30% aproximadamente, los valores anteriores son obtenidos de una prueba de bombeo realizado y tomado del estudio de referencia.

Al comparar el ensayo de percolación realizado actualmente en la zona de estudio con los valores típicos mostrado en estudios anteriores, es posible deducir en

[9] Tomado de Suarez Jaime. Libro de deslizamiento en zonas tropicales, capitulo 7: Lluvias, presión de poros y sus efectos.
[10] CDMB - Gomez Isidro, Sully. Relaciones entre Niveles freáticos, precipitaciones y su influencia en la estabilidad de taludes

superficie el alto contenido de infiltración el cual se reduce conforme se aumenta en profundidad, lo mismo ocurre con la porosidad ya que en superficie es superior acercándose a los valores de 35% en promedio.

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

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

Para la zona de estudio la velocidad del frente húmedo se generó de la siguiente manera:

Tabla 20: Velocidad de Frente Húmedo.

Profundidad (m)	velocidad (cm/s)
0-5	0,21
5-10	0,17
10-15	0,22
15-20	0,22
20-25	0,15

Como el frente húmedo avanza saturando todos los estratos, Lumb en 1975 determino que los frentes contribuirán al aumento de los niveles freáticos, generando así una ecuación en la cual se pueden determinar los espesores basándose en la duración del evento de precipitación, la porosidad, la permeabilidad y el grado de saturación:

$$h = \frac{k * T}{n * (S_F - S_0)}$$

Para el lugar de estudio se determinó asumiendo saturación total de los estratos por lo cual se obtuvieron los siguientes espesores del frente húmedo:

Tabla 21: Espesores de Frente Húmedo.

Profundidad (m)	Espesores frente húmedo (m)
0-5	1,25
5-10	1,01
10-15	1,30
15-20	1,32
20-25	0,91

De acuerdo al análisis anterior, a nivel superficial, sobre la cabeza del talud, el frente húmedo se infiltrará hasta obtener un espesor de 1.32 m el cual por gravedad bajara en un tiempo determinado hasta la zona de recarga del acuífero.

8.5. Relación entre lluvias y Niveles freáticos

De acuerdo al estudio “Relaciones entre Niveles freáticos, precipitaciones y su influencia en la estabilidad de taludes”, durante el análisis el cual se realiza mediante la medición de precipitaciones y el nivel freático en diferentes sectores del área metropolitana de Bucaramanga, se observa el incremento de los niveles piezómetros debido a eventos de lluvia, este incremento del nivel freático sucede dos meses después de ocurrida la precipitación para la zona occidental de la meseta y de manera inmediata para la zona oriental, esto se atribuye al espesor de la capa de la formación Bucaramanga, la cual es amplia al occidente y además por la presencia de la falla Bucaramanga que se encuentra al oriente y que genera mayor fracturamiento de las formaciones.

Para el sector, no se detectó nivel freático a 25 m de profundidad (suma de las perforaciones ya que por la pendiente una inicia donde se termina la otra) alcanzada por la perforación, el cual estará presente después de dicha profundidad, por lo cual las fluctuaciones del nivel freático por precipitaciones dadas para periodos de retorno de 50 años para una duración de 10 minutos e intensidades de 158.3 mm/H,

que tendrá un frente húmedo de 3.01 m, que superan el aumento en 2.00 m, esta variaciones se corroboran de acuerdo al estudio referenciado anterior mente (CDMB - Gómez Sully 1989).

8.6. Análisis de deslizamientos:

De acuerdo a los modelos hidrogeológicos, el agua infiltrada corre de oriente a occidente con un gradiente hidráulico bajo y paralela al terreno, cuando se acerca a la zona de escarpa, el gradiente aumenta y se presentan afloramientos.
Los afloramientos se presentan de dos tipos, el primero ocurre por encima o en el pie del talud, por lo cual allí se presentan mayores velocidades de flujo y fuerzas de filtración, generándose una zona crítica por la cual se debilita la superficie de contacto produciendo caídos de suelo.

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

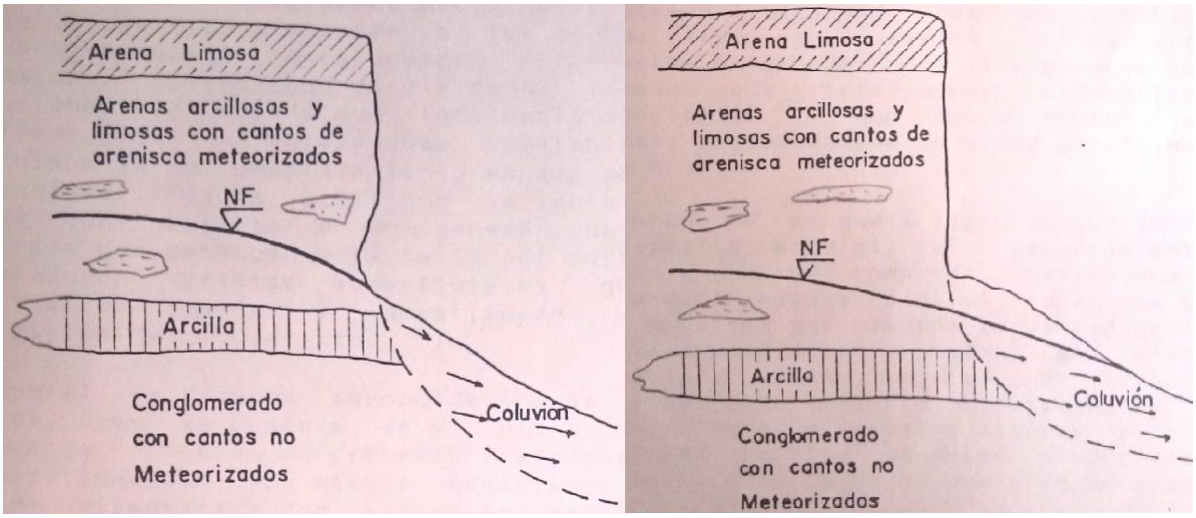


Figura 77. Mecanismos de falla (CDMB-Gómez Sully-1989)

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

De acuerdo a Rankine la profundidad de la grieta a tensión se estima mediante la siguiente formula:

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

Por lo anterior y usando las propiedades geotécnica (Φ= 33.4°, γ= 2.165 g/cm^3 y C= 0.2675 kg/cm^2, propiedades promedio de los miembros Limos rojos y Gravosos de acuerdo a los cortes directos). Por lo cual Z_{crit}=12.04 m, es decir que después de esta profundidad libre pueden ocurrir Grietas de tensión en las partes altas de la escarpa que pueden desencadenar problemas de inestabilidad y generan mayor infiltración que ocasionan caídos del suelo

8.7. Relación de Lluvias – deslizamientos:

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

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

8.8. Afectación de la zona por problemas de agua:

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

8.9. Parámetros hidrológicos:

De acuerdo a las perforaciones de campo que se realizaron a profundidad de 15 m, no se determinó nivel freático, así mismo no se puede determinar la red del flujo debido a la poca información que se tiene en el lugar, así mismo se evidencia que los cambios de humedad del suelo no son

8.10. Conclusión Hidrogeológica:

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

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

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

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

Debido a la existencia de flujo dentro del suelo, en la zonas de escarpe durante los años se han generado desprendimiento que pueden ser asociados al aumento y variación de los niveles freáticos después de un evento de lluvia, dicha variación no ha superado los dos metros de altura en el aumento de nivel. Se asocian los deslizamientos a las precipitaciones en la zona principalmente por el afloramiento que se produce del acuífero en zonas de escarpa, dicho afloramiento genera debilitamiento de las propiedades del suelo, es decir produce inestabilidad de la base o intermedio del talud y causa un desprendimiento de la masa del suelo. Si no se produce el desprendimiento, simplemente se generaría un aumento de tensiones del suelo, lo que ocasiona grietas en la superficie, dicho fenómeno ayudara a activar la inestabilidad y producirá falla cortante inmediata cuando exista otro evento de lluvia, pero en general los deslizamiento asociados a los eventos de lluvia en el sector se producen en los meses de verano ya que la reacción del agua subterránea se genera entre dos a tres meses después de generada la precipitación.

Para el sector, el cual se encuentra sobre la escarpa occidental de la meseta de Bucaramanga, la afectación hidrogeológica no se evidencia, no se encontró nivel

freático durante los procesos de investigación mecánica realizados por la consultoría, así mismo no se detectaron puntualmente sectores donde exista afloramiento de agua, lo cual indica que el nivel freático se encuentra a gran profundidad (superior a los 15 m).

Como la influencia sobre el talud es por precipitación, se tomara el tiempo de concentración hallado en el capítulo de análisis hidrológico para determinar ciertas características del frente húmedo el cual es la masa de agua que por efectos de la gravedad ingresa al suelo.

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

8.11. Criterios para definición y diseño de medidas de drenaje:

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

9. SISMOLOGÍA

En el desarrollo del presente estudio, se analizaron condiciones especiales del subsuelo, entre los que se encuentran parámetros base para el análisis de estabilidad pseudo-estático que se presentará más adelante.

9.1. Amenaza sísmica según la Norma NSR-10.

Según las normas Colombianas de Diseño y Construcciones Sismo Resistente, NSR-10 el Municipio de Bucaramanga se encuentra en la región 5. (Ver Figura A.2.3-2 — Mapa de valores de Aa, Figura A.2.3-3 - Mapa de valores de Av y Tabla A.2.3-1 Nivel de amenaza sísmica según valores de Aa y de Av). Se define como amenaza sísmica alta. (Ver Figura A.2.3-1 — Zonas de Amenaza Sísmica aplicable a edificaciones para la NSR-10 en función de Aa y Av). Aa = coeficiente que representa la aceleración horizontal pico efectiva, para diseño, dado en A.2.2. Av = coeficiente que representa la velocidad horizontal pico efectiva, para diseño, dado en A.2.2. Ad= coeficiente de umbral de daño.

