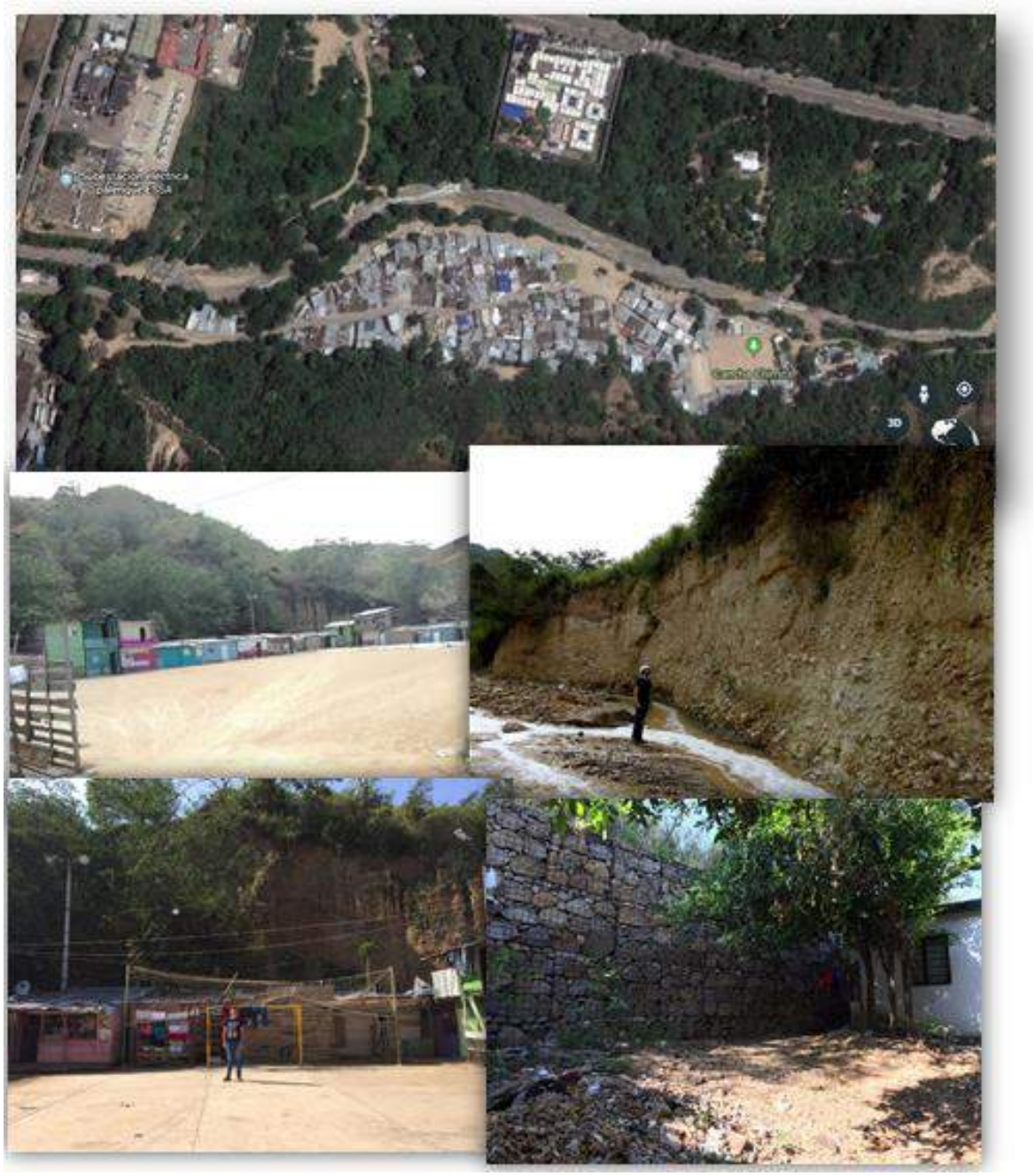
ACTUALIZACIÓN DEL ESTUDIO DETALLADO DE AMENAZA VULNERABILIDAD Y RIESGO POR FENOMENOS DE REMOCION EN MASA PARA EL ASENTAMIENTO HUMANO RINCON DE LA PAZ, COMUNA 5, MUNICIPIO DE BUCARAMANGA – SANTANDER



CORPORACION AUTONOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA

BUC ARAMANGA **2019**

ACTUALIZACIÓN DEL ESTUDIO DETALLADO DE AMENAZA VULNERABILIDAD Y RIESGO POR FENOMENOS DE REMOCION EN MASA PARA EL ASENTAMIENTO HUMANO RINCON DE LA PAZ, COMUNA 5, MUNICIPIO DE BUCARAMANGA – SANTANDER

CONSULTOR:

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA – CDMB

SUBDIRECCION DE GESTION DEL RIESGO Y SEGURIDAD TERRITORIAL -SURYT

INGENIERO DIEGO IVAN MORENO DAZA

BUCARAMANGA, SANTANDER. DICIEMBRE DEL 2019

TABLA DE CONTENIDO

1 INTRODUCCION 12
2 OBJETIVO GENERAL 13
2.1 Objetivos específicos: 13
3 ALCANCE 14
4 LOCALIZACION DEL BARRIO RINCO DE LA PAZ 15
5 ESTADO DEL ARTE. 17
6 METODOLOGIA 23
7 MARCO GEOLOGICO REGIONAL 24
7.1 Formación Bucaramanga 26
7.2 Miembro Órganos (Qbo) 27
7.3 Miembro Finos (Qbf) 29
7.4 Miembro Gravoso (Qbg) 29
7.5 Miembro Limos Rojos (Qblr) 29
8 MARCO ESTRUCTURAL REGIONAL 30
8.1 Sistemas de fallas de Bucaramanga 30
8.2 Falla Suarez 30
8.3 Falla de Surata 30
8.4 Fase de campo 31
9 METODOLOGIA PARA OBTENER LA CARTOGRAFIA GEOLOGICA 32
9.1 Criterios para la definición preliminar de las UGI 33
9.1.1 Origen y litología 33
9.1.2 Nomenclatura de las UGI 34
9.2 Caracterización geomorfológica 34
9.3 Unidades geológicas para ingeniería (UGI) 37
9.3.1 Unidades de depósito 37
9.4 Cartografía Geomorfológica 43
9.4.1 Componentes geomorfológicos 43
9.5 Análisis de la morfodinámica en la quebrada chimita y la ladera posterior al asentamiento 47
9.6 Caído por erosión diferencial y flujo de detritos, compuesto (CFD) 50
9.7 Flujo de detritos - sencillo (FD) 51
10 COBERTURA DEL SUELO 53
10.1 Territorios Artificializados 53
10.2 . Zonas urbanizadas (ZU) 53
10.3 Bosque fragmentado (BF) 54
10.4 Vegetación secundaria o en transición (VS) 54
10.5 Tierras desnudas y degradadas (TD) 55
11 SISMOLOGIA 57
11.1 Amenaza sísmica según la nsr-10 y el estudio de zonificación sismo geotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga. 57
11.2 Movimiento sísmico de diseño. 59
11.3 Tipo de perfil del suelo. 59
11.4 Coeficiente de importancia. 63
11.5 Espectro de diseño 64
11.6 Sismo de diseño para análisis seudoestatico en taludes 65
12 HIDROLOGIA 68
12.1 Descripción general. 68

