


| | | |
|--|---|--------------------------------------|
|  | <p>EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD, PREDISEÑO DE MEDIDAS CORRECTIVAS Y EVALUACIÓN DE COSTOS DEL SECTOR QUEBRADA LA IGLESIA</p> | <p>CONSORCIO M&CI</p> |
| <p>SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL URBANA SOSTENIBLE COORDINACIÓN GESTIÓN DEL RIESGO</p> | | |



CORPORACION AUTONOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA

Subdirección Gestión Ambiental Urbana Sostenible
Coordinación de Gestión del Riesgo

EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD Y PREDISEÑO DE MEDIDAS CORRECTIVAS

Sector: **Quebrada La Iglesia – Fontana III**

CONSULTOR
CONSORCIO
M&CI

INTERVENTOR
EROSIÓN
CONSORCIO

SUPERVISOR
INGENIERO CIVIL
ORLANDO BAYONA
APARICIO

VOLUMEN No. 6




| | | |
|--|---|---------------------------|
|  | EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD, PREDISEÑO DE MEDIDAS CORRECTIVAS Y EVALUACIÓN DE COSTOS DEL SECTOR QUEBRADA LA IGLESIA | CONSORCIO M&CI |
| SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL URBANA SOSTENIBLE COORDINACIÓN GESTIÓN DEL RIESGO | | |

TABLA DE CONTENIDO

| | Pág. |
|---|------|
| LISTA DE FIGURAS | i |
| LISTA DE TABLAS | iv |
| LISTA DE ANEXOS | vi |
| RESUMEN | 1 |
| 1. GENERALIDADES | 2 |
| 1.1 INTRODUCCIÓN | 2 |
| 1.2 OBJETIVOS | 3 |
| 1.2.1 Objetivo General | 3 |
| 1.2.2 Objetivos Específicos | 3 |
| 1.3 ALCANCE | 4 |
| 1.4 LOCALIZACIÓN | 4 |
| 1.5 REVISIÓN DE INFORMACIÓN EXISTENTE | 6 |
| 1.5.1 Inventario de obras | 6 |
| 1.5.2 Información consultada | 8 |
| 2. GEOLOGÍA | 9 |
| 2.1 GEOLOGÍA REGIONAL | 9 |
| 2.1.1 Miembro Órganos (Qbo) | 10 |
| 2.1.2 Miembro Gravoso (Qbg) | 11 |
| 2.1.3 Miembro Limos Rojos (Qblr) | 11 |
| 2.2 UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES | 12 |
| 2.2.1 GENERALIDADES | 12 |
| 2.2.1.1 Unidades de Suelo | 13 |
| 2.2.1.1.1 Unidades de Suelo Transportado | 13 |
| 2.2.1.1.2 Suelo del Miembro Gravoso (Sft3) | 14 |
| 2.2.1.1.3 Suelo del Miembro Gravoso (Sft2) | 15 |
| 2.2.1.1.4 Suelo del Miembro Limos Rojos (Formación Bucaramanga, Sfl2) | 15 |
| 2.2.1.1.5 Suelos Coluviales Activos (Sco1) e Inactivos (Sco2) | 16 |
| 2.2.1.1.6 Suelos de Cauce Activo y Terrazas Aluviales (Sal) | 16 |
| 2.2.1.1.7 Suelos de Botaderos de Escombros (Sla) | 17 |
| 2.2 GEOLOGÍA LOCAL | 17 |
| 2.2.1 Suelo Gravoso del Miembro Órganos (Formación Bucaramanga, Sft3) | 17 |

| | | |
|---|---|---|
|  | <p align="center">EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD, PREDISEÑO DE MEDIDAS CORRECTIVAS Y EVALUACIÓN DE COSTOS DEL SECTOR QUEBRADA LA IGLESIA</p> | <p align="center">C O N S O R C I O M&CI</p> |
| <p align="center">SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL URBANA SOSTENIBLE COORDINACIÓN GESTIÓN DEL RIESGO</p> | | |


| | | |
|-----------|---|-----------|
| 2.3.2 | Suelo del Miembro Gravoso (formación Bucaramanga) (Sft2) | 19 |
| 2.3.3 | Suelo del Miembro Limos Rojos (Sfl2) | 20 |
| 2.3.4 | Suelo de Terrazas Aluviales (Sal) | 21 |
| 2.3.5 | Suelo Coluvial Activo (Sco1) | 22 |
| 2.3.6 | Suelo Coluvial Inactivo (Sco2) | 23 |
| 2.3.7 | Suelo de Botadero de Escombros (Sla) | 24 |
| 3. | HIDROLOGÍA | 25 |
| 3.1 | CLIMATOLOGÍA E HIDROLOGÍA GENERAL | 25 |
| 3.1.1 | Descripción general del clima | 25 |
| 3.1.2 | Descripción general de la temperatura, humedad y brillo solar | 26 |
| 3.1.3 | Descripción general de la precipitación | 29 |
| 3.2 | DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS | 32 |
| 3.3 | INFORMACIÓN HIDROLÓGICA | 32 |
| 3.4 | CARACTERIZACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN | 34 |
| 3.4.1 | Precipitación total anual | 36 |
| 3.4.2 | Variación espacial de la precipitación total | 38 |
| 3.4.3 | Precipitación máxima en 24 horas | 41 |
| 3.4.4 | Lluvias de corta duración | 48 |
| 3.4.5 | Curvas IDF para el sector Quebrada La Iglesia-Fontana III | 50 |
| 3.4.6 | Lluvias acumuladas para el sector Quebrada La Iglesia-Fontana III | 52 |
| 3.5 | CARTOGRAFÍA BASE | 53 |
| 3.6 | DRENAJE NATURAL Y ARTIFICIAL | 54 |
| 3.7 | CÁLCULO DE LA ESCORRENTÍA | 54 |
| 4. | EXPLORACIÓN Y ENSAYOS | 60 |
| 4.1 | EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO | 60 |
| 4.2 | ENSAYOS DE LABORATORIO | 63 |
| 4.2.1 | Ensayos de clasificación | 63 |
| 4.1.2 | Ensayos de corte | 63 |
| 5. | MODELO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO | 68 |
| 5.1 | DISTRIBUCIÓN DE MATERIALES EN PROFUNDIDAD | 69 |
| 5.2 | PARÁMETROS GEOMECÁNICOS EMPLEADOS MODELACIÓN | 70 |
| 5.3 | ANÁLISIS DE ESTABILIDAD | 71 |
| 5.3.1 | Análisis para la Condición Actual | 72 |
| 5.3.1.1 | Análisis de la sección 1 en condición actual | 72 |
| 5.3.1.2 | Análisis de la sección 2 en condición actual | 73 |
| 5.3.1.3 | Análisis de la sección 3 en condición actual | 73 |
| 5.3.1.4 | Análisis de la sección 4 en condición actual | 74 |

| | | |
|--|---|---------------------------|
|  | EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD, PREDISEÑO DE MEDIDAS CORRECTIVAS Y EVALUACIÓN DE COSTOS DEL SECTOR QUEBRADA LA IGLESIA | CONSORCIO M&CI |
| SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL URBANA SOSTENIBLE COORDINACIÓN GESTIÓN DEL RIESGO | | |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 5.3.2 | Análisis de estabilidad con Medidas de Mitigación | 75 |
| 5.4 | EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN AMENAZA FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA | 76 |
| 5.4.1 | Aspectos Metodológicos Generales | 77 |
| 5.4.2 | Niveles de Amenaza | 78 |
| 5.4.3 | Evaluación de la amenaza para la condición actual del terreno | 78 |
| 6. | PREDISEÑO DE MEDIDAS CORRECTIVAS | 80 |
| 6.1 | MOVIMIENTO DE TIERRA | 80 |
| 6.1.1 | Volumen de Cortes para conformación de taludes | 81 |
| 6.1.2 | Volumen de Cortes para construcción de canales | 81 |
| 6.1.3 | Rellenos con Material seleccionado | 81 |
| 6.1.4 | Volumen de relleno | 81 |
| 6.2 | ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN | 82 |
| 6.2.1 | Muro de Gaviones | 82 |
| 6.2.1.1 | Recomendaciones constructivas | 83 |
| 6.3 | OBRAS PARA EL MANEJO DE AGUAS SUBTERRANEAS | 84 |
| 6.3.1 | Subdrenes de Zanjas | 84 |
| 6.3.1.1 | Especificaciones técnicas | 85 |
| 6.4 | OBRAS PARA EL MANEJO DE AGUAS SUPERFICIALES | 85 |
| 6.5 | OBRAS PARA EL MANEJO DEL CONTROL DE LA EROSIÓN | 88 |
| 6.5.1 | El Concepto de Bioingeniería | 88 |
| 6.5.2 | Efectos físicos de la vegetación | 88 |
| 7. | EVALUACIÓN DE COSTOS | 90 |
| 8. | PROYECCIÓN DE COSTOS | 92 |
| 9. | CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES | 96 |
| 9. | BIBLIOGRAFÍA | 103 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|-------------|
| Figura 1. Localización del sitio de estudio | 5 |
| Figura 2. Porcentaje de obras existentes escarpa occidental de Bucaramanga | 7 |
| Figura 3. Detalle del mapa Geológico de la Escarpa del barrio Fontana III | 9 |
| Figura 4. Panorámica escarpe sector norte 18 | |
| Figura 5. Detalle de los depósitos matriz soportados | 19 |
| Figura 6. Sector nororiental del Polideportivo | 20 |
| Figura 7. Detalle suelos de terraza aluvial dejada por la quebrada La Iglesia | 22 |
| Figura 8. Suelos de depósitos de Coluvión Activo del sector | 23 |
| Figura 9. Detalle de suelos de Coluvión Inactivo | 24 |
| Figura 10. Temperatura media mensual multianual estación UIS (1975 – 2005) | 27 |
| Figura 11. Humedad relativa (%) promedio mensual multianual E. Aeropuerto | 28 |
| Figura 12. Brillo solar (Horas) mensual multianual E. Aeropuerto (1975 – 2005) | 29 |
| Figura 13. Precipitación media mensual multianual (1975 – 2005) | 30 |
| Figura 14. Histograma de precipitación media anual multianual (1975-2005) | 31 |
| Figura 15. Isoyetas para un periodo de retorno de 2 años | 31 |
| Figura 16. Precipitación media mensual estación La Floresta (1996-2008) | 35 |
| Figura 17. Histograma de precipitación media anual porcentual | 36 |
| Figura 18. Precipitación anual Estación Bucaramanga | 36 |
| Figura 19. Precipitación anual Estación La Floresta | 37 |
| Figura 20. Precipitación anual Estación LLANO GRANDE | 37 |
| Figura 21. Precipitación anual Estación CDMB | 37 |
| Figura 22. Precipitación anual Estación Club Campestre | 38 |
| Figura 23. Precipitación anual Estación PTAR | 38 |
| Figura 24. Curvas Isoyetas medias anuales base estaciones seleccionadas | 39 |
| Figura 25. Relación de la elevación y precipitación estaciones de Bucaramanga | 40 |

| | | |
|--|---|--------------------------------------|
|  | <p>EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD, PREDISEÑO DE MEDIDAS CORRECTIVAS Y EVALUACIÓN DE COSTOS DEL SECTOR QUEBRADA LA IGLESIA</p> | <p>CONSORCIO M&CI</p> |
| <p>SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL URBANA SOSTENIBLE COORDINACIÓN GESTIÓN DEL RIESGO</p> | | |


| | |
|---|----|
| Figura 26. Relación de la elevación y precipitación estaciones zona sur centro | 41 |
| Figura 27. Valores totales anuales de precipitación estaciones zona sur centro | 41 |
| Figura 28. Precipitación máxima en 24 horas Estación Bucaramanga | 42 |
| Figura 29. Precipitación máxima en 24 horas Estación La Floresta | 42 |
| Figura 30. Precipitación máxima en 24 horas Estación Llano Grande | 43 |
| Figura 31. Precipitación máxima en 24 horas Estación CDMB | 43 |
| Figura 32. Precipitación máxima en 24 horas Estación Club Campestre | 44 |
| Figura 33. Precipitación máxima en 24 horas Estación PTAR | 44 |
| Figura 34. Distribución Gumbel para máximos de precipitación en 24 horas | 48 |
| Figura 35. Curvas IDF Sintéticas para la Estación La Floresta– Método de Bell | 51 |
| Figura 36. Curva de frecuencia lluvia acumulada diferentes periodos de retorno | 52 |
| Figura 37. Imagen Cartografía general Sector Quebrada La Iglesia-Fontana III | 53 |
| Figura 38. Imagen de Google Earth sector Quebrada La Iglesia | 54 |
| Figura 39. Localización exploraciones efectuadas sector Quebrada La Iglesia | 60 |
| Figura 40. Registro de Perforación QLF-12-07 | 62 |
| Figura 41. Envoltente de esfuerzos ensayo de corte del sondeo QLF-12-07, M264 | 64 |
| Figura 42. Envoltente de esfuerzos ensayo de corte del sondeo QLF-12-07, M764 | 64 |
| Figura 43. Envoltente esfuerzos ensayo de corte del sondeo QLF-12-07, M11 | 65 |
| Figura 44. Envoltente de esfuerzos ensayo de corte sondeo QLF-12-07, M13 | 65 |
| Figura 45. Envoltente de esfuerzos ensayo de corte AP1, M1 | 66 |
| Figura 46. Envoltente de esfuerzos ensayo de corte AP2 | 66 |
| Figura 47. Envoltente de esfuerzos ensayo de corte AP3 | 67 |
| Figura 48. Localización secciones de estudio | 68 |
| Figura 49. Perfil geológico-geotécnico sección 1 | 69 |
| Figura 50. Perfil geológico- geotécnico sección 2 | 69 |
| Figura 51. Perfil geológico- geotécnico sección 3 | 70 |
| Figura 52. Perfil geológico- geotécnico sección 4 | 70 |
| Figura 53. Parámetros Geomecánicos Quebrada La Iglesia | 70 |

| | |
|--|----|
| Figura 54. Análisis de estabilidad sección 1, en condición actual | 72 |
| Figura 55. Análisis de estabilidad sección 2, en condición actual | 73 |
| Figura 56. Análisis de estabilidad sección 3, en condición actual | 74 |
| Figura 57. Análisis de estabilidad sección 4, en condición actual | 74 |
| Figura 58. Análisis de Estabilidad condición con obras sección 1 | 75 |
| Figura 59. Análisis de Estabilidad condición con obras sección 2 | 76 |
| Figura 60. Análisis de Estabilidad condición con obras sección 4 | 76 |
| Figura 61. Imagen Zonificación Amenaza Quebrada La Iglesia condición Actual | 79 |
| Figura 62. Porcentajes De Amenaza, sector Quebrada La Iglesia | 79 |
| Figura 63. Requisitos Materiales | 81 |
| Figura 64. Sección típica de un muro en gaviones | 83 |
| Figura 65. Detalle típico de un Subdren de Zanja | 84 |
| Figura 66. Obras hidráulicas propuestas para el sector Quebrada La Iglesia | 86 |
| Figura 67. Proyección anual costos de Equipos | 93 |
| Figura 68. Proyección anual costos Materiales | 93 |
| Figura 69. Proyección anual costos Transporte | 93 |
| Figura 70. Proyección anual costos Mano de Obra | 94 |
| Figura 71. Costos Indirectos | 94 |
| Figura 72. Prospección Variación anual Promedio índice costos Construcción | 95 |
| Figura 73. Proyección anual costos alternativa mitigación Quebrada La Iglesia | 95 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|--|------|
| Tabla 1. Clasificación genética de las unidades de suelo | 13 |
| Tabla 2. Principales parámetros meteorológicos, Bucaramanga | 25 |
| Tabla 3. Estaciones con registros precipitación involucrados análisis espacial | 26 |
| Tabla 4. Relación de temperatura media, máxima y mínima Período | 27 |
| Tabla 5. Inventario de estaciones en el Área Metropolitana de Bucaramanga | 33 |
| Tabla 6. Inventario de estaciones seleccionadas para el estudio regional | 34 |
| Tabla 7. Valores máximos anuales, promedio desviación coeficiente variación | 45 |
| Tabla 8. Valores de precipitación máxima estaciones de Bucaramanga | 45 |
| Tabla 9. Valores precipitación máxima estaciones zona sur-centro | 46 |
| Tabla 10. Valores de precipitación máxima periodo de retorno de 100 años | 47 |
| Tabla 11. Intensidades máximas Estación La Floresta | 51 |
| Tabla 12. Tabla resultados curva de frecuencia lluvia acumulada | 53 |
| Tabla 13. Coeficientes de escorrentía Método Racional | 57 |
| Tabla 14. Cálculo del tiempo de concentración | 58 |
| Tabla 15. Intensidades máximas de precipitación | 59 |
| Tabla 16. Coordenadas de los sondeos localizados sector Quebrada La Iglesia | 61 |
| Tabla 17. Resultados ensayos de clasificación | 63 |
| Tabla 18. Resultados ensayo de corte, Quebrada La Iglesia | 67 |
| Tabla 19. Factores de Seguridad Condición con Obras | 75 |
| Tabla 20. Características niveles de amenaza por deslizamiento e inundación | 78 |
| Tabla 21. Geometría de la sección del muro de gaviones | 82 |
| Tabla 22. Caudales individuales (m ³ /s) diferentes condiciones de interés | 87 |
| Tabla 23. Predimensionamiento de canales | 87 |

| | |
|--|----|
| Tabla 24. Cantidades de Obras sector Quebrada La Iglesia | 91 |
| Tabla 25. Presupuesto General Obras, sector Quebrada La Iglesia | 91 |
| Tabla 26. Valoración Anual Promedio del Índice Costos Construcción Pesada | 92 |

| | | |
|--|---|--------------------------------------|
|  <p>cdmh</p> | <p>EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD, PREDISEÑO DE MEDIDAS CORRECTIVAS Y EVALUACIÓN DE COSTOS DEL SECTOR QUEBRADA LA IGLESIA</p> | <p>CONSORCIO M&CI</p> |
| <p>SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL URBANA SOSTENIBLE COORDINACIÓN GESTIÓN DEL RIESGO</p> | | |

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. PLANO GEOLÓGICO

ANEXO 2. REGISTRO DE PERFORACIÓN


ANEXO 3. ENSAYO DE LABORATORIO

ANEXO 4. PLANOS PREDISEÑOS

ANEXO 5. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

ANEXO 6. ESTUDIO DE VULNERABILIDAD

ANEXO 7. CARTILLAS RESUMEN

| | | |
|--|---|--------------------------------------|
|  | <p>EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD, PREDISEÑO DE MEDIDAS CORRECTIVAS Y EVALUACIÓN DE COSTOS DEL SECTOR QUEBRADA LA IGLESIA</p> | <p>CONSORCIO M&CI</p> |
| <p>SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL URBANA SOSTENIBLE COORDINACIÓN GESTIÓN DEL RIESGO</p> | | |


RESUMEN

El presente documento corresponde a la Evaluación de Estabilidad y Prediseño de las medidas de mitigación para el Sector Quebrada La Iglesia, el cual hace parte del “*Estudio de Actualización del Plan General para el Control de La Erosión en el Municipio De Bucaramanga Departamento de Santander*”.

En el informe se presentan los estudios Geológico, Hidrológico y Geotécnico, de donde se obtienen las variables físicas, geomecánicas, hidrogeológicas, hidrogeomorfológicas, sísmicas, entre otras, las cuales son usadas para el desarrollo del modelo geológico-geotécnico.

A los modelos obtenidos se les realiza un análisis de estabilidad basado en los métodos de Bishop y Spencer, para la condición actual. A partir de estos resultados, se identifican los sectores críticos y se proponen diversas medidas de mitigación, que permitan mejorar la estabilidad del sector, en términos de los factores de seguridad. Finalmente, se realiza el prediseño de las obras más óptimas, teniendo en cuenta factores técnicos, sociales y económicos.

Las medidas de mitigación propuestas dentro del estudio incluyen la implementación de un muro de gaviones y una zanja drenante que permita abatir el nivel freático. Para mejorar el entorno paisajístico y proporcionar protección de la zona contra la erosión eólica o hidráulica, las obras se recubrirán con vegetación nativa de la zona, que actúe como barrera ante el impacto de las gotas de lluvia y que mejoren el entorno del sector.

| | | |
|---|---|---|
|  | <p align="center">EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD, PREDISEÑO DE MEDIDAS CORRECTIVAS Y EVALUACIÓN DE COSTOS DEL SECTOR QUEBRADA LA IGLESIA</p> | <p align="center">C O N S O R C I O M&CI</p> |
| <p align="center">SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL URBANA SOSTENIBLE COORDINACIÓN GESTIÓN DEL RIESGO</p> | | |


1. GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

Los movimientos en masa se presentan debido a factores del entorno, de tipo geológico, fisiográfico y climático, que en conjunto generan la susceptibilidad natural del suelo. 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.

Desde hace algún tiempo, se han registrado una serie de procesos erosivos y de remoción en masa en el sector de Quebrada La Iglesia-Fontana III, los cuales amenazan las viviendas ubicadas en la parte superior del talud. Este documento presenta los resultados del estudio de estabilidad realizado en el sector de Quebrada La Iglesia-Fontana III de la ciudad de Bucaramanga, y a partir de dichos resultados, se proponen una serie de medidas correctivas tendientes a garantizar la estabilidad de las viviendas ubicadas en la parte superior del talud.

Con el propósito de definir una propuesta adecuada, se realiza una evaluación interdisciplinaria, que incluye estudios geológicos, geomorfológicos, hidráulicos e hidrológicos, además de la exploración del subsuelo, a fin de determinar los parámetros que permitan identificar el tipo de material presente en la zona, y junto con un estudio económico, proponer medidas de mitigación y de corrección al proceso de erosión.

| | | |
|--|---|---|
|  <i>cdmb</i> | EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD, PREDISEÑO DE MEDIDAS CORRECTIVAS Y EVALUACIÓN DE COSTOS DEL SECTOR QUEBRADA LA IGLESIA | <small>C O N S O R C I O</small> M&CI |
| <small>SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL URBANA SOSTENIBLE COORDINACIÓN GESTIÓN DEL RIESGO</small> | | |

Las medidas correctivas estarán incluidas dentro de una alta gama de obras de ingeniería: obras de contención, obras de estabilización, terracedo, obras de control de cauces, entre otras. El principal factor de determinación de estas medidas es la disminución y mitigación de los efectos de la erosión, pero el factor económico también jugará un papel importante en la determinación de dichas obras, ya que se buscará una optimización de los recursos, cumpliendo con los requisitos demandados por el tipo de proyecto a desarrollar.


1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

Realizar la evaluación de estabilidad y pre diseño de las obras de mitigación para el sector de Quebrada La Iglesia-Fontana III, localizado en la zona suroccidente de la Meseta de Bucaramanga.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar una caracterización geológica y geomorfológica del sector de Quebrada La Iglesia-Fontana III, ubicado en la zona suroccidental de la ciudad de Bucaramanga.
- Realizar el estudio y análisis hidrológico e hidráulico con el fin de obtener los parámetros básicos para el pre dimensionamiento de las obras hidráulicas necesarias para el adecuado manejo del agua de escorrentía y agua subterránea.
- Realizar una caracterización geomecánica basada en los resultados de los ensayos obtenidos de registros existentes y/o exploración del subsuelo desarrolladas para el presente proyecto.

| | | |
|---|---|---|
|  | <p align="center">EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD, PREDISEÑO DE MEDIDAS CORRECTIVAS Y EVALUACIÓN DE COSTOS DEL SECTOR QUEBRADA LA IGLESIA</p> | <p align="center">C O N S O R C I O M&CI</p> |
| <p align="center">SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL URBANA SOSTENIBLE COORDINACIÓN GESTIÓN DEL RIESGO</p> | | |

- Desarrollar un modelo geológico-geotécnico para el análisis de la estabilidad del sector, basado en los métodos de Bishop y Spencer. Para tal fin se utilizará el programa SLIDE v5.0.
- Evaluar los resultados del análisis de estabilidad del sector Quebrada La Iglesia-Fontana III e identificar y localizar las zonas inestables.
- Elaborar el prediseño de las obras para la mitigación de las diferentes amenazas identificadas, teniendo en cuenta factores técnicos, sociales y económicos.
- Elaborar el presupuesto de las obras de mitigación propuestas para el control de la erosión en el sector Quebrada La Iglesia-Fontana III.

1.3 ALCANCE

El alcance de este proyecto consiste en evaluar la estabilidad del sector de Quebrada La Iglesia-Fontana III y definir los prediseños para las medidas de mitigación. Como resultado de los análisis se obtendrá la localización de las obras necesarias para la estabilización del sector. Estas obras incluyen estructuras de contención, estructuras hidráulicas y obras de bio-ingeniería, así como una evaluación aproximada de sus costos. La solución corresponde a la base para la sustentación técnica del plan de erosión.

1.4 LOCALIZACIÓN

El sector Quebrada La Iglesia – Fontana III se encuentra localizado al suroccidente de Bucaramanga, dentro de las coordenadas $X=1.275.700$, $Y=1.105.400$; $X'=1.276.200$, $Y'=1.105.600$, a una altura promedio de 800 msnm,

al norte del barrio Ciudad Venecia y nororiente de la Terminal de Transportes (Figura 1).

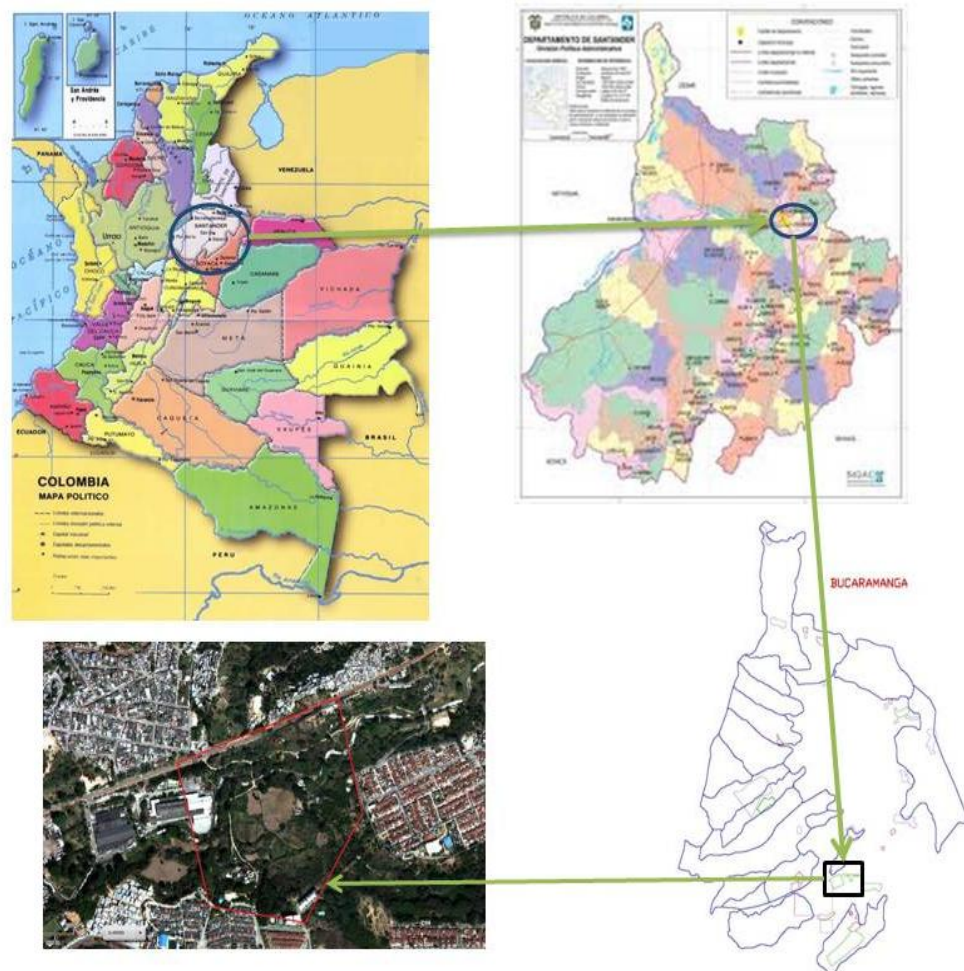


Figura 1. Localización del sitio de estudio

El barrio se ubica sobre una zona semiplana hacia la llanura aluvial de la quebrada La Iglesia y hacia el sur de ésta la morfología se vuelve moderada pasando a ser abrupta en límites con el barrio Ciudad Venecia. En estas zonas escarpadas se generan, en épocas de fuerte invierno, desplomes de material, amenazando la base de las construcciones ubicadas en la parte alta.

1.5 REVISIÓN DE INFORMACIÓN EXISTENTE

Una de las primeras actividades ejecutadas para la realización de este estudio fue la recopilación de información hidrometeorológica, geológica, geotécnica, así como también información que permitiera obtener un sondeo general de las intervenciones en el municipio de Bucaramangatendientes a la mitigación de amenazas por inundación y remoción en masa.

1.5.1 Inventario de obras

Para obtener el inventario de obras se revisó el documento “ANÁLISIS HISTÓRICO DEL PLAN GENERAL DE CONTROL DE LA EROSIÓN”, en donde se presenta un inventario los estudios e intervenciones realizadas en la ciudad de Bucaramanga. El abanico de obras es bastante amplio, desde el control de cauces, obras de vertimiento, hasta pantallas o muros de contención (Figura 2). Observando los diferentes contratos celebrados por la CDMB para el control de la erosión en la Meseta de Bucaramanga, se determinó que en términos generales se invirtieron cerca de \$19.639'614.519,00 desde el año 1967 hasta el año 2005.