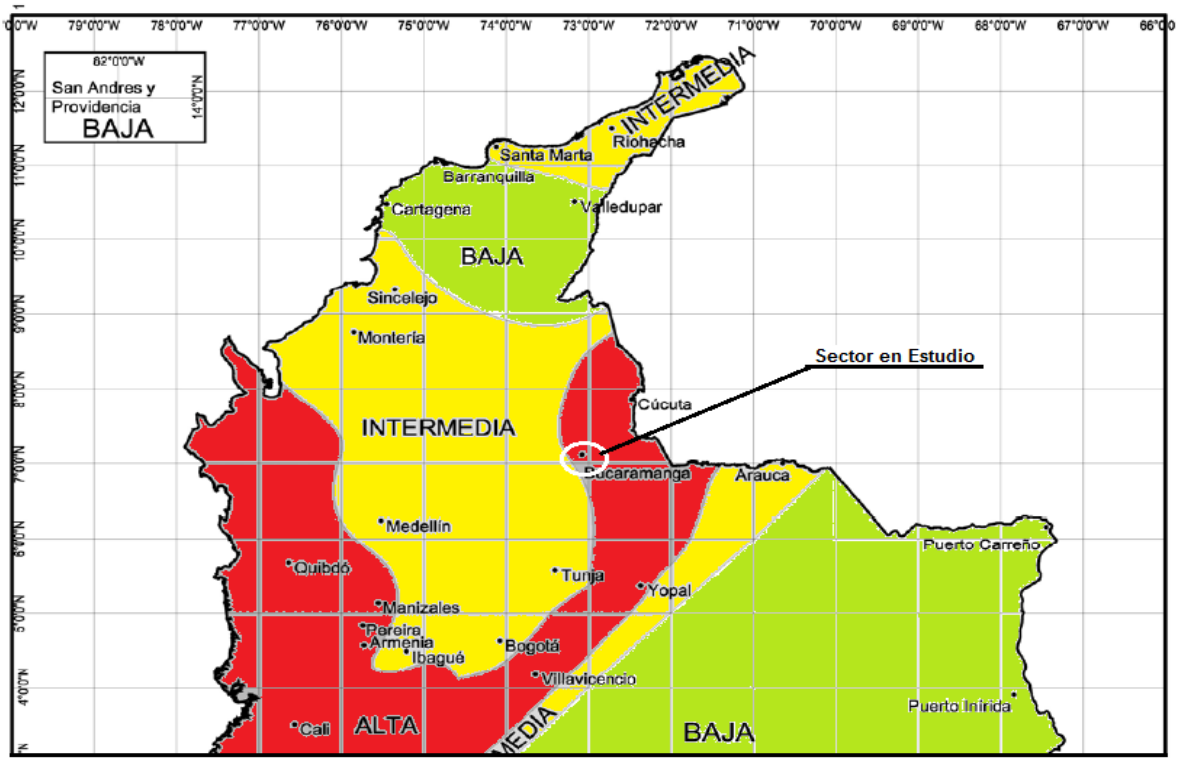


Figura 78. NSR-10 Figura A.2.3-1, Zonas de amenaza sísmica aplicables a edificaciones en función de Aa y Av.

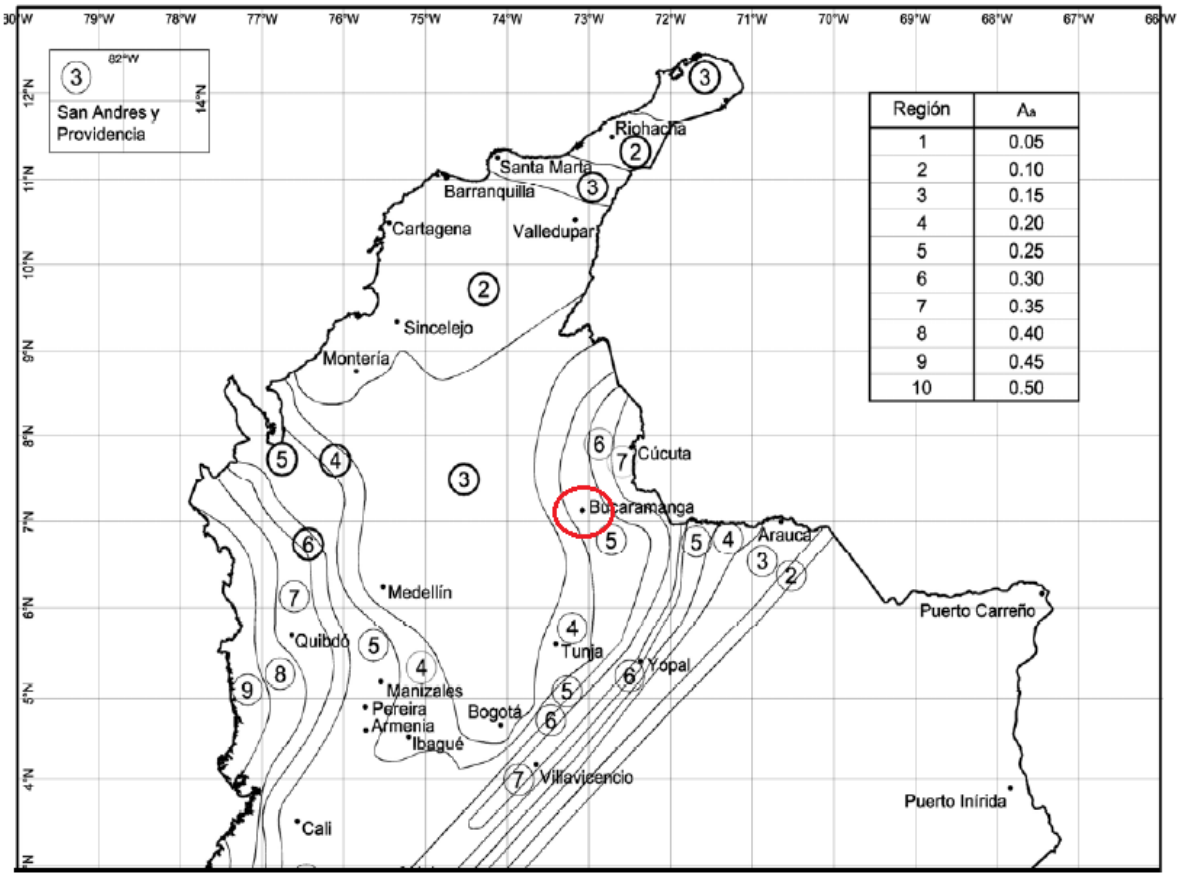


Figura 79. NSR-10 Figura A.2.3-2, Mapa de valores Aa.

Tabla 22 NSR-10 Tabla A.2.3-1

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

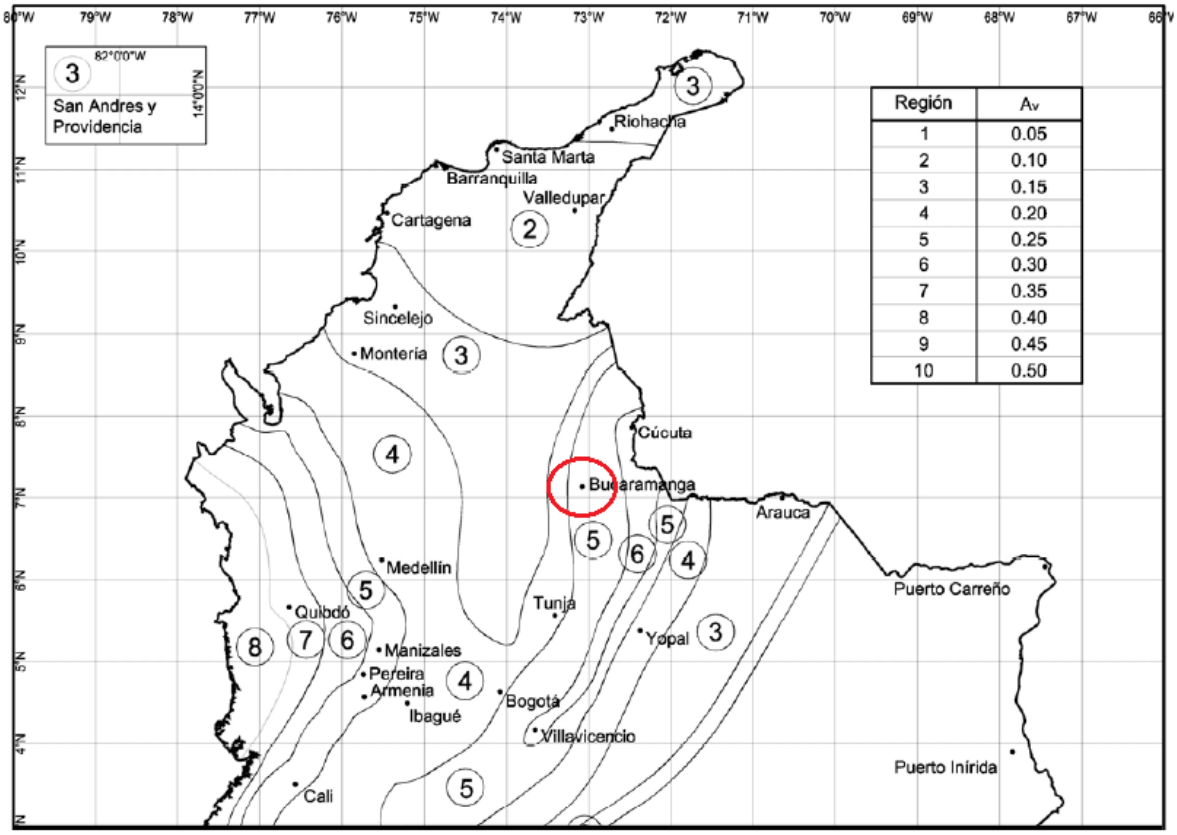


Figura 80. NSR-10 Figura A.2.3-3, Mapa de valores Av.