12.2 Información hidrológica ... 69
12.3 Periodo de retorno (T) ... 70
12.4 Procesamiento de la información hidrológica disponible- Estación Palonegro ... 70
12.4.1 Ajuste de serie de datos a una distribución normal ... 71
12.4.2 Ajuste de serie de datos a una distribución log normal ... 73
12.4.3 Ajuste de serie de datos a una distribución Gumbel ... 75
12.4.4 Ajuste de serie de datos a una distribución log gumbel ... 76
12.4.5 Resultados hidroesta2 - Ajuste de datos a la distribución Normal ... 79
12.4.6 Resultados hidroesta2 - Ajuste de datos a la distribución log-Normal ... 80
12.4.7 Resultados hidroesta2- Ajuste de datos a la distribución Gumbel ... 81
12.4.8 Resultados hidroesta2 - Ajuste de datos a la distribución LogGumbel ... 82
12.5 Cálculo de intensidad de la lluvia ... 83
12.6 Cálculo de caudal de diseño ... 86
12.6.1 Metodologías para estimación de caudales ... 86
12.6.2 Caudales de escorrentía aferentes ... 86
12.6.3 Utilización del método racional ... 86
12.6.4 Marco teórico método racional ... 87
12.6.5 Parámetros para el método racional ... 88
13 ANALISIS DE AMENAZA POR REMOCION EN MASA ... 92
13.1 Modelo geológico geotécnico ... 92
13.2 Marco teórico: ... 93
13.2.1 Método de análisis “equilibrio limite y factor de seguridad” ... 93
13.2.2 Método de bishop ... 96
13.2.3 Método fellenius ... 98
13.2.4 Método jambu ... 98
13.2.5 Método Spencer ... 99
13.2.6 Método Morgenstern and Price ... 99
13.2.7 Limitaciones de los métodos de equilibrio limite ... 99
13.3 Consideraciones de diseño ... 100
13.3.1 Modelo y Software Utilizado ... 100
13.3.2 Aceleración pseudo estática para el diseño de estabilidad de taludes en condiciones críticas 101
13.3.3 Cargas modeladas. ... 101
13.4 Escenarios del modelamiento ... 102
13.5 Categorización de la amenaza ... 102
13.6 Niveles de amenaza asumidos ... 103
13.7 Determinación del modelo geológico geotécnico ... 103
13.8 Resultados de estabilidad y amenaza por fenómenos de remoción en masa ... 106
13.9 Identificación de la inestabilidad de las laderas para los escenarios planteados, de acuerdo a la categorización de la amenaza. ... 106
13.10 Resultados de estabilidad y amenaza por fenómenos de remoción en masa. Escenario Estático ... 107
13.11 Resultados de estabilidad y amenaza por fenómenos de remoción en masa Escenario Dinámico ... 112
14 ANALISIS DE VULNERABILIDAD ... 118
14.1 Resumen ejecutivo ... 118
14.2 Descripción del trabajo de investigación. ... 118

14.3 Justificación. ... 119
14.4 Marcos referenciales ... 119
14.4.1 Marco teórico ... 119
14.4.2 Marco legal ... 126
14.4.3 Marco conceptual ... 128
14.5 Desarrollo del estudio ... 130
14.5.1 Fase 1: ... 130
14.5.2 Fase 2: ... 130
14.5.3 Fase 3: ... 138
14.5.4 Fase 4: ... 143
14.5.5 Cálculo y zonificación de vulnerabilidad ... 146
14.6 Resultados ... 147
14.6.1 Clasificación de vulnerabilidad física y de personas ... 147
14.6.2 Análisis estadístico ... 159
15 EVALUACIÓN DEL RIESGO POR FENOMENOS DE REMOCIÓN EN MASA. ... 166
15.1 Marco conceptual ... 166
15.2 Características de los desastres ... 168
15.3 Enfoque de las ciencias naturales y sociales ... 168
15.4 Riesgo aceptable ... 169
15.5 Protección e incertidumbre ... 170
15.6 Responsabilidad técnica ... 172
15.7 Análisis cuantitativo del riesgo ... 172
15.1 EVALUACION DEL RIESGO. ... 175
16 MEDIDAS DE MITIGACIÓN ESTRUCTURALES ... 184
16.1 MEDIDAS NO ESTRUCTURALES: ... 185
16.1.1 Regulación o Reglamentación Urbana: ... 185
16.1.2 Establecer adquisición de predios: ... 186
16.1.3 Establecer la entidad competente para la adquisición de predios. ... 187
16.1.4 Actuaciones Urbanísticas. ... 187
16.1.5 Reasentamiento de familias ubicadas espacialmente en zonas de alto riesgo: ... 188
16.1.6 Prevención y Vigilancia de la ocupación ilegal ... 190
16.1.7 Recuperación Urbanística ... 191
16.2 OBRAS DE MITIGACIÓN ESTRUCTURALES ... 192
16.2.1 Sistema de anclajes activos de 30 ton ... 196
16.2.2 Dren de penetración horizontal: ... 201
16.2.3 Canaleta para el Manejo de Aguas Superficiales: ... 202
16.2.4 Malla asegurada con Nail o pernos ... 202
17 CONCLUSIONES ... 207
BIBLIOGRAFIA ... 212
18 ANEXO DOCUMENTOS TOPOGRAFICOS ... 221
19 ANEXO ANALISIS DE AMENAZA POR FENOMENOS DE ROMOCION EM MASA ... 222
20 PLANOS ... 223
21 ANEXO ANALISIS HIDROLOGICO E HIDRAULICO ... 224
22 ANEXO ANALISIS DE VULNERABILIDAD ... 225
23 ANEXO ESPECIFICACIONES TECNICAS ... 226
24 ANEXO PRESUPUESTO ... 227