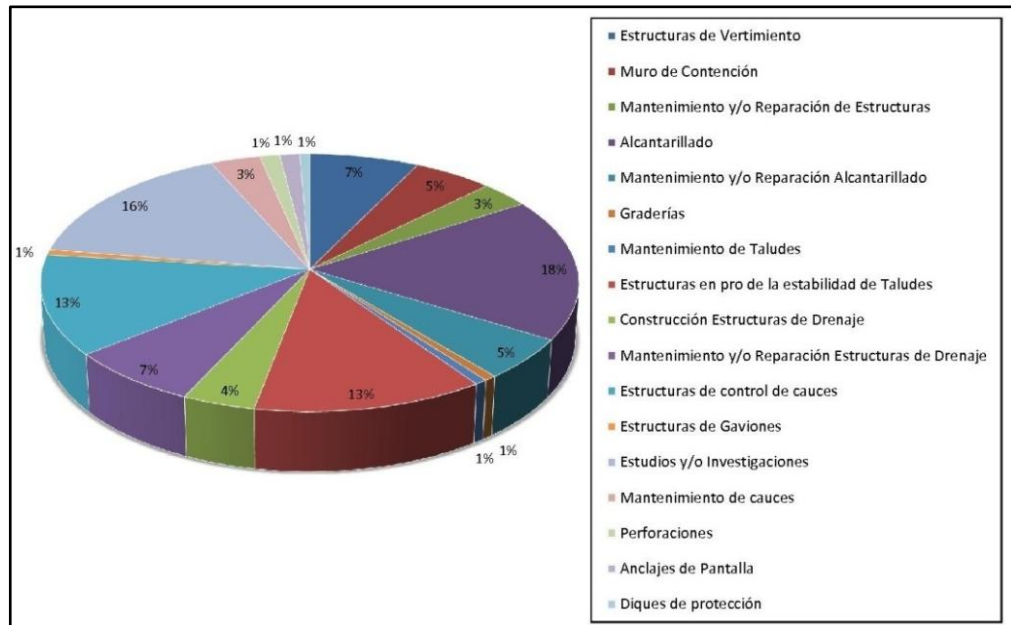



Figura 2. Porcentaje de obras existentes en la escarpa occidental de la Meseta de Bucaramanga

De las medidas mencionadas anteriormente, a continuación se relacionan las obras cercanas o en el mismo sector del Barrio Quebrada La Iglesia-Fontana III:

- Control del cauce Quebrada Chapinero Tramo I y II, Quebrada La Iglesia, Las Navas II, La Joya, Quebrada Seca, El Loro, Dos Aguas II.
- Construcción de alcantarillados en los barrios La transición sector I-II-III, Los Laureles, El Rosal, Los Colorados, El Cinal, Quebrada La Iglesia e Independencia II.
- Mantenimiento del sistema de drenaje La Rosita, Quebrada Seca, Cuyamita, Las Navas, Dos aguas, El Loro, La Victoria sector sur, La Salle, Nueva Granada, Quebrada La Iglesia, Provenza, Albania Miraflores sector nor oriental, Vegas de Morrórico.

| | | |
|--|---|--------------------------------------|
|  | <p>EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD, PREDISEÑO DE MEDIDAS CORRECTIVAS Y EVALUACIÓN DE COSTOS DEL SECTOR QUEBRADA LA IGLESIA</p> | <p>CONSORCIO M&CI</p> |
| <p>SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL URBANA SOSTENIBLE COORDINACIÓN GESTIÓN DEL RIESGO</p> | | |

- Mantenimiento control de cauce quebrada El Loro, La Flora, Quebrada La Iglesia (Margen Derecha, sector puente El Carrasco), Quebrada la Esperanza y Zona Norte, Quebrada Las Navas y Dos Aguas.
- Control Pluvial barrios Cordoncillos parte alta, Calle 103 entre carreras 23 y 24 (Barrio Provenza), La Ceiba, y margen derecha Quebrada La Iglesia.

1.5.2 Información consultada

- Precisiones cartográficas de CDMB, Bucaramanga, Floridablanca y Piedecuesta.
- Zonificación Sismogeotécnica indicativa del Área Metropolitana de la ciudad de Bucaramanga. INGEOMINAS. 2001.
- Análisis de las inundaciones y avalanchas ocurridas en el río de Oro desde el 8 al 13 de Febrero de 2005 y el diagnóstico del comportamiento del río hacia el futuro. Bucaramanga. CDMB-GEOTECNOLOGÍA LTDA. 2005.
- Zonificación de amenaza por movimientos en masa de algunas laderas de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta. INGEOMINAS 2008.

2. GEOLOGÍA

2.1 GEOLOGÍA REGIONAL

Según el mapa geológico del INGEOMINAS (2001), La Escarpa del barrio Fontana III se localiza sobre depósitos pertenecientes a la Formación Bucaramanga que conforma el llamado abanico de Bucaramanga. El espesor de esta formación varía entre 240 y 290 m en promedio. El nombre de la formación Bucaramanga fue inicialmente propuesto por Hubach (1952) quien reconoce dos miembros. Sin embargo después de trabajos de campo detallados el INGEOMINAS la subdivide en cuatro miembros: Órganos, Finos, Gravoso y Limos Rojos; 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).

En el sector estudiado afloran los miembros Órganos, Gravoso y Limos (Figura 3):

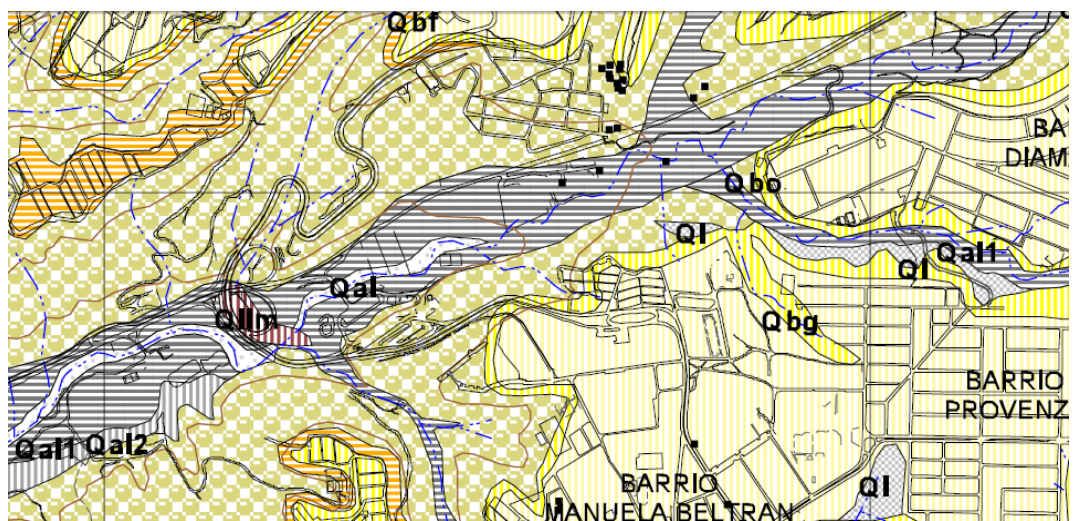


Figura 3. Detalle del mapa Geológico de la Escarpa del barrio Fontana III


En la figura 3 se presenta el detalle del mapa Geológico de la Escarpa del barrio Fontana III, donde se muestran los Miembros Limos Rojos (Qblr), Gravoso (Qbg) y Órganos (Qbo) de la Formación Bucaramanga. INGEOMINAS (2001)

Se describen a continuación los miembros de más antiguo a más reciente, de acuerdo con la información geológica que se presenta en los estudios del INGEOMINAS (2001).

2.1.1 Miembro Órganos (Qbo)

Definido por Hubach (1952). Esta es la unidad más potente de la formación Bucaramanga, estimándose que su espesor podría superar los 180 m. De acuerdo con Bueno y Solarte (1994), corresponde a una serie monótona de niveles polimícticos de fragmentos gruesos, de aspecto conglomerático, con alternancia de capas y lentes limo arenosos, con variaciones laterales y verticales en composición y textura. Hubach (1952), describe niveles lenticulares limoarenosos, con espesores de hasta 5 metros.

Los niveles de aspecto “conglomerático” conforman depósitos de gravas y bloques, débilmente consolidados, clasto-soportados y grano soportados, dispuestos en forma de capas gruesas a muy gruesas, con espesores hasta de 15 metros. El tamaño de los cantos varía entre 0.10 y 0.30 metros, alcanzando bloques mayores de 1 metros de diámetro. Estos se componen en su mayoría de areniscas silíceas de grano medio, bien cementadas y en menor proporción de fragmentos de rocas ígneas ácidas de textura fanerítica, neis micáceos de color amarillo hasta rosado, areniscas lodosas rojizas de grano fino y alto contenido de micas, cuarzo lechoso, liditas y cherts. Todos los fragmentos tienen formas redondeadas a subredondeadas, esfericidad baja a media y mala selección. Los niveles gravosos presentan matriz arcillosa, pardo amarillenta, con algunas variaciones a gris amarillento. Los niveles finos corresponden a arcillas arenosas y

| | | |
|--|---|--------------------------------------|
|  | <p>EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD, PREDISEÑO DE MEDIDAS CORRECTIVAS Y EVALUACIÓN DE COSTOS DEL SECTOR QUEBRADA LA IGLESIA</p> | <p>CONSORCIO M&CI</p> |
| <p>SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL URBANA SOSTENIBLE COORDINACIÓN GESTIÓN DEL RIESGO</p> | | |

arenas arcillosas compactas, de consistencia firme, ligeramente micáceas, con trazas de materia orgánica.

2.1.2 Miembro Gravoso (Qbg)

Definido por Niño y Vargas (1992), su espesor varía entre 8 y 30 metros; presenta 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, en su mayor parte tamaño grava de diámetro promedio 0.15 m y bloques de roca, en menor cantidad, hasta de 0.8 m de diámetro, subangulares a sub redondeados, en matriz areno-arcillo-limosa, color pardo rojizo, rojizo y ocre pálido; en general el depósito es matriz soportado, aunque localmente se presenta clasto soportado. El contacto inferior con el miembro Finos es neto, continuo y suavemente ondulado y el contacto superior con el miembro Limos rojos es gradacional (Niño y Vargas, 1992).

Los depósitos que conforman el miembro Gravoso presentan un grado de meteorización medio a alto, Los bajos porcentajes de humedad natural ($W < 15\%$), el predominio granular y el grado de meteorización sugiere que, al menos la parte superficial de este miembro, tiene poca compactación y buena permeabilidad. El ambiente de depositación indica un dominio de flujo de escombros.

2.1.3 Miembro Limos Rojos (Qblr)

Nivel definido por Julivert (1963). Este miembro se localiza en el sector urbanizado de Bucaramanga, aunque no en forma uniforme y se continúa hacia el sur, hasta el sector norte del municipio de Floridablanca.

Geomorfológicamente este miembro constituye lo que anteriormente se denominaba como “Meseta de Bucaramanga”, con relieve semiplano y pendientes entre 2 y 7%; el drenaje es escaso paralelo y superficial (Niño y Vargas, 1992).

Está constituido por arenas arcillosas gravosas y limos de colores rojizos, amarillentos y naranjas. Se observó la presencia esporádica de bloques angulares de arenisca asociados superficialmente a este miembro; estos cantos pueden estar embebidos dentro de limos rojos y se caracterizan por estar meteorizados. Suprayace al segmento gravoso y su contacto con éste es gradacional. La parte más superficial de este miembro se encuentra altamente meteorizada, formándose en algunos sectores niveles de oxidación que le ayudan a incrementar su compactación y resistencia a la erosión.

2.2 UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES

2.2.1 GENERALIDADES

En el presente estudio se caracterizaron y cartografiaron las Unidades Geológicas Superficiales a escalas detalladas entre 1:200 y 1:750 de acuerdo con las condiciones físico mecánicas de los diferentes materiales rocosos y de los suelos en diferentes sectores del municipio de Bucaramanga, con el objetivo de hacer prediseños para estabilizar las zonas consideradas como críticas. Se siguió la metodología y nomenclatura del INGEOMINAS (2007).

Las Unidades Geológicas Superficiales corresponden a un conjunto de materiales que incluyen suelos y rocas cuyas propiedades se conservan por debajo de la superficie hasta algunas decenas de metros. Las UGS se utilizan como herramienta para evaluar el comportamiento mecánico de los terrenos ante diferentes usos, como desarrollo de obras de infraestructura, desarrollos mineros y demás usos definidos en los planes de ordenamiento territorial.

Estos mapas se obtienen a partir del análisis de la información geológica que permite separar diferentes tipos de roca de acuerdo con su grado de

meteorización, fracturamiento y resistencia geológica, así como suelos de acuerdo con su origen (transportados y residuales).

2.1.1 Unidades de Suelo

Para la clasificación de estas unidades se tomó como base la clasificación genética utilizada por el INGEOMINAS (2007), presentada en la **Tabla 2.1**.

Tabla 1. Clasificación genética de las unidades de suelo. Modificado de Montero (2001)

| Tipo | Origen | Nombre de los depósitos |
|--------------|-----------------------------|---|
| Residual | In situ | Suelo Laterítico y Suelo Saprolítico. |
| Transportado | De Ladera | De gravedad: depósitos coluviales y flujos de tierra. |
| | Aluvial – Fluvio torrencial | Aluviones en el lecho o fuera de él (Llanura de Inundación, Barras, Terrazas, Abanicos, Deltas). |
| | Antrópico | Materiales diversos, naturales o no (Rellenos sanitarios, presas, escombreras y rellenos de disposición). |

2.1.1.1 Unidades de Suelo Transportado

Dentro de este tipo de materiales predominan los suelos aluviales derivados de la formación Bucaramanga que corresponden a un abanico de origen fluvio-torrencial de aproximadamente 300 m de espesor, el cual presenta diferentes niveles muy bien diferenciados. Son abundantes también los depósitos coluviales, algunos de los cuales presentan actividad reciente desarrollando movimientos en masa y existen también suelos de botadero de escombros, producto de la actividad antrópica.

2.1.1.2 Suelo del Miembro Gravoso (Sft3)

Corresponde a un depósito principalmente matriz soportado, cuya matriz es limo arcillosa, de color gris claro, con tintes marrones y rojizos de alteración, altamente erodable. Los bloques y cantos son redondeados, se componen de arenisca cuarzosa, de grano fino, micácea, con grado de alteración moderada. También se aprecian limolitas rojas alteradas, bloques de esquistos, cantos de cuarzo, conglomerados y cuarcitas frescas.

La unidad presenta consistencia muy firme a extremadamente firme en estado seco, pero al absorber agua pierde totalmente la consistencia y se desintegra la matriz. Tiene alta permeabilidad, es fácilmente erodable lo que facilita el desprendimiento de bloques y cantos en las épocas de fuertes precipitaciones originando surcos, cárcavas y tierras malas, que generan estoraques los cuales alcanzan en algunos sitios alrededor de 15 m de altura. Dentro de estos depósitos se presentan lentes de arcilla limo-arenosa que lateralmente varía a arena gravosa (INGEOMINAS, 2007).

Esta unidad se observa a lo largo de la escarpa occidental del abanico de Bucaramanga y se extiende hasta el fondo de los valles de las quebradas que atraviesan el área.

La unidad se caracteriza por desarrollar una morfología e laderas escarpadas a abruptas afectadas por erosión concentrada que ha generado desplomes de material (depósitos coluviales activos (Sco1) e inactivos (Sco2)).

2.1.1.3 Suelo del Miembro Gravoso (Sft2)

Los depósitos que conforman el miembro Gravoso de la formación Bucaramanga, presentan un grado de meteorización variable, fluctuando entre materiales inalterados a completamente meteorizados.

Se observa unasecuencia de materiales de consolidación intermedia, color amarillo naranja, material clasto a matriz soportado, de matriz areno-limosa, con gravas y bloques, compuestos por areniscas, neises y rocas ígneas, con diámetros de hasta 1 m, subredondeados a redondeados, esporádicamente subangulares.

Los bajos porcentajes de humedad natural, el predominio granular y el grado de meteorización, sugiere que al menos la parte superficial de este miembro, tiene poca compactación y buena permeabilidad.

2.1.1.4 Suelo del Miembro Limos Rojos (Formación Bucaramanga, Sfl2)

Se encuentra compuesto por arcillas y limos de color rojo, con contenido de arena en algunas partes, también se pueden encontrar bloques de diferente tamaño, principalmente de areniscas y neis. Esta unidad suprayace al segmento gravoso y su contacto con éste es gradacional.

Geomorfológicamente este miembro constituye lo que anteriormente se denominaba como “Meseta de Bucaramanga”, con relieve semiplano; el drenaje es escaso, paralelo y superficial. La parte más superficial de este miembro se encuentra altamente meteorizada, formándose en algunos sectores niveles de oxidación que le ayudan a incrementar su compactación y resistencia a la erosión.

2.1.1.5 Suelos Coluviales Activos (Sco1) e Inactivos (Sco2)

Los coluviones son masas incoherentes de materiales sueltos y heterogéneos, de suelos y/o fragmentos de roca angulares a subangulares, depositados por la gravedad, lavado de la lluvia o movimientos en masa (INGEOMINAS, 2007). Se caracterizan por ser materiales clasto-soportados o matriz soportados según el origen de los sedimentos, su tamaño de grano varía desde grava hasta bloques de 1,5 m de diámetro, con consistencia muy baja a baja en coluviones recientes y media a alta en coluviones antiguos y meteorización intermedia a alta. Su composición litológica depende de la fuente de origen.

Los coluviones activos se asocian a depósitos de ladera, a movimientos en masa que presentan actividad o han tenido movimiento en épocas recientes. Son inconsolidados, permeables, con fragmentos poco alterados, susceptibles a ser erosionados y a generar nuevos movimientos en masa. Los suelos coluviales inactivos se caracterizan por su consistencia moderada y no han presentado movimientos recientes.

2.1.1.6 Suelos de Cauce Activo y Terrazas Aluviales (Sal)

Son sedimentos recientes que han sido transportados y depositados por los ríos y quebradas, conformando los cauces activos y abandonados, llanuras de inundación, terrazas bajas y medias. Se incluyen en esta unidad todos los materiales de la planicie aluvial y terrazas bajas de las principales quebradas y arroyos de la zona.

Estos materiales presentan diferente composición y textura, dependiendo del tipo del material que ha sido erodado por las corrientes superficiales. Se componen de arenas ricas en cuarzo y feldespato de grano medio a grueso que varían a arcillas lodosas y arenosas, con presencia de cantos y bloques redondeados de rocas

ígneas, sedimentarias y metamórficas. Presentan una compacidad media a baja, con alta porosidad y permeabilidad.

2.1.1.7 Suelos de Botaderos de Escombros (Sla)

Corresponden a materiales heterogéneos dispuestos por el hombre, generalmente caóticamente y sin ningún tratamiento o adecuación, con el objeto de cumplir los requerimientos de los diseños de obras de ingeniería o con la intención de aprovechar áreas de cauce de drenajes. Están compuestos principalmente por materiales tamaño arena, arcilla, grava y son producto de residuos de construcción, excavaciones para minería o para adecuación de terrenos. Se incluyen los rellenos de basura (Ejemplo: El Carrasco). Este material presenta poca compactación.

2.2 GEOLOGÍA LOCAL

En el sitio denominado Escarpa del barrio Balconcitos afloran suelos de la Formación Bucaramanga, cuyos miembros se diferencian en el mapa de Unidades Geológicas Superficiales. La distribución de las respectivas UGS es detallada en el Anexo A1 “Plano Geológico”.

2.2.1 Suelo Gravoso del Miembro Órganos (Formación Bucaramanga, Sft3)

Depósito mal seleccionado de gravas y bloques, moderadamente consolidado, siendo matriz soportado en gran parte de la zona, pasando a ser clasto soportado en algunos sectores puntuales, los tamaños de los cantos y bloques varían entre 0.12 m y 1 m, compuestos de areniscas cuarzosas de grano medio a fino, bien cementadas, cuarcitas y neises; en general son redondeados a subredondeados. La matriz es areno arcillosa, de color marrón, crema a gris amarillento rojizo.

Esta unidad se localiza hacia la parte media de la zona estudiada, flanco izquierdo de la quebrada La Iglesia, encontrándose afloramientos hasta de 3 metros, pero su espesor total se desconoce pudiendo ser mayor de 10 metros (Figuras 4 y 5).

Vista hacia el sur. Panorámica del escarpe que limita el sector norte de los barrios Nueva Fontana y Ciudad Venecia. Delimitación aproximada de los suelos de los Miembros Limos Rojos (Sfl2), Gravoso (Sft2), Gravoso Miembro Órganos (Sft3) y Suelos de terrazas (Sal).

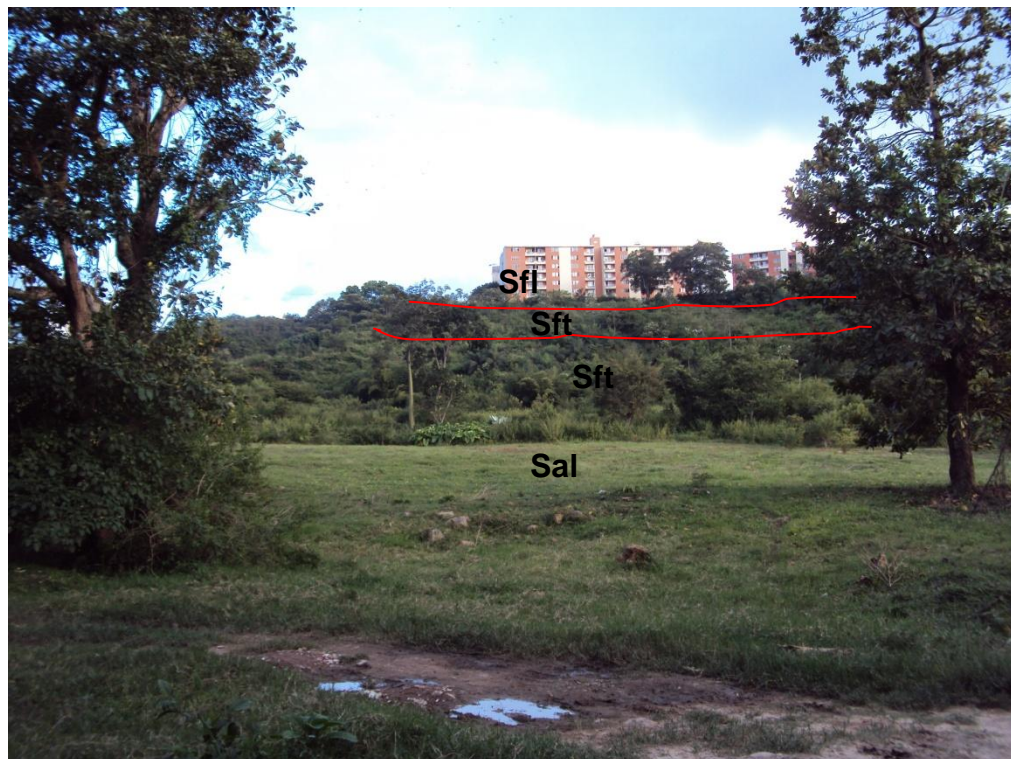


Figura 4. Panorámica escarpe sector norte barrios Nueva Fontana Ciudad Venecia

En la figura 5 se presenta el detalle de los depósitos matriz soportados que conforman el suelo gravoso del Miembro Órganos (Sft3), compuestos por bloques y cantos, de arenisca cuarzosa y cuarcitas.



Figura 5.Detalle de los depósitos matriz soportados

2.3.2 Suelo del Miembro Gravoso (formación Bucaramanga) (Sft2)

Corresponde a depósitos matriz soportados, conformados por cantos sub redondeados a redondeados, cuyos tamaños fluctúan entre 0.02 a 0.80 m de diámetro, están dispuestos caóticamente, compuestos por cuarcita, neises y arenisca cuarzosa principalmente, inalterados a ligeramente meteorizados, embebidos en una matriz arenoarcillosa, de colores amarillentos rojizos a crema, de consistencia moderada a baja. El espesor promedio de esta unidad es de aproximadamente 3 m, alcanzando en la parte superior hasta los 12 m.

Este nivel es continuo, presentándose hacia la parte media alta de los escarpes que limitan el sector norte de los barrios Nueva Fontana y Ciudad Venecia (Figura 6).

Sector nororiental del Polideportivo. Detalle del suelo del miembro Gravoso (Sft2), conformado por cantos y bloques, de arenisca cuarzosa y cuarcitas, embebidas en matriz areno-arcillosa



Figura 6. Sector nororiental del Polideportivo. Detalle del suelo del miembro Gravoso (Sft2)

2.3.3 Suelo del Miembro Limos Rojos (Sf12)

Se compone de intercalaciones de limos y arcillas de color rojo amarillento a marrón, con niveles arenosos y gravosos de algunos centímetros de espesor. Los cantos que se observan son subangulares a subredondeados, moderadamente meteorizados, cuyos tamaños varían hasta niveles de bloques esporádicos, compuestos principalmente de arenisca cuarzosa y cuarcitas.

Esta unidad tiene un espesor promedio de 1 metros y se halla cubriendo el miembro Gravoso cuyo contacto es gradacional, presentándose como un nivel continuo, localizado hacia la parte superior de los escarpes (Figura 4).

2.3.4 Suelo de Terrazas Aluviales (Sal)

Son sedimentos que han sido transportados y depositados por la quebrada La Iglesia, conformando el cauce activo, la llanura de inundación junto con una terraza baja, parte de la cual se utiliza actualmente como zona de pastos para cría de ganado (Figuras 4 y 7).

Estos materiales están conformados por cantos y bloques redondeados a subredondeados de cuarzo-arenitas, cuarcitas y neises, embebidos en una matriz areno-arcillosa de color gris crema amarillenta, algunos de estos bloques alcanzan hasta 1.5 metros de diámetro. Son medianamente compactos, presentando alta porosidad y permeabilidad.

En la figura 7 se observe remanentes de bloques subredondeados de cuarzo-arenita que quedan sobre la superficie.



Figura 7. Detalle de los suelos de terraza aluvial dejada por la quebrada La Iglesia

2.3.5 Suelo Coluvial Activo (Sco1)

Depósito de mezcla de materiales producto de desplome de los taludes localizados hacia el oriente de las canchas de bolo y hacia la zona norte de los barrios Nueva Fontana y Ciudad Bolívar (Figura 8).

Estos depósitos son bastante sueltos, permeables, dispuestos en forma caótica, alcanzando un espesor aproximado de 1.5 metros, compuestos por bloques y cantos de los suelos del miembro Gravoso y Limos Rojos principalmente, embebidos en matriz areno-arcillosa.

En la figura 8 se observa un talud conformado por Suelos de depósitos de Coluvión Activo y amenazan con afectar una de las vías de acceso principal a la zona.



Figura 8.Suelos de depósitos de Coluvión Activo del sector

2.3.6 Suelo Coluvial Inactivo (Sco2)

Los coluviones inactivos no han presentado movimientos recientes y se caracterizan por tener una matriz moderadamente compacta y fragmentos de roca de tamaños variables, menores a 0.30 m, moderadamente alterados, de forma angular a subangular, compuestos por areniscas, cuarcitas y neises principalmente. La matriz es areno-arcillosa, de color gris claro a amarillento, que ocupa más del 70% del depósito.

Estos depósitos se encuentran localizados en las hondonadas, hacia la base de los escarpes que limitan al norte los barrios Nueva Fontana y Ciudad Venecia, alcanzando un espesor promedio de 1 m (Figura 9).

En la figura 9 se presenta el detalle de suelos de Coluvión Inactivo conformado por cantos subangulares a subredondeados en matriz areno-arcillosa



Figura 9.Detalle de suelos de Coluvión Inactivo

2.3.7 Suelo de Botadero de Escombros (Sla)

Corresponden a acumulaciones de materiales de desechos de construcción, que se disponen hacia la parte baja de las zonas de terraceo para la construcción de viviendas. Estos materiales no presentan compactación, son bastante sueltos y permeables facilitando la inestabilidad del terreno. Su espesor promedio alcanza los 1.5 m. Se presentan hacia el sector norte del barrio Ciudad Venecia.

3. HIDROLOGÍA

3.1 CLIMATOLOGÍA E HIDROLOGÍA GENERAL


3.1.1 Descripción general del clima

Para la identificación del clima, se utilizan los parámetros registrados por el IDEAM para la ciudad de Bucaramanga a nivel mensual y se aplican al sector Quebrada La Iglesia-Fontana III como se muestra en la Tabla 2:

Tabla 2. Principales parámetros meteorológicos, Bucaramanga. Fuente: IDEAM

| Medios | Ene. | Feb. | Mar. | Abr. | May. | Jun. | Jul. | Ago. | Sep. | Oct. | Nov. | Dic. |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Precipitación | 52.4 | 70.6 | 131.9 | 152.9 | 123.5 | 89.0 | 84.4 | 91.8 | 92.6 | 157.0 | 110.9 | 57.9 |
| Nº días | 8 | 9 | 14 | 18 | 19 | 17 | 18 | 20 | 18 | 20 | 14 | 9 |
| T. máx. abs. | 29.2 | 30.5 | 29.6 | 29.0 | 29.0 | 29.2 | 29.0 | 30.2 | 29.4 | 28.8 | 29.0 | 28.4 |
| T. mín. abs. | 15.0 | 15.4 | 15.6 | 16.7 | 16.6 | 15.6 | 14.2 | 12.4 | 15.5 | 13.0 | 15.8 | 15.6 |
| T. máx. med. | 27.3 | 27.6 | 27.9 | 27.5 | 27.6 | 27.6 | 27.6 | 28.2 | 28.0 | 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. mín. med. | 16.7 | 16.9 | 16.9 | 17.2 | 17.3 | 17.0 | 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 | 124.0 | 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 3 Inventario de estaciones en el Área Metropolitana de Bucaramanga con información hidrometeorológica 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 la

| | | |
|--|---|---------------------------|
|  | EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD, PREDISEÑO DE MEDIDAS CORRECTIVAS Y EVALUACIÓN DE COSTOS DEL SECTOR QUEBRADA LA IGLESIA | CONSORCIO M&CI |
| SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL URBANA SOSTENIBLE COORDINACIÓN GESTIÓN DEL RIESGO | | |

estación más cercana que en este caso es la estación La Floresta, ubicada a 1500 metros.

Tabla 3. Estaciones con registros de precipitación involucrados en el análisis espacial

| Nº | Nombre estación | Municipio | Corriente | Instalada | TIPO | Coordenada Este | Coordenada Norte | Elevación (m.s.n.m.) |
|----|-------------------|---------------|-----------------|-----------|------|-----------------|------------------|----------------------|
| 1 | BUCARAMANGA IDEAM | Bucaramanga | SURATA | 1/10/1996 | PG | 1106527 | 1278528 | 1025 |
| 3 | FLORESTA LA | Floridablanca | Q DE LA IGLESIA | 1/6/1978 | PG | 1104693 | 1274837 | 925 |
| 13 | CDMB | BUCARAMANGA | DE ORO | 1/1/1979 | PG | 1105857 | 1279071 | 950 |
| 14 | CLUB CAMPESTRE | FLORIDABLANCA | FRIO | 10/1/1982 | PG | 1106399 | 1273072 | 940 |
| 19 | PTAR | GIRÓN | FRIO | 8/1/1985 | CO | 1102856 | 1272989 | 785 |

3.1.2 Descripción general de la temperatura, humedad y brillo solar

Para el análisis de variables del clima en el sector la estación más próxima es PTAR la cual es operada por la CDMB y fue instalada desde el año 1985 en el municipio de Bucaramanga.

A manera de ilustración sobre el comportamiento de las variables del clima en la región, se presentan en este aparte los datos del análisis realizado. Se observan a continuación los histogramas de temperatura, humedad relativa y brillo solar de forma anual multianual y media, máxima y mínima mensual multianual de las estaciones referidas.

En cuanto a la temperatura se establece en el estudio que los meses con menor temperatura promedio son octubre y noviembre y los de mayor temperatura promedio son marzo y abril coincidiendo este periodo en las tres estaciones de medición conforme la **Tabla 4**.

Tabla 4. Relación de temperatura media, máxima y mínima Período (1975 – 2005)

| ESTACIÓN | ALTURA ms nm | TEMPERATURA (°C) | | |
|----------------------|-----------------|------------------|--------|--------|
| | | MEDIA | MAXIMA | MÍNIMA |
| LLANO GRANDE | 777 | 25,1 | 27,3 | 21,6 |
| UIS | 1018 | 23,0 | 24,9 | 20,8 |
| AEROPUERTO PALONEGRO | 1190 | 21,3 | 23,2 | 19,2 |

Para observar gráficamente el comportamiento temporal de la temperatura, se presenta en la Figura 10 el caso de la estación UIS.