9.1.1 Movimiento sísmico de diseño.

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

Tabla 23**:** Apéndice A-4 - Valores de Aa, Av, Ae y Ad y definición de la zona de amenaza sísmica de municipios

DEPARTAMENTO DE SANTANDER						
MUNICIPIO	**CODIGO**	**Aa**	**Av**	**ZONA AMENAZA SISMICA**	**Ae**	**Ad**
BUCARAMANGA	68162	0,25	0,25	ALTA	0,15	0,09

Fuente: NSR-10, Titulo A.

9.1.2 Efectos locales

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

9.1.3 Tipo de Perfil del suelo.

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

Los efectos locales de la respuesta sísmica de la edificación deben evaluarse con base en los perfiles de suelo dados en el presente estudio independientemente del tipo de cimentación empleado para el relleno. El tipo de Suelo de acuerdo a la Tabla A.2.4-1 de la NSR-10 se determinara de acuerdo a la resistencia por golpes encontrada en los respectivos sondeos o a sus velocidades de cortante, para el caso en particular se obtuvo mediante el número de golpes, los cuales se sitúan mayores a 50 golpes promedio, por lo cual el tipo de suelo es C.

Tabla 24 Clasificación de los perfiles de suelos, título A de la NSR-10, tabla A.2.4-1.

Tipo de Perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	Vs ≥ 1500 m/s
B	Perfil de roca de rigidez Media	1500 m/s > Vs ≥ 760 m/s
C	Perfil de suelos muy densos o roca blanda	760 m/s > Vs ≥ 360 m/s
		N≥ 50 - Su ≥ 100 Kpa
D	Perfil de suelos rígidos	360 m/s > Vs ≥ 180 m/s
		50> N ≥ 15 - 100 Kpa > Su ≥ 50 Kpa
E	Suelos que cumplan con el criterio de Vs	180 m/s > Vs
	Espesores H mayores a 3m de arcillas bandas	IP>20 - w≥ 40% - 50 Kpa > Su

F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases: - F1: Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como Suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados. - F2: Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H> 3m de estos materiales). - F3: Arcillas de muy alta plasticidad (H> 7.50m con IP>75). - F4: Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H>36).

Generalizando a un solo modelo de perfil para los sondeos tenemos los siguientes tipos de suelo:

Tabla 25 NSR-10 tabla A.2.4-3 Valores del coeficiente Fa, para la zona de periodos cortos del espectro.

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

Tabla 26 NSR-10 tabla A.2.4-4 Valores del coeficiente Fv, para la zona de periodos intermedios del espectro.

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

Tabla 27 Tipo de suelo de acuerdo al título A de la NSR-10, tabla A.2.4-1 y valores de Fa y Fv tomados de la Tabla 25 y Tabla 26

PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE SUELO DE ACUERDO AL TITULO A DE LA NSR-10	Fa	Fv
1,00 – 20.0	TIPO C	1,15	1.55

Los valores de los coeficientes Fa y Fv se obtienen de las tablas A.2.4-3 y A.2.4-4, encontradas en el código NSR-10. Para el valor intermedio de Aa=0.25 y Av= 0.25 se permite interpolar linealmente entre valores del tipo de perfil mostrados en la Tabla 25 y Tabla 26, siendo el resultado lo mostrado en la Tabla 27.

9.1.4 Coeficiente de Importancia.

Se define el grupo de tipo de uso de la estructura de mitigación que se plantee como Grupo IV con un coeficiente de importancia, I, igual a 1.5 Tabla A.2.5-1 (Valores de coeficiente de Importancia I).

Tabla 28: valores de coeficiente de Importancia I

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

Fuente: NSR-10, tabla A.2.5-1

9.1.5 Espectro Elástico de Diseño.

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

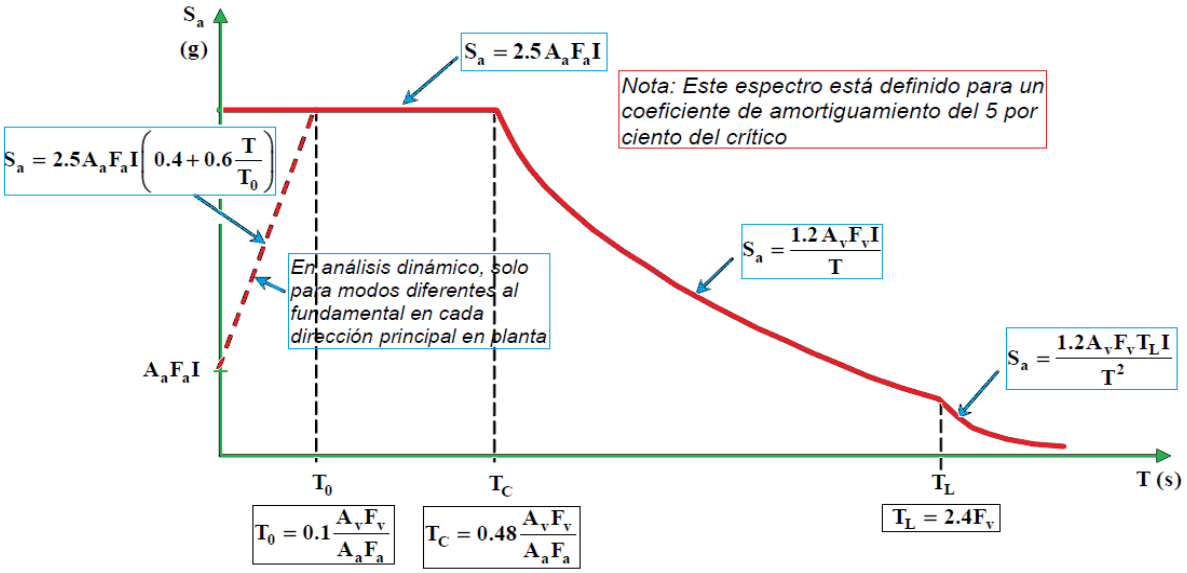


Figura 81. Espectro elástico de diseño. Fuente: NSR-10. Figura A.2.6-1.

ESPECTRO DE DISEÑO

Aa= Coeficiente que representa la aceleracion horizontal pico efectiva, para diseño. Figura A.2.3-2

Av= Coeficiente que representa la velocidad horizontal pico efectiva, para diseño. Figura A.2.3-3

Fa= Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de períodos cortos, debida a los efectos de sitio. Figura A.2.4-1

Fv= Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de períodos intermedios, debida a los efectos de sitio. Figura A.2.4-2

Nota: los valores de Fa y Fv dependen del tipo de perfil del suelo que se tenga y este es fijado por el geotecnista a partir del estudio estudio de suelos hecho.

I= Coeficiente de importancia de la estructura definido en A.2.5.2

Tc= Período de vibración, en segundos, correspondiente a la transición entre la zona de aceleración constante del espectro de diseño, para períodos cortos, y la parte descendiente del mismo.

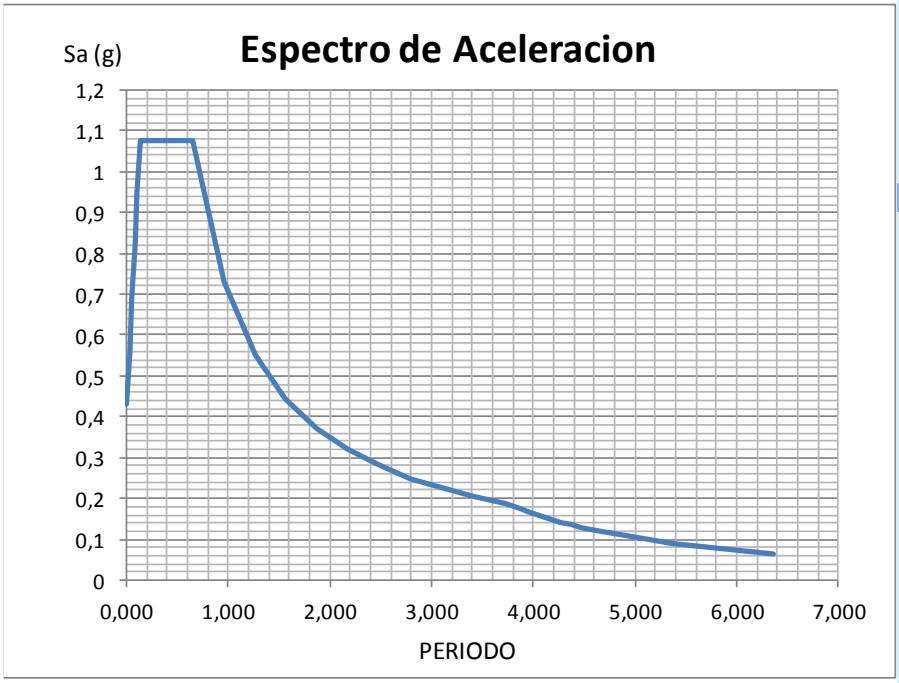
TL= Período de vibración, en segundos, correspondiente al inicio de la zona de desplazamiento aproximadamente constante del espectro de diseño, para períodos largo.

T= Período de vibración del sistema elástico, en segundos.