LISTADO DE FIGURAS

FIGURA 1.Localización del Asentamiento Humano Rincón de la Paz Fuente: Google Earth Pro 16
FIGURA 2. Localización detallada del área de estudio.....16
FIGURA 3. Mapa conceptual con la normativa legal vigente, para la aplicación del proyecto, parte 1. (Apéndice C).....21
FIGURA 4. Mapa conceptual con la normativa legal vigente, para la aplicación del proyecto, parte 2. (Apéndice D). 22
FIGURA 5. Metodología para la Zonificación de la amenaza por movimientos en masa. (SGC, 2015).....23
FIGURA 6. Mapa Geológico del Área Metropolitana de Bucaramanga, Tomado de Zonificación Sismogeotécnica Indicativa del área Metropolitana de Bucaramanga (INGEOMINAS, 2001). (Apéndice A).....24
FIGURA 7. Panorámica de los miembros que conforman la formación Bucaramanga. De base a techo: Órganos (Qbo), Finos (Qbf), Gravoso (Qbg) y Limos Rojos (Qblr). Margen derecha de la quebrada La Joya, vista desde el barrio Campo Hermoso. Tomado de INGEOMINAS, 2001. 27
FIGURA 8. Distribución de la Formación Bucaramanga en el Área Metropolitana de Bucaramanga, Tomado y modificado de INGEOMINAS, (2001).....28
FIGURA 9. Mapa Morfotectónico del Sistema de Fallas Bucaramanga. Zona Sur: Ricaurte- Bucaramanga. Tomado y modificado de Modelo Geodinámica del Macizo de Santander (INGEOMINAS, 2008). (Apéndice B). 31
FIGURA 10. Plano de estaciones de campo. (Apéndice E). 32
FIGURA 11. Unidades Geológicas de Ingeniería según su origen. Tomado de Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa, del Servicio Geológico Colombiano, 2015. .33
FIGURA 12. Catálogo para elementos de geomorfología en ambiente Denudativo. Tomado de La Propuesta de Estandarización de la Cartografía Geomorfológica en Colombia. INGEOMINAS, 2011.....35
FIGURA 13. Catálogo para elementos de geomorfología en ambiente Fluvial y Deltaico. Recuperado de La Propuesta de Estandarización de la Cartografía Geomorfológica en Colombia. INGEOMINAS, 2011 37
FIGURA 14. Suelos del Miembro Órganos en la zona de estudio. Estación 7. 38
FIGURA 15. Badlands pertenecientes a los suelos del miembro Órganos (Qbo), formados por la erosión fluvial y la gravedad. Estación 2.....39
FIGURA 16. Suelos conglomera ticos del Miembro Órganos, donde se observa la matriz areno-arcillosa y la composición variable de los cantos que lo conforman. Estación 1. 40
FIGURA 17. Plano de unidades geológicas para ingeniería en la zona de estudio, C1 y C2 son las columnas estratigráficas respectivamente. (Apéndice F). 41
FIGURA 18. Columnas estratigráficas representativas de cada uno de los márgenes de la quebrada Chimita. C1 es la columna superior y C2 es la columna inferior. (Apéndice G). 42
FIGURA 19. Ladera Denudacional (Dldm). Estación 7.....44
FIGURA 20. Estoraques (Badlands) (Des). Estación 4. 45
FIGURA 21. . Quebrada Chimita, en la que se evidencian los procesos degradacionales que socavan el miembro órganos (Qbo) y la terraza media (Qal2), formando un valle de incisión a partir de los escarpes de terraza. Estación 9. 46
FIGURA 22. En la foto a (Estación 6), se observan las laderas explanadas para construcción de viviendas y en la foto b (Estación 9), se observan las terrazas de la quebrada Chimitá sobrespuestas con rellenos de escombros y desechos que, han sido explanados con el mismo objetivo de edificación en el Asentamiento Rincon de la paz 47
FIGURA 23. . Línea de tiempo 2002 – 2014, en la que se observa la morfodinámica de la quebrada Chimita y su impacto en el asentamiento Rincón de La Paz. (Apéndice H). 48