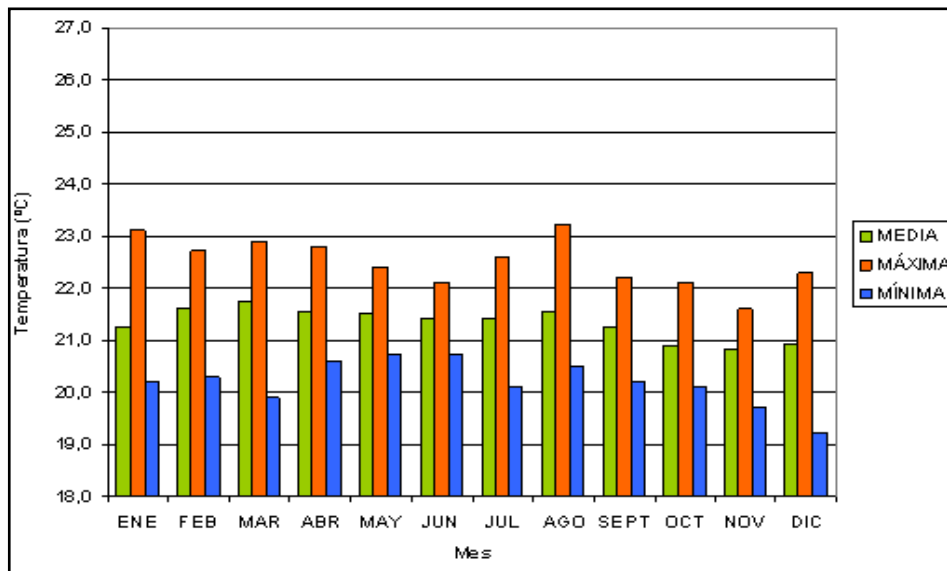


Figura 10. Temperatura media mensual multianual estación UIS (1975 – 2005)

En cuanto a humedad relativa (%) promedio se establece que los valores en la estación Aeropuerto Palonegro en general son mayores comparadas con la estación UIS y Llano Grande y que los mayores valores de humedad relativa coinciden con aquellos periodos lluviosos de la zona, siendo los meses de abril, mayo, octubre y noviembre aquellos con mayor magnitud (**Figura 11**).

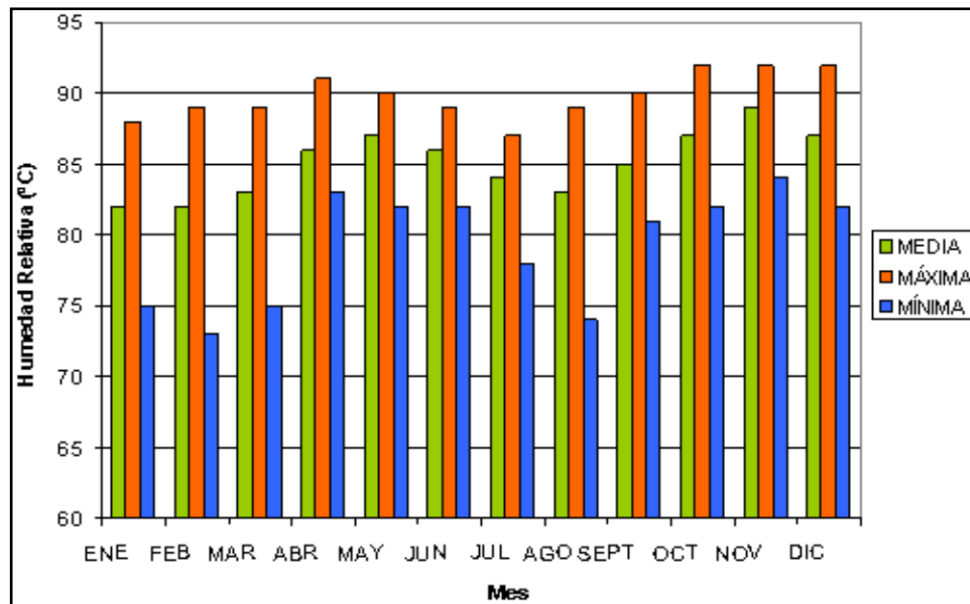


Figura 11. Humedad relativa (%) promedio mensual multianual E. Aeropuerto Palonegro

Finalmente, en cuanto a brillo solar se refiere, las estaciones con mayor periodo de registros son UIS y Aeropuerto Palonegro y los meses con mayor número de horas de brillo solar son diciembre y enero en comparación con los meses de abril, mayo y junio donde es menor su número, tal como se presenta en la **Figura 3.3**.

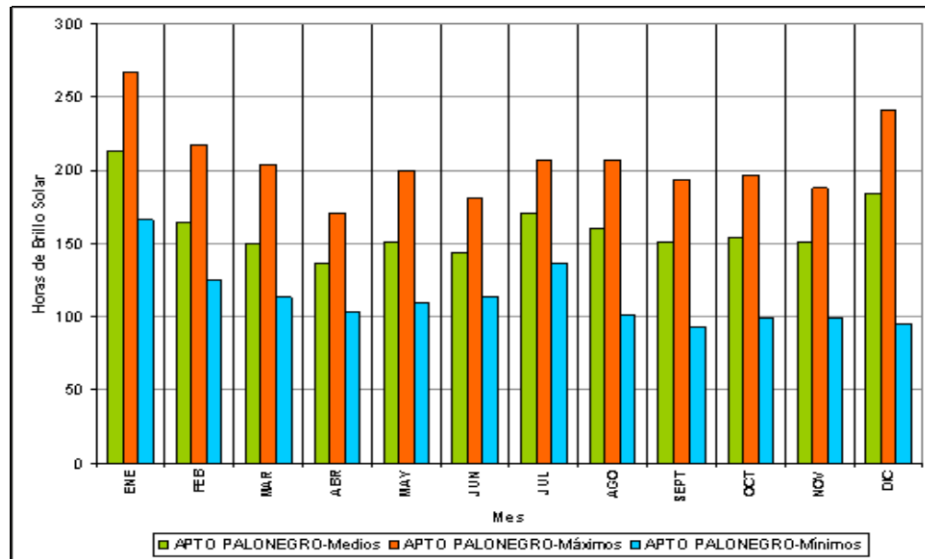


Figura 12.Brillo solar (Horas) mensual multianual E. Aeropuerto Palonegro (1975 – 2005)

3.1.3 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 13 de forma particular para la estación Aeropuerto Palonegro.

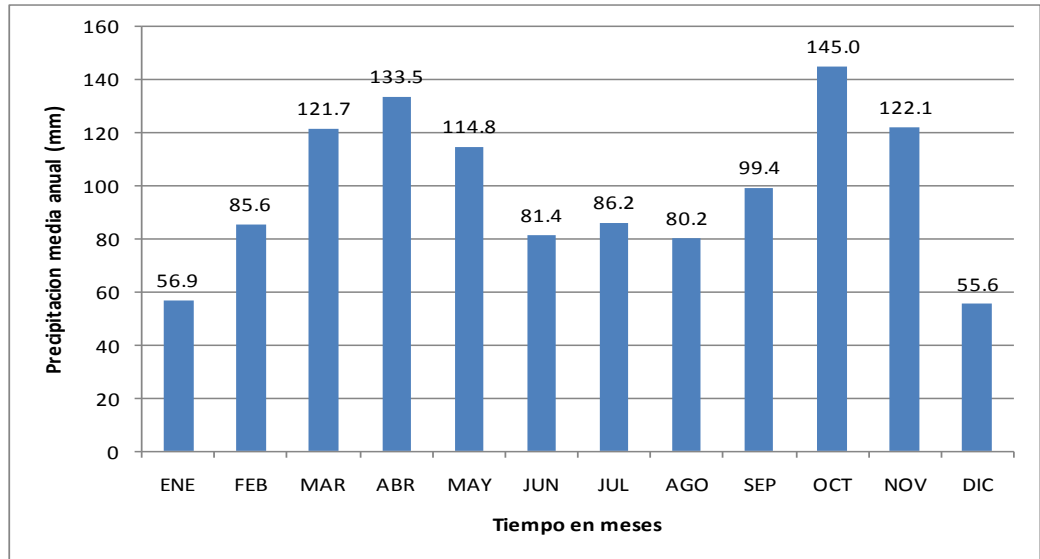


Figura 13. Precipitación media mensual multianual (1975 – 2005)

De la Figura 3.4 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 14.

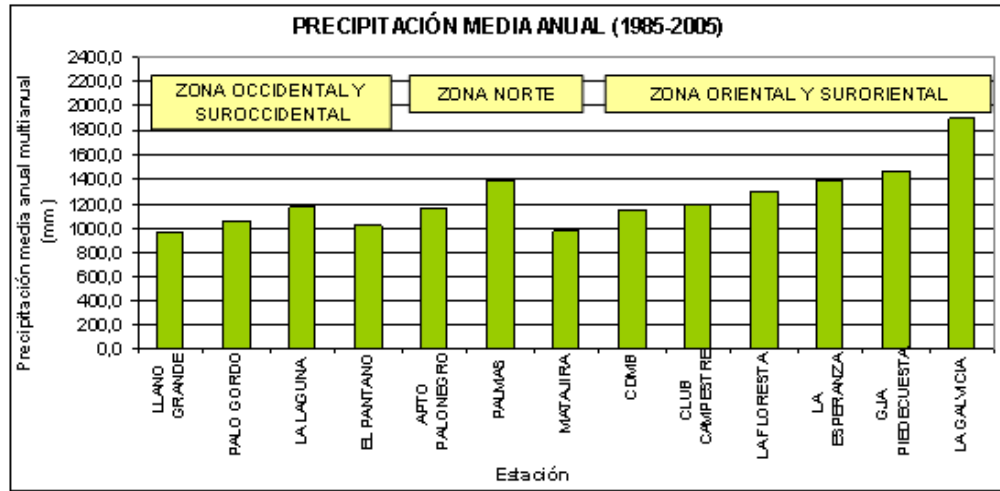


Figura 14. Histograma de precipitación media anual multianual (1975-2005)

A continuación se presenta el mapa de isoyetas y la distribución de la precipitación anual (**Figura 3.6**).

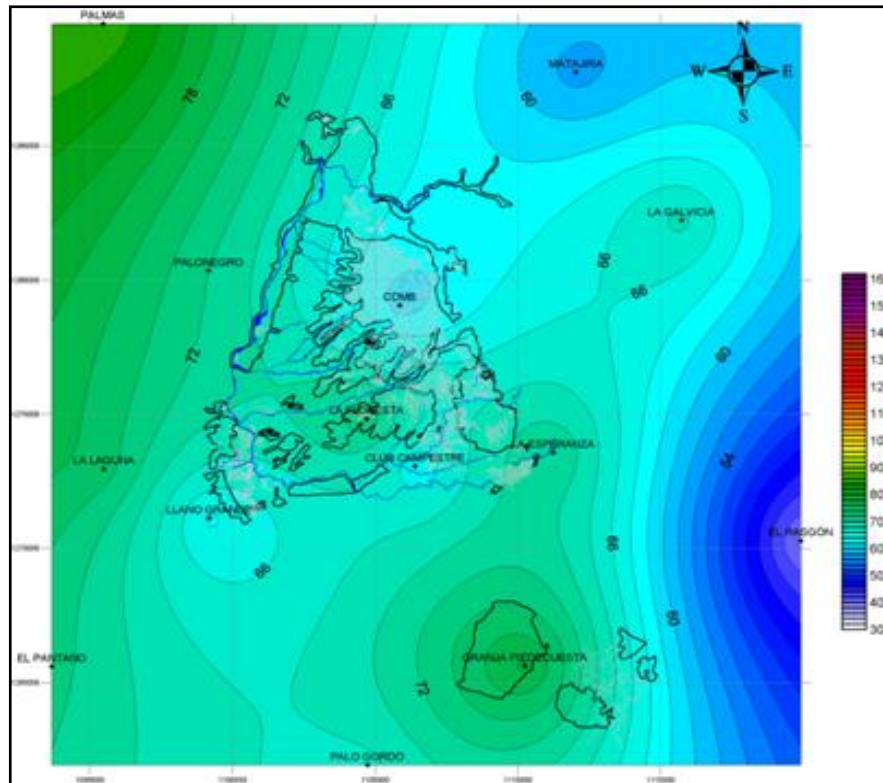


Figura 15. Isoyetas para un periodo de retorno de 2 años

3.2 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.

3.3 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

| | | |
|--|---|------------------------------|
|  | EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD, PREDISEÑO DE MEDIDAS CORRECTIVAS Y EVALUACIÓN DE COSTOS DEL SECTOR QUEBRADA LA IGLESIA | CONSORCIO M&CI |
| SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL URBANA SOSTENIBLE COORDINACIÓN GESTIÓN DEL RIESGO | | |

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.

Tabla 5. Inventario de estaciones en el Área Metropolitana de Bucaramanga

| N° | Código | Nombre estación | Tipo | Municipio | Corriente | Instalada |
|----|---------|--------------------|-------------------------|---------------|-----------------|-----------|
| 1 | 2319503 | APTO GOMEZ NINO | SINOPTICA SUPLEMENTARIA | Bucaramanga | DE ORO | 1/6/1940 |
| 2 | 2319083 | BUCARAMANGA IDEAM | PLUVIOGRAFICA | Bucaramanga | SURATA | 1/10/1996 |
| 3 | 2319080 | HIMAT R.11 | PLUVIOMETRICA | Bucaramanga | DE ORO | 1/6/1984 |
| 4 | 2319504 | UNIV IND SANTANDER | CLIMATOLOGICA PRINCIPAL | Bucaramanga | TONA | 1/1/1957 |
| 5 | 2319505 | VIVERO CHIMITA | CLIMATOLOGICA PRINCIPAL | Bucaramanga | SURATA | 1/8/1968 |
| 6 | 2319746 | ESPERANZA LA | LIMNIMETRICA | Floridablanca | FRIO | 1/1/1977 |
| 7 | 2319059 | FLORESTA LA | PLUVIOGRAFICA | Floridablanca | Q DE LA IGLESIA | 1/6/1978 |
| 8 | 2319040 | GALVICIA LA | PLUVIOMETRICA | Floridablanca | TONA | 1/1/1968 |
| 9 | 2319743 | CONQUISTADOR EL | LIMNIMETRICA | Piedecuesta | DE ORO | 1/7/1978 |
| 10 | 2319070 | PIEDECUESTA GJA | PLUVIOGRAFICA | Piedecuesta | LATO | 1/7/1970 |
| 11 | 2403701 | PRIMAVERA | LIMNIMETRICA | Piedecuesta | MANCO | 1/7/1978 |
| 12 | 2319740 | ANGOSTURAS | LIMNIGRAFICA | Lebrija | LEBRIJA | 1/8/1972 |
| 13 | 2319513 | APTO PALONEGRO | SINOPTICA PRINCIPAL | Lebrija | DE ORO | 1/8/1974 |
| 14 | 2319026 | LAGUNA LA | PLUVIOMETRICA | Lebrija | Q LA ANGULA | 1/5/1967 |
| 15 | 2319044 | NARANJO EL | PLUVIOMETRICA | Lebrija | Q SAN BENITO | 1/4/1971 |
| 16 | 2319038 | PALMAS | PLUVIOMETRICA | Lebrija | Q HONDA | 1/11/1967 |
| 17 | 3701502 | BERLIN | CLIMATOLOGICA ORDINARIA | Tona | JORDAN | 1/5/1968 |
| 18 | 3701701 | BERLIN | LIMNIMETRICA | Tona | JORDAN | 1/5/1972 |
| 19 | 2319030 | PICACHO EL | PLUVIOMETRICA | Tona | TONA | 1/7/1967 |
| 20 | 2319013 | TONA | PLUVIOMETRICA | Tona | TONA | 1/5/1958 |
| 21 | 2319729 | CAFE MADRID | LIMNIGRAFICA | Giron | LEBRIJA | 1/12/1968 |
| 22 | 2319511 | LLANO GRANDE | CLIMATOLOGICA ORDINARIA | Giron | DE ORO | 1/7/1971 |
| 23 | 2319028 | PALO GORDO | PLUVIOMETRICA | Giron | DE ORO | 1/6/1967 |
| 24 | 2319060 | PANTANO EL | PLUVIOMETRICA | Giron | Q LA ANGULA | 1/11/1967 |
| 25 | 2406007 | PARROQUIA LA | PLUVIOGRAFICA | Giron | Q AGUA BLANCA | 1/9/1959 |
| 26 | 2406503 | TRIGUEROS HDA | CLIMATOLOGICA PRINCIPAL | Giron | SOGAMOSO | 1/3/1996 |
| 27 | 2319730 | VAHONDO | LIMNIMETRICA | Giron | DE ORO | 1/12/1969 |
| 28 | 2319034 | MATAJIRA | PLUVIOMETRICA | Matanza | SURATA | 1/10/1967 |
| 29 | 2319035 | LLANO DE PALMAS | PLUVIOMETRICA | Rionegro | Q HONDA | 1/11/1967 |
| 30 | 2319046 | PAPAYAL | PLUVIOMETRICA | Rionegro | LEBRIJA | 1/5/1971 |
| 31 | 2319036 | PORTACHUELO | PLUVIOMETRICA | Rionegro | NEGRO | 1/10/1967 |
| 32 | 2319713 | PTE SARDINAS | LIMNIGRAFICA | Rionegro | SANTA CRUZ | 1/10/1967 |

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 6.

Tabla 6. Inventario de estaciones seleccionadas para el estudio regional

| N° | Entidad | Nombre estación | Municipio | Corriente | Instalada | TIPO | Coordenada Este | Coordenada Norte | Elevación (m.s.n.m.) |
|----|---------|--------------------|---------------|-----------------|-----------|------|-----------------|------------------|----------------------|
| 1 | IDEAM | BUCARAMANGA IDEAM | Bucaramanga | SURATA | 1/10/1996 | PG | 1106527 | 1278528 | 1025 |
| 2 | IDEAM | UNIV IND SANTANDER | Bucaramanga | TONA | 1/1/1957 | CP | 1108365 | 1280375 | 1018 |
| 3 | IDEAM | FLORESTA LA | Floridablanca | Q DE LA IGLESIA | 1/6/1978 | PG | 1104693 | 1274837 | 925 |
| 4 | IDEAM | GALVICIA LA | Floridablanca | TONA | 1/1/1968 | PM | 1115726 | 1282234 | 1779 |
| 5 | IDEAM | PIEDECUESTA GJA | Piedecuesta | LATO | 1/7/1970 | PG | 1110238 | 1265631 | 1000 |
| 6 | IDEAM | APTO PALONEGRO | Lebrija | DE ORO | 1/8/1974 | SP | 1099158 | 1280356 | 1189 |
| 7 | IDEAM | LAGUNA LA | Lebrija | Q LA ANGULA | 1/5/1967 | PM | 1095486 | 1272971 | 1050 |
| 8 | IDEAM | PALMAS | Lebrija | Q HONDA | 1/11/1967 | PM | 1095458 | 1289566 | 855 |
| 9 | IDEAM | LLANO GRANDE | Giron | DE ORO | 1/7/1971 | CO | 1099176 | 1271139 | 777 |
| 10 | IDEAM | PALO GORDO | Giron | DE ORO | 1/6/1967 | PM | 1104719 | 1261933 | 950 |
| 11 | IDEAM | PANTANO EL | Giron | Q LA ANGULA | 1/11/1967 | PM | 1093661 | 1265599 | 1280 |
| 12 | IDEAM | MATAJIRA | Matanza | SURATA | 1/10/1967 | PM | 1112029 | 1287752 | 996 |
| 13 | CDMB | CDMB | BUCARAMANGA | DE ORO | 1/1/1979 | PG | 1105857 | 1279071 | 950 |
| 14 | CDMB | CLUB CAMPESTRE | FLORIDABLANCA | FRIO | 10/1/1982 | PG | 1106399 | 1273072 | 940 |
| 15 | CDMB | EL RASGÓN | PIEDECUESTA | DE ORO | 1/1/1987 | CO | 1119913 | 1270294 | 2185 |
| 16 | CDMB | LA ESPERANZA | FLORIDABLANCA | FRIO | 9/19/1979 | CO | 1111228 | 1273582 | 1000 |
| 17 | CDMB | LA FLORA | BUCARAMANGA | SURATÁ | 1/1/1979 | PG | 1107543 | 1280894 | 1100 |
| 18 | CDMB | LA MARIANA | TONA | FRIO | 6/1/1981 | PM | 1117627 | 1280310 | 2250 |
| 19 | CDMB | PTAR | GIRÓN | FRIO | 8/1/1985 | CO | 1102856 | 1272989 | 785 |
| 20 | CDMB | SEVILLA | PIEDECUESTA | TRINCHERAS | 8/1/1981 | PM | 1119428 | 1267670 | 1907 |

3.4 CARACTERIZACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN

Conforme los análisis regionales efectuados se encontró que la estación con registro de precipitación más cercana al sitio Quebrada La Iglesia es la estación pluviográfica La Floresta, por ello en la Figura 16 se presenta de forma particular la distribución de la precipitación media anual en la misma.

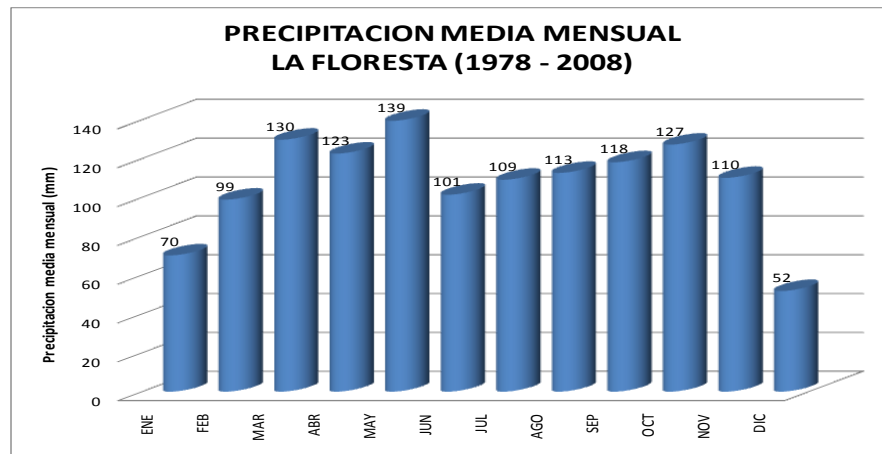


Figura 16. Precipitación media mensual estación La Floresta (1996-2008)

De la Figura 16, se puede decir que el régimen de precipitación en la estación es bimodal con picos en los meses de mayo y octubre del orden de 139 y 127 mm respectivamente, y dos meses de menor precipitación entre 52 y 70 mm en diciembre y enero.

En la Figura 17 se presentan los histogramas de precipitación media anual de las estaciones analizadas para el presente estudio, las cuales se encuentran en un radio de 10Km alrededor del sector Quebrada La Iglesia.

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 anuales respectivamente.

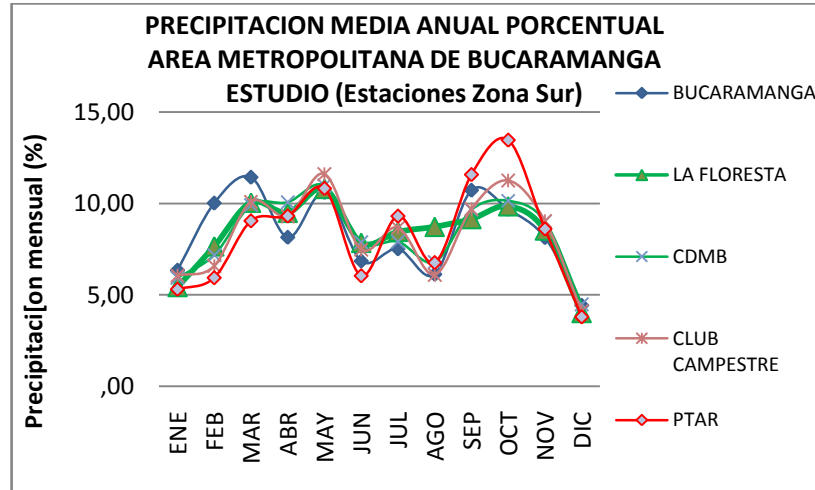


Figura 17. Histograma de precipitación media anual porcentual

3.4.1 Precipitación total anual

A continuación se presentan las gráficas de precipitación anual de cada una de las estaciones de la zona occidente identificadas en un radio de 10 Km del sitio Quebrada La Iglesia (**Figuras 18 a 3.14**). Se incluye la estación Llano Grande por ser la estación climatológica con registros representativos para la zona.

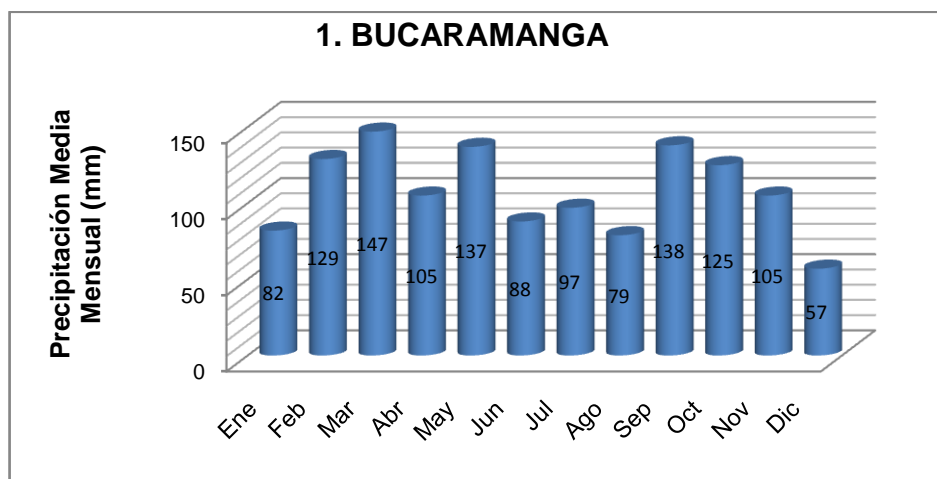


Figura 18. Precipitación anual Estación Bucaramanga

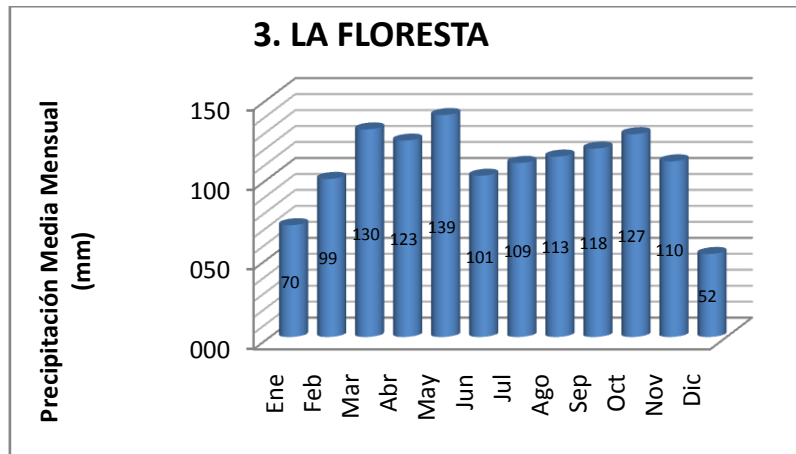


Figura 19. Precipitación anual Estación La Floresta

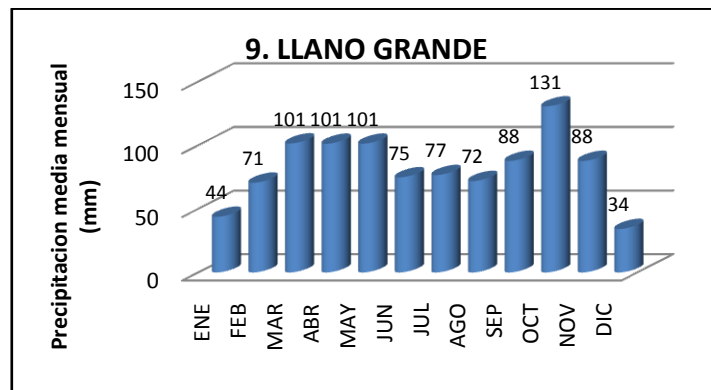


Figura 20. Precipitación anual Estación LLANO GRANDE

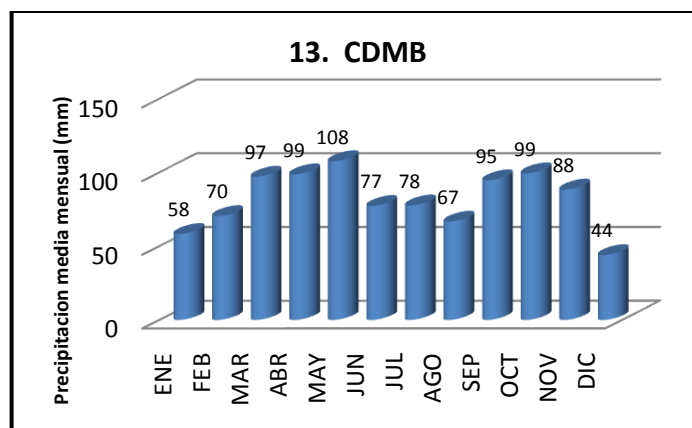


Figura 21. Precipitación anual Estación CDMB

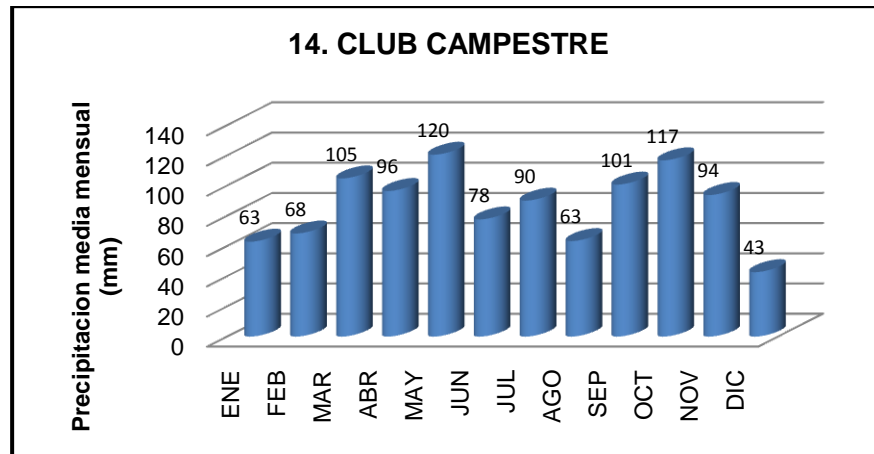


Figura 22. Precipitación anual Estación Club Campestre

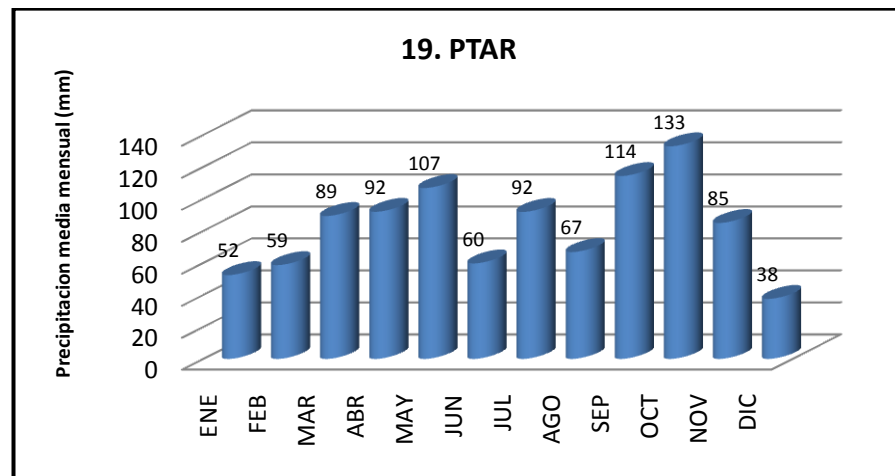


Figura 23. Precipitación anual Estación PTAR

3.4.2 Variación espacial de la precipitación total

Con el fin de analizar la variación espacial de la precipitación en el área, se elaboraron las curvas Isoyetas (Figura 24) a partir de los datos de las estaciones. El resultado no fue significativamente diferente, pues se trata de los valores promedio de las estaciones.