Aa=	0,25
Av=	0,25
Tipo de perfil	C
Fa=	1,15
Fv=	1,55
I=	1,5

0	0
To=	0,13478261
Tc=	0,64695652
TL=	3,72

Sa(0)=	0,43125
Sa(To)=	1,078125
Sa(Tc)=	1,078125
Sa(TL)=	0,1875



	T	Sa(T)
	0,000	0,43125
	0,027	0,560625
	0,054	0,69
	0,081	0,819375
	0,108	0,94875
To=	0,135	1,078125
	0,391	1,078125
Tc=	0,647	1,078125
	0,954	0,7309322
	1,262	0,5528846
	1,569	0,4445876
	1,876	0,3717672
	2,183	0,3194444
	2,491	0,2800325
	2,798	0,2492775
	3,105	0,2246094
	3,413	0,2043839
TL=	3,720	0,1875
	3,770	0,1850133
	3,820	0,1778117
	3,870	0,1732468
	3,970	0,1646289
	4,070	0,1566384
	4,170	0,1492159
	4,270	0,1423087
	4,370	0,1358702
	4,470	0,129859
	4,670	0,1189744
	4,870	0,109403
	5,370	0,0899785
	6,370	0,0639452

Figura 82. Espectro elástico de diseño para el tipo de suelo C. Fuente: Autor

9.2. Amenaza sísmica según la Microzonificación sísmica del área metropolitana de Bucaramanga de 2001.

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

Esta zonificación presenta un valor para el lugar de estudio de Am igual a 0.40g Y 0.30g, ya que se encuentra en el límite de la zonificación, los cuales son menores al registrado anteriormente en la norma sísmica NSR-10, por lo cual se tomara el valor de la NSR-10 para el diseño y caracterización sísmica en la zona de estudio.



Figura 83. Microzonificación sísmica del lugar de estudio de 2001 (Fuente: Estudio de Microzonificación Sismo geotécnica Indicativa del área metropolitana de 2001).

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

De la zonificación sísmica se tienen en cuenta los siguientes valores:

Aa= 0.25 g
Av=0.25 g
Fa= 1.15 para suelo tipo C
Fv= 1.55 para suelo tipo C
Grupo= IV
I= 1.5

Zonificación sísmica: ALTA – ver Mapa A.2.3-2 y A.2.3-3 de la NSR-10.

De acuerdo al análisis del espectro del diseño la Aceleración máxima (A_{max}) presentada en el sector de acuerdo a la NSR-10 Titulo A, para un periodo (T) igual a cero (0) evaluado de acuerdo a lo descrito en el titulo H.5 de la NSR-10 es de:

A_{max}= 0.43 g.

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

El sismo de diseño para el análisis seudoestatico en taludes se analiza de acuerdo a la aceleración sísmica máxima predominante, como se indicó anteriormente la NSR – 10 toma un A_{max} de 0.43 g, se tomara como valor base para realizar el sismo de diseño de acuerdo a lo establecido por el título H de la NSR-10.

Tabla 29: valores de K_{st}/a_{max} mínimos para análisis seudoestaticos en taludes

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

Fuente: NSR-10, Titulo H, Tabla H.5.2-1

De la tabla anterior $\mathbf{K_{st}/a_{max}}$=0.80 debido a que no se realizó análisis de amplificación, Por lo cual el sismo de diseño para el análisis pseudo – estático es igual a:

$$\mathbf{K_{st}}= 0.8*0.43= \mathbf{0.344g.}$$

Donde:

Kst: Sismo de diseño a ingresar en el modelo geológico geotécnico y análisis seudoestatico en los modelos de estabilidad.

10. EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA (ANALISIS DE ESTABILIDAD).

10.1. Generalidades:

El talud objeto del estudio geotécnico es modelado con los datos obtenidos en los ensayos de campo y laboratorio, y con la topografía que indica los perfiles a los cuales se les realizan los respectivos corrimientos con el sotfware Geo-Slope International Ltd en condiciones estáticas y dinámicas.

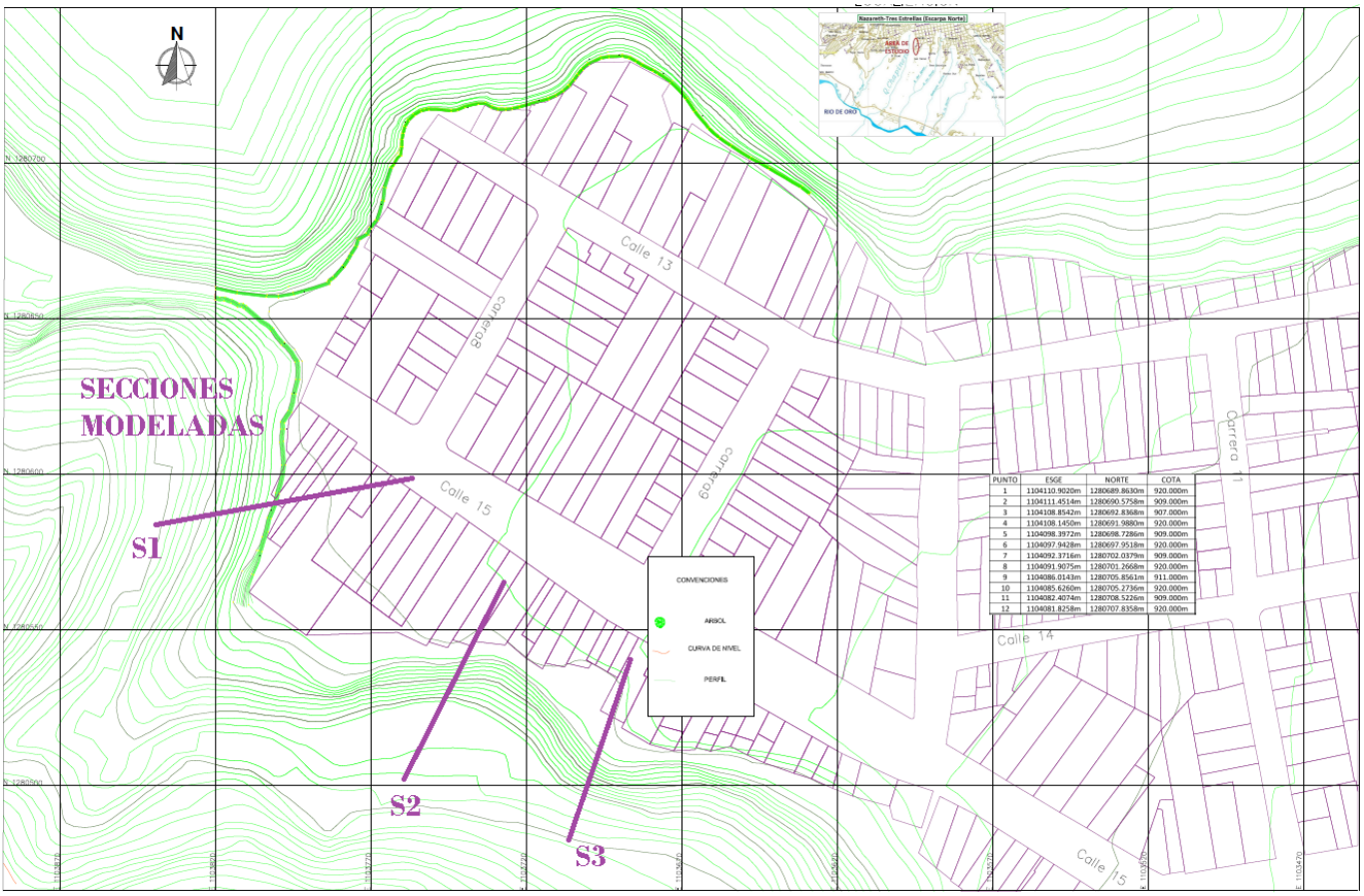


Figura 84. Vista en planta, ubicación de las secciones para el modelo de estabilidad.

10.2. Modelos de estabilidad

Para obtener los resultados en el análisis de estabilidad se utilizaron los Métodos de equilibrio límite desarrollados por Janbu, Morgenstern–Price, Bishop y Spencer en condición estática y dinámica.

Para determinar los modelos, se asumen dos escenarios críticos, el primero se realiza en condiciones estáticas y el segundo contempla la carga sísmica y peso de la infraestructura presente en la zona en un escenario seudo estático que se encuentra definido por la Norma sismo Resistente Colombiana NSR-10, los escenarios se definen a continuación:

10.2.1. Escenario Estático:

Terreno en condición natural con ausencia de saturación ya que en las perforaciones de campo no se encontraron niveles freáticos.

10.2.2. Escenario Dinámico:

Terreno en condición natural con ausencia de saturación, al cual le es aplicado un escenario con aceleración pseudo estática de 0.344g (con base al análisis sísmico realizado en el presente estudio).

Kst=0.344, Valor tomado para el análisis pseudoestatico.

10.3. Análisis de Estabilidad en condiciones actuales.

Los factores de seguridad se obtienen tras realizar los modelamientos a las secciones descritas anteriormente mediante el software Slope/W for slope stability según los métodos de equilibrio límite desarrollados por Janbu, Morgenstern–Price, Bishop y Spencer en condición estática y pseudoestatica.