FIGURA 24. Manzanas del asentamiento Rincón de La Paz. Tomado de Junta de Acción Comunal, archivos CDMB. (Apéndice I). 49
FIGURA 25. En las dos fotografías se observa la caída por erosión diferencial y el flujo de detritos en la zona de estudio. Estaciones 17 y 23, consecutivamente. 50
FIGURA 26. En las imágenes se observa el flujo de detritos sobre el asentamiento Rincón de La Paz. Estaciones 6 y 3, consecutivamente. 51
FIGURA 27. Plano Geomorfológico de la zona de estudio (Apéndice J). 52
FIGURA 28. Zonas urbanizadas en la que se observan viviendas y una cancha de fútbol en tierra. Estaciones 1 y 10, consecutivamente. 53
FIGURA 29. Bosque fragmentado (BF) por tierras desnudas y vegetación secundaria o en transición presente sobre el asentamiento Rincón de La Paz. Estación 9. 54
FIGURA 30. Vegetación secundaria o en transición (VS) posterior a un evento artificial por canalización de las aguas escorrentías. Estación 2. 55
FIGURA 31. Tierras desnudas y degradas (TD), donde por procesos de erosión y remoción en masa se generan surcos y cárcavas. Estación 7. 55
FIGURA 32. Plano de cobertura del suelo en la zona de estudio (Apéndice K). 56
FIGURA 33. Valores de Aceleración Horizontal Pico efectiva (Aa) para cada uno de los Departamentos del pais 57
FIGURA 34. Valores de Velocidad Horizontal Pico efectiva (Aa) para cada uno de los Departamentos del país 58
FIGURA 35. Zonificación Sismo-geotécnica del lugar de estudio de 2001 (Fuente: Estudio de Zonificación Sismo geotécnica Indicativa del área metropolitana de 2001). 60
FIGURA 36. Espectro de diseño para el tipo de suelo B. 64
FIGURA 37. Espectro de diseño para el tipo de suelo C. 64
FIGURA 38. Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes del amb (AIS, 2010). 66
FIGURA 39. Curva envolvente de amenaza aceleración máxima del terreno del amb (AIS, 2010) 67
FIGURA 40. Microcuenca de aportación al Asentamiento humano rincón de la paz – Fuente propia 68
FIGURA 41. Datos de precipitación máx. 24 Horas – distribución Normal Estación Palonegro – Fuente: El Consultor 79
FIGURA 42. Datos de precipitación máx. 24 Horas – distribución Log Normal de 2 parámetros Estación Palonegro – Fuente: El Consultor 80
FIGURA 43. Datos de precipitación máx. 24 Horas – distribución Gumbel Estación Palonegro – Fuente: El Consultor 81
FIGURA 44. Datos de precipitación máx. 24 Horas – distribución Log Gumbel Estación Palonegro – Fuente: El Consultor 82
FIGURA 45. División regiones de Colombia – Fuente: Manual INVIAS 84
FIGURA 46. Curvas IDF Estación Palonegro – Fuente: Consultoría 85
FIGURA 47. Deslizamientos, análisis geotécnico, FUENTE: Jaime Suarez. 94
Figura 48. Tajadas en una ladera y Diagramas de fuerzas analizadas pro Bishop 97
FIGURA 49. Sección transversal A 104
FIGURA 50. Sección Transversal B 104
FIGURA 51. Sección Transversal C 105
FIGURA 52: Sección Transversal D 105
FIGURA 53. Sección Transversal E 105
FIGURA 54. Sección Transversal F. 106
FIGURA 55. Resultados del Análisis Estático en condiciones actuales para la Sección A. Fuente: Autor 107
FIGURA 56. Resultados del análisis Estático en condiciones actuales para la Sección B. Fuente: Autor 107

FIGURA 57. Resultados del Análisis Estático en condiciones actuales para la Sección C. Fuente: Autor 108
FIGURA 58. Resultados del Análisis Estático en condiciones actuales para la Sección D. Fuente: Autor.....109
FIGURA 59. Resultados del Análisis Estático en condiciones actuales para la Sección E. Fuente: Autor 109
FIGURA 60. Resultados del Análisis Estático en condiciones actuales para la Sección F. Fuente: Autor.....110
FIGURA 61. Plano de amenaza por fenómenos de remoción en masa escenario Estático.....111
FIGURA 62. Resultados del Análisis Dinámico en condiciones actuales para la Sección A. Fuente: Autor.....112
FIGURA 63. Resultados del Análisis Dinámico en condiciones actuales para la Sección B. Fuente: Autor.....112
FIGURA 64. Resultados del Análisis Dinámico en condiciones actuales para la Sección C. Fuente: Autor.....113
FIGURA 65. Resultados del Análisis Dinámico en condiciones actuales para la Sección D. Fuente: Autor 114
FIGURA 66. Resultados del Análisis Dinámico en condiciones actuales para la Sección E. Fuente: Autor.....114
FIGURA 67. Resultados del Análisis Dinámico en condiciones actuales para la Sección F. Fuente: Autor.....115
FIGURA 68. Plano de amenaza por fenómenos de remoción en masa escenario Dinámico. 116
FIGURA 69.Zonas de Exposición de los elementos ante un deslizamiento. **Fuente:** Guía Metodológica del SGC, 2016.....123
FIGURA 70. Modelo de fragilidad propuesto para personas en estructuras. Fuente: propia 125
FIGURA 71. Ejemplo de formato diligenciado de vivienda del asentamiento.....131
FIGURA 72 Formato de campo, señalando la clasificación de la edificación.. 133
FIGURA 73. Formato de campo, señalando la tipología estructural de la edificación. 134
FIGURA 74. . Formato de campo, señalando la zona o escenario de exposición de la edificación. 135
FIGURA 75. Viviendas aledañas a talud de mayor pendiente. Fuente: propia.....136
FIGURA 76. Viviendas aledañas a talud de mayor pendiente. Fuente: propia.....136
FIGURA 77. Viviendas de la manzana J, Rincón de la Paz. Fuente: propia. 137
FIGURA 78. Talud con inclinación de 90° con viviendas aledañas al pie del mismo. Fuente: propia 137
FIGURA 79. Vivienda en Rincón de la Paz. Fuente: propia 138
FIGURA 80. . Formato de campo, señalando la tipología estructural de la edificación. 139
FIGURA 81. Formato de campo, señalando el número de pisos de la edificación 140
FIGURA 82. . Formato de campo, señalando la evaluación de daños de la edificación 140
FIGURA 83. . Formato de campo, señalando la calidad de la edificación.....141
FIGURA 84. Uso predominante de las estructuras en Rincón de la Paz 160
FIGURA 85. Número de pisos de las estructuras en Rincón de la Paz 160
FIGURA 86. Estado de las estructuras en Rincón de la Paz 161
FIGURA 87. Calidad de las estructuras en Rincón de la Paz 162
FIGURA 88. Sistema estructural de las viviendas en Rincón de la Paz.....162
FIGURA 89. Sistema de cubierta de las estructuras en Rincón de la Paz 163
FIGURA 90. Tipología estructural de las viviendas en Rincón de la Paz.....163
FIGURA 91. Consecuencias presentes en las estructuras en Rincón de la Paz 164
FIGURA 92. Zonas de movimientos en masa de las estructuras en Rincón de la Paz.....164
FIGURA 93. Índice de Vulnerabilidad de las estructuras en Rincón de la Paz 165
FIGURA 94. Plano de Riesgo.....183
FIGURA 95. Vía de Acceso a Rincón de la Paz 184
FIGURA 96. Viviendas sin requerimientos tecnicosconstruidas al pie de la ladera 186
FIGURA 97. Viviendas en condición de vulnerabilidad 187
FIGURA 98. Cambuches ubicados en zona de alto riesgo. 188
FIGURA 99: Ocupaciones ilegales rincón de la paz 191
FIGURA 100. Sección A Escenario Estático con Obras de Estabilización tipo Soil Nails. 192
FIGURA 101 Sección A Escenario Dinámico con Obras de Estabilización tipo Soil Nails. 193
FIGURA 102. Sección B Escenario Estático con Obras de Estabilización tipo Anclaje Activo. 194