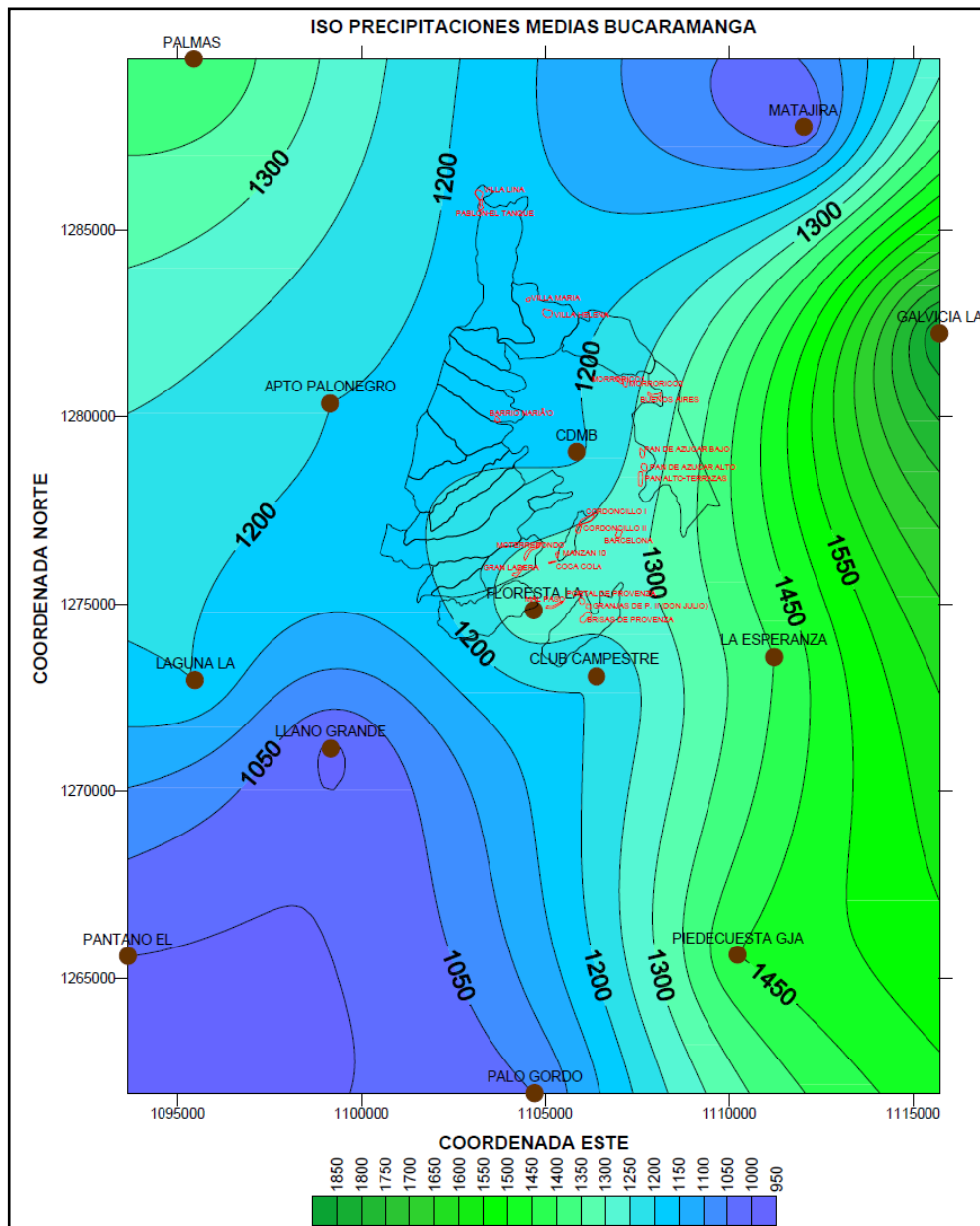


Figura 24. Curvas Isoyetas medias anuales (mm) con base estaciones seleccionadas

En la Figura 25 se muestra la relación entre la elevación y la precipitación anual de estas, en donde se observa entre los 700 y los 1400 msnm, la precipitación en las estaciones seleccionadas se encuentra entre 800 y 1600 mm, es decir alrededor de los 1200 mm y son las más comunes entre estas estaciones. Entre los 1800 y

2300 msnm, la precipitación varía entre los 1200 y 1300 mm para las estaciones Sevilla, El Rasgón y La Mariana, a excepción de la precipitación en la estación La Galvicia, cuyo valor de precipitación anual es de 1975 mm a una elevación cercana a los 1800 msnm. Se observa que estas cuatro últimas estaciones corresponden al extremo oriental fuera del área de estudio y que la incidencia en los valores de precipitación obedece a las condiciones propias de esta zona. La estación La Floresta tiene 1291 mm de precipitación media anual.

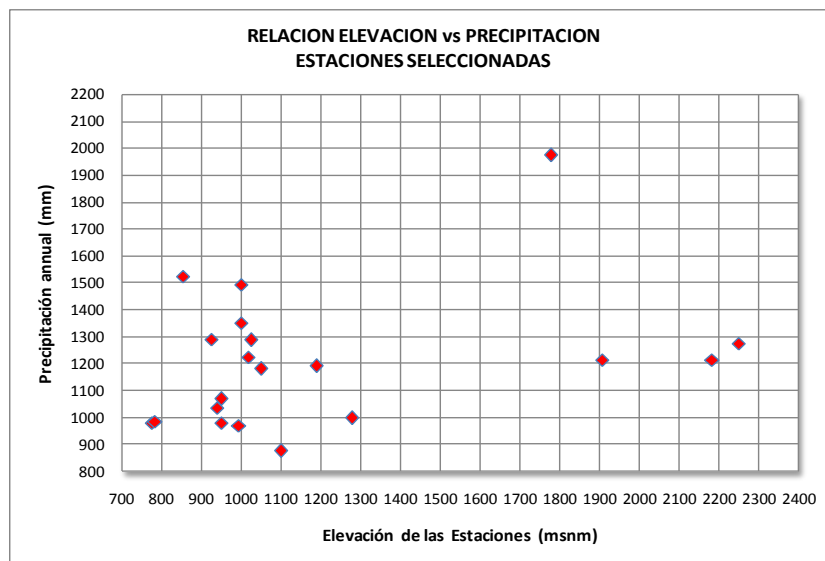


Figura 25. Relación de la elevación y precipitación de las estaciones en el Área Metropolitana de Bucaramanga

En particular para la zona sur centro (E3) donde se encuentra el barrio Quebrada La Iglesia-Fontana III, se observa la relación entre la precipitación y la elevación en el entorno en la Figura 26. El comportamiento relativamente homogéneo de la lluvia en las diferentes estaciones se ilustra en la Figura 27.

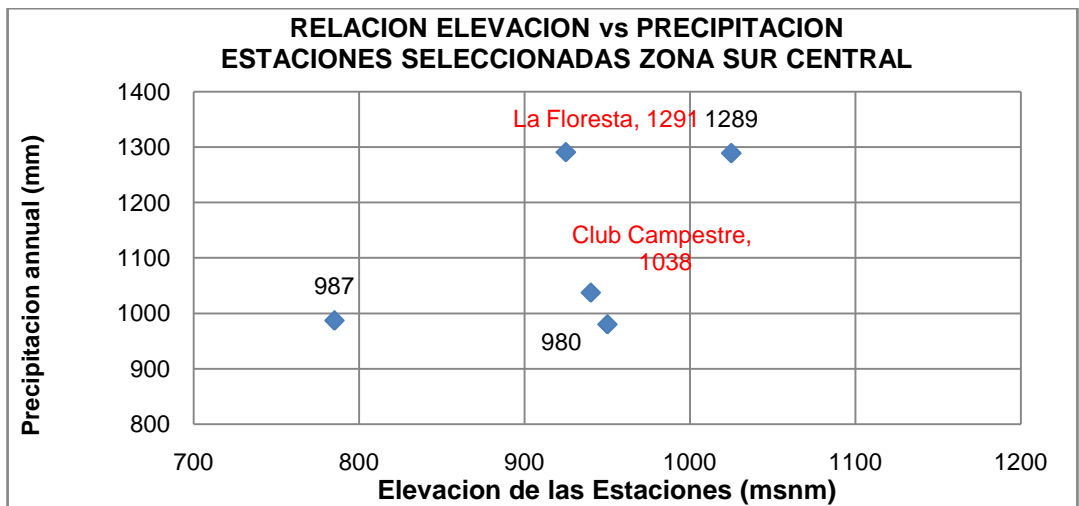


Figura 26. Relación de la elevación y precipitación de las estaciones en la zona sur centro

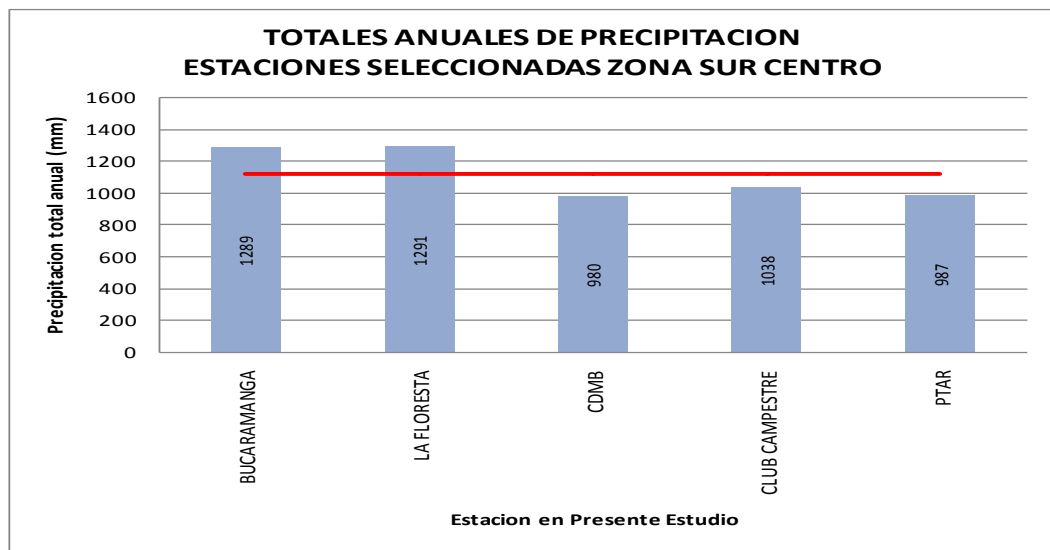


Figura 27. Valores totales anuales de precipitación para las estaciones en la zona sur centro

3.4.3 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 Quebrada La Iglesia (Figuras 28 a 33).

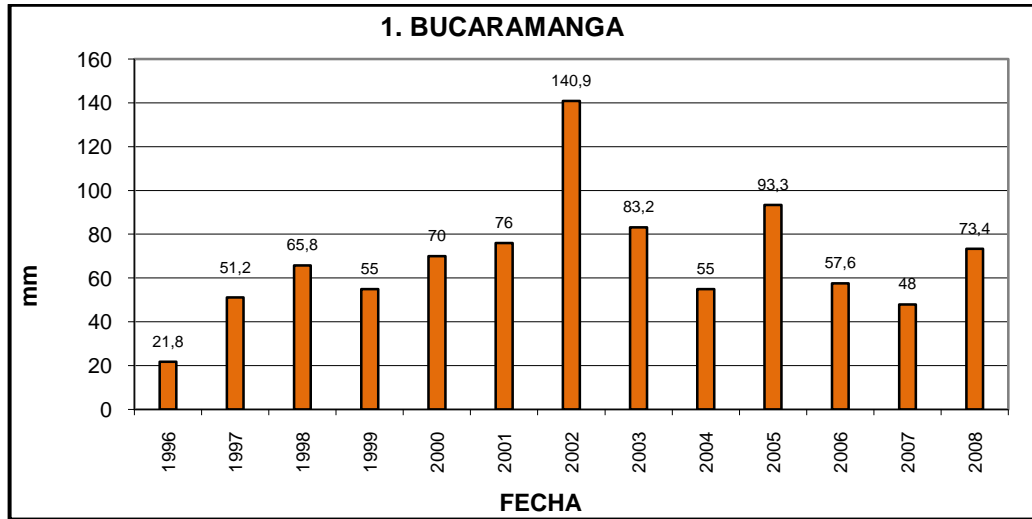


Figura 28. Precipitación máxima en 24 horas Estación Bucaramanga

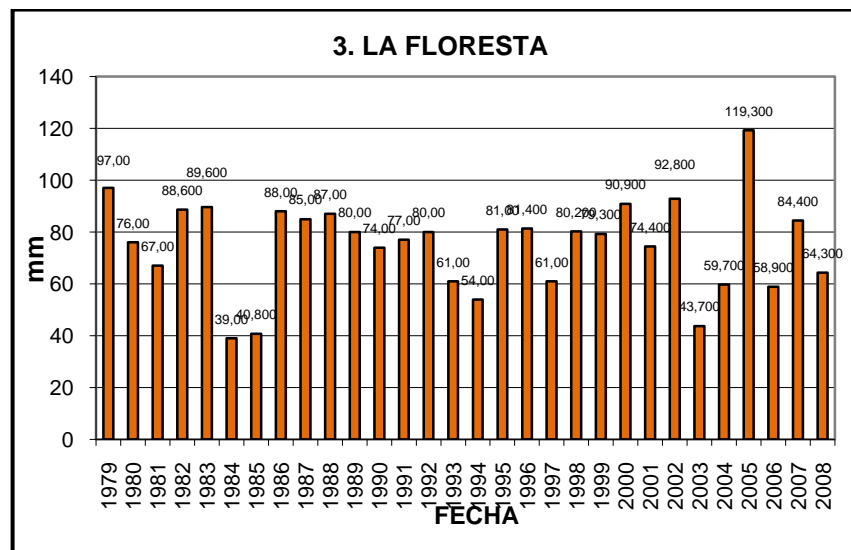


Figura 29. Precipitación máxima en 24 horas Estación La Floresta

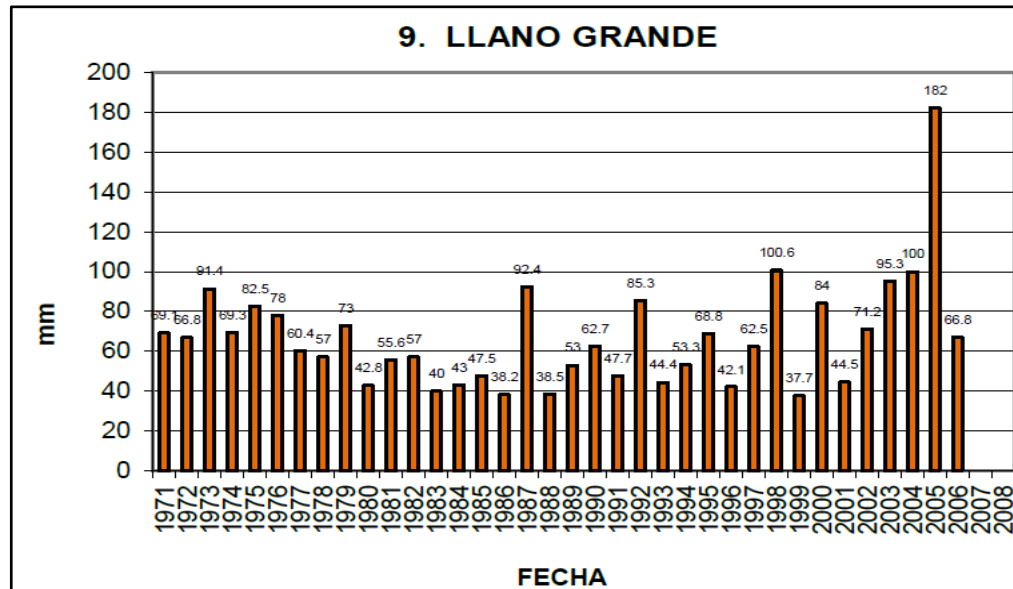


Figura 30. Precipitación máxima en 24 horas Estación Llano Grande

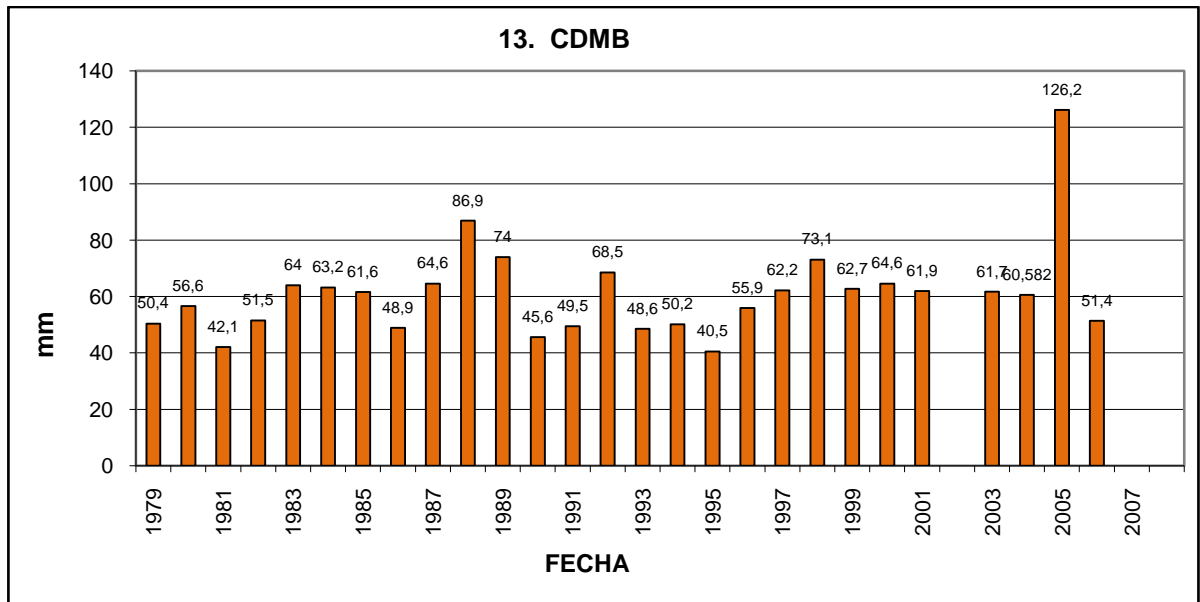


Figura 31. Precipitación máxima en 24 horas Estación CDMB

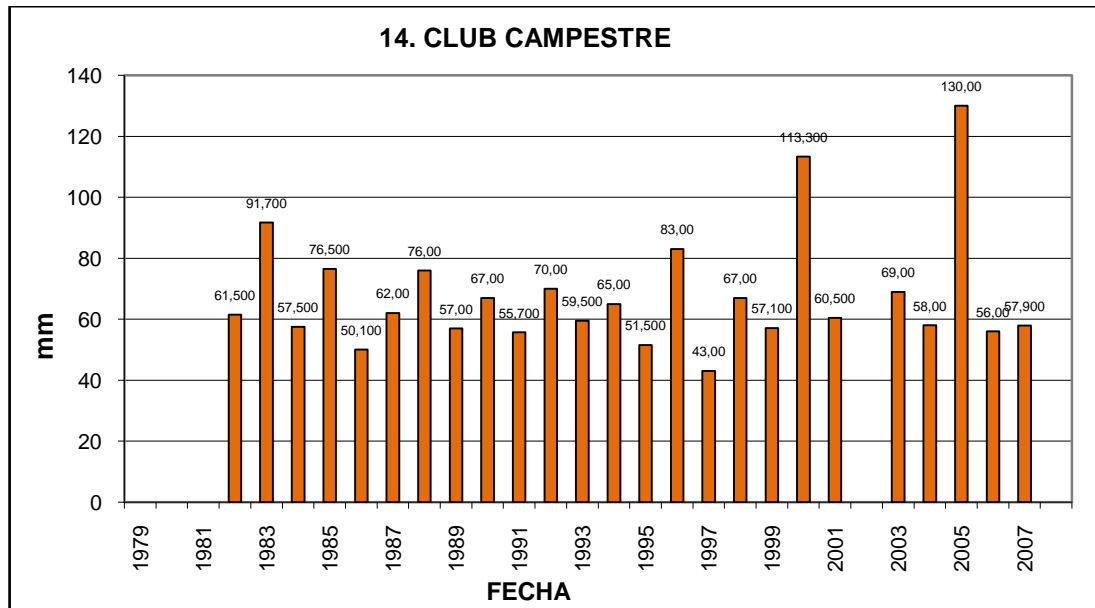


Figura 32. Precipitación máxima en 24 horas Estación Club Campestre

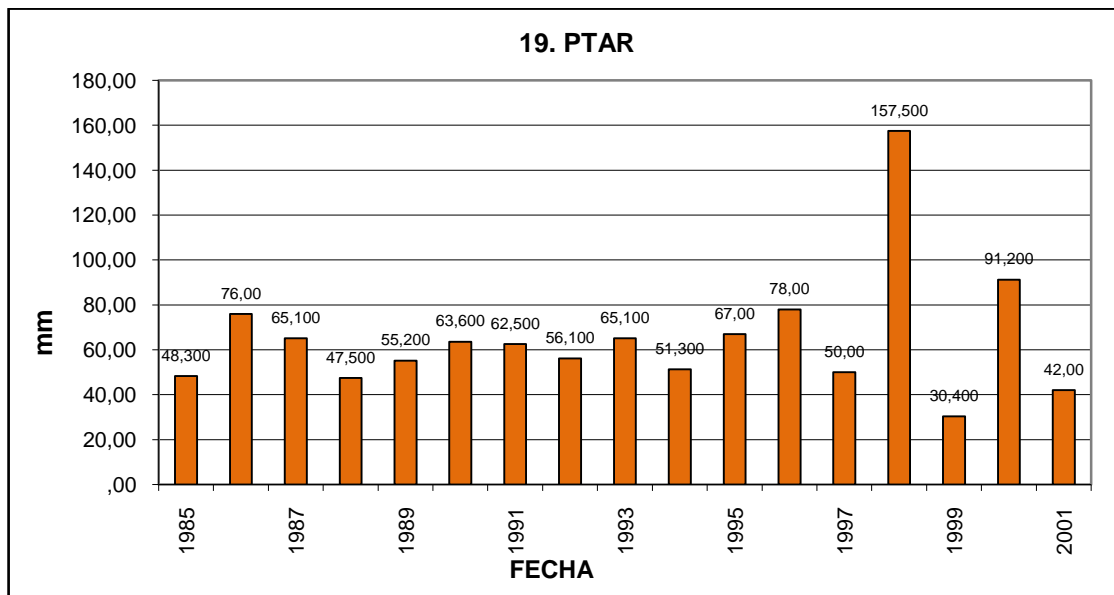


Figura 33. Precipitación máxima en 24 horas Estación PTAR


| | | |
|--|---|-------------------------------------|
|  cdmb | EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD, PREDISEÑO DE MEDIDAS CORRECTIVAS Y EVALUACIÓN DE COSTOS DEL SECTOR QUEBRADA LA IGLESIA | CONSORCIO M&CI |
| SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL URBANA SOSTENIBLE COORDINACIÓN GESTIÓN DEL RIESGO | | |

Tabla 7. Valores máximos anuales, promedio, desviación y coeficiente de variación

| VALORES EN mm | ESTACION 1 BUCARAMANGA | ESTACION 2 UIS | ESTACION 3 LA FLORESTA | ESTACION 4 LA GALVICIA | ESTACION 5 PIEDECUESTA | ESTACION 6 APTO. PALONEGRO | ESTACION 7 LA LAGUNA | ESTACION 8 PALMAS | ESTACION 9 LLANO GRANDE | ESTACION 10 PALO GORDO |
|-----------------|---------------------------|-------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------------|-------------------------|----------------------|----------------------------|---------------------------|
| MAXIMA ANUAL | 140.9 | 100.6 | 119.3 | 124.0 | 133.5 | 152.0 | 135.0 | 140.0 | 182.0 | 150.0 |
| AÑO | 2002 | 1972 | 2005 | 1997 | 1998 | 1998 | 1985 | 1969 | 2005 | 2005 |
| PROMEDIO | 68.6 | 67.9 | 75.2 | 78.3 | 80.9 | 75.2 | 80.2 | 95.0 | 66.8 | 71.4 |
| DESVIACIÓN | 28.2 | 19.4 | 17.7 | 20.8 | 20.6 | 21.5 | 25.6 | 24.1 | 27.3 | 25.0 |
| COEF. VARIACIÓN | 0.20 | 0.19 | 0.15 | 0.17 | 0.15 | 0.14 | 0.19 | 0.17 | 0.15 | 0.17 |

| VALORES EN mm | ESTACION 11 EL PANTANO | ESTACION 12 MATAJIRA | ESTACION 13 CDMB | ESTACION 14 CLUB CAMPESTRE | ESTACION 15 EL RASGON | ESTACION 16 LA ESPERANZA | ESTACION 17 LA FLORA | ESTACION 18 LA MARIANA | ESTACION 19 PTAR | ESTACION 20 SEVILLA |
|-----------------|---------------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------|------------------------|
| MAXIMA ANUAL | 132.0 | 115.0 | 86.9 | 130.0 | 79.1 | 164.8 | 99.2 | 86.4 | 157.5 | 85.7 |
| AÑO | 2005 | 2003 | 1988 | 2005 | 1998 | 1993 | 2000 | 1995 | 1998 | 1991 |
| PROMEDIO | 70.4 | 55.0 | 58.6 | 67.8 | 43.2 | 72.4 | 63.8 | 40.6 | 65.1 | 39.6 |
| DESVIACIÓN | 24.3 | 16.3 | 11.2 | 19.6 | 15.6 | 26.6 | 14.3 | 18.7 | 27.9 | 19.4 |
| COEF. VARIACIÓN | 0.18 | 0.14 | 0.13 | 0.15 | 0.20 | 0.16 | 0.14 | 0.22 | 0.18 | 0.23 |

En la Tabla 7 se presenta en resumen el análisis efectuado con las series de valores de precipitaciones máximas en 24 horas.

Tabla 8. Valores de precipitación máxima en las estaciones en el Área Metropolitana de Bucaramanga

| | Maximo | Minimo |
|----------------|---------------|--------------|
| MAXIMA ANUAL | 182.00 | 79.10 |
| AÑO | 2005 | 1969 |
| PROMEDIO | 95.00 | 39.56 |
| DESVIACION | 28.21 | 11.21 |
| COEF VARIACION | 0.23 | 0.13 |

De la Tabla 8 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 0.2. Lo anterior permite decir que las series pueden ser empleadas para el análisis de la zona sur de Bucaramanga.

La **Tabla 9** muestra los valores de precipitación máximas para las estaciones ubicadas en la zona sur centro de la ciudad de Bucaramanga.

Tabla 9. Valores de precipitación máxima estaciones Zona sur-centro de Bucaramanga

| VALORES EN mm | ESTACIÓN 1 BUCARAMANGA | ESTACIÓN 3 LA FLORESTA | ESTACIÓN 13 CDMB | ESTACIÓN 14 CLUB CAMPESTRE | ESTACIÓN 19 PTAR |
|-----------------|---------------------------|---------------------------|---------------------|-------------------------------|---------------------|
| MAXIMA ANUAL | 14.9 | 119.3 | 86.9 | 130 | 157.5 |
| AÑO | 2002 | 2005 | 1988 | 2005 | 1998 |
| PROMEDIO | 58.6 | 75.2 | 58.6 | 67.8 | 65.1 |
| DESVIACIÓN | 28.2 | 17.7 | 11.2 | 19.5 | 27.9 |
| COEF. VARIACIÓN | 0.2 | 0.15 | 0.13 | 0.15 | 0.18 |

| | MÁXIMO | MÍNIMO |
|-----------------|--------|--------|
| MAXIMA ANUAL | 157.5 | 86.9 |
| AÑO | 2005 | 1988 |
| PROMEDIO | 75.18 | 58.57 |
| DESVIACIÓN | 28.21 | 11.21 |
| COEF. VARIACIÓN | 0.2 | 0.13 |

La Tabla 9 indica que los valores máximos de precipitación en 24 horas registrados han sido superiores a los 86.90 mm y no mayores de 157.50 mm. El periodo en el cual se han registrado los máximos en cada estación oscila entre 1988 y 2005. En promedio los valores de precipitación máxima en 24 horas se encuentran entre 58.57 mm y 75.18 mm y los coeficientes de variación varían entre 0.13 y 0.2.


| | | |
|--|---|-------------------------------------|
|  cdmb | EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD, PREDISEÑO DE MEDIDAS CORRECTIVAS Y EVALUACIÓN DE COSTOS DEL SECTOR QUEBRADA LA IGLESIA | CONSORCIO M&CI |
| SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL URBANA SOSTENIBLE COORDINACIÓN GESTIÓN DEL RIESGO | | |

Tabla 10. Valores de precipitación máxima periodo de retorno de 100 años

| N° | Código | Entidad | Nombre estación | Municipio | TIPO | Maxima Pmax 24 h registrada (mm) | Pmax 24 h para TR=100 años (mm) | Intensidad de Pmax 24 h TR= 100 años y duración 30 min (mm) |
|----|---------|---------|--------------------|---------------|------|----------------------------------|---------------------------------|---|
| 1 | 2319083 | IDEAM | BUCARAMANGA IDEAM | Bucaramanga | PG | 140.90 | 157.02 | 314.05 |
| 2 | 2319504 | IDEAM | UNIV IND SANTANDER | Bucaramanga | CP | 100.60 | 128.83 | 257.66 |
| 3 | 2319059 | IDEAM | FLORESTA LA | Floridablanca | PG | 119.30 | 130.57 | 261.14 |
| 4 | 2319040 | IDEAM | GALVICIA LA | Floridablanca | PM | 124.00 | 143.60 | 287.20 |
| 5 | 2319070 | IDEAM | PIEDECUESTA GJA | Piedecuesta | PG | 133.50 | 145.66 | 291.32 |
| 6 | 2319513 | IDEAM | APTO PALONEGRO | Lebrija | SP | 152.00 | 142.78 | 285.56 |
| 7 | 2319026 | IDEAM | LAGUNA LA | Lebrija | PM | 135.00 | 160.57 | 321.13 |
| 8 | 2319038 | IDEAM | PALMAS | Lebrija | PM | 140.00 | 170.74 | 341.47 |
| 9 | 2319511 | IDEAM | LLANO GRANDE | Giron | CO | 182.00 | 152.46 | 304.93 |
| 10 | 2319028 | IDEAM | PALO GORDO | Giron | PM | 150.00 | 149.88 | 299.76 |
| 11 | 2319060 | IDEAM | PANTANO EL | Giron | PM | 132.00 | 146.49 | 292.98 |
| 12 | 2319034 | IDEAM | MATAJIRA | Matanza | PM | 115.00 | 106.20 | 212.41 |
| 13 | | CDMB | CDMB | Bucaramanga | PG | 86.90 | 93.72 | 187.45 |
| 14 | | CDMB | CLUB CAMPESTRE | Floridablanca | PG | 130.00 | 128.93 | 257.86 |
| 15 | | CDMB | EL RASGÓN | Piedecuesta | CO | 79.10 | 92.17 | 184.34 |
| 16 | | CDMB | LA ESPERANZA | Floridablanca | CO | 164.80 | 155.94 | 311.88 |
| 17 | | CDMB | LA FLORA | Bucaramanga | PG | 99.20 | 108.58 | 217.16 |
| 18 | | CDMB | LA MARIANA | Tona | PM | 86.40 | 99.21 | 198.41 |
| 19 | | CDMB | PTAR | Giron | CO | 157.50 | 152.58 | 305.16 |
| 20 | | CDMB | SEVILLA | Piedecuesta | PM | 85.70 | 100.34 | 200.67 |

Nota:
 Los valores en rojo corresponden a eventos de lluvia máxima en 24 horas registrados que según la estadística de la estación estarían próximos al periodo de recurrencia de 100 años
 Las estaciones en violeta corresponden a las estaciones de la zona sur centro

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 10, 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 34.