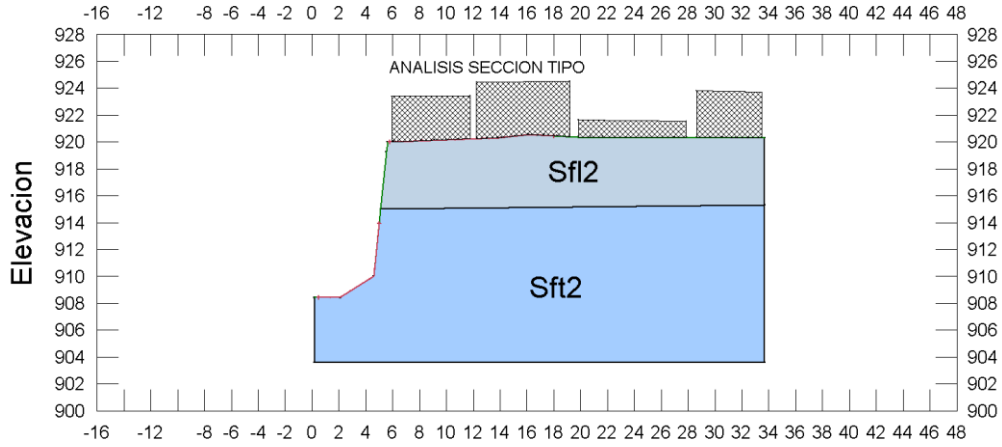
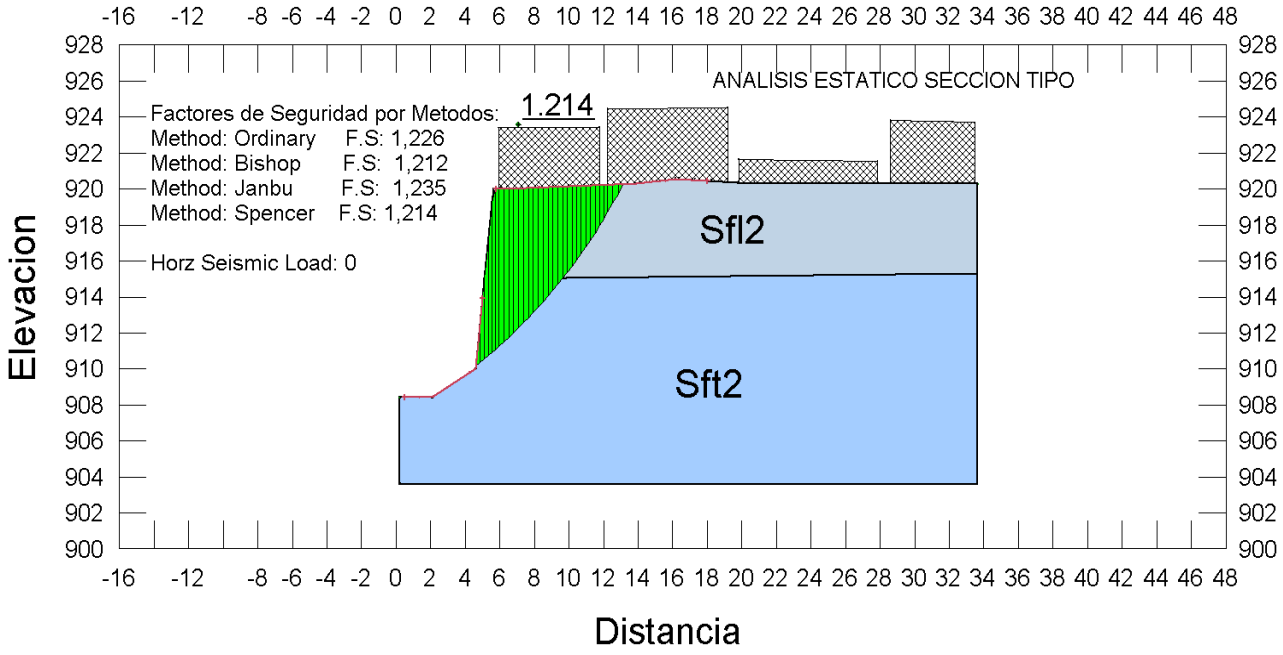


Figura 85. Vista en perfil, sección tipo para el modelo de estabilidad.

10.3.1. ANALISIS ESTATICO

10.3.1.1. Análisis Estático, condiciones actuales



10.4. Resultado del Análisis de Estabilidad en condiciones estáticas actuales.

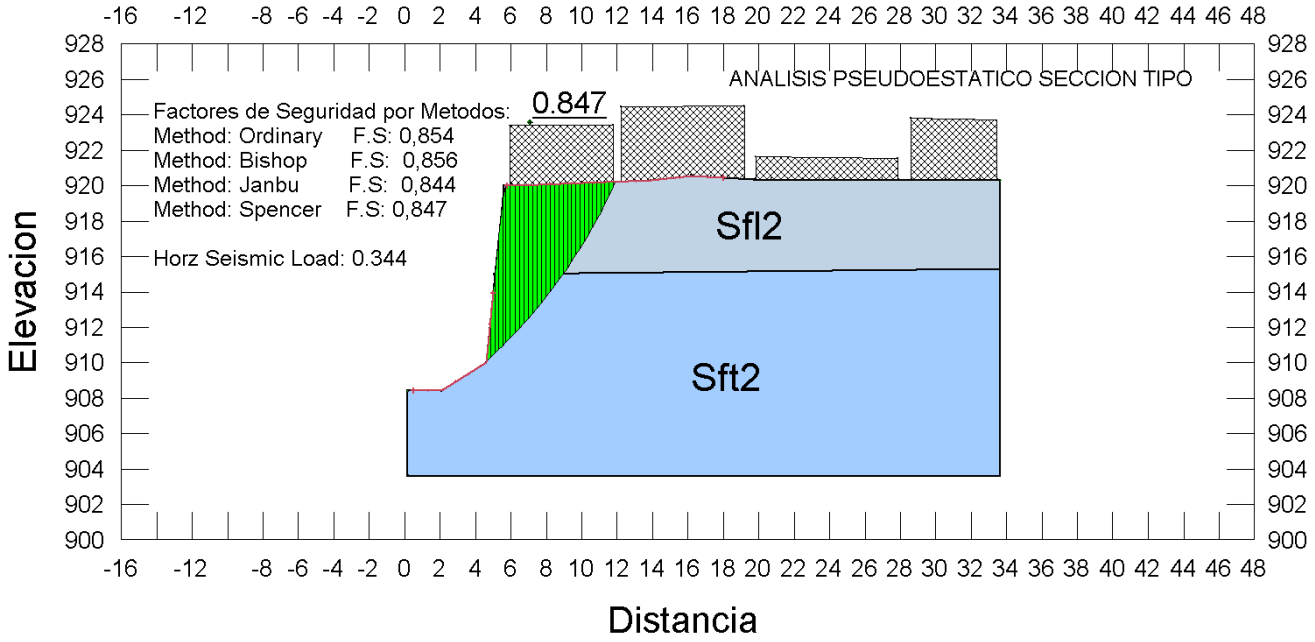
Tabla 30: Valores F.S, Análisis Estático en condiciones actuales

ANALISIS DE ESTABILIDAD EN CONDICIONES ESTATICAS, SECTOR NAZARETH-TRES ESTRELLAS, ESCARPA SUR ENTRE CARRERAS 8 Y 9					
DESCRIPCION	**Método Ordinary**	**Método Bishop**	**Método Janbu**	**Método Spencer**	**Amenaza**
Seccion 1	**1,226**	**1,212**	**1,235**	**1,214**	**ALTA**
Seccion 2	**1,221**	**1,208**	**1,229**	**1,210**	**ALTA**
Seccion 3	**1,232**	**1,219**	**1,234**	**1,221**	**ALTA**

10.5. Análisis de Estabilidad en condiciones pseudoestaticas actuales.

10.5.1. ANALISIS DINAMICO

10.5.1.1. Análisis Dinámico, condiciones actuales



10.6. Resultado del Análisis de Estabilidad en condiciones dinámicas actuales.

Tabla 31: Valores F.S, Análisis Dinámico en condiciones actuales

ANALISIS DE ESTABILIDAD EN CONDICIONES PSEUDOESTATICAS, SECTOR NAZARETH-TRES ESTRELLAS, ESCARPA SUR ENTRE CARRERAS 8 Y 9					
DESCRIPCION	**Método Ordinary**	**Método Bishop**	**Método Janbu**	**Método Spencer**	**Amenaza**
Seccion 1	**0,854**	**0,856**	**0,844**	**0,847**	**ALTA**
Seccion 2	**0,848**	**0,850**	**0,838**	**0,841**	**ALTA**
Seccion 3	**0,859**	**0,862**	**0,851**	**0,853**	**ALTA**

En las normas geotécnicas locales establecidas por la Corporación Autónoma Regional para la defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), se clasifican los terrenos desde el punto de vista de los niveles de amenaza de la siguiente manera:

Nivel de Amenaza Baja: Terrenos no afectados por amenaza geológica, o geotécnica alguna:						
A los deslizamientos: Son terrenos “geológicamente estables” donde las amenazas de movimientos naturales de masa son mínimas o no existen.						
Los factores de seguridad en los análisis de estabilidad de taludes deben ser:			F.S	>	1,5	Condiciones Estáticas
			F.S	>	1,2	Para eventos sísmicos
A la erosión: Son terrenos no afectados por amenazas de erosión en surcos, cárcavas, o erosión hidráulica por corrientes de agua.						
Nivel de Amenaza Media: Terrenos afectados por amenazas, las cuales se pueden estabilizar totalmente mediante la construcción de obras de ingeniería.						
A los deslizamientos: clasificados geológicamente como “relativamente inestables”, en los cuales para adelantar la construcción de obras es necesario la ejecución previa de trabajos que preserven su estabilidad o se establecen condicionantes para el manejo del terreno, orientados a conservar o mejorar su estabilidad natural.						
Los factores de seguridad en los análisis de estabilidad de taludes deben ser:	1,25	≤	F.S	≤	1,5	Condiciones Estáticas
	1,00	≤	F.S	≤	1,2	Para eventos sísmicos

A la erosión: Son terrenos afectados por amenazas medianas de erosión en surcos, cárcavas, o erosión hidráulica por corrientes de agua, y para adelantar la construcción de obras es necesario la ejecución previa de trabajos que preserven su estabilidad o se establecen condicionantes para el manejo del terreno, orientados a conservar o mejorar su estabilidad natural.				
Nivel de Amenaza Alta: Terrenos afectados por amenazas geológicas, geotécnicas o hidrológicas graves.				
A los deslizamientos: Pertenecen a esta clasificación terrenos clasificados como “inestables” en los cuales no se debe adelantar ninguna obra de construcción, debido a que presentan riesgos altos para la vida y bienes de la comunidad, además su recuperación es muy compleja, o demasiado costosa. Se deben destinar a zonas verdes, reforestación o de tratamientos especiales a largo plazo				
Los factores de seguridad en los análisis de estabilidad de taludes deben ser:	F.S	<	1,25	Condiciones Estáticas
	F.S	<	1,00	Para eventos sísmicos
A la erosión: Son terrenos afectados por amenazas graves de erosión en surcos, cárcavas, o erosión hidráulica por corrientes de agua, en los cuales no se debe adelantar ninguna obra de construcción, debido a que presentan riesgos altos para la vida y bienes de la comunidad, además su recuperación es muy compleja, o demasiado costosa.				