FIGURA 103. Sección B Escenario Dinámico con Obras de Estabilización tipo Anclaje Activo. 194
FIGURA 104. Sección C Escenario Estático con Obras de Estabilización tipo Anclaje Activo 195
FIGURA 105. Sección C Escenario Dinámico con Obras de Estabilización tipo Anclaje Activo 196
FIGURA 106. Detalles de Anclaje Activo 197
FIGURA 107. Anclaje, detalles. 198
FIGURA 108. Bulbo, lechada de cemento 198
FIGURA 109. Zapata, detalles 199
FIGURA 110. Malla de refuerzo, detalles. 200
Figura 111: Detalle de un dren de penetración. 201
Figura 112: Sección Transversal esquemática canales y escalonadas. 202
FIGURA 113. Sistema de Estabilización con Soil Nails. 203
FIGURA 114. Soil Nails. 203
FIGURA 115. Esquema, Tipos de Nails o pernos. 204
FIGURA 116, Detalle del sistema de malla de alta densidad con Nails. 205
FIGURA 117. Proceso de instalación de los pernos. 205

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1.Clasificación de la amenaza por regiones 58
Tabla 2. NSR-10 Apéndice A-4 Valores de Aa. Av, Ae y Ad y definición de la zona de amenaza sísmica de los municipios colombianos 59
Tabla 3.Tabla de Rangos de Velocidades de corte para diferentes descripciones litológicas. 61
Tabla 4.Clasificación de los perfiles de suelos, título A de la NSR-10, tabla A.2.4-1. 62
Tabla 5.Valores de coeficiente Fa. Título A de la NSR-10, tabla A.2.4-3 62
Tabla 6.Valores de coeficiente Fv. Título A de la NSR-10, tabla A.2.4-4. 63
Tabla 7.Tipo de suelo de acuerdo al título A de la NSR-10. 63
Se define el grupo de tipo de uso de todas las obras civiles que se puedan plantear en el talud como Grupo I con un coeficiente de importancia, I, igual a 1.0 Tabla A.2.5-1 (Valores de coeficiente de Importancia I), esta asignación se da debido a la ocupación de características normales que ha tenido el sector. Tabla 8. Valores de coeficiente de Importancia I 63
Tabla 9. Valores de Kst/amax mínimos para análisis seudoestaticos en taludes. 65
Tabla 10. Parámetros para un periodo de retorno de 1 año. 67
Tabla 11. Precipitación Máxima 24 Horas en mm para periodos de retorno 82
Tabla 12. Valores de regresión de ajuste para Colombia 83
Tabla 13. Tabla de Intensidades en mm/hora – Estación Palonegro 85
Tabla 14. Coeficientes de escorrentía recomendados por las normas de alcantarillado CDMB – EMPAS E.S.P 88
Tabla 15. Tiempos de concentración en horas calculados 90
Tabla 16. Caudales de diseño para periodos de reorno de 100 y 500 años. 91
Tabla 17. Métodos de análisis de estabilidad de taludes 95
Tabla 18. Métodos de análisis de estabilidad de taludes. 96
Tabla 19. Cargas modeladas 101
Tabla 20. Escenarios críticos de modelamiento 102
Tabla 21. Categorización de la amenaza 102

Tabla 22. Factores de seguridad básicos mínimos directos 103
Tabla 23. Tabla de Resultados del análisis Estático en condiciones actuales para la Sección A. ... 107
Tabla 24. Tabla de Resultados del análisis Estático en condiciones actuales para la Sección B. Fuente: Autor 108
Tabla 25. Tabla de Resultados del Análisis Estático en condiciones actuales para la Sección C. Fuente: Autor 108
Tabla 26. Tabla de Resultados del Análisis Estático en condiciones actuales para la Sección D. Fuente: Autor 109
Tabla 27. Tabla de Resultados del Análisis Estático en condiciones actuales para la Sección E. Fuente: Autor 110
Tabla 28. Tabla de Resultados del Análisis Estático en condiciones actuales para la Sección F. Fuente: Autor 110
Tabla 29.Resultados del Análisis Dinámico en condiciones actuales para la Sección A. Fuente: Autor 112
Tabla 30. Resultados del Análisis Dinámico en condiciones actuales para la Sección B. Fuente: Autor 113
Tabla 31. Resultados del Análisis Dinámico en condiciones actuales para la Sección C. Fuente: Autor 113
Tabla 32. Resultados del Análisis Dinámico en condiciones actuales para la Sección D. Fuente: Autor 114
Tabla 33. Resultados del Análisis Dinámico en condiciones actuales para la Sección E. Fuente: Autor 115
Tabla 34. Resultados del Análisis Dinámico en condiciones actuales para la Sección F. Fuente: Autor 115
Tabla 35. Grafica de identificación de elementos, Guía Metodológica del SGC, 2016 120
Tabla 36. Tipologías de edificaciones. 121
Tabla 37. Zonas o Escenarios de exposición. Fuente: SGC, 2016. 123
Tabla 38. Clasificación de la vulnerabilidad para edificaciones. Fuente: SGC, 2016 125
Tabla 39. Clasificación de la vulnerabilidad para personas. Fuente: SGC, 2016 125
Tabla 40. Daños esperados para edificaciones. Fuente: SGC, 2016 126
Tabla 41. . Identificación de los elementos expuestos. Fuente: NSR-2010. 132
Tabla 42. . Características de la tipología “E”. Fuente: Heinimann (1999) y Jam (2007). 134
Tabla 43. Fragilidad de las edificaciones en función de su tipología. Fuente: Heinimann, 1999, en Du et al., 2013. 139
Tabla 44. Fragilidad por altura de la estructura en función del número de pisos y tipología estructural. Fuente: Li et al. (2010). 140
Tabla 45. Factores de fragilidad por estado de conservación de la edificación. Fuente: Adaptado de Audell, 1996, consultada en Rodriguez y Jimenez, 2009 141
Tabla 46. Vida útil de la edificación en función de su tipología estructural. Fuente: Du et al. 2013-2014 142
Tabla 47. . Factor de fragilidad por edad de la edificación. Fuente: Fuente: Du et al., 2013. 142
Tabla 48. Presión de falla según tipología de estructura Fuente: SGC, 2016 144