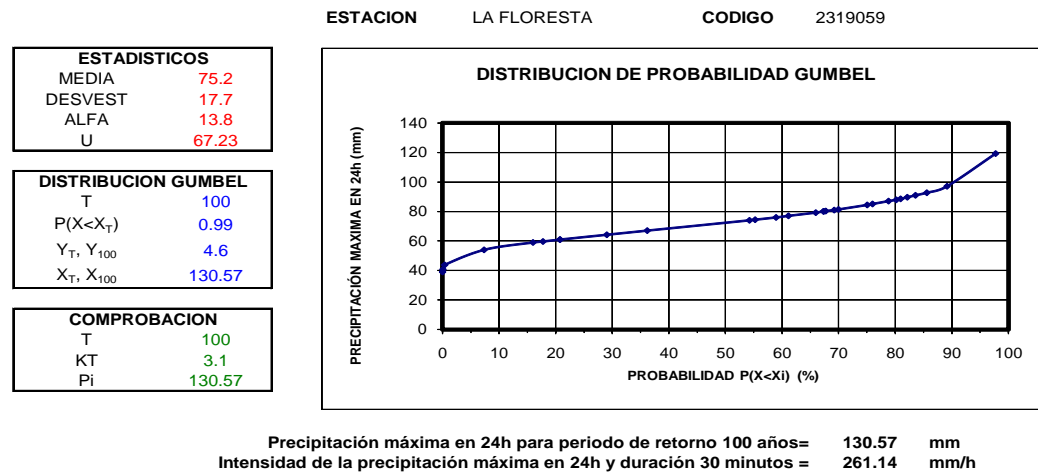


Figura 34. Distribución Gumbel para máximos de precipitación en 24 horas

3.4.4 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 esorrentía extrema para evitar que se deriven nuevos problemas aun existiendo obras para el manejo hidráulico.

3.4.5 Curvas IDF para el sector Quebrada La Iglesia-Fontana III

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

¹ Bell, F. C. Generalized Rainfall - Duration – Frequency Relationships. Journal of Hydraulics Division.Vol 95 No. HY1 January 1969

²Kothyari 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

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 sitio Quebrada La Iglesia-Fontana III, se recomienda emplear la curva IDF de la estación más cercana, en este caso la Estación La Floresta, presentada en la Tabla 11 y en la Figura 35:

Tabla 11. Intensidades máximas. Estación La Floresta

| CURVAS DE INTENSIDAD-DURACION-FRECUENCIA 3. LA FLORESTA | | | | | | | |
|--|--|---|-------|------|------|------|------|
| Pmax 24h: | 75.2 mm | Promedio de las máximas anuales | | | | | |
| Smax 24 horas: | 17.7 mm | Desviación standard de la serie. | | | | | |
| Relación Cp: | 0.63 | Relación entre horaria y diaria. | | | | | |
| Periodo de Retorno | Intensidades máximas en mm/hora para duraciones entre 10 y 180 minutos | | | | | | |
| | 10 | 20 | 30 | 60 | 90 | 120 | 180 |
| Tr=2 años | 86.6 | 70.4 | 60.8 | 45.7 | 38.1 | 33.3 | 27.5 |
| Tr=5 años | 109.6 | 89.1 | 77.0 | 57.8 | 48.2 | 42.2 | 34.8 |
| Tr=10 años | 124.8 | 101.5 | 87.6 | 65.9 | 54.9 | 48.0 | 39.6 |
| Tr=25 años | 144.0 | 117.1 | 101.1 | 76.0 | 63.4 | 55.4 | 45.7 |
| Tr=50 años | 158.3 | 128.7 | 111.1 | 83.5 | 69.6 | 60.9 | 50.2 |
| Tr=100 años | 172.4 | 140.2 | 121.1 | 91.0 | 75.9 | 66.4 | 54.7 |

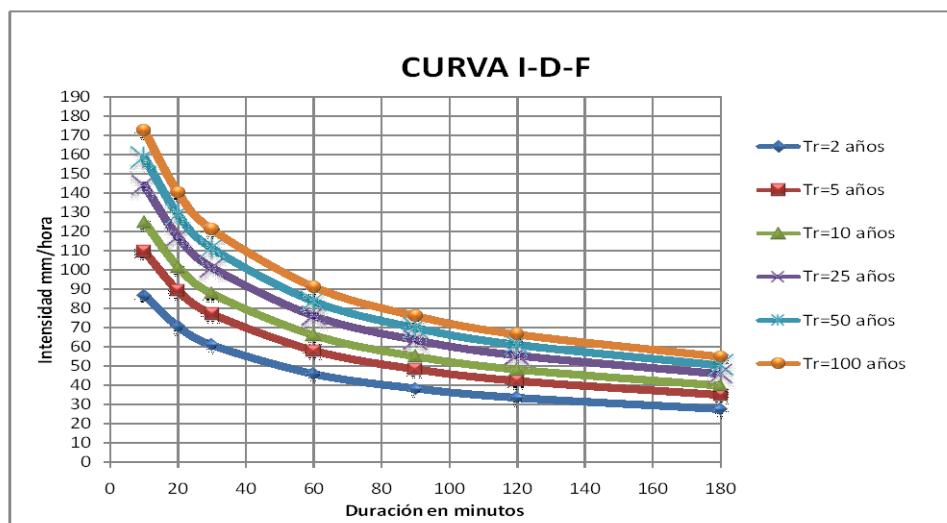


Figura 35. Curvas IDF Sintéticas para la Estación La Floresta– Método de Bell

3.4.6 Lluvias acumuladas para el sector Quebrada La Iglesia-Fontana III

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 Bucaramanga se observan a continuación en la **Figura 3.27:**

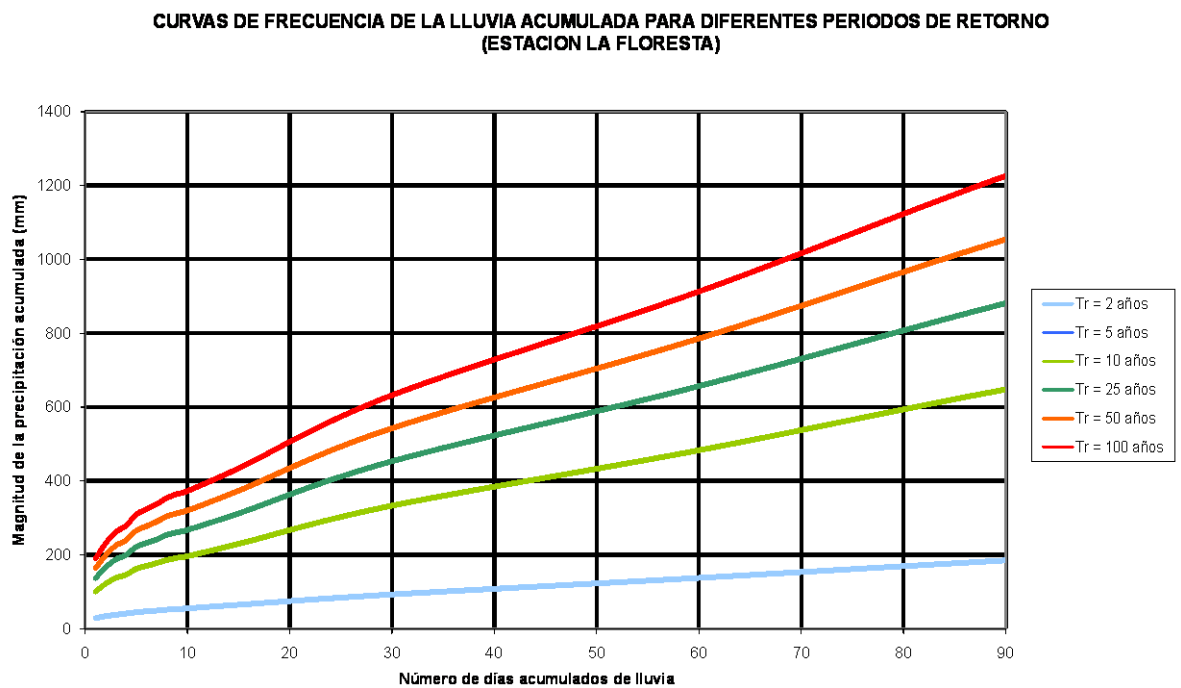


Figura 36. Curva de frecuencia de la lluvia acumulada para diferentes periodos de retorno

Como se observa en la Figura 36, 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 La Floresta.

Tabla 12. Tabla resultados curva de frecuencia lluvia acumulada Estación la Floresta

| PERIODO DE RETORNO | Valor de precipitación para el número de días acumulados indicado (mm) | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 15 | 30 | 60 | 90 | 120 | 240 | 365 |
| Tr=2 años | 28.5 | 34.0 | 37.9 | 40.6 | 44.2 | 47.0 | 49.3 | 51.6 | 53.5 | 54.7 | 65.1 | 92.7 | 137.8 | 184.9 | 227.6 | 386.4 | 548.4 |
| Tr=5 años | 71.8 | 86.9 | 97.8 | 104.3 | 115.1 | 121.1 | 126.5 | 132.5 | 136.7 | 139.7 | 164.0 | 237.1 | 345.4 | 463.6 | 568.7 | 960.2 | 1359.9 |
| Tr=10 años | 100.5 | 121.9 | 137.5 | 146.4 | 162.1 | 170.2 | 177.7 | 186.1 | 191.9 | 196.0 | 229.4 | 332.7 | 482.8 | 648.2 | 794.5 | 1340.2 | 1897.3 |
| Tr=25 años | 136.7 | 166.1 | 187.6 | 199.7 | 221.4 | 232.1 | 242.3 | 253.7 | 261.5 | 267.2 | 312.1 | 453.4 | 656.5 | 881.4 | 1079.8 | 1820.3 | 2576.2 |
| Tr=50 años | 163.6 | 198.9 | 224.8 | 239.2 | 265.4 | 278.1 | 290.2 | 303.9 | 313.1 | 319.9 | 373.5 | 543.0 | 785.3 | 1054.4 | 1291.5 | 2176.5 | 3079.9 |
| Tr=100 años | 190.3 | 231.5 | 261.7 | 278.5 | 309.1 | 323.7 | 337.8 | 353.8 | 364.4 | 372.3 | 434.3 | 631.9 | 913.2 | 1226.1 | 1501.6 | 2530.0 | 3579.8 |

3.5 CARTOGRAFÍA BASE

Para el sector Quebrada La Iglesia-Fontana III se cuenta con cartografía detallada a escala 1:250. En las Figuras 37y 3.29 se aprecia la imagen del plano referido y una fotografía aérea del sector, tomando como fuente Google Earth, a partir de las cuales se observa la generalidad del drenaje en el sector y la proximidad a las vías principales.

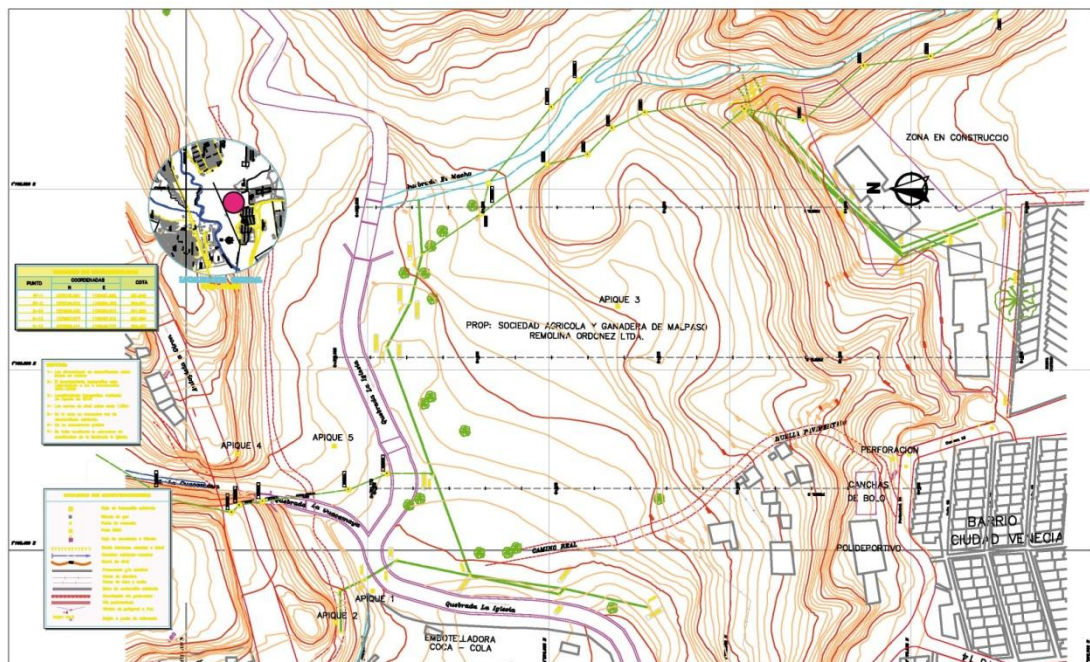


Figura 37. Imagen Cartografía general Sector Quebrada La Iglesia-Fontana III



Figura 38. Imagen de Google Earth sector Quebrada La Iglesia

3.6 DRENAJE NATURAL Y ARTIFICIAL

Con la cartografía suministrada se realizó un ejercicio de complementación de la información levantada respecto a los posibles drenajes que se conforman producto de los aguaceros y que para el mismo son interpretados a partir de las curvas de nivel del levantamiento suministrado. Con ésta información se pueden esquematizar las sub cuencas o sub áreas de drenaje y extraer características generales del mismo por escorrentía en el sector.

3.7 CÁLCULO DE LA ESCORRENTÍA

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, en especial de aquella que

se concentra produciendo daño desde la parte alta de la ladera y hacia su base producto del curso que toman las aguas.

Es de anotar que el coeficiente de escorrentía en zonas urbanas es tendiente a uno en la medida en que el urbanismos de consolida. En este sector en particular se mantienen aún características del terreno natural a excepción de su cobertura vegetal, la cual ha sido parcialmente retirada a fin de ocupar la ladera.

Para estimar los caudales de escorrentía a manejar en las obras, se emplea dentro del análisis hidrológico el Método Racional⁴ 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 m³/s
- A es el área que concentra la escorrentía en Km²
- 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

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

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 creciente⁵ y por esta razón Silva (1995) no recomienda su uso en cuencas mayores de 1 Km².

De las figuras presentadas en el aparte de cartografía dentro de éste informe, se estima teniendo en cuenta la cobertura actual del terreno, que el coeficiente de escorrentía (conforme la Tabla 13), puede estar entre valores de 0.5 y 0.8, como ya se mencionó, dada la ocupación del terreno se observa que la parte superior de la ladera se encuentra urbanizada y en esta zona las pendientes son bajas lo que hace corresponder para esta zona del sector un coeficiente de escorrentía alto. Sobre el cuerpo de la ladera se encuentra abundante vegetación en buena condición sobre pendientes que se encuentran entre el 2% y 7% a esta parte de la zona le corresponde un coeficiente de escorrentía más bajo. 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.

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.

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

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

terreno representativas, como es en la zona sur occidental y sur del sector del sector.

Tabla 13. Coeficientes de escorrentía Método Racional

| Type of Drainage Area | Runoff Coefficient C* | | |
|--|-----------------------|---|------|
| Business: | | | |
| Downtown areas | 0.7 | - | 0.95 |
| Neighborhood areas | 0.5 | - | 0.7 |
| Residencial | | | |
| Single-family areas | 0.3 | - | 0.5 |
| Multi-units detached | 0.4 | - | 0.6 |
| Multi-units, attached | 0.6 | - | 0.75 |
| Suburban | 0.25 | - | 0.4 |
| Apartment dwelling areas | 0.5 | - | 0.7 |
| Industrial | | | |
| Light areas | 0.5 | - | 0.8 |
| Heavy areas | 0.6 | - | 0.9 |
| Parks, cementeries | 0.1 | - | 0.25 |
| Playgrounds | 0.2 | - | 0.4 |
| Railroad yard areas | 0.1 | - | 0.3 |
| Lawns | | | |
| Sandy soil, flat 2% | 0.05 | - | 0.1 |
| Sandy soil, average, 2 - 7% | 0.1 | - | 0.15 |
| Sandy soil, steep, 7% | 0.15 | - | 0.2 |
| Heavy soil, flat, 2% | 0.13 | - | 0.17 |
| Heavy soil, average 2 - 7% | 0.18 | - | 0.22 |
| Heavy soil, steep, 7% | 0.25 | - | 0.35 |
| Streets | | | |
| Asphaltic | 0.7 | - | 0.95 |
| Concrete | 0.8 | - | 0.95 |
| Brick | 0.7 | - | 0.85 |
| Drives and walks | 0.75 | - | 0.85 |
| Roofs | 0.75 | - | 0.95 |
| *Higher values are usually appropriate for steeply sloped areas and longer returns periods because infiltration and other losses have proportionally smaller effect runoff in these cases. | | | |

Tabla 14. Cálculo del tiempo de concentración

Subcuenca:

Área de drenaje Incidencia Directa La Quebrada La Iglesia

Subcuenca: 1

Datos generales:

| | |
|------------------------------|----------|
| Longitud del cauce principal | 387 m |
| Área de la cuenca | 8.38 Ha |
| Cota i | 852 m |
| Cota f | 820 m |
| Pendiente promedio So | 0.08 m/m |

| | | |
|-------------------------------------|-----|------------|
| Témez (1978) | Tc= | |
| Soil Conservation Service | Tc= | |
| Kirpich (Llamas 1985) | Tc= | |
| Kirpich (1940) | Tc= | 5.00020951 |
| Ramser (1927) | Tc= | 5.12533066 |
| Johnstone y Cross (1949) | Tc= | 7.04834341 |
| California Culverts Practice (1942) | Tc= | 5.0029434 |
| Bransby Williams (1) | Tc= | |
| Bransby Williams (2) | Tc= | |
| Federal Aviation Administration | Tc= | |
| Passini | Tc= | 7.18506952 |
| Hathaway | Tc= | |

Tiempo de Concentración (Tc) = 5.87 min

Menor tiempo de Concentración (Tc)= 5.00 min

Como se observa, el tiempo de concentración es inferior a 15 minutos (Tabla 14), luego las intensidades máximas de precipitación conforme las curvas IDF serán los mostrados en la Tabla 15).

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.

Tabla 15. Intensidades máximas de precipitación

| Período de Retorno | Intensidades máximas Estación La Floresta en mm/h | |
|--------------------|---|---------------------|
| | Duración 10 minutos | Duración 20 minutos |
| Tr=50 años | 158.3 | 128.7 |
| Tr=100 años | 172.4 | 140.2 |

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.

4. EXPLORACIÓN Y ENSAYOS

4.1 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

Con el fin de conocer en detalle el tipo de material de la zona se utilizarán los registros y resultados de exploraciones realizadas por el consorcio M&CI, en este caso, ensayos efectuados a diferentes profundidades: el sondeo QLF-12-07 ubicado donde se presenta mayor concentración de viviendas en la actualidad y hacia el área destinada para construcción, así como apiques distribuidos en el sector, los cuales permiten reconocer cambios en las propiedades físicas y mecánicas de los suelos con el incremento de la profundidad. La Figura 39 y la Tabla 16 ilustran la ubicación de equipos para la caracterización del material de sitio.

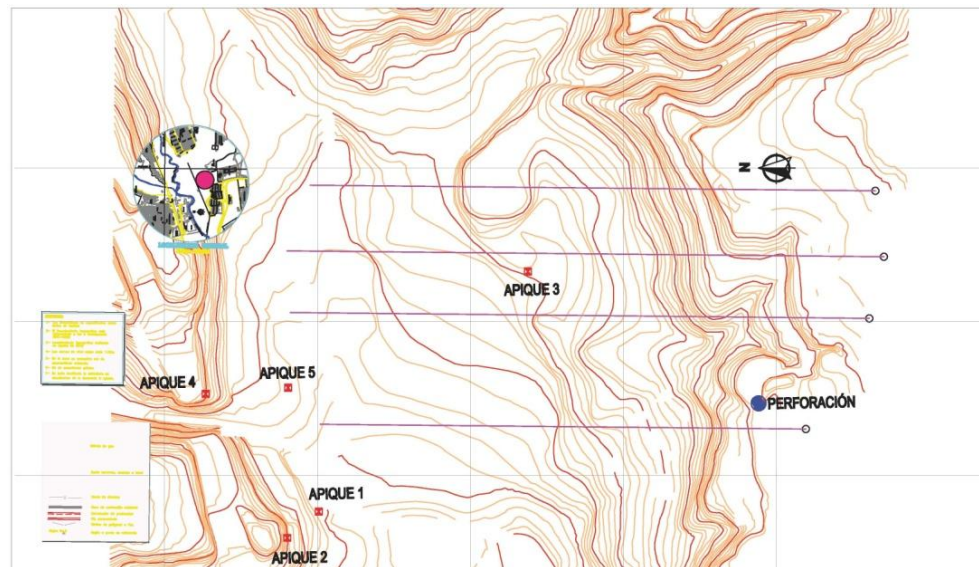


Figura 39. Localización de exploraciones efectuadas en el sector Quebrada La Iglesia

Tabla 16. Coordenadas de los sondeos localizados en el sector Quebrada La Iglesia

| ID | COORDENADA ESTE(m) | COORDENADA |
|-----------|--------------------|------------|
| | | NORTE (m) |
| QLF-12-07 | 1105450.70 | 1275810.21 |
| APIQUE 1 | 1105377.42 | 1276097.09 |
| APIQUE 2 | 1105360.08 | 1276117.54 |
| APIQUE 3 | 1105535.06 | 1275961.86 |
| APIQUE 4 | 1105453.28 | 1276171.80 |
| APIQUE 5 | 1105457.73 | 1276118.43 |

La profundidad alcanzada fue de 29 m para la perforación QLF-12-07, de la cual se recuperaron muestras (Figura 40). El Anexo A2 “Registros de Perforación” presenta una breve descripción de los depósitos hallados:

- El estrato que aflora en superficie es suelo areno-limoso, de origen aluvial con presencia de materia orgánica.
- A éste le sigue una capa de material de similares características al anterior, aunque con fragmentos de roca y cuarzo, de color marrón rojizo, de 2.6 m de espesor.
- A partir de los 3.6 m se encuentra suelo arcillo-arenoso, color marrón rojizo, al cual infrayace un depósito de guijas y guijarros de arenisca, bien consolidado, que oscila entre los 9 y 10 m.
- Desde los 10 m hasta terminar la perforación, se encuentra suelo arcillo-arenoso, color marrón rojizo, con fragmentos de arenisca.
- Se destaca la ausencia del nivel freático en los sondeos realizados. Sin embargo, durante la época de invierno es posible se registre la saturación del material, situación que incide en la pérdida de resistencia.

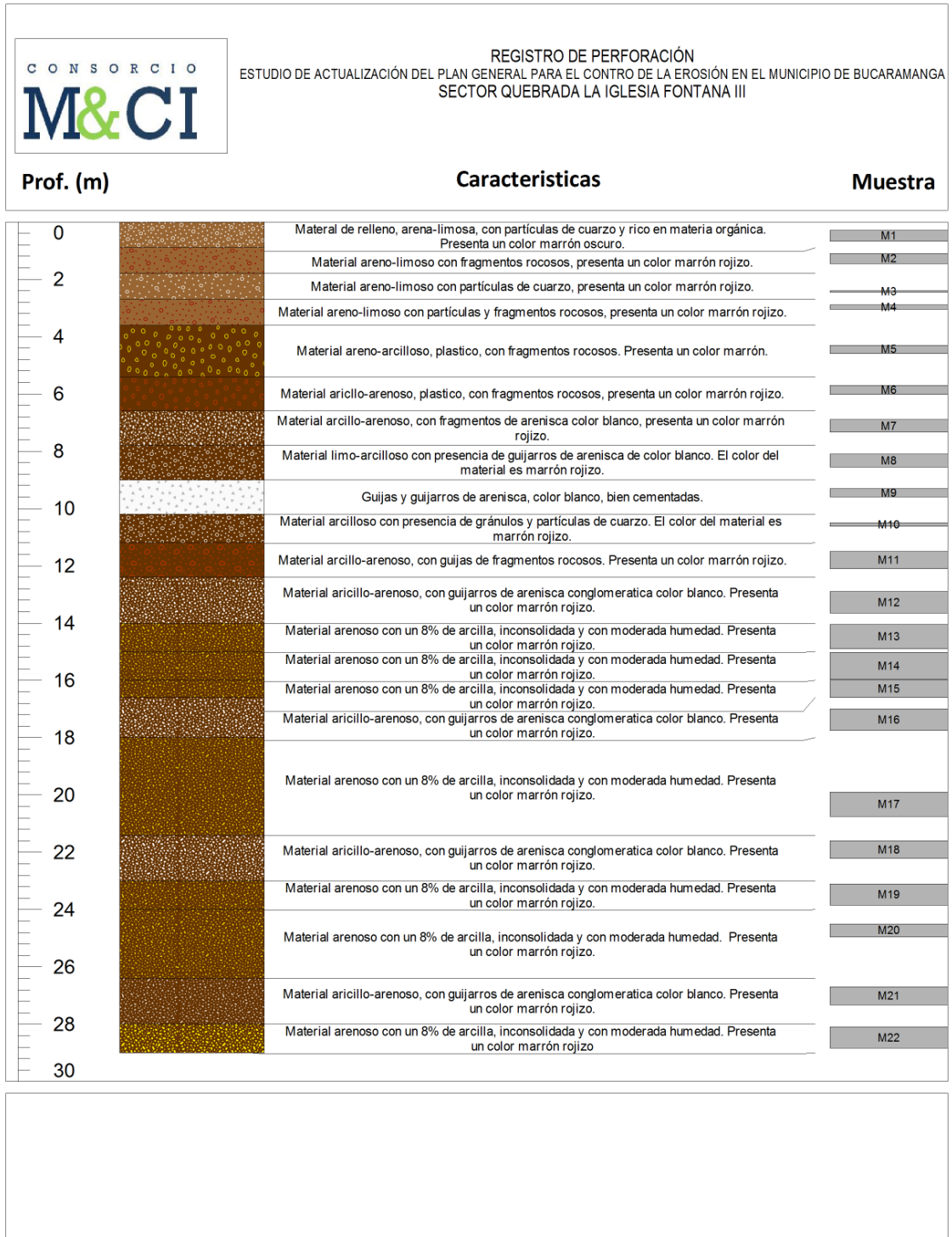


Figura 40. Registro de Perforación QLF-12-07

4.2 ENSAYOS DE LABORATORIO

A continuación se presentan los resultados de las pruebas de laboratorio realizadas a las muestras extraídas del sondeo QLF-12-07, empleado en la caracterización geomecánica del material encontrado en el sector. Estos ensayos corresponden básicamente a ensayos de clasificación y corte. En el Anexo A3 “Ensayos de Laboratorio” se encuentra en detalle los resultados de las evaluaciones efectuadas a las muestras extraídas durante la fase de exploración.

4.2.1 Ensayos de clasificación

La Tabla 17 sintetiza los resultados obtenidos de los ensayos de clasificación correspondientes a los límites de Atterberg (límite líquido y límite plástico) y Granulometría, realizados para determinar el porcentaje de fracción fina. El análisis de los resultados sugiere el predominio en superficie de material arenoso.

Tabla 17. Resultados ensayos de clasificación

| ID | Muestra | Prof_med | LÍMITES DE ATTERBERG | | | | GRANULOMETRÍA | | | CLASIFICACIÓN |
|-----------|---------|----------|----------------------|-------|-------|-------|---------------|-------|-------|---------------|
| | | | LL(%) | LP(%) | IP(%) | W(%) | G(%) | S(%) | F(%) | USC |
| QLF-12-07 | M1 | 0.45 | 24 | 12.94 | 11.06 | 12.21 | 29 | 43.42 | 27.58 | CL |
| APIQUE 1 | | | 24 | 10.58 | 13.42 | | 2.01 | 68.31 | 29.68 | SC |
| APIQUE 2 | | | | | | | 0.05 | 54.89 | 45.06 | SM |
| APIQUE 3 | | | | | | | 0.49 | 74.44 | 25.07 | SM |
| APIQUE 4 | | 0.7 | 27 | 18.25 | 18.75 | | 10.29 | 64.52 | 25.19 | SC |

4.1.2 Ensayos de corte

Los parámetros de resistencia utilizados en los análisis de estabilidad se obtuvieron de los ensayos de corte realizados a las muestras obtenidas de la perforación QLF-12-07.

Los resultados del ensayo de corte directo de la perforación y los apiques, se ilustra en las Figuras 41 al 47, sintetizados en la Tabla 18, a partir de éstos es posible inferir el comportamiento dúctil del material.