Tabla 32: Niveles de amenaza, resolución 1294 de 2009, Normas Geotécnicas, CDMB.

11. MEDIDAS DE MITIGACIÓN ESTRUCTURALES:

Dadas las condiciones de inestabilidad presentes en el talud analizado, se establecen medidas para mitigar la amenaza a fenómenos de remoción en masa con el objetivo de mejorar las condiciones de estabilidad y disminuir directamente el riesgo. En el siguiente subcapítulo “Obras de Mitigación”, se detalla el análisis y las características de cada una de las obras contempladas en el presente estudio.

11.1. OBRAS DE MITIGACION:

Previamente identificado el sector crítico, se establecen medidas para eliminar la amenaza y garantizar la estabilidad de los taludes en el caso de que se presentaran condiciones de lluvias fuertes acompañadas de un evento sísmico. Se advierte que las obras planteadas se diseñaron sobre las condiciones actuales en cada uno de los sectores (Topografía, cortes, rellenos e intervención antrópica).

Las obras Geotécnicas propuestas para mitigar la amenaza a fenómenos de remoción en masa en el sector analizado son:

- Perfilado y adecuación morfométrica
- Pantalla Anclada
- Manejo de Aguas Superficiales.

11.1.1. PANTALLA ANCLADA:

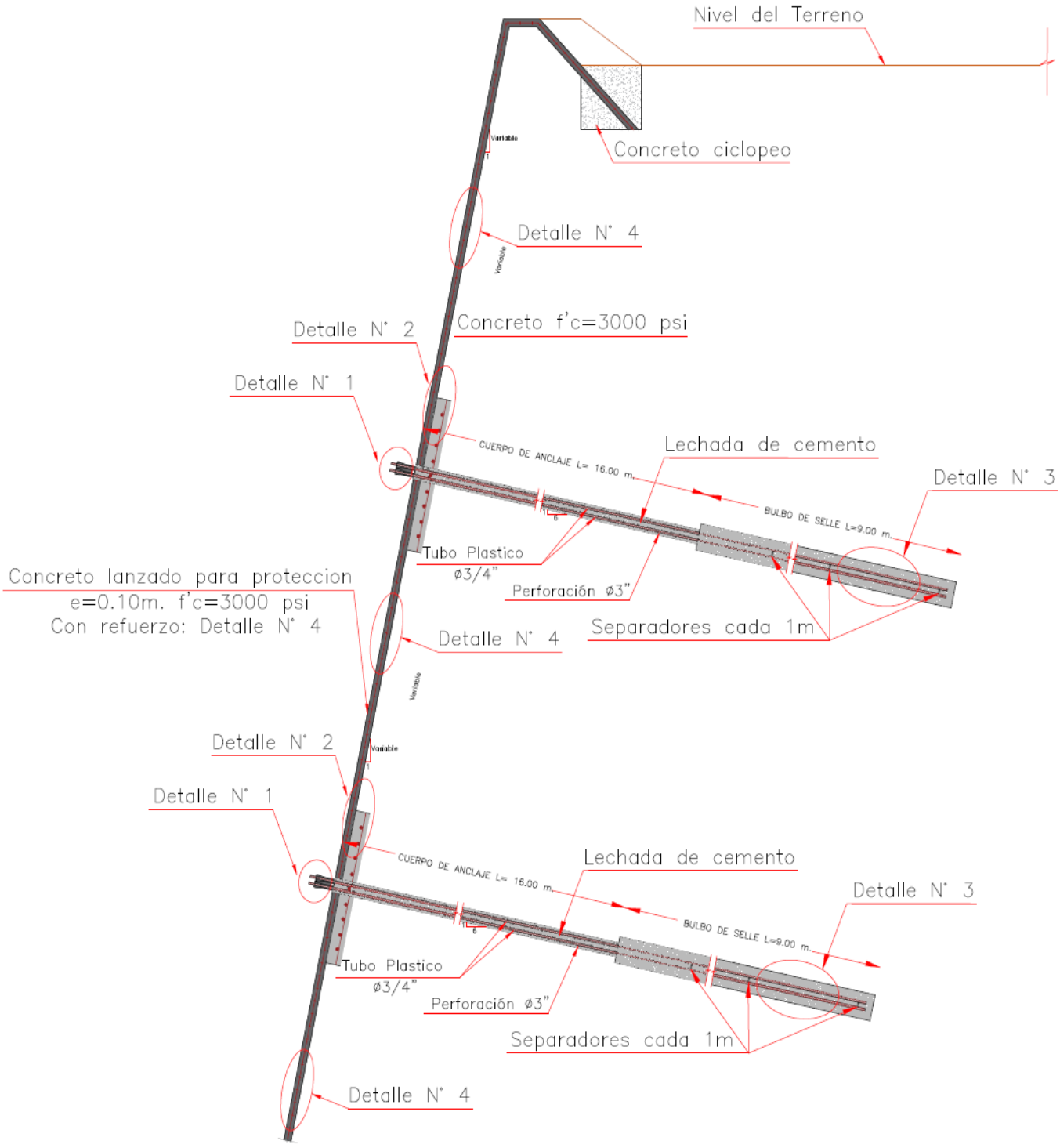


Figura 86. Pantalla Anclada, detalles.

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

ANCLAJE:

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

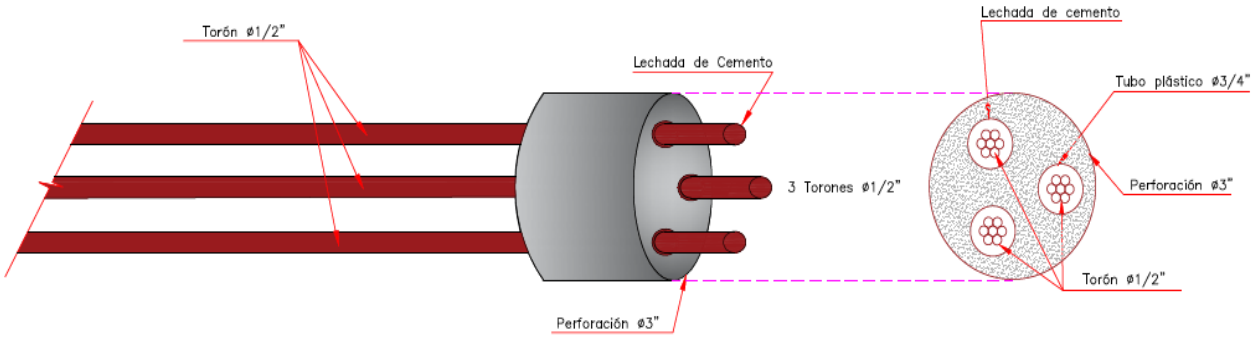


Figura 87. Anclaje, detalles.

BULBO:

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

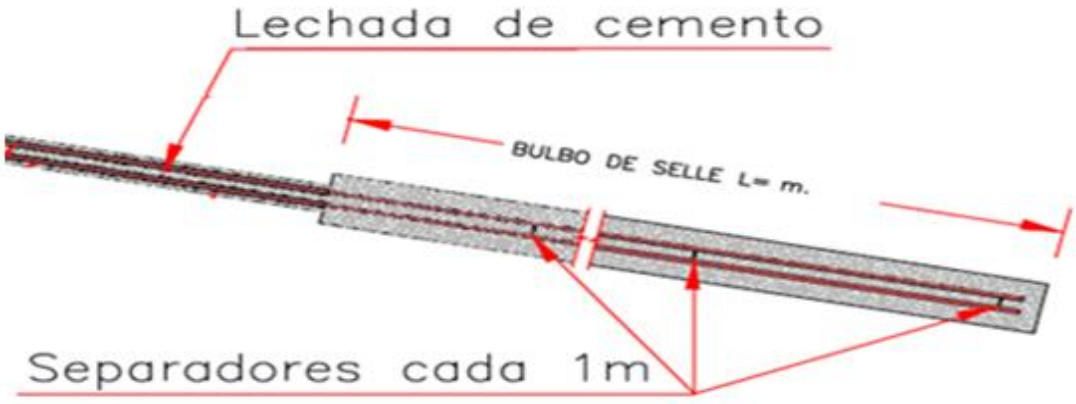


Figura 88. Bulbo, lechada de cemento.

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

LECHADA DE CEMENTO:

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

TORON:

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

ZAPATA:

Es la estructura de apoyo y sobre la cual se distribuye la acción exterior, su geometría es cuadrada con lados de 1,5 m y espesor de 0,2 m.