Tabla 49. Parámetro de intensidad por presión de impacto. Relación presión deslizamiento/presión límite estructura. Fuente: SGC, 2016 145
Tabla 50. Parámetro de intensidad relación profundidad/altura de la estructura. Fuente: SGC, 2016..... 146
Tabla 51. Vulnerabilidad de viviendas manzana A..... 147
Tabla 52. Vulnerabilidad de viviendas manzana B 148
Tabla 53. Vulnerabilidad de viviendas manzana C 148
Tabla 54. Vulnerabilidad de viviendas manzana D..... 149
Tabla 55. Vulnerabilidad de viviendas manzana E 149
Tabla 56. Vulnerabilidad de viviendas manzana F 150
Tabla 57. Vulnerabilidad de viviendas manzana G..... 150
Tabla 58. Vulnerabilidad de viviendas manzana H..... 151
Tabla 59. Vulnerabilidad de viviendas manzana I 151
Tabla 60. Vulnerabilidad de viviendas manzana J 152
Tabla 61. Vulnerabilidad de viviendas manzana K 152
Tabla 62. . Vulnerabilidad de viviendas manzana L..... 153
Tabla 63. Vulnerabilidad de viviendas manzana M..... 154
Tabla 64. Vulnerabilidad de viviendas manzana N..... 154
Tabla 65. Vulnerabilidad de viviendas manzana Ñ..... 154
Tabla 66. Vulnerabilidad de viviendas manzana O 155
Tabla 67. Vulnerabilidad de viviendas manzana P 156
Tabla 68. . Vulnerabilidad de viviendas manzana Q 156
Tabla 69. Vulnerabilidad de viviendas manzana R 157
Tabla 70 Procesos geológicos y meteorológicos que pueden causar riesgo al proyecto 173
Tabla 71 Categorización del riesgo..... 175
Tabla 72. Resultados de Evaluación del Riesgo..... 176
Tabla 73. Sección A Escenario Estático con Obras de Estabilización tipo Soil Nails..... 193
Tabla 74. Sección A Escenario Dinámico con Obras de Estabilización tipo Soil Nails 193
Tabla 75. Sección B Escenario Estático con Obras de Estabilización tipo Anclaje Activo. 194
Tabla 76. Sección B Escenario Dinámico con Obras de Estabilización tipo Anclaje Activo 195
Tabla 77. Sección C Escenario Estático con Obras de Estabilización tipo Anclaje Activo 195
Tabla 78. Sección C Escenario Dinámico con Obras de Estabilización tipo Anclaje Activo 196

1 INTRODUCCION

El Municipio de Bucaramanga de conformidad con la expedición de la ley de riesgos y desastres (ley 1523 del 2012) debe hacer estudios de riesgos naturales como parte esencial de las políticas de planificación del desarrollo seguro y gestión ambiental territorial sostenible.

La corporación autónoma regional para la defensa de la meseta de Bucaramanga (CDMB) tiene como funciones ejecutar las políticas, planes y programas nacionales en materia ambiental definidos por la ley aprobatoria del plan nacional de desarrollo y del plan nacional de inversiones o por el ministerio del medio ambiente, así como los de orden regional que le hayan sido confiados conforme a la ley, dentro del ámbito de su jurisdicción.

Así mismo debe coordinar el proceso de preparación de los planes, programas y proyectos de desarrollo medioambiental que deban formular los diferentes organismos y entidades integrantes del sistema Nacional Ambiental (SINA) en el área de su jurisdicción y en especial, asesorar los Departamentos, distritos y municipios de su compresión territorial en la definición de los planes de desarrollo ambiental y en sus programas y proyectos en materia de protección del medio ambiente y los recursos naturales renovables, de manera que se asegure la armonía y coherencia de las políticas y acciones adoptadas por las distintas entidades territoriales.

Se requiere entonces gestionar la realización de estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo en los municipios del área de jurisdicción de la CDMB. Esta actividad corresponde al desarrollo de estudios en diferentes municipios que determinen el grado de amenaza, vulnerabilidad y riesgo de las diferentes zonas, que sirven de base en la toma de decisiones y para el desarrollo de actividades que finalmente repercuten en la reducción del riesgo, Igualmente brindar apoyo técnico en la identificación y caracterización de zonas que presentan amenazas, para la formulación de los planes municipales de gestión del riesgo de desastres; así como a su actualización: Conforme las competencias de la CDMB establecidas en la Ley 1523 de 2012, se debe acompañar y prestar el apoyo técnico a los Municipios de la jurisdicción para la formulación de los Planes Municipales de Gestión del Riesgo.

En este proyecto se realizan los estudios básicos y detallados de amenaza vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa para el asentamiento humano rincón de la paz comuna 5, con apoyo en los estudios hechos por la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), El servicio Geológico Colombiano (SGC, antes conocido como INGEOMINAS) y la empresa consultora CAMVIHIL S.A.S, así que es procedente la realización de estos debido a la posible afectación de múltiples viviendas que en caso de emergencia podrían provocar pérdidas de bienes físicos y/o un número considerable de personas afectadas (muertas o heridas).

2 OBJETIVO GENERAL

Realizar los estudios básicos y detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa en el barrio rincón de la paz en el Municipio de Bucaramanga, Santander.