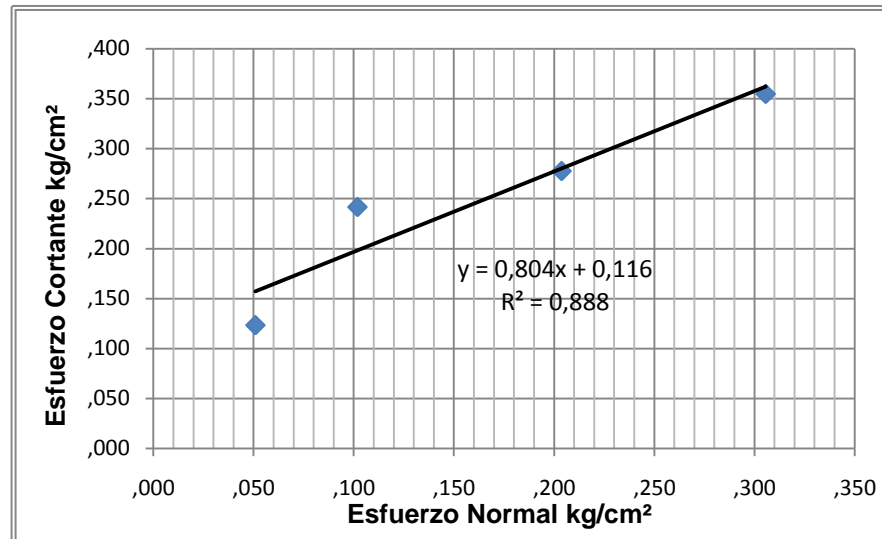


Figura 41. Envolvente de esfuerzos ensayo de corte del sondeo QLF-12-07, M2

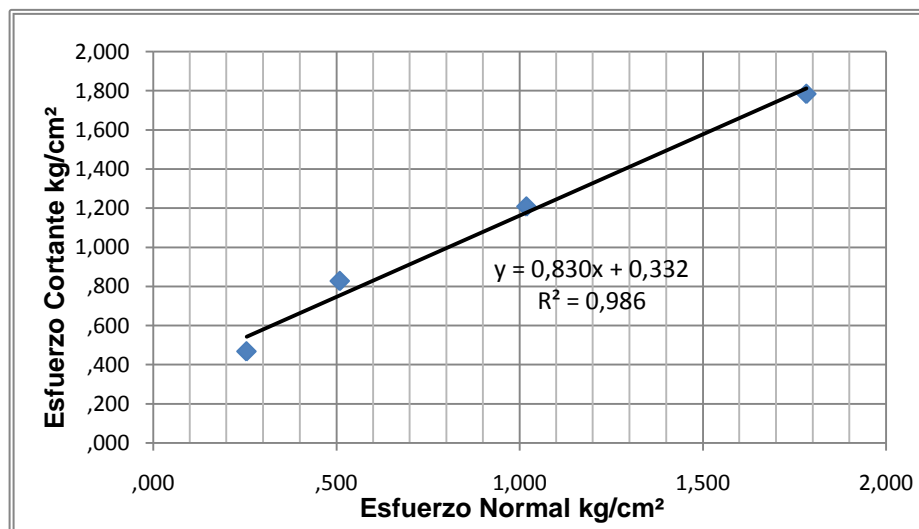


Figura 42. Envolvente de esfuerzos ensayo de corte del sondeo QLF-12-07, M7

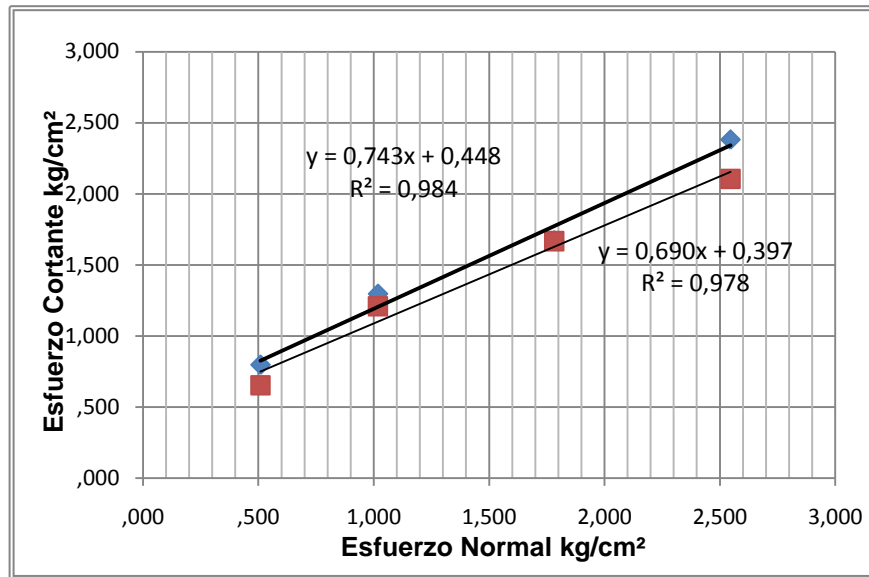


Figura 43. Envoltente de esfuerzos ensayo de corte del sondeo QLF-12-07, M11

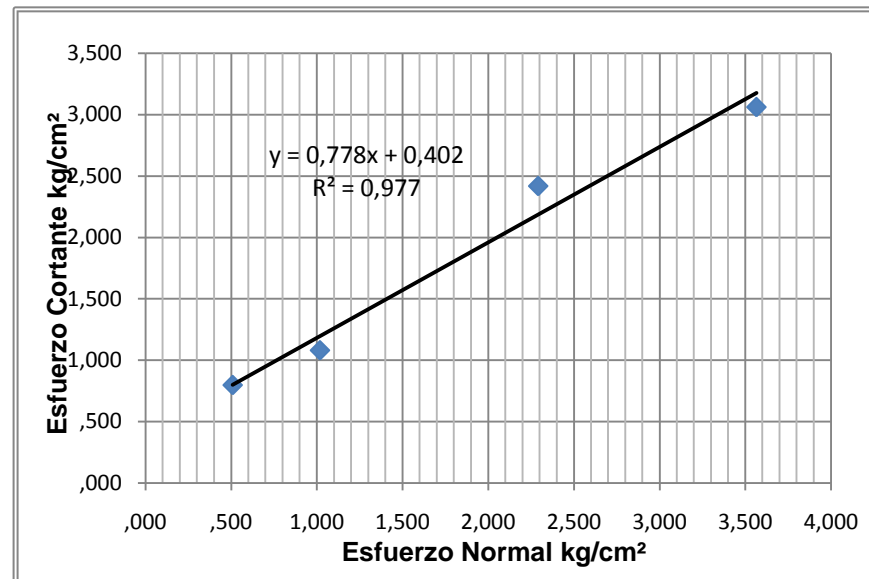


Figura 44. Envoltente de esfuerzos ensayo de corte del sondeo QLF-12-07, M13

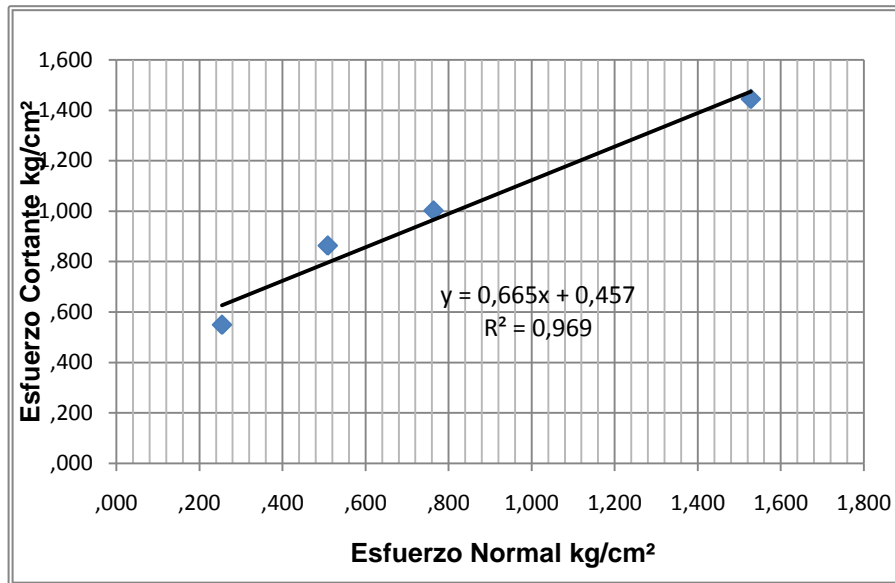


Figura 45. Envoltente de esfuerzos ensayo de corte AP1, M1

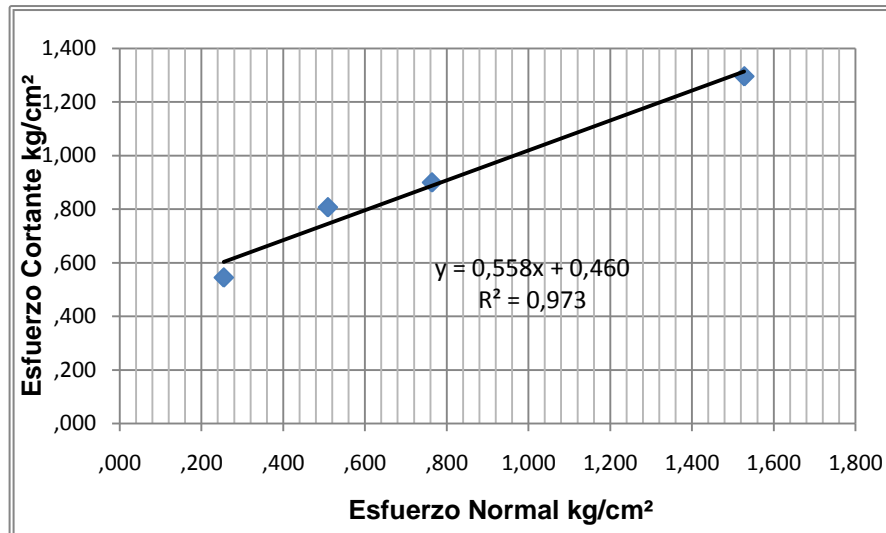


Figura 46. Envoltente de esfuerzos ensayo de corte AP2

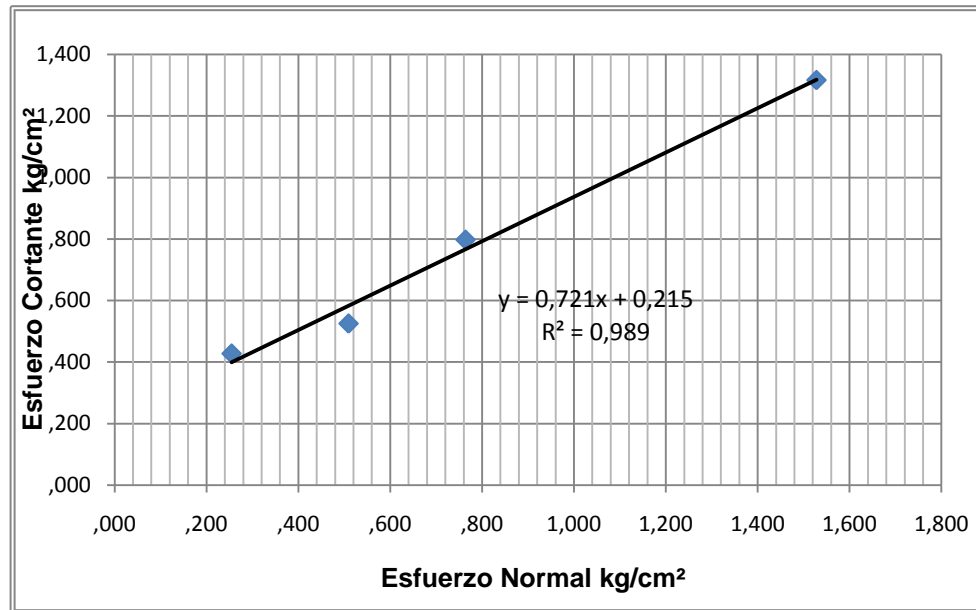


Figura 47. Envolvente de esfuerzos ensayo de corte AP3

Tabla 18. Resultados ensayo de corte, Quebrada La Iglesia

| RESULTADOS ENSAYO DE CORTE DIRECTO -SECTOR QUEBRADA LA IGLESIA | | | | | |
|--|---------|---------------|-------|-------------|-----------|
| ID | MUESTRA | Prof. prom(m) | Ø'(°) | c' (Kg/cm2) | γ'(KN/m3) |
| QLF-12-07 | M2 | 1.35 | 39.00 | 0.12 | 17.4 |
| QLF-12-08 | M7 | 7.20 | 40.00 | 0.33 | 17.4 |
| QLF-12-09 | M11 | 11.80 | 37.00 | 0.45 | 18.8 |
| QLF-12-10 | M13 | 14.50 | 38.00 | 0.40 | 17.3 |
| APIQUE 1 | M1 | | 31.40 | 0.44 | 19.49 |
| APIQUE 1 | M3 | 0.95 | 33.63 | 0.46 | 16.74 |
| APIQUE 2 | | | 29.18 | 0.46 | 19.55 |
| APIQUE 3 | | | 35.81 | 0.22 | 18.55 |

5. MODELO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO

El modelo geológico-geotécnico se define como aquel que involucra aspectos geológicos (variación en profundidad de los diferentes depósitos) y geotécnicos (caracterización geomecánica de los diferentes depósitos). Las anteriores variables son necesarias para la obtención de perfiles geotécnicos que serán utilizados posteriormente en los análisis de estabilidad. En este orden de ideas se definieron 4 secciones consideradas las más críticas, la localización de los cortes transversales se presenta en la Figura 48.

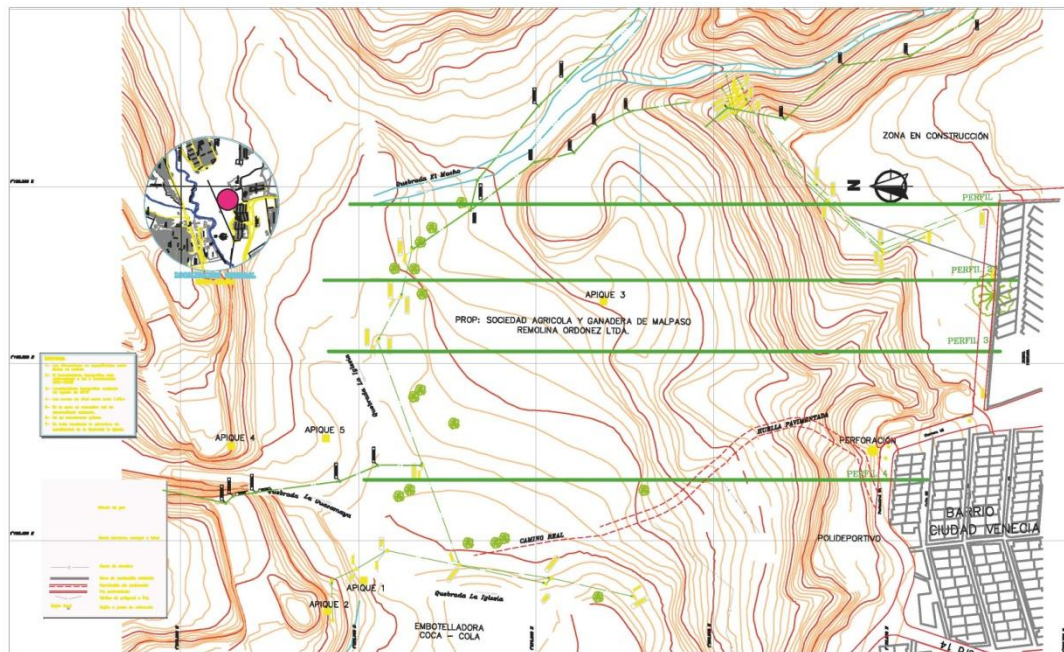


Figura 48. Localización secciones de estudio



5.1 DISTRIBUCIÓN DE MATERIALES EN PROFUNDIDAD

De acuerdo a la información obtenida del registro de perforación QLF-12-07, los resultados de laboratorio y la geología del sector, se procedió a definir tipos y espesores de los materiales, agrupándolos de acuerdo a la similitud de características geomecánicas(Figuras 49 a 5.5).

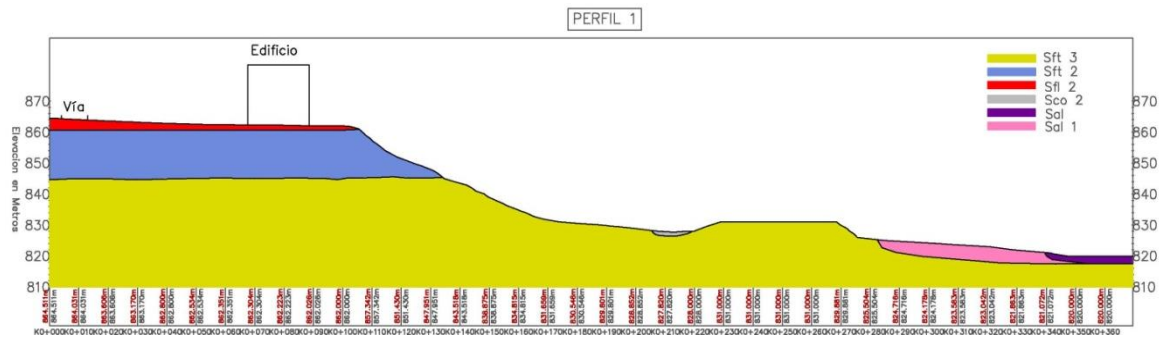


Figura 49. Perfil geológico-geotécnico sección 1

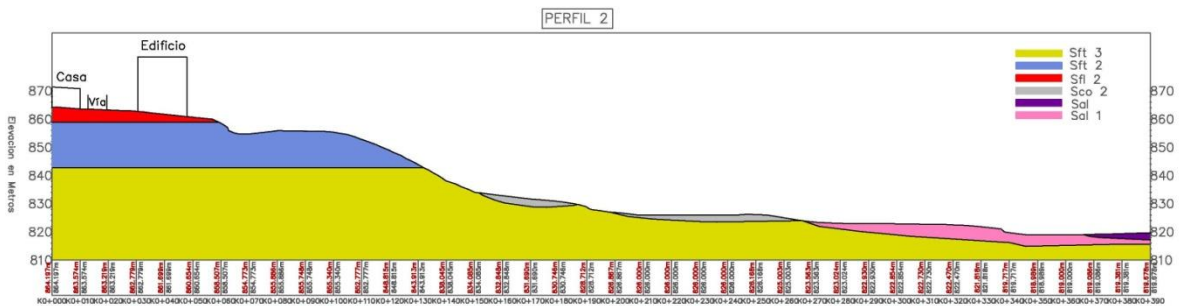


Figura 50. Perfil geológico-geotécnico sección 2

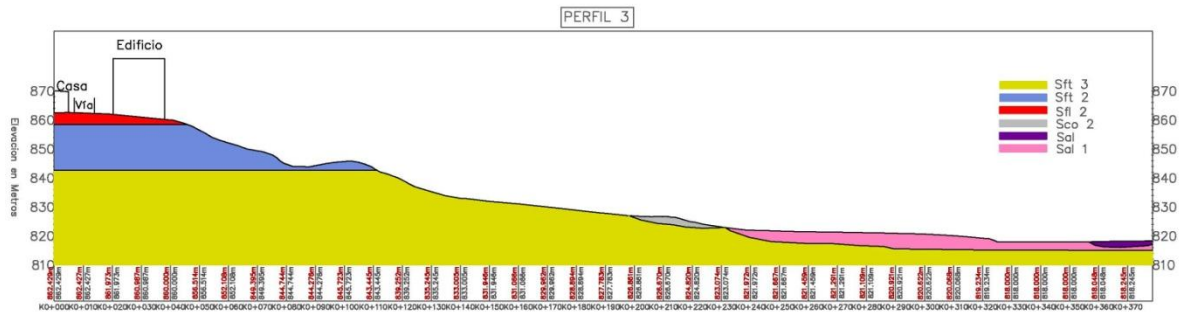


Figura 51. Perfil geológico- geotécnico sección 3

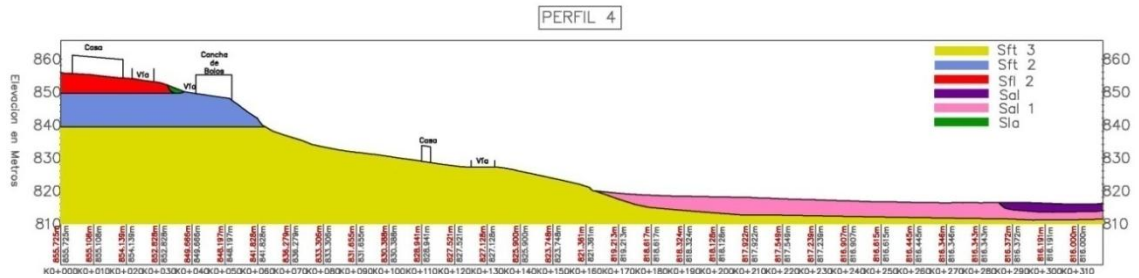



Figura 52. Perfil geológico- geotécnico sección 4

5.2 PARÁMETROS GEOMECÁNICOS EMPLEADOS EN LA MODELACIÓN

En la Tabla 53 se presentan los parámetros de resistencia establecidos a los diferentes estratos identificados durante la exploración del subsuelo. Esta caracterización constituye la base de los posteriores análisis de estabilidad.

Figura 53. Parámetros Geomecánicos Quebrada La Iglesia

| DESCRIPCIÓN | ϕ (°) | c (KN/m ²) | γ (KN/m ³) |
|--|------------|--------------------------|-------------------------------|
| Arcillas y limos con contenido de arena (Sft1). | 39.00 | 6.00 | 17.40 |
| Suelo gravoso, matriz areno-arcillosa, con gravas y bloques, compuestos por areniscas, neises y rocas ígneas, con diámetros de hasta 1 m (Sft2). | 40.00 | 6.60 | 17.40 |
| Suelo gravoso en matriz areno-arcillosa (Sft3). | 37.00 | 9.00 | 18.80 |

| | | |
|--|---|---------------------------|
|  | EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD, PREDISEÑO DE MEDIDAS CORRECTIVAS Y EVALUACIÓN DE COSTOS DEL SECTOR QUEBRADA LA IGLESIA | CONSORCIO M&CI |
| SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL URBANA SOSTENIBLE COORDINACIÓN GESTIÓN DEL RIESGO | | |

| DESCRIPCIÓN | ϕ (°) | c (KN/m ²) | Y (KN/m ³) |
|--|------------|------------------------|------------------------|
| Fragmentos de roca en matriz areno-arcillosa, moderadamente compacta (Sco2). | 30.50 | 6.00 | 21.00 |
| Cantos y bloques, de origen aluvial, embebidos en matriz areno-arcillosa (Sal). | 31.40 | 8.80 | 19.49 |
| Cantos y bloques transportados, redondeados a embebidos en matriz areno-arcillosa(Sal1). | 31.00 | 10.00 | 19.00 |

Los valores de cohesión obtenidos en los ensayos de laboratorio, presentan valores muy lejanos del promedio de los valores encontrados para las mismas formaciones en los diversos barrios de la Meseta de Bucaramanga, por tanto, dichos valores han sido reducidos hasta acercarse un poco a los valores promedio de la formación. Por otra parte, los parámetros geomecánicos del depósito coluvial Sco2 fueron asignados del sector Coca-Cola, cercano al sitio de estudio, ya que los valores obtenidos en los ensayos eran muy altos, en comparación con los parámetros del mismo material en otros lugares de Bucaramanga, para caracterizar el comportamiento del suelo.

5.3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

Para el análisis de estabilidad se usaron los métodos de equilibrio límite desarrollados por Bishop y Spencer, bajo condiciones de sismo y suelo parcialmente saturado. Simultáneamente, son evaluadas dos situaciones del sector en estudio: estado actual del terreno, que corresponde a la condición sin obras y la situación futura del terreno, concerniente a la condición con obras.

El coeficiente de aceleración horizontal usado fue 2/3 el factor de aceleración pico definido por la norma NSR-98 ($A_{\text{máx}}=0.25g$) para la ciudad de Bucaramanga.

5.3.1 Análisis para la Condición Actual

Estos análisis se realizan para la condición actual del terreno, sin ningún tipo de estructura de contención. Básicamente, se pretende modelar el comportamiento del talud, al verse sometido a un ascenso importante del nivel freático y un sismo. A continuación se describen los aspectos más importantes de los análisis.

5.3.1.1 Análisis de la sección 1 en condición actual

El relieve suavizado del sitio (pendientes inferiores a los 25°) confiere a la ladera del sector Quebrada La Iglesia factores de seguridad cercanos al valor definido en este estudio como confiable. De ahí que sea necesario plantear obras que básicamente controlen el incremento del nivel freático, medidas que permiten garantizar la permanencia del talud ante las solicitaciones anteriormente mencionadas. La Figura 54 resume el resultado del análisis para la sección 1 por el método de Bishop y para coeficientes de seguridad inferiores a 1.2, donde el mínimo obtenido fue de 1.109 a una profundidad aproximada de 25 m. En general, las curvas de falla tienden a presentar radios de curvatura amplios.

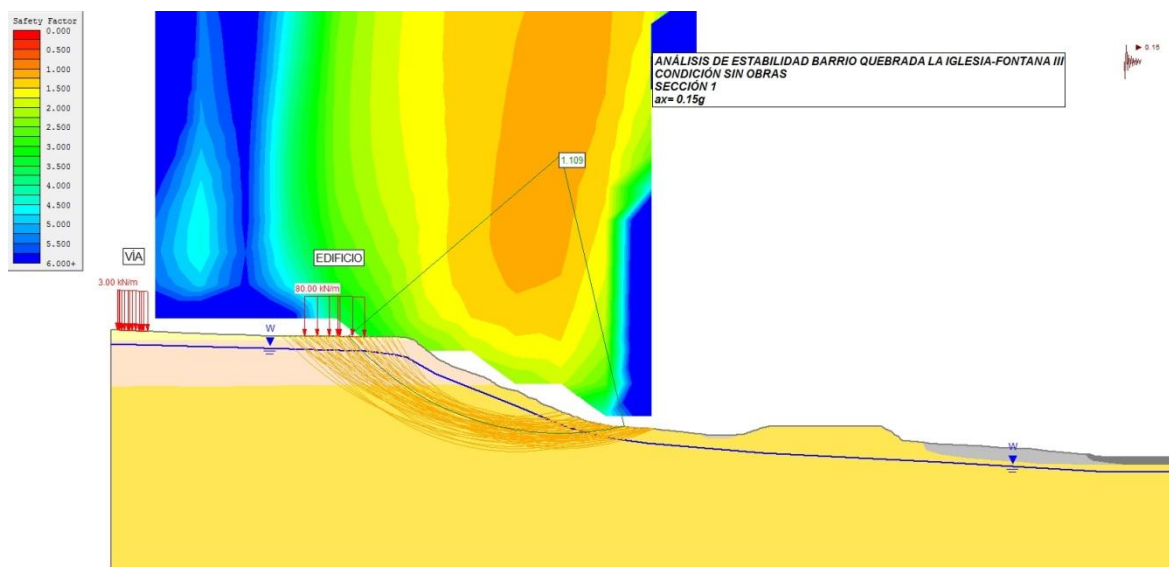


Figura 54. Análisis de estabilidad sección 1, en condición actual

5.3.1.2 *Análisis de la sección 2 en condición actual*

Como se observa en la **Figura 5.7** se encuentran afectados suelos gravosos Sft2, Sft3, así como depósito coluvial Sco2; además de lo anterior, se identifica que el radio de la superficie de falla es pequeño, por tanto se sugiere la implementación de una estructura de gravedad que impida el movimiento de la masa de suelo a lo largo de la superficie de falla, una estructura como un muro de gaviones en este último tipo de material con el objeto de evitar desprendimientos hacia la quebrada.

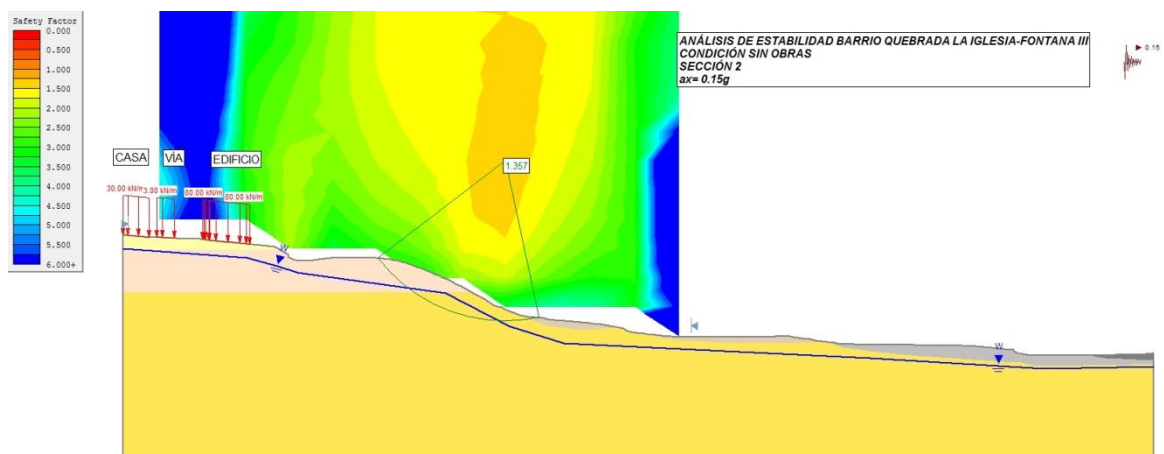


Figura 55.Análisis de estabilidad sección 2, en condición actual

5.3.1.3 *Análisis de la sección 3 en condición actual*

De acuerdo a la **Figura 5.8**, la sección 3 no requiere medidas de estabilización, pues la respuesta del material supera las solicitaciones planteadas, arrojando un factor de seguridad mínimo de 1.489.

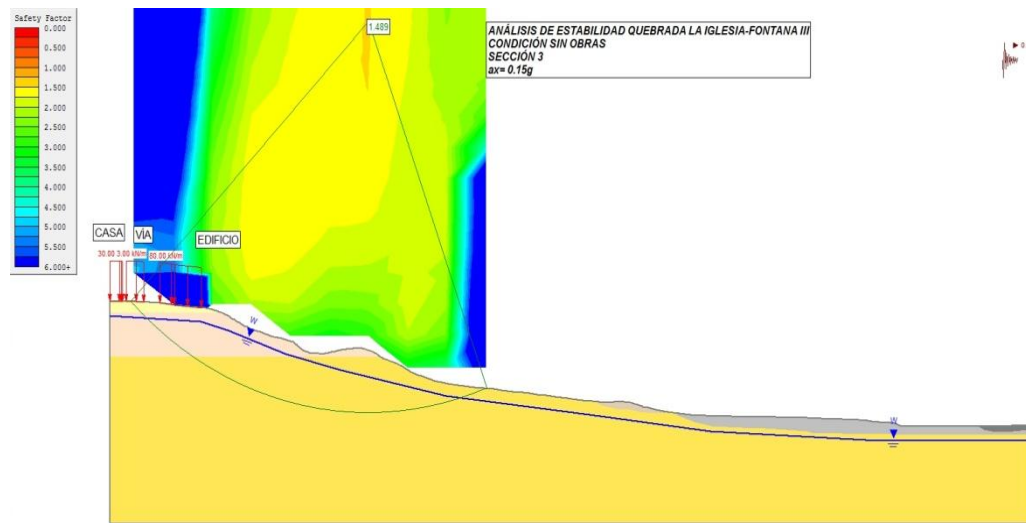


Figura 56. Análisis de estabilidad sección 3, en condición actual

5.3.1.4 Análisis de la sección 4 en condición actual

De la Figura 57 se observa una superficie de falla, cuyo factor de seguridad mínimo obtenido se encuentra en 1.308. Aún así, es necesario realizar intervención a la ladera con el objeto de evitar deslizamientos o fenómenos de remoción en masa por efecto del incremento de la presión de poros y la futura densificación poblacional del sector.

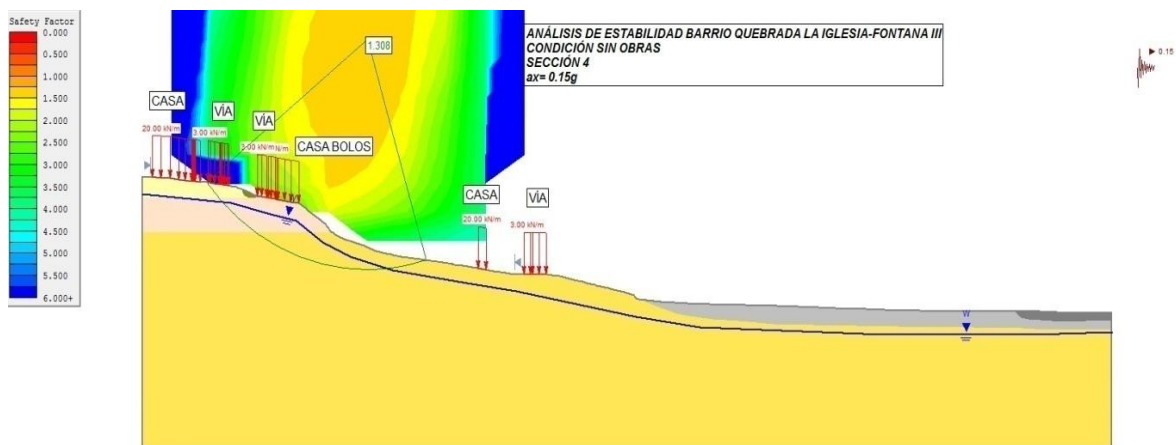


Figura 57. Análisis de estabilidad sección 4, en condición actual

5.3.2 Análisis de estabilidad con Medidas de Mitigación

La estabilidad del talud se garantiza en la medida que se efectúen las medidas correctivas mencionadas a continuación. En este orden de ideas, las **Figuras 58 a 5.13** presentan los análisis de las secciones críticas seleccionadas, con los procedimientos constructivos señalados:

- Movimientos de tierras.
- Muro de gaviones.
- Sistema de drenaje.