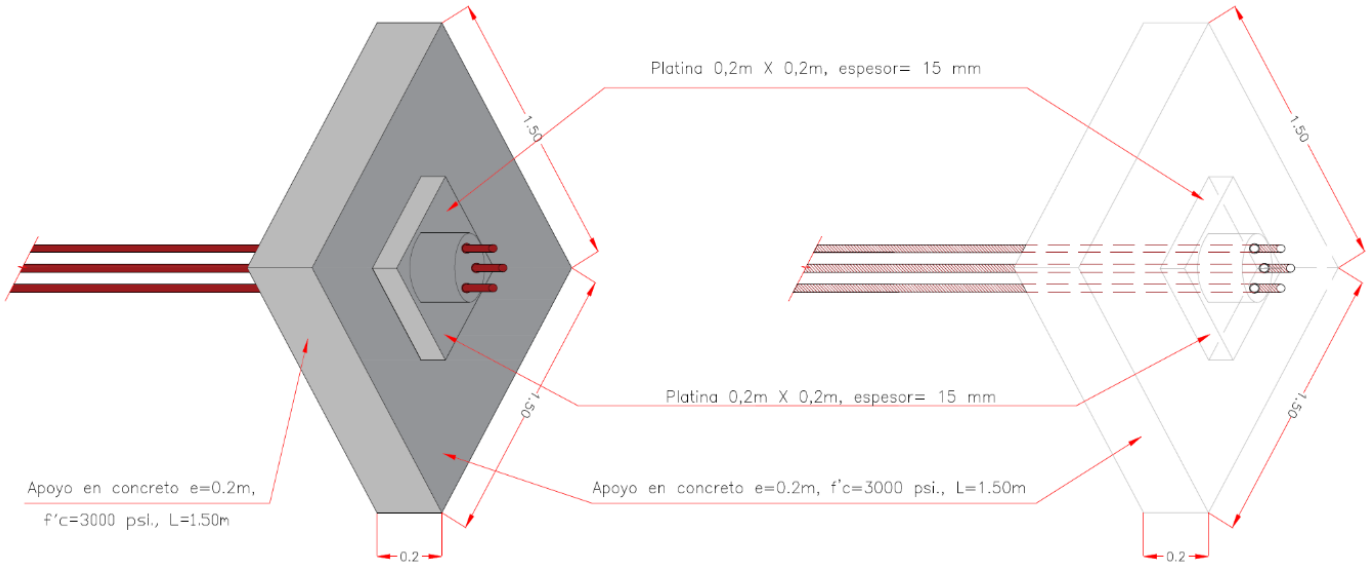


Figura 89. Zapata, detalles.

La zapata se construye en concreto de f'c=3000 psi con malla de refuerzo en acero de Ø3/4", fy=60.000 psi y aberturas de 0.1mx0.1m

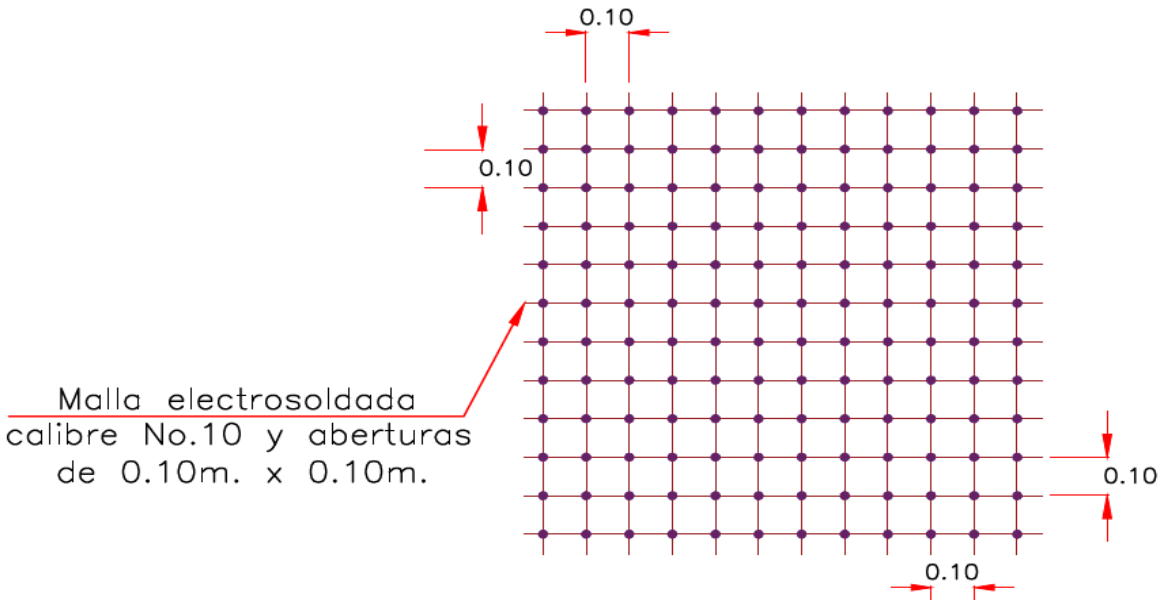


Figura 90. Malla de refuerzo, detalles.

Los detalles de la pantalla se muestran en el anexo “planos”.

OBRAS HIDRAULICAS

- **Manejo de Aguas Superficiales**

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

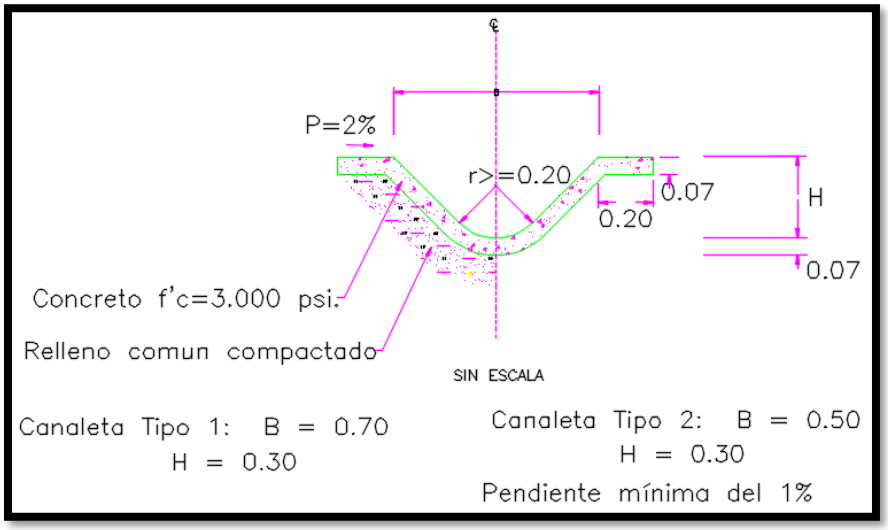


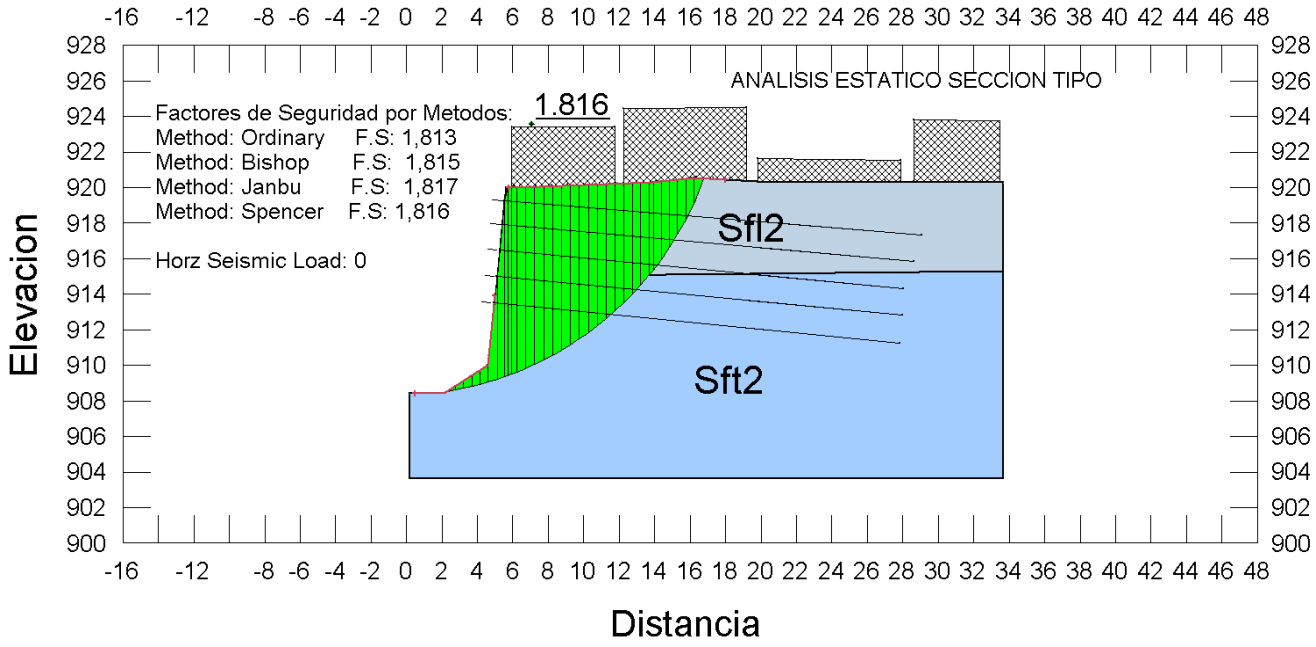
Figura 91. Detalle de canaletas de coronación.

11.1.2 Análisis de Estabilidad con obras de mitigación.

Los factores de seguridad se obtienen tras realizar los modelamientos a las secciones con las obras de mitigación descritas anteriormente mediante el software Slope/W for slope stability según los métodos de equilibrio límite desarrollados por Janbu, Morgenstern–Price, Bishop y Spencer en condición estática y pseudoestatica.