2.1 Objetivos específicos:

- Recopilar información existente y secundaria del sector.
- Evaluación y procesamiento de los datos del levantamiento topográfico del barrio rincón de la paz del municipio de Bucaramanga- Santander.
- Caracterizar geológica y geomorfológicamente del barrio rincón de la paz del municipio de Bucaramanga- Santander.
- Realizar el análisis hidrológico que establezca los parámetros básicos para el dimensionamiento de las obras hidráulicas necesarias para el adecuado manejo del agua de escorrentía y aguas subsuperficiales si es el caso, en el área de estudio.
- Efectuar el análisis hidrogeológico para identificar las condiciones del agua subsuperficial, a través de la posición del nivel freático y/ó factores Ru (Relación de presión de poros/Esfuerzo total vertical).
- Realizar el análisis sísmico para el área de estudio teniendo en cuenta el estudio de Zonificación Sismo geotécnica Indicativa del Área Metropolitana de Bucaramanga 2001
- Caracterizar la cobertura vegetal y usos de suelo del sector
- Generar el modelo geológico geotécnico de acuerdo a la caracterización geotécnica, geológica, geomorfológica y morfométrica presente en la zona de estudio.
- Analizar el modelo geológico-geotécnico por medio de métodos determinísticos y probabilísticos para evaluar la amenaza a fenómenos de remoción en masa.
- Proponer y diseñar diferentes alternativas de mitigación a la amenaza por fenómenos de remoción en masa.
- Realizar un análisis estadístico a las encuestas de vulnerabilidad aplicadas a las viviendas del asentamiento Rincón de la Paz, y así realizar el proceso de análisis de vulnerabilidad según la guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa del Servicio Geológico Colombiano
- Generar la zonificación de la amenaza por remoción en masa, vulnerabilidad y riesgo en el área de estudio.

3 ALCANCE

A continuación, se define el alcance de los estudios para el Barrio Rincón de la paz.

Levantamiento topográfico a escala 1:1000 del área de estudio, así como la entrega de planos, cartera topográfica, registro fotográfico e informe detallado del levantamiento.

Estudios geológicos y geomorfológicos con sus respectivas unidades, análisis morfométrico, cobertura vegetal, uso de suelos, inventarios y catálogo de deslizamientos, cada uno con sus respectivos mapas a escala especificada

La caracterización geotécnica con sus respectivos soportes de sondeos, apiques y resultados de ensayos de laboratorios

El estudio hidrológico e hidráulico del drenaje superficial, tanto natural como artificial.

El análisis hidrogeológico para identificar las condiciones del agua subsuperficiales, a través de la posición del nivel freático y/o Factores Ru (Relación de presión de poros/Esfuerzo total vertical).

Análisis de la amenaza sísmica teniendo en cuenta el estudio de la zonificación sismo geotécnico indicativo del área metropolitana de Bucaramanga

El modelo geológico geotécnico, así como los perfiles transversales al talud para el modelamiento

Estudio de estabilidad para procesos de remoción en masa en condiciones detonantes; normales y extremos niveles de agua y de sismo con sobrecargas en cada escenario.

Zonificación de la amenaza por remoción en masa en mapas a escala 1:5000, definiendo la amenaza como alta, media o baja.

Zonificación de la vulnerabilidad social cuantificando el número de familias residentes, así como el número de habitantes por 2género, adicionalmente se efectuará el análisis de vulnerabilidad a los elementos de la infraestructura existente frente a la caracterización de las amenazas identificadas

Zonificación del riesgo en los escenarios (actual y futuro) en mapas con escala 1:2000, que corresponden a nivel de detalle de unidad predial, catalogándolo como riesgo bajo, medio o alto.

Alternativas de diseño de obras de mitigación, así como su respectivo análisis presupuestal

Entrega de diseños con localización de obras, dimensionamiento de cada una de ellas y secciones típicas de obra de drenaje, así como de las estructuras o edificaciones cercanas a la corona y/o pie del mismo

Entrega de información SIG como mínimo

- Curvas de nivel
- Aislamiento por taludes
- Geología
- Geomorfología
- Pendientes

- Zonificación de amenaza de los escenarios contemplados
- Zonificación de la vulnerabilidad física de los escenarios contemplados
- Localización de obras

Lo anterior se genera en archivo (mxd) y archivo de salida (pdf)

Entrega final correspondiente a los planos

- ✓ Localización geográfica para la zona de estudio
- ✓ Topográfico
- ✓ Geológico
- ✓ Geomorfológico
- ✓ Geotécnico
- ✓ Mapa de amenazas
- ✓ Mapa de vulnerabilidad
- ✓ Mapa de riesgo
- ✓ Localización de estructuras diseñadas y detalle de obras
- ✓ Mapa topográfico con predios afectados por la obra

4 LOCALIZACION DEL BARRIO RINCO DE LA PAZ

El proyecto comprende el asentamiento humano Rincón de La Paz, ubicado en la comuna 5 del municipio de Bucaramanga, al occidente del casco urbano, en el departamento de Santander (ver Figura 1). La zona de estudio limita al norte con el predio de la Institución Penal de Mujeres, al nor-occidente con la subestación eléctrica Palenque ESSA, al sur-occidente con la planta GASAN S.A. E.S.P. mientras que tanto al sur como al oriente es vecino de los predios de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB).

La principal fuente hidrográfica de la región es el rio de Oro que recorre la parte occidental del área metropolitana de Bucaramanga, pasando por Piedecuesta, y atravesando el centro del municipio de Girón. En este rio desemboca el rio Suratá, y las quebradas la Flora, Tona, la Iglesia, Quebrada Seca, Cacique, El Horno, San Isidro, Las Navas, La Rosita, Bucaramanga.



FIGURA 1.Localización del Asentamiento Humano Rincón de la Paz Fuente: Google Earth Pro