Las obras propuestas en el sector Quebrada La Iglesia corresponden a la implementación de un muro de gaviones, así como la utilización de zanjas drenantes de 10 m de profundidad ubicadas en la parte alta del talud. Las medidas mencionadas permiten obtener factores de seguridad superiores a 1.2 (Tabla 19).

Tabla 19. Factores de Seguridad Condición con Obras

| MÉTODO | SECCION 1 | SECCION 2 | SECCION 4 |
|---------|-----------|-----------|-----------|
| BISHOP | 1.264 | 1.508 | 1.325 |
| SPENCER | 1.277 | 1.507 | 1.322 |

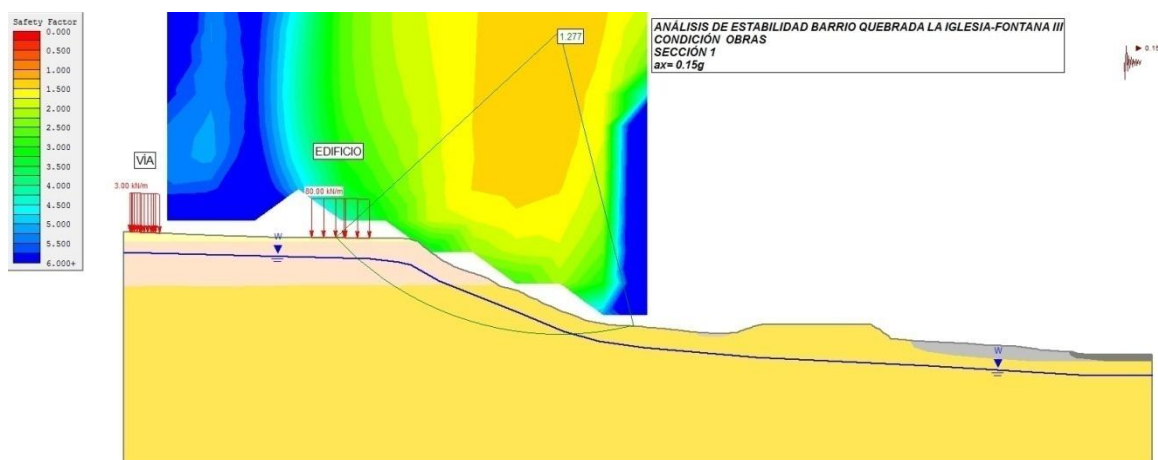


Figura 58. Análisis de Estabilidad condición con obras sección 1

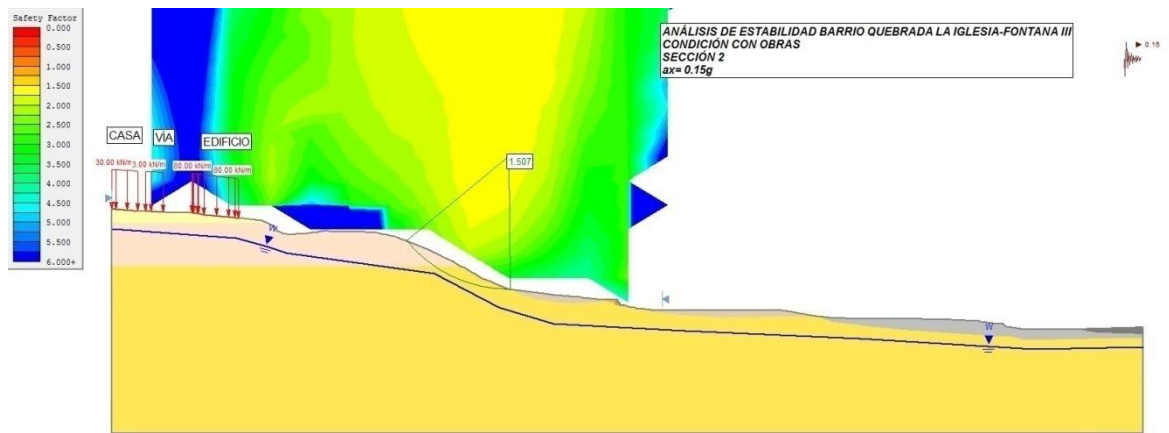


Figura 59. Análisis de Estabilidad condición con obras sección 2

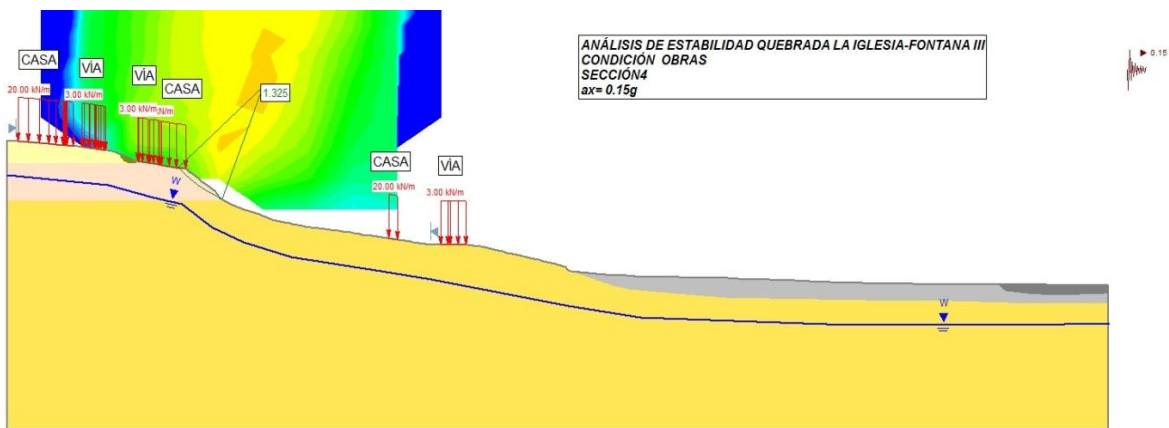




Figura 60. Análisis de Estabilidad condición con obras sección 4

5.4 EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA

La amenaza por fenómenos por remoción en masa, entendida como un evento natural, humano o combinado, potencialmente destructivo de vidas, bienes, economía y/o cultura de una comunidad (INGEOMINAS, 2006), involucra en su evaluación, el conocimiento claro del tipo de movimiento en masa amenazante activo o potencial, así como estimativos de su magnitud, recurrencia y localización

| | | |
|--|--|--|
|  c d m b | EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD, PREDISEÑO DE MEDIDAS CORRECTIVAS Y EVALUACIÓN DE COSTOS DEL SECTOR QUEBRADA LA IGLESIA | C O N S O R C I O  |
| SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL URBANA SOSTENIBLE COORDINACIÓN GESTIÓN DEL RIESGO | | |

geográfica. Esta es una actividad compleja que requiere una gran cantidad de información de aspectos tales como: topografía, cobertura y usos del suelo, geología (geología para ingeniería, estratigrafía, geología estructural) geomorfología, clima, hidrología, hidráulica, hidrogeología (niveles piezométricos y su variación en el tiempo, régimen de flujo de aguas subterráneas), parámetros geomecánicos de materiales e intensidad y probabilidad de ocurrencia de factores detonantes tales como lluvias y sismos.

5.4.1 Aspectos Metodológicos Generales

La metodología general utilizada para la evaluación de la amenaza por movimientos en masa e inundación se basa en la evaluación de la estabilidad del talud en estudio, utilizando un modelo determinístico y para un escenario caracterizado por los agentes detonantes.

Por otra parte, para la realización de la zonificación de amenaza por fenómenos de remoción en masa se realizó a partir de los factores de seguridad arrojados por el software Slide, los cuales mediante un programa de interpolación permitieron generar las áreas con los diferentes niveles de amenaza por remoción en masa.

Los factores detonantes que se tuvieron en cuenta para el presente proyecto debido a sus características geológicas, sísmicas, hidrológicas, entre otras, fueron las cargas sísmicas, las lluvias y las actividades antrópicas. Para el caso del factor sísmico se utilizó un coeficiente de aceleración $A_x=(2/3)A_o=0.15g$ definido por la NSR-98 para la ciudad de Bucaramanga.

El escenario de amenaza definido, teniendo en cuenta las Normas Geotécnicas de la CDMB; este escenario se consideraron dos detonantes, los cuales fueron, la lluvia (condición saturada) y el sismo $(2/3A_m)$ de 0.15g.

5.4.2 Niveles de Amenaza

Para la clasificación de los niveles de amenaza se adoptaron los parámetros de la resolución CDMB No 0003656 de 2005 “NORMAS TÉCNICAS PARA EL CONTROL DE EROSIÓN Y PARA LA REALIZACIÓN DE ESTUDIOS GEOLÓGICOS GEOTÉCNICOS E HIDROLÓGICOS” capítulo II, en donde se definen los niveles presentados en la Tabla 20.

Tabla 20. Características de los niveles de amenaza por deslizamiento e inundación⁶

| NIVEL | A LOS DESLIZAMIENTOS | | A LA INUNDACIÓN |
|--------------|----------------------|-------------|--|
| | ax=0.0g | ax=0.15g | |
| BAJO | >1.50 | >1.20 | No existe riesgo de que aéreas del proyecto sean inundadas en la creciente máxima. |
| MEDIO | 1.25 – 1.50 | 1.00 a 1.20 | Son terrenos afectados por amenaza medianas de inundación por corrientes de agua y para adelantar la construcción de obras es necesaria la ejecución previa de trabajos de control de inundación. No existe riesgo de que área alguna sea inundada en la creciente básica (Periodo de retorno de 100años), pero existe el riesgo de que áreas del proyecto sean afectadas por la creciente máxima. |
| ALTO | <1.25 | <1.00 | Son terrenos afectados por amenazas graves de inundación por corrientes de agua en los cuales no se deben adelantar ninguna obra de construcción, debido a que presentan riesgos altos para vida y bienes de la comunidad o de tratamientos especiales. Existe el riesgo de que algunas áreas del proyecto sean inundadas en la creciente básica. |

5.4.3 Evaluación de la amenaza para la condición actual del terreno

En la Figura 61 se presenta la zonificación de amenaza por el fenómeno de remoción en masa, resultado del estudio desarrollado por INGEOMINAS en la zona de estudio mientras que en la Figura 62 se ilustra la distribución porcentual de las áreas con amenaza Alta, Media y Baja, en donde se observa que los mayores porcentajes corresponden a amenaza Baja (98.19%).

⁶Tomado de las normas Geotécnicas - CDMB

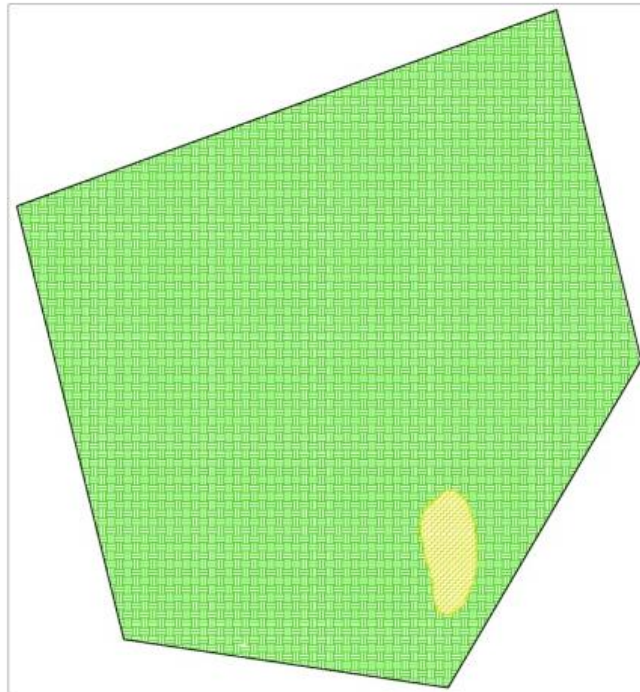


Figura 61. Imagen de Zonificación Amenaza sector Quebrada La Iglesia condición Actual

Distribución porcentual de Amenaza

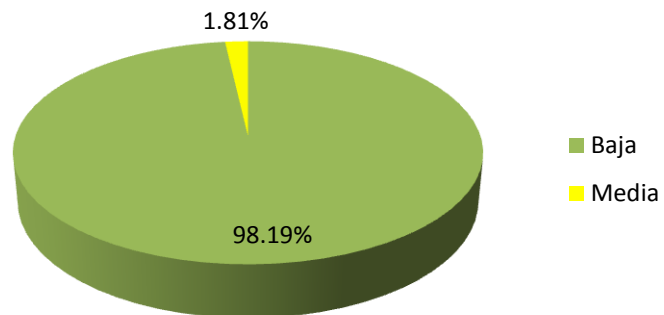


Figura 62. Porcentajes De Amenaza, sector Quebrada La Iglesia

6. PREDISEÑO DE MEDIDAS CORRECTIVAS

En este capítulo se presentan las diferentes obras de mitigación propuestas para disminuir el problema de inestabilidad y erosión en el sector Quebrada La Iglesia-Fontana III. Estas medidas incluyen obras tales como:

- Movimientos de tierra.
- Estructuras de contención.
- Obras para el control de la erosión.
- Obras para el manejo de aguas superficiales y subterráneas.

Es importante destacar que para garantizar el adecuado comportamiento de la ladera, es necesario que la opción complementada incluya la totalidad de las medidas de mitigación propuestas, ya que las obras han sido diseñadas de manera integral para trabajar monolíticamente.

En el Anexo A4 “Planos Prediseños” se presentan gráficamente las obras y medidas de mitigación propuestas, nivel de prediseño, para cada una de las zonas susceptibles a fenómenos de remoción en masa que puede comprometer algunas viviendas y vías del sector.

6.1 MOVIMIENTO DE TIERRA

Los movimientos de tierra para el sector Quebrada La Iglesia corresponden a cortes de material requeridos para la construcción de canales que permitan la conducción de las aguas superficiales a lo largo del talud, instalación de obras estructurales de mitigación (muro en gaviones) y eliminación de material de resistencia baja.

6.1.1 Volumen de Cortes para conformación de taludes

El volumen total de cortes necesarios para la construcción del muro de gaviones, localizada hacia el centro del sector, es de aproximadamente 386.05 m³.

6.1.2 Volumen de Cortes para construcción de canales

El volumen de material de corte requerido es de alrededor 710m³.

6.1.3 Rellenos con Material seleccionado

El material de relleno para rellenar el espaldar de los muros, deberá cumplir lo establecido en la especificación INVIAS Artículo 220. Algunos de estos requisitos se muestran en la Tabla 63.

Figura 63. Requisitos Materiales. Tomado de la INVIAS Artículo 220 Tabla No 220.1

| Suelos | Seleccionados | Adecuados | Tolerables |
|---|--------------------------|--------------------------|------------------|
| Aplicación | Corona, Núcleo, Cimiento | Corona, Núcleo, Cimiento | Núcleo, Cimiento |
| Tamaño máximo Pasa tamiz de 75 µm (No.200) | 75 mm | 100 mm | 150 mm |
| C.B.R. de laboratorio | ≤ 25% en peso | ≤ 35% en peso | ≤35% en peso |
| Expansión en prueba C.B.R. | ≥10 | ≥ 5 | ≥3 |
| Contenido de materia orgánica | 0% | < 2% | <2% |
| Límite líquido | 0% | <1% | <2% |
| Índice plástico | < 30 | <40 | <40 |
| | <10 | <15 | - |

6.1.4 Volumen de relleno

El volumen de material seleccionado necesario a emplear en las pantallas es de 53.060 m³, aproximadamente.

6.2 ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN

6.2.1 Muro de Gaviones

Los muros en gaviones son estructuras de gravedad y su diseño sigue la práctica estándar de la ingeniería civil.

El gavión está compuesto por mallas de alambre galvanizado llenas de cantos de roca, formando cajones unidos por amarres de alambre. Debe tenerse en cuenta de manera muy especial el amarre entre unidades para evitar el movimiento de elementos aislados y poder garantizar un muro monolítico. Por su flexibilidad, el muro de gaviones puede deformarse fácilmente al ser sometido a presiones, diferenciándose un poco su comportamiento de los muros convencionales.

Se propone la construcción de un muros en gaviones localizados a lo largo de suelos coluviales (Sco2).

La sección del muro y las características del suelo de cimentación se presenta en la Tabla 21 y **Figura 6.1**.

Tabla 21. Geometría de la sección del muro de gaviones

| H (m) | B1 (m) | B2 (m) | h(m) |
|-------|--------|--------|------|
| 2.0 | 2.0 | 1.0 | 1.0 |

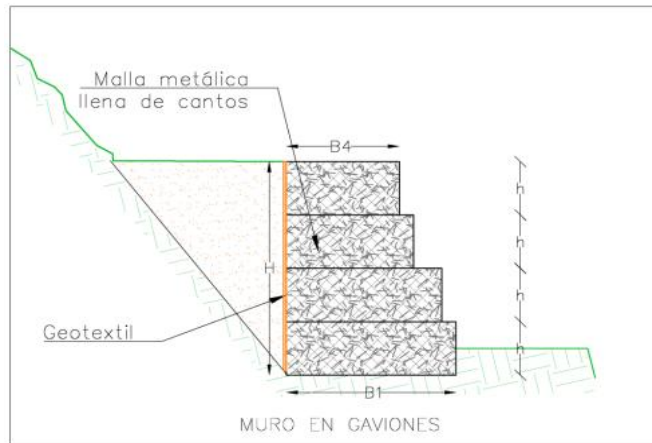


Figura 64. Sección típica de un muro en gaviones

6.2.1.1 Recomendaciones constructivas

Uno de los principales problemas que se presentan en muros de gaviones es la falla de los elementos debido a la corrosión y abrasión de la malla. La corrosión se presenta en muros de gaviones expuestos principalmente a aguas y suelos con un alto contenido de sustancias químicamente corrosivas que atacan la malla del gavión, hasta el punto de destruirla.

El recubrimiento de la malla metálica, por el proceso de galvanizado o con materiales asfálticos o plásticos (PVC) representa una solución eficiente para estructuras expuestas a aguas o suelos corrosivos y al desgaste mecánico.

Para que el muro funcione como una estructura monolítica, la unión entre sus elementos debe ser cuidadosamente ejecutada. Es recomendable que el refuerzo total de las uniones abarque el 75% del de la malla.

En estructuras de gaviones es imprescindible la dotación de separadores filtrantes, para evitar la erosión progresiva del suelo retenido en la zona de contacto con los

gaviones (parte posterior del muro y base de cimentación). Como elemento filtrante se utilizarán:

- Material granular, el cual deberá ser hidráulicamente efectivo y mecánicamente estable, preservando las características mecánicas del suelo drenado y previniendo la colmatación del medio drenante Geodren.
- Se recomienda fabricar los gaviones con una malla hexagonal de doble tracción con resistencias nominales mayores a 40KN/m.

6.3 OBRAS PARA EL MANEJO DE AGUAS SUBTERRANEAS

6.3.1 Subdrenes de Zanjas

Los subdrenes de zanja consisten en zanjas profundas que actúan al mismo tiempo con drenes superficiales y como sistema de abatimiento del nivel freático.

Entre los materiales que se utilizan para la construcción de subdrenes de zanja se encuentran (Figura 65):

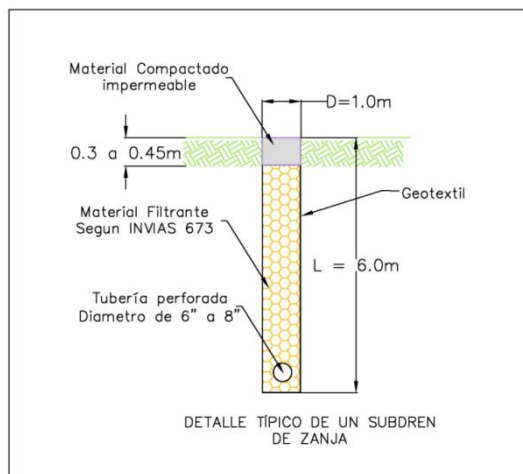


Figura 65. Detalle típico de un Subdren de Zanja

- Geotextiles no tejidos y Geotextiles tejidos.
- Material granular (Material de filtro).
- Tubería perforada.

Se propone la utilización de la zanja paralela al sistema de canales para el manejo de aguas superficiales, localizado en la parte alta del sector de Quebrada La Iglesia, con una longitud aproximada de 268.1 m y una profundidad de 10.0 m.

6.3.1.1 Especificaciones técnicas

La gradación del material filtrante y las características del geotextil deben seguir lo establecido en la Norma INVIAS 673.

6.4 OBRAS PARA EL MANEJO DE AGUAS SUPERFICIALES

Conforme los predimensionamientos elaborados para éste sector de interés en el marco del estudio, se hace la propuesta de manejo de drenaje que se presenta a continuación (**Figura 6.3**):

El sector La Quebrada La Iglesia se caracteriza por contar al norte con un canal existente que se encarga de conducir toda la escorrentía de la zona suroccidental de Bucaramanga. Sin embargo, al sur de esta zona, donde se encuentra el cuerpo de la ladera, no se cuenta con drenaje para el manejo de aguas superficiales y es en esta zona donde se encuentran la mayoría de las obras propuestas.

Se propone como drenaje para las obras geotécnicas, la construcción de canales rectangulares de la siguiente forma:

Canal 1: Este se encarga de recolectar la escorrentía superficial generada por las edificaciones ubicadas en el sur de la zona. Debido a que esta zona se encuentra

totalmente pavimentada, el caudal resultante es alto y el canal se dimensiona a 0.80 x 0.60 m, en sección rectangular este canal en particular debe dársele una pendiente de 0.3 %. Este canal vierte a la quebrada natural ubicada al este de la zona de estudio.

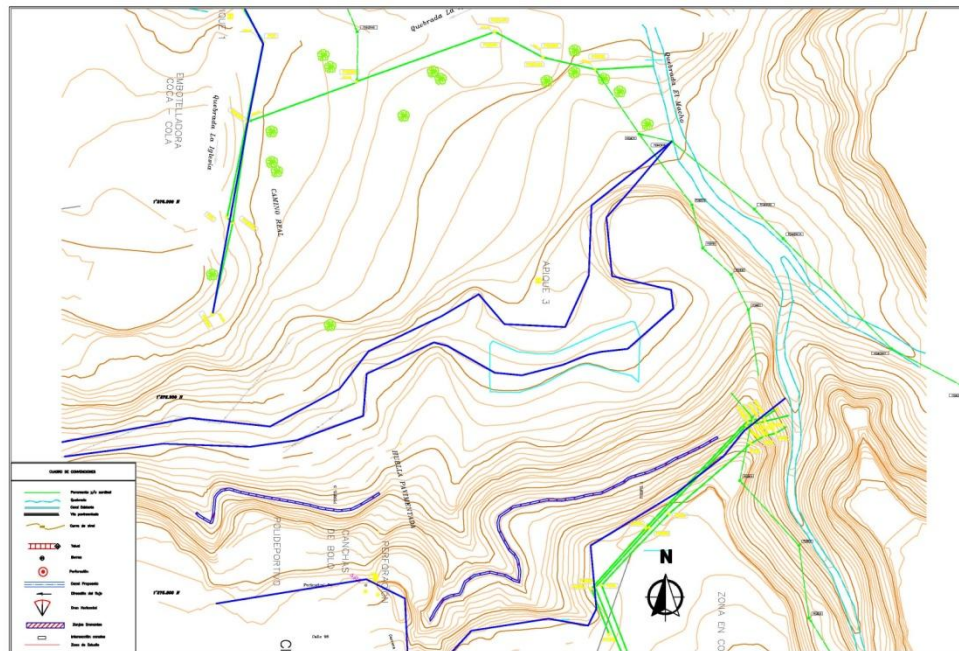


Figura 66. Obras hidráulicas propuestas para el sector Quebrada La Iglesia

Canal 2: Éste se encarga de recibir la escorrentía superficial proveniente de la parte media de la ladera, perfilando el terreno. Debido a que las pendientes son tan bajas, se generan altas profundidades de flujo, debido a esto sus dimensiones son de 1.00 x 0.80 m en sección rectangular. Éste canal vierte a la quebrada natural ubicada al este de la zona de estudio.

Canal 3: Similar al canal 2, se encarga de recolectar las aguas superficiales de la parte media de la ladera, perfilando el terreno. Además tiene como objetivo, proteger las obras geotécnicas planteadas en esta zona. Sus dimensiones son de

0.50 x 0.40 m en sección rectangular y vierte a la quebrada ubicada al este de la zona de estudio.

Canal 4: Este canal se encuentra ubicado en la parte noroccidental de la zona de estudio. A este vierte una cuenca pavimentada, sin embargo, esta no es tan grande por lo que el caudal esperado es menor comparado con el caudal de los canales anteriores. El canal 4 vierte al canal artificial que atraviesa la zona de oeste a este paralelo a la vía Girón. Sus dimensiones son de 0.50 x 0.40 m en sección rectangular.

Los caudales correspondientes y dimensionamientos de los citados canales se presenta en las **Tablas 22y 6.4:**

Tabla 22. Caudales individuales (m^3/s) para las diferentes condiciones de interés

| Denominación Canal | Área (Km ²) | Duración 10 minutos | | Duración 20 minutos | |
|--------------------|-------------------------|---------------------|------------------|---------------------|------------------|
| | | <i>i</i> (mm/hr) | <i>i</i> (mm/hr) | <i>i</i> (mm/hr) | <i>i</i> (mm/hr) |
| | | Tr 100 años | Tr 50 años | Tr 100 años | Tr 50 años |
| | | 172.4 | 158.3 | 140.2 | 128.7 |
| Canal 1 | 0.0359 | 1.63516 | 1.50143 | 1.32975 | 1.22068 |
| Canal 2 | 0.0337 | 1.53374 | 1.40830 | 1.24727 | 1.14497 |
| Canal 3 | 0.0061 | 0.27809 | 0.27809 | 0.22615 | 0.20760 |
| Canal 4 | 0.0154 | 0.70129 | 0.64394 | 0.57031 | 0.52353 |

Tabla 23. Predimensionamiento de canales

| Denominación Canal | Área (Km ²) | Caudal total (m ³ /s) | PREDIMENSIONAMIENTO | Observación |
|--------------------|-------------------------|----------------------------------|--|-------------------------|
| | | <i>i</i> (mm/hr) | | |
| | | Tr 100 años | | |
| | | 172.4 | | |
| Canal 1 | 0.0359 | 1.63516 | Rectangular 0.80 X 0.60 m– S=0.003 – Q=1.63m ³ /s | Drena a quebrada |
| Canal 2 | 0.0337 | 1.53374 | Rectangular 1.00 X 0.80 m– S=0.008– Q=1.53 m ³ /s | Drena a quebrada |
| Canal 3 | 0.0061 | 0.27809 | Rectangular 0.50 X 0.40 m– S=0.004 – Q=0.27 m ³ /s | Drena a quebrada |
| Canal 4 | 0.0154 | 0.70129 | Rectangular escalonado 0.50 X 0.40 m– S=0.07 – Q=0.70m ³ /s | Drena a canal existente |

La funcionalidad de los canales dependerá en gran medida de su mantenimiento. Se recomienda la limpieza de los canales cada trimestre, esto con el fin de evitar problemas de represamiento y acumulación de sedimentos.

6.5 OBRAS PARA EL MANEJO DEL CONTROL DE LA EROSIÓN

En esta sección se presentan los principios y fundamentos básicos para el uso de la vegetación como elemento complementario en la solución de los problemas de inestabilidad del área y formular criterios generales para una adecuada selección de las especies vegetales.


6.5.1 El Concepto de Bioingeniería

La bioingeniería es una rama de la ingeniería que aplica un conjunto de técnicas y métodos que tienen como objeto la reforestación de suelos degradados por procesos naturales o actividades humanas para integrarlos al paisaje y estabilizar los procesos gravitacionales.

6.5.2 Efectos físicos de la vegetación

Desde el punto de vista físico, el papel que cumple la vegetación y los árboles en particular se puede resumir en los siguientes aspectos:

- ✓ Contención física al actuar como “pilotes o anclas”, ya que trabajan en sentido vertical o inclinado estableciendo “tejido o amarre” y por lo tanto minimizando el efecto de “rodadero” en el cual una masa o capa superior se desliza sobre la otra inferior ayudada por la presencia de agua que actúa como lubricante.
- ✓ Disminuyendo la exposición de los suelos a los efectos provenientes del impacto vertical de la lluvia o por arrastre (escorrentía) del agua.
- ✓ “Impermeabilización” parcial de la superficie del terreno, desviando las corrientes o flujos de agua o disminuyendo significativamente la percolación.
- ✓ Regular la saturación en el suelo, en la medida en que esta estrategia se considera necesaria, por ejemplo en laderas inclinadas con riesgo de deslizamiento por carga hidrostática.

| | | |
|--|---|---|
|  <i>cdmb</i> | EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD, PREDISEÑO DE MEDIDAS CORRECTIVAS Y EVALUACIÓN DE COSTOS DEL SECTOR QUEBRADA LA IGLESIA | <small>C O N S O R C I O</small> M&CI |
| SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL URBANA SOSTENIBLE COORDINACIÓN GESTIÓN DEL RIESGO | | |

Por tanto, la importancia de la vegetación radica en la protección física que le otorga al suelo, por medio de la intercepción directa de la precipitación, o a través de la hojarasca, que protege al suelo del impacto de las gotas de lluvia y su rugosidad sobre la escorrentía superficial. En el mejoramiento de las características mecánicas del suelo, proporcionando mayor refuerzo a través del sistema radicular y modificando propiedades de los suelos como estructura y permeabilidad, entre otras. Para el sector de Quebrada La Iglesia se propone la implementación de una capa vegetal de raíz corta que puede ser vegetación nativa.

7. EVALUACIÓN DE COSTOS

A continuación se presenta un presupuesto preliminar para la construcción de las obras de estabilización y protección contra la erosión. Sin embargo vale la pena aclarar los siguientes aspectos:

1. La proyección de los precios unitarios a futuro fueron determinados con base en los que maneja actualmente la CDMB de 2008 y tendrán vigencia para el año 2010.
2. Las cantidades de obra calculadas se hicieron con base en cubicaciones de acuerdo a las secciones de análisis y extrapolaciones. Por lo tanto este presupuesto corresponde a una aproximación de los reales costos que deberán ser estimados de acuerdo a las condiciones presentes en el campo al momento de iniciar la obra. Los cálculos de los volúmenes de descapote y relleno fueron calculados basados en los levantamientos topográficos adelantados por el ingeniero Mauricio Santos.
3. Las obras no permanentes, necesarias para el buen desarrollo de las obras, como lo son los campamentos, están incluidas dentro del porcentaje correspondiente a los imprevistos.