11.1.3 Análisis estático

Análisis Estático, con obras de estabilización



11.1.4 Resultado del Análisis de Estabilidad en condiciones estáticas con obras de estabilización.

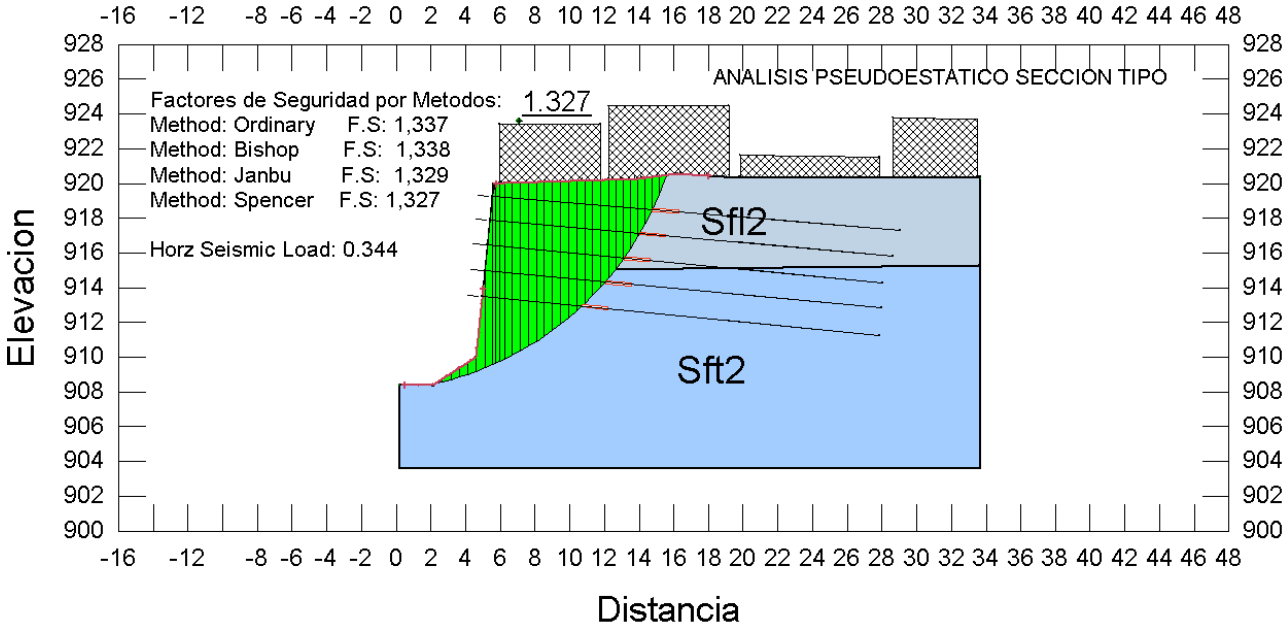
Tabla 33: Valores F.S, Análisis Estático con Obras de Mitigación.

ANALISIS DE ESTABILIDAD CON OBRAS DE MITIGACION EN CONDICIONES ESTATICAS, SECTOR NAZARETH-TRES ESTRELLAS, ESCARPA SUR ENTRE CARRERAS 8 Y 9					
DESCRIPCION	**Método Ordinary**	**Método Bishop**	**Método Janbu**	**Método Spencer**	**Amenaza**
Seccion 1	**1,813**	**1,815**	**1,817**	**1,816**	**BAJA**
Seccion 2	**1,808**	**1,809**	**1,813**	**1,811**	**BAJA**
Seccion 3	**1,819**	**1,821**	**1,822**	**1,820**	**BAJA**

11.1.5 Análisis de Estabilidad en condiciones pseudoestaticas con obras de estabilización.

11.1.6 Análisis dinámico

Análisis Dinámico, con obras de estabilización



11.1.7 Resultado del Análisis de Estabilidad en condiciones dinámicas con obras de estabilización.

Tabla 34: Valores F.S, Análisis Dinámico con obras de mitigación.

ANALISIS DE ESTABILIDAD CON OBRAS DE MITIGACION EN CONDICIONES PSEUDOESTATICAS, SECTOR NAZARETH-TRES ESTRELLAS, ESCARPA SUR ENTRE CARRERAS 8 Y 9

DESCRIPCION	Método Ordinary	Método Bishop	Método Janbu	Método Spencer	Amenaza
Seccion 1	1,337	1,338	1,329	1,327	BAJA
Seccion 2	1,331	1,333	1,325	1,322	BAJA
Seccion 3	1,345	1,342	1,336	1,334	BAJA

12 CONCLUSIONES

Las unidades geológicas de ingeniería (UGI) que se presentan en el área se encuentran distribuidas así: 43.3% a los Suelos del Miembro Limos Rojos, 34.7% Suelos coluviales antiguos, 11.8% a los Suelos del Miembro Finos, 5.8% a los Suelos del Miembro Gravoso, 4.4% a los Suelos del Miembro Órganos.

La zona se encuentra dentro de la influencia de las Fallas del Suarez y Bucaramanga/Santa Marta.

La zona en cuanto a la valoración por pendientes en grados se encuentra distribuida así: Plana a suavemente inclinada (42.2%) Moderada (11.6%), Moderada-Alta (22.8%), Alta (14.9%) y muy alta (8.5%), indicando así que aproximadamente que más del 25% del área se encuentra en zonas con pendientes clasificadas de moderada a alta.

En el catálogo e inventario de movimientos en masa del SIMMA, perteneciente al Servicio Geológico Colombiano (SGC), se encuentran nueve (9) registros históricos para el área en estudio, los cuales se encuentran sin características específicas reportadas.

Los procesos de morfodinámica activos asociados a erosión en MM-1 / ER-1, son de tipo laminar y en surcos, con espaciamiento menor a 5 metros; con un área erosionada entre el 75-89 %, con cobertura vegetal del 25-50%, para lo cual tendríamos una clasificación de erosión intermedia a severa. Este se presenta alrededor del barrio Nazareth, por toda la escarpa occidental del Abanico de Bucaramanga.

Los procesos de morfodinámica asociados a movimientos en masa son: MM-1 / ER-1: Deslizamiento de tipo caída de detritos, según el sistema de clasificación de

Cruden y Varnes, 1996, de estado activo, con estilo complejo y de enjambre, y de distribución retrogresivo; con presencia de fracturamiento vertical al talud.
Los procesos de morfodinámica asociados a movimientos en masa son: MM-2 y MM-3: Deslizamiento de tipo flujo según el sistema de clasificación de Cruden y Varnes, 1996, de subtipo escombros y basuras, de estado activo, estilo único, y distribución movil. El primero tiene dirección de flujo hacia NE/NW y el segundo en SW.
El proceso de MM-1 se presenta sobre zona de morfometrías altas, en coberturas del suelo de Tierras consociación Tierras desnudas / Herbazal, en laderas severamente erosionadas, sobre la UGI de Suelos del Miembro Gravoso de la Formación Bucaramanga.

Las geoformas presentes en el área se encuentran distribuidas así: Laderas subhorizontales (42.4%), Cuerpo de MM (32.9%), Laderas moderadas (16.6%), Lomos angostos (2.7%), Llenos de escombros (2.5%), Hondonadas paralelas (1%) y Obras de ingeniería (1%).

Las unidades de cobertura del suelo están distribuidas así: Consociación Arbustales-Herbazales (47.3%), Tejido urbano continuo (43.3%), Tierras desnudas (5.4%), Zonas de disposición de residuos (2.5%) e Instalaciones Residuales (1.5%).

La caracterización geotécnica, y el resultado del modelo Geologico-geotecnico se encuentran en uno de los anexos del presente estudio.

Medidas de mitigación contempladas en el presente estudio:

- Manejo de aguas superficiales, rondas de coronación sobre el área afectada.
- Implantar anclajes activos de 30 Toneladas.
- Los anclajes tienen longitud libre de 16 m y longitud de bulbo de 9m para un total de 25 metros.
- Cada anclaje debe contar con un apoyo o zapata.

- Aplicación de concreto lanzado sobre los taludes a los cuales previamente se les debe instalar una malla de protección calibre 10.
- Tensionamiento de los anclajes previamente instalados.
- Construcción de canaletas perimetrales

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

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

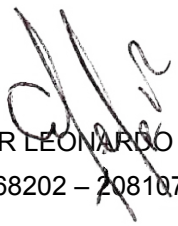
Se recomienda canalizar las aguas superficiales provenientes de las vías del sector y de los techos de las viviendas mediante la construcción de canales colectores de aguas lluvias, para evitar la infiltración y dispersión de la matriz de los materiales blandos.

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

Se recomienda mantener la vegetación existente y en las zonas donde hay altos niveles de erosión, iniciar un plan de reforestación, pues esto contribuirá a mejorar la estabilidad del terreno, mediante la empradizarían de las laderas, así como de siembra de árboles de baja altura y buena raíz que ayuden a amarrar el suelo para evitar la ocurrencia de movimientos en masa.

Las obras propuestas cumplen a cabalidad con la NSR-10.

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



ING.EDGAR LEONARDO GOMEZ RONCANCIO
MAT. NO. 68202 – 208107 STD

BIBLIOGRAFÍA

- BOWLES, Joseph E. Foundation Analysis and Design. Fourth Edition. McGraw-Hill Book Company. Singapore, 1988.
- JUAREZ BADILLO, Eulalio y RICO RODRIGUEZ, Alfonso. Mecánica de suelos Tomo II. Teoría y aplicaciones de la mecánica de suelos. Editorial Limusa. México, 1991.
- TERZAGHI, Karl; PECK Ralph B. Mecánica de suelos en la Ingeniería práctica. Segunda edición. Cuarta reimpresión. Editorial El Ateneo S.A.España, 1980.
- PECK, Ralph, HANSON, Walter E. THORNBURN, Thomas H.Ingeniería de cimentaciones. Talleres de imprenta técnica de Azafrán. México, Enero de 1982.
- Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo-Resistente NSR-10.
- DELGADO VARGAS, Manuel. Ingeniería de Fundaciones. Primera Edición. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 1996.
- GONZALEZ DE VALLEJO, Luis *et al*. Ingeniería Geológica. Madrid. PEARSON Prentice Hall, 2002. 744 p.
- ROYERO J. & CLAVIJO J. (2001): Mapa geológico generalizado. Departamento de Santander. Escala 1:400.000 Memoria explicativa. Instituto de Investigación e información geo científica, Minero-Ambiental y Nuclear INGEOMINAS. Ministerio de Minas y Energía. República de Colombia. p. 92.
- WARD, D.E. *et al*. Memoria Explicativa: Cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona. INGEOMINAS, 1973. 144 p.
- WARD, D.E. *et al*. Mapa Geológico de la Plancha 109 Rionegro. INGEOMINAS, 1977. Versión Digital 2010.
- NORMAS GEOTECNICA para el control y para la realización de estudios geológicos, geotécnicos e hidrológicos en el área de jurisdicción de la CDMB, Litografía Editar Impresores 2009.