En la Tabla 24 se relacionan las cantidades de obra correspondientes a las obras generales, mientras en la Tabla 25 se presenta el presupuesto general para el sector.



| | | |
|--|---|--|
|  cdmb | EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD, PREDISEÑO DE MEDIDAS CORRECTIVAS Y EVALUACIÓN DE COSTOS DEL SECTOR QUEBRADA LA IGLESIA | CONSORCIO  M&CI |
| SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL URBANA SOSTENIBLE COORDINACIÓN GESTIÓN DEL RIESGO | | |

Tabla 24. Cantidades de Obras sector Quebrada La Iglesia

| ITEM | DESCRIPCION | UNIDAD | CANTIDAD |
|------|----------------------------------|--------|----------|
| 1 | Movilización y desmovilización | GL | 1.10 |
| 2 | Localización y replanteo | GL | 1.10 |
| 3 | Excavación mecánica | M3 | 386.05 |
| 4 | Excavación zanjas drenantes | M3 | 2680.70 |
| 5 | Excavación canales | M3 | 710.00 |
| 6 | Relleno de material seleccionado | M3 | 53.06 |
| 7 | GAVIÓN | M3 | 225.72 |
| 8 | Canales | ML | 1372.00 |
| 9 | Geodren Canales | ML | 1372.00 |
| 10 | Zanja drenante | ML | 268.07 |
| 11 | Reforestación | M2 | 656.47 |

Tabla 25. Presupuesto General Obras, sector Quebrada La Iglesia

| SECTOR QUEBRADA LA IGLESIA | | | | | |
|----------------------------|--------------------------------|----------------|----------------------------------|----------------|-----------------------|
| ITEM | DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANT. | 2010 | |
| | | | | VALOR UNITARIO | VALOR PARCIAL |
| 1 | Movilización y desmovilización | GL | 1 | \$ 4.069.058 | \$ 4.069.058 |
| 2 | Localización y replanteo | GL | 1 | \$ 2.348.790 | \$ 2.348.790 |
| 3 | Excavación mecánica | M ³ | 386,05 | \$ 14.293 | \$ 5.517.735 |
| 4 | Excavación Zanjas drenantes | M ³ | 2680,7 | \$ 42.245 | \$ 113.246.172 |
| 5 | Excavación canales | M ³ | 710 | \$ 42.245 | \$ 29.993.808 |
| 6 | Relleno material seleccionado | M ³ | 53,06 | \$ 71.428 | \$ 3.789.969,68 |
| 7 | Gavión | M ³ | 225,72 | \$ 69.948 | \$ 15.788.662,56 |
| 8 | Canales | ML | 1372 | \$ 151.432 | \$ 207.765.176 |
| 9 | Geodrén Canales | ML | 1372 | \$ 91.684 | \$ 125.790.854 |
| 10 | Zanja Drenante | ML | 268,07 | \$ 254.066 | \$ 68.107.473 |
| 11 | Reforestación | M ² | 656,47 | \$ 7.359 | \$ 4.831.219 |
| | | | COSTOS DIRECTOS | | \$ 581.248.917 |
| | | | A.I.U. (20%) | A(10%) | \$ 58.124.892 |
| | | | | I(5%) | \$ 29.062.446 |
| | | | | U(5%) | \$ 29.062.446 |
| | | | INTERVENTORIA (10%) | | \$ 69.749.870 |
| | | | COSTOS TOTALES POR SECTOR | | \$ 767.248.571 |

8. PROYECCIÓN DE COSTOS

El análisis prospectivo de los diferentes costos se define con base en los datos del índice de costos de la construcción pesada, ICCP, del DANE.

Basado en estos datos se determinó la variación promedio anual del periodo comprendido entre los años 2004 y 2009, tal como se muestra en la Tabla 26:

Tabla 26. Valoración Anual Promedio del Índice de Costos de Construcción Pesada

| VARIACIÓN ANUAL PROMEDIO DEL INDICE DE COSTOS DE CONSTRUCCION PESADA | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| <i>Canasta General</i> | | | | | | |
| Equipos | 8.13 | 1.40 | 4.49 | 5.60 | 5.96 | 3.86 |
| Materiales | 11.55 | -1.60 | 9.11 | 4.77 | 10.31 | -0.36 |
| Transporte | 13.14 | 10.37 | 4.14 | 4.62 | 5.25 | 2.29 |
| Mano de obra | 5.72 | 4.59 | 5.03 | 6.21 | 8.25 | 6.90 |
| Costos indirectos | 6.60 | 7.70 | 6.14 | 5.69 | 6.34 | 6.60 |
| <i>Grupos de obra</i> | | | | | | |
| Obras de explanación | 3.64 | 0.79 | 5.12 | 7.02 | 7.92 | 4.94 |
| Sub bases y bases | 6.58 | 4.11 | 6.29 | 9.73 | 10.12 | 5.35 |
| Transporte de materiales | 4.79 | 6.58 | 8.60 | 8.29 | 9.58 | 4.68 |
| Aceros y elementos metálicos | 28.57 | 3.50 | 11.71 | 3.78 | 12.67 | -5.36 |
| Acero estructural y cables de acero | 24.62 | 8.38 | 2.21 | 3.86 | 5.68 | 4.31 |
| Concretos, morteros y obras varias | 8.30 | 0.93 | 8.23 | 6.17 | 6.92 | 5.79 |
| Concreto para superestructuras | 10.80 | 2.67 | 5.62 | 4.69 | 5.70 | 2.92 |
| Pavimentaciones con asfalto, pinturas, geotextiles | 2.01 | 0.97 | 7.31 | 6.81 | 16.64 | 5.40 |

Teniendo en cuenta que se realizará un análisis sobre la variación anual directa a los APU's de la CDMB, se realizó la proyección de cada uno de los elementos que conforma los grupos de canasta general, tal como se presenta a continuación:

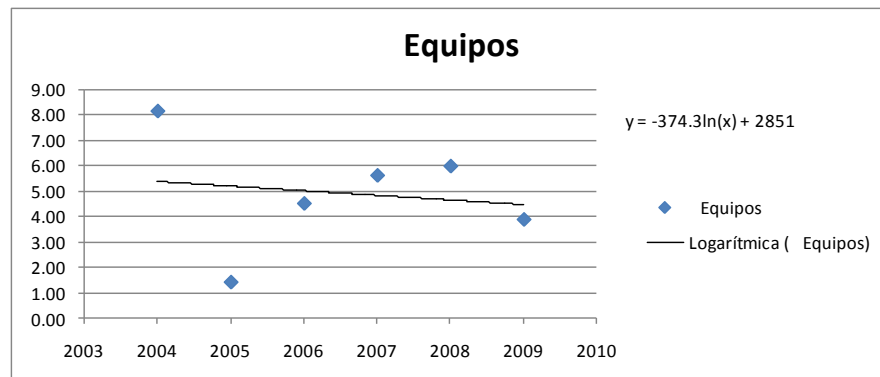


Figura 67. Proyección anual costos de Equipos

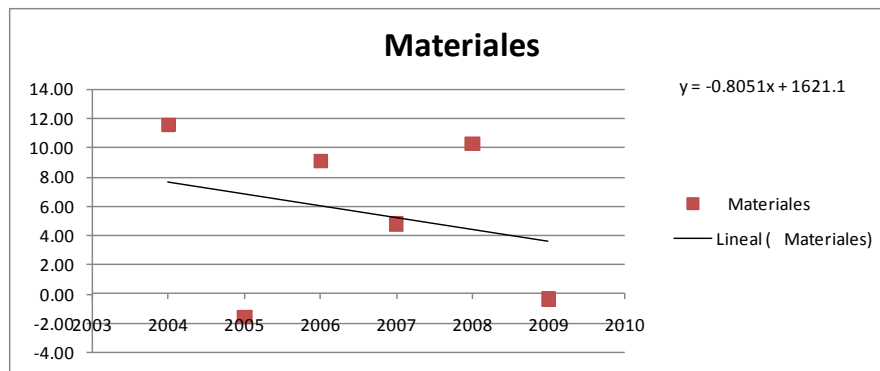


Figura 68. Proyección anual costos Materiales

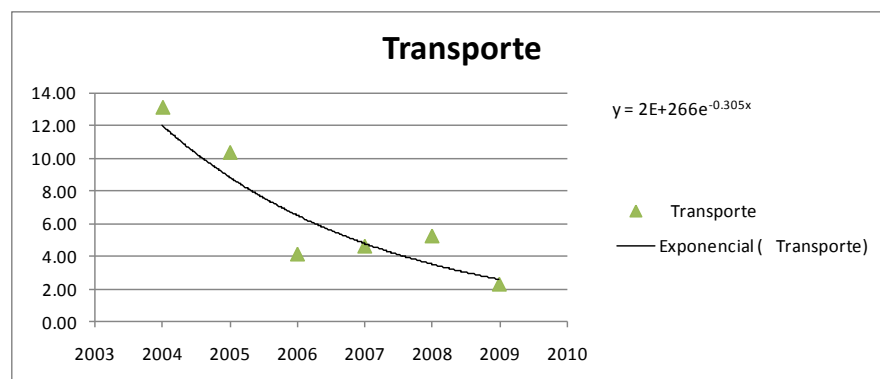


Figura 69. Proyección anual costos Transporte

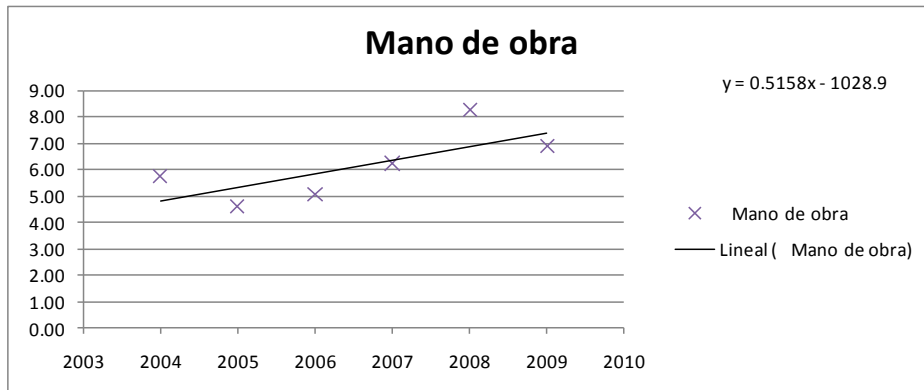


Figura 70. Proyección anual costos Mano de Obra

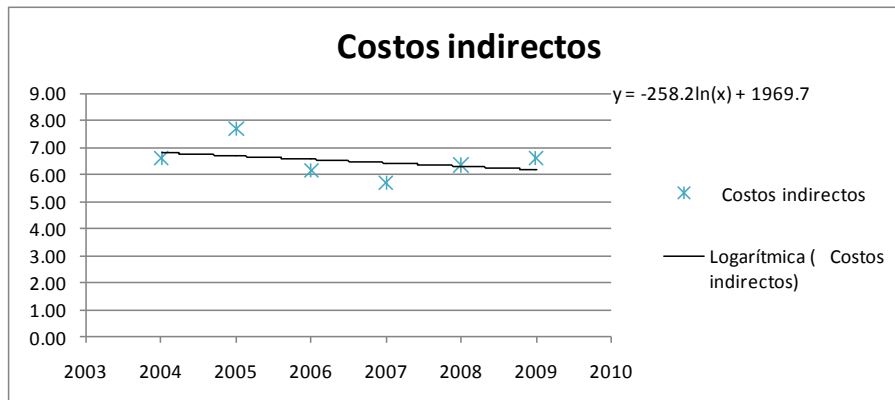


Figura 71. Costos Indirectos

Teniendo como base las funciones representadas anteriormente para cada elemento de grupo, se determinó las variaciones anuales de la canasta general de los costos de construcción pesada en un periodo de 3 años, lapso prudente, si se piensa en la correcta correlación de los resultados, los porcentajes de las variaciones se presentan a continuación:


| | | |
|--|---|-------------------------------------|
|  cdmb | EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD, PREDISEÑO DE MEDIDAS CORRECTIVAS Y EVALUACIÓN DE COSTOS DEL SECTOR QUEBRADA LA IGLESIA | CONSORCIO M&CI |
| SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL URBANA SOSTENIBLE COORDINACIÓN GESTIÓN DEL RIESGO | | |

Figura 72. Prospección Variación anual Promedio del índice costos Construcción Pesada

| PROSPECCION DE VARIACIÓN ANUAL PROMEDIO DEL INDICE DE COSTOS DE CONSTRUCCION PESADA | | | |
|---|--|------|------|
| | | | |
| | | 2010 | 2011 |
| <i>Canasta General</i> | | | |
| Equipos | | 4.25 | 4.07 |
| Materiales | | 2.81 | 2.01 |
| Transporte | | 2.34 | 1.72 |
| Mano de obra | | 7.92 | 8.44 |
| Costos indirectos | | 6.06 | 5.93 |

Teniendo en cuenta estas variaciones anuales, se afectaron los diferentes ítems de los APU's para cada actividad del sector Quebrada La Iglesia-Fontana III, presentando los resultados en la Tabla 73:

Figura 73. Proyección anual costos alternativa de mitigación sector Quebrada La Iglesia

| SECTOR QUEBRADA LA IGLESIA | | | | | | | | | |
|----------------------------|--------------------------------|----------------|--------------|----------------------------------|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| ITEM | DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANT. | 2010 | | 2011 | | 2012 | |
| | | | | VALOR UNITARIO | VALOR PARCIAL | VALOR UNITARIO | VALOR PARCIAL | VALOR UNITARIO | VALOR PARCIAL |
| 1 | Movilización y desmovilización | GL | 1 | \$ 4.069.058 | \$ 4.069.058 | \$ 4.203.643 | \$ 4.203.643 | \$ 4.339.662 | \$ 4.339.662 |
| 2 | Localización y replanteo | GL | 1 | \$ 2.348.790 | \$ 2.348.790 | \$ 2.525.988 | \$ 2.525.988 | \$ 2.726.009 | \$ 2.726.009 |
| 3 | Excavación mecánica | M ² | 386,05 | \$ 14.293 | \$ 5.517.735 | \$ 14.865 | \$ 5.738.809 | \$ 15.447 | \$ 5.963.392 |
| 4 | Excavación Zanjas drenantes | M ² | 2680,7 | \$ 42.245 | \$ 113.246.172 | \$ 45.358 | \$ 121.591.191 | \$ 48.862 | \$ 130.984.363 |
| 5 | Excavación canales | M ² | 710 | \$ 42.245 | \$ 29.993.808 | \$ 45.358 | \$ 32.203.828 | \$ 48.862 | \$ 34.691.736 |
| 6 | Relleno material seleccionado | M ³ | 53,06 | \$ 71.428 | \$ 3.789.969,68 | \$ 73.794 | \$ 3.915.488 | \$ 76.142 | \$ 4.040.116 |
| 7 | Gavión | M ³ | 225,72 | \$ 69.948 | \$ 15.788.662,56 | \$ 72.436 | \$ 16.350.254 | \$ 74.986 | \$ 16.925.840 |
| 8 | Canales | ML | 1372 | \$ 151.432 | \$ 207.765.176 | \$ 155.031 | \$ 212.702.598 | \$ 158.381 | \$ 217.298.458 |
| 9 | Geodren Canales | ML | 1372 | \$ 91.684 | \$ 125.790.854 | \$ 93.982 | \$ 128.943.633 | \$ 96.133 | \$ 131.894.202 |
| 10 | Zanja Drenante | ML | 268,07 | \$ 254.066 | \$ 68.107.473 | \$ 261.924 | \$ 70.213.967 | \$ 269.782 | \$ 72.320.461 |
| 11 | Reforestación | M ² | 656,47 | \$ 7.359 | \$ 4.831.219 | \$ 7.587 | \$ 4.980.638 | \$ 7.815 | \$ 5.130.057 |
| | | | | COSTOS DIRECTOS | | | | | |
| | | | | | \$ 581.248.917 | | \$ 603.370.037 | | \$ 626.314.294 |
| | | | A.I.U. (20%) | A(10%) | \$ 58.124.892 | | \$ 60.337.004 | | \$ 62.631.429 |
| | | | | I(5%) | \$ 29.062.446 | | \$ 30.168.502 | | \$ 31.315.715 |
| | | | | U(5%) | \$ 29.062.446 | | \$ 30.168.502 | | \$ 31.315.715 |
| | | | | | | | | | |
| | | | | INTERVENTORÍA (10%) | | | | | |
| | | | | | \$ 69.749.870 | | \$ 72.404.404 | | \$ 75.157.715 |
| | | | | | | | | | |
| | | | | COSTOS TOTALES POR SECTOR | | | | | |
| | | | | | \$ 767.248.571 | | \$ 796.448.449 | | \$ 826.734.868 |

9. CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES

De lo expuesto anteriormente se concluye:

- El barrio Quebrada La Iglesia, del municipio de Bucaramanga se ubica sobre depósitos pertenecientes a la Formación Bucaramanga que conforma el llamado abanico de Bucaramanga. El espesor de esta formación varía entre 240 y 290 m en promedio. Las unidades geológicas superficiales encontradas en el sector se caracterizan por:

Suelo del Miembro Gravoso (Sft3). Depósito mal seleccionado de gravas y bloques, moderadamente consolidado, siendo matriz soportado en gran parte de la zona pasando a ser clasto soportado en algunos sectores puntuales, los tamaños de los cantos y bloques varían entre 0.12 m y 1 m, compuestos de areniscas cuarzosas de grano medio a fino, bien cementadas, cuarcitas y neises; en general son redondeados a subredondeados. La matriz es areno arcillosa, de color marrón, crema a gris amarillento rojizo.
- Esta unidad se localiza hacia la parte media de la zona estudiada, flanco izquierdo de la quebrada La Iglesia, encontrándose afloramientos hasta de 3 m, pero su espesor total se desconoce pudiendo ser mayor de 10 m.
- Suelo del miembro Gravoso (Sft2)*. Corresponde a depósitos matriz soportados, conformados por cantos subredondeados a redondeados, cuyos tamaños fluctúan entre 0.02 a 0.80 m de diámetro, están dispuestos caóticamente, compuestos por cuarcita, neises y arenisca cuarzosa principalmente, inalterados a ligeramente meteorizados, embebidos en una

matriz areno-arcillosa, de colores amarillentos rojizos a crema, de consistencia moderada a baja. El espesor promedio de esta unidad es de aproximadamente 3 m, alcanzando en la parte superior hasta los 12 m.

- Suelo del Miembro Limos Rojos (Sf12).* Se compone de intercalaciones de limos y arcillas de color rojo amarillento a marrón, con niveles arenosos y gravosos de algunos centímetros de espesor. Los cantos que se observan son subangulares a subredondeados, moderadamente meteorizados, cuyos tamaños varían hasta niveles de bloques esporádicos, compuestos principalmente de arenisca cuarzosa y cuarcitas. Se encuentra compuesto por arcillas y limos de color rojo, con contenido de arena en algunas partes, también se pueden encontrar bloques de diferente tamaño principalmente de areniscas y neis. Esta unidad Suprayace al segmento gravoso y su contacto con éste es gradacional. Esta unidad tiene un espesor promedio de 1 m y se halla cubriendo el miembro Gravoso cuyo contacto es gradacional, presentándose como un nivel continuo, localizado hacia la parte superior de los escarpes.
- Suelos Coluviales Activos (Sco1).* Depósito de mezcla de materiales producto de desplome de los taludes localizados hacia el oriente de las canchas de bolo y hacia la zona norte de los barrios Nueva Fontana y Ciudad Bolívar. Estos depósitos son bastante sueltos, permeables, dispuestos en forma caótica, alcanzando un espesor aproximado de 1.5 m, compuestos por bloques y cantos de los suelos del miembro Gravoso y Limos Rojos principalmente, embebidos en matriz areno-arcillosa.
- Suelos Coluviales Inactivos (Sco2).* Los coluviones inactivos no han presentado movimientos recientes y se caracterizan por tener una matriz

moderadamente compacta y fragmentos de roca de tamaños variables, menores a 0.30 m, moderadamente alterados, de forma angular a subangular, compuestos por areniscas, cuarcitas y neises principalmente. La matriz es areno-arcillosa, de color gris claro a amarillento, que ocupa más del 70% del depósito. Estos depósitos se encuentran localizados en las hondonadas, hacia la base de los escarpes que limitan al norte los barrios Nueva Fontana y Ciudad Venecia, alcanzando un espesor promedio de 1 m.

- *Suelos de cauce Activo y Terrazas Aluviales (Sal)*. Son sedimentos recientes que han sido transportados y depositados *por la quebrada La Iglesia, conformando el cauce activo, la llanura de inundación junto con una terraza baja, parte de la cual se utiliza actualmente como zona de pastos para cría de ganado*. Estos materiales están conformados por cantos y bloques redondeados a subredondeados de cuarzo-arenitas, cuarcitas y neises, embebidos en una matriz areno-arcillosa de color gris crema amarillenta, algunos de estos bloques alcanzan hasta 1.5 m de diámetro. Son medianamente compactos, presentando alta porosidad y permeabilidad.
- *Suelos de Botadero de Escombros (Sl_a)*. Corresponden a acumulaciones de materiales de desechos de construcción, que se disponen hacia la parte baja de las zonas de terraceo para la construcción de viviendas. Estos materiales no presentan compactación, son bastante sueltos y permeables facilitando la inestabilidad del terreno. Su espesor promedio alcanza los 1.5 m.
- Un análisis hidrológico regional, permite concluir que la estación con registro de precipitación más cercana al sector Quebrada La Iglesia es la estación pluviográfica La Floresta. A partir de los registros de esta estación se

concluye que el régimen de precipitación en la estación es bimodal con picos en los meses de mayo y octubre del orden de 139 y 127 mm respectivamente, y dos meses de menor precipitación entre 52 y 70 mm en diciembre y enero.

- 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. Los resultados muestran 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 0.2.
- De acuerdo con los análisis, 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.
- Con el fin de conocer en detalle el tipo de material aflorante en la zona se realizó un sondeo (QLF-12-07) a 15 metros de profundidad con recuperación de muestras. La perforación se localizó en el sector Quebrada La Iglesia-Fontana III en las coordenadas E=1.105.450,70 m; N=1.275.810,21 m.

- Durante la fase exploratoria se detectaron las siguientes características:

El estrato que aflora en superficie es suelo areno-limoso, de origen aluvial con presencia de materia orgánica.

A éste le sigue una capa de material de similares características al anterior, aunque con fragmentos de roca y cuarzo, de color marrón rojizo, de 2.6 m de espesor.

A partir de los 3.6 m se encuentra suelo arcillo-arenoso, color marrón rojizo, al cual infrayace un depósito de guijas y guijarros de arenisca, bien consolidado, que oscila entre los 9 y 10 m.

Desde los 10 m hasta terminar la perforación, se encuentra suelo arcillo-arenoso, color marrón rojizo, con fragmentos de arenisca.

No se detectó la presencia de agua.
- Los parámetros de resistencia utilizados en los análisis de estabilidad se obtuvieron de los ensayos de corte realizadas a las muestras del sondeo M2, M7 y M11 del sondeo realizado, así como al apique AP1- M1, destacándose los siguientes aspectos:

El material presenta un comportamiento dúctil.

| RESULTADOS ENSAYO DE CORTE DIRECTO -SECTOR QUEBRADA LA IGLESIA | | | | | |
|---|----------------|----------------------|--------------|--------------------|------------------|
| ID | MUESTRA | Prof. prom(m) | Ø'(°) | c' (Kg/cm2) | g'(KN/m3) |
| QLF-12-07 | M2 | 1.35 | 39.00 | 0.12 | 17.4 |
| QLF-12-08 | M7 | 7.20 | 40.00 | 0.33 | 17.4 |
| QLF-12-09 | M11 | 11.80 | 37.00 | 0.45 | 18.8 |
| QLF-12-10 | M13 | 14.50 | 38.00 | 0.40 | 17.3 |
| APIQUE 1 | M1 | | 31.40 | 0.44 | 19.49 |
| APIQUE 1 | M3 | 0.95 | 33.63 | 0.46 | 16.74 |
| APIQUE 2 | | | 29.18 | 0.46 | 19.55 |
| APIQUE 3 | | | 35.81 | 0.22 | 18.55 |

- El modelo geológico-geotécnico se define como aquel que involucra aspectos geológicos (variación en profundidad de los diferentes depósitos) y geotécnicos (caracterización geomecánica de los diferentes depósitos). Las anteriores variables son necesarias para la obtención de perfiles geotécnicos que serán utilizados posteriormente en los análisis de estabilidad. En este orden de ideas se definieron 6 secciones de análisis, consideradas las más críticas del talud.
- Teniendo en cuenta los registros de perforación y el mapa de unidades geológicas superficiales, se definieron los siguientes estratos:

 - Estrato 1: Material arcilloso y limosos con presencia de arenas (Sf12). Con un espesor variable, entre 3.8 m y 6.2 m.
 - Estrato 2: Suelos gravosos, embebidos en una matriz areno-arcillosa, con presencia de bloques de areniscas, neises y ricas ígneas, con diámetros de hasta 1 m (Sft2); con espesores desde 10.1 m hasta 16.2 m.
 - Estrato 3: Suelos gravosos embebidos en una matriz arcillosa (Sft3); considerado como el estrato más profundo del sector.
 - Estrato 4: Fragmentos de roca embebidos en una matriz areno-arcillosa, moderadamente compacta (Sco2) con espesores promedio de 2 m.
 - Estrato 6: Cantos y bloques de origen aluvial, embebido en una matriz areno-arcillosa (Sal).
- Para analizar la estabilidad de la ladera, se utilizaron los Métodos de equilibrio límite desarrollados por Bishop y Spencer, bajo condiciones de sismo, suelo parcialmente saturado, y sobrecargas generadas por las viviendas del sector. Además, se evaluarán dos situaciones del sector en estudio: situación actual del terreno, que consistió en realizar un análisis de

cómo se comportaría la ladera si no se realiza ningún tipo de intervención, y la situación futura del terreno, que corresponde a la condición con obras de mitigación.

- Los análisis de estabilidad para la condición actual muestran de no implementarse ningún tipo de obra de mitigación, el talud fallaría en el evento de un sismo o una lluvia importante que genere ascensos en el nivel freático o cause una pérdida repentina de la resistencia del material.
- Para garantizar la estabilidad de la ladera se realizaron una gran cantidad de análisis que implica una combinación de las siguientes alternativas:
 - Movimiento de tierra.
 - Estructuras de contención.
 - Obras para el control de aguas superficiales y subterráneas.
- El costo de la alternativa propuesta para el sector de Quebrada La Iglesia al 2011 es de \$796.448.449.
- Finalmente es importante destacar que las obras fueron diseñadas para la actual configuración del terreno. Es decir, con un levantamiento topográfico realizado durante la ejecución del proyecto. En el evento en que exista un desfase importante entre las condiciones actuales y la futura de construcción, será necesario actualizar los prediseños propuestos en el presente informe.

10. BIBLIOGRAFÍA

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

CHAPARRO, A. y GUERRERO, A., 1991. Geología y Geotecnia de la zona oriental del Área Metropolitana de Bucaramanga. Escuela de Geología. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.

DE PORTA (1958). La Terraza de Bucaramanga. Boletín de Geología No. 3 - Universidad Industrial de Santander.

INGEOMINAS, 1997. Zonificación Sismo-Geotécnica Indicativa del Área Metropolitana de Bucaramanga, Fase I. Convenio realizado entre la Gobernación de Santander e Ingeominas, Bucaramanga.

INGEOMINAS. 2001. Zonificación Sismo Geotécnica Indicativa del Área Metropolitana de Bucaramanga, Fase II. Convenio realizado entre la CDMB e Ingeominas, Bucaramanga.

JULIVERT M. 1.963. Nuevas observaciones sobre la estratigrafía y tectónica del Cuaternario de los alrededores de Bucaramanga. Boletín de Geología No. 15 - Universidad Industrial de Santander.

JULIVERT, M. 1968. Lexique Stratigraphique International Amerique Latine Colombia (Premiere Partie). Centre National de la Recherche Scientifique. 5, (4a). París. p.p:1-651.

MANCERA M. y SALAMANCA P. 1993. Cartografía geológica, estratigráfica, a detalle y zonificación geotécnica del sector oriental del área metropolitana de Bucaramanga. Proyecto de grado (inédito). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad Seccional Sogamoso, Escuela de Ingeniería Geológica. Tomo I y II.

NIÑO A.E. y VARGAS G. 1992. Geología y Geotecnia de la escarpa Noroccidental de la meseta de Bucaramanga. Proyecto de grado (inédito). UIS, Escuela de Geología. Bucaramanga, Santander. 140 Págs.

WARD, D. E. et al. 1973. Geología de los cuadrángulos H-12 (Bucaramanga) y H-13 (Pamplona). Ingeominas. Bol. Geol. Vol. 21, No. 1 – 3. Bogotá, Colombia.



**EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD, PREDISEÑO DE MEDIDAS
CORRECTIVAS Y EVALUACIÓN DE COSTOS DEL SECTOR
QUEBRADA LA IGLESIA**



**SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL URBANA SOSTENIBLE
COORDINACIÓN GESTIÓN DEL RIESGO**

ANEXO 1. PLANO GEOLÓGICO



EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD, PREDISEÑO DE MEDIDAS
CORRECTIVAS Y EVALUACIÓN DE COSTOS DEL SECTOR
QUEBRADA LA IGLESIA



SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL URBANA SOSTENIBLE
COORDINACIÓN GESTIÓN DEL RIESGO

ANEXO 2. REGISTRO DE PERFORACIÓN



EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD, PREDISEÑO DE MEDIDAS
CORRECTIVAS Y EVALUACIÓN DE COSTOS DEL SECTOR
QUEBRADA LA IGLESIA

CONSORCIO
M&CI

SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL URBANA SOSTENIBLE
COORDINACIÓN GESTIÓN DEL RIESGO

ANEXO 3. ENSAYO DE LABORATORIO



EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD, PREDISEÑO DE MEDIDAS
CORRECTIVAS Y EVALUACIÓN DE COSTOS DEL SECTOR
QUEBRADA LA IGLESIA



SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL URBANA SOSTENIBLE
COORDINACIÓN GESTIÓN DEL RIESGO

ANEXO 4.PLANOS PREDISEÑOS




EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD, PREDISEÑO DE MEDIDAS
CORRECTIVAS Y EVALUACIÓN DE COSTOS DEL SECTOR
QUEBRADA LA IGLESIA



SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL URBANA SOSTENIBLE
COORDINACIÓN GESTIÓN DEL RIESGO

ANEXO 5.LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

| | | |
|--|---|--------------------------------------|
|  <p>cdmh</p> | <p>EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD, PREDISEÑO DE MEDIDAS CORRECTIVAS Y EVALUACIÓN DE COSTOS DEL SECTOR QUEBRADA LA IGLESIA</p> | <p>CONSORCIO M&CI</p> |
| <p>SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL URBANA SOSTENIBLE COORDINACIÓN GESTIÓN DEL RIESGO</p> | | |

ANEXO 6. ESTUDIO DE VULNERABILIDAD



**EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD, PREDISEÑO DE MEDIDAS
CORRECTIVAS Y EVALUACIÓN DE COSTOS DEL SECTOR
QUEBRADA LA IGLESIA**



**SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL URBANA SOSTENIBLE
COORDINACIÓN GESTIÓN DEL RIESGO**

ANEXO 7. CARTILLA RESUMEN