COORDENADAS: 7° 5' 47.33"N 73° 9' 49.29"O

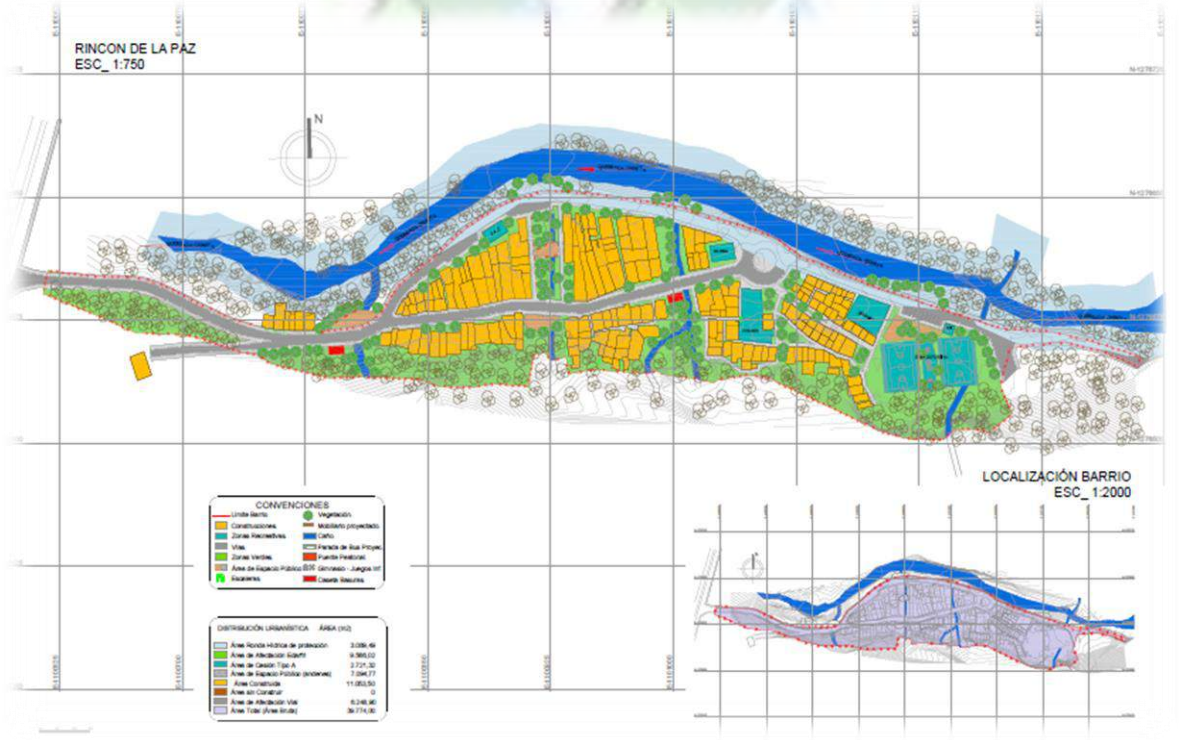


FIGURA 2. Localización detallada del área de estudio

5 ESTADO DEL ARTE.

Se realiza la presentación general de los antecedentes encontrados a los estudios de amenaza vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa para el asentamiento humano rincón de la paz, esto con el fin de conocer el estado actual de los estudios realizados a la fecha y establecer la información base con la que desarrollaremos el estudio. Como resultado del análisis efectuado por CDMB se identificaron las siguientes fuentes de información:

RECOPILACION BIBLIOGRAFIA	**OBJETIVO GENERAL**	**CATEGORIAS Y VARIABLES**	**INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE LA INFORMACION**	**RESULTADOS**
Corredor, J. (2018). ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD POR MOVIMIENTOS DE REMOCIÓN EN MASA EN EL ASENTAMIENTO HUMANO RINCÓN DE LA PAZ Y APOYO GEOTÉCNICO BAJO LA SUPERVISIÓN DE LA SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN DEL RIESGO Y SEGURIDAD TERRITORIAL SURYT DE LA CDMB. (Trabajo de Grado). CDMB, Bucaramanga, Santander.	El alcance de este estudio fue hacer los análisis de vulnerabilidad, con el fin de identificar la susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene la comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento por movimientos o deslizamientos en masa se presente.	Amenaza Vulnerabilidad Riesgo Asentamiento	-Estudio bibliográfico apoyado en la guía metodológica para los estudios de amenaza vulnerabilidad y riesgo del SGC. -Levantamiento topográfico del terreno 1:2000 -Recopilación y análisis de estudios geológicos, geotécnicos y de amenaza por movimientos en masa (mma).	El estudio concluyo que el 86% de las viviendas están en una condición de vulnerabilidad ALTA ante el fenómeno de remoción en masa, debido a que estas estructuras no poseen una tipología adecuada y un sistema estructural que cumpla con los criterios del reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR 10), por lo tanto estas viviendas no tendrán una respuesta optima ante un posible deslizamiento y su probabilidad de colapso es muy alta.

Guerra, C. (2018). Cartografía y Caracterización Geológica del Asentamiento Humano Rincón de la Paz, Comuna 5 del Municipio de Bucaramanga, Santander. Sector Localizado dentro de la Jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga. (Trabajo de grado). CDMB, Bucaramanga, Santander.	Realizar la cartografía y caracterización de las unidades geológicas, geomorfológicas, de cobertura y uso de suelo para generar un análisis de susceptibilidad a los eventos de remoción en masa del asentamiento humano Rincón de la Paz	Unidades geológicas Geomorfología Remoción en masa Amenaza Riesgo Formación Bucaramanga	La metodología empleada se dividió en 3 fases : 1/ Recopilación bibliográfica dispuesta de la base de datos de la universidad industrial de Santander, insumos de la CDMB, recursos electrónicos dispuestos en la página del servicio geológico colombiano (antiguamente - ingeominas,2009) 2/ Trabajo en campo; visitas para el reconocimiento del sector 3/ Análisis y procesamiento de datos en oficina	Se concluye en el estudio que: Sobre el asentamiento solo se encuentra el miembro órganos (Qbo) correspondiente a la formación Bucaramanga. El sector está fuertemente influenciado por procesos denudaciones, los cuales son evidenciados en diferentes geo formas tales como los coluviones encontrados al pie de la ladera. Los tipos de movimientos en masa presentes son los caídos por erosión diferencial y los flujos de detritos.
Alcaldía de Bucaramanga, CAMVHIL, Consultoria ambiental y obras civiles. (2014). ESTUDIOS DETALLADOS AVR POR	Elaborar el estudio de amenaza, vulnerabilidad y riesgo del asentamiento humano rincón de la paz	Amenaza Vulnerabilidad Riesgo Asentamiento Modelo geológico		En general el barrio rincón de la paz no presenta amenaza por deslizamientos o movimientos en masa, los análisis de equilibrio límite global

*FENOMENOS DE REMOCION EN MASA, INUNDACION Y SISMOLOGICO, DISEÑOS DE PLANIFICACION URBANA Y ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SOCIAL BARRIO RINCON DE LA PAZ. Bucaramanga***.**		Geotecnia Obras de mitigación		muestran estabilidad de las laderas, aunque el sector sur del barrio limita con una ladera de pendiente vertical y gran altura que representa susceptibilidad a la erosión, con caída de ditritos y bloques. Por este motivo esta parte representa una amenaza alta para las viviendas a su alrededor lo que obliga a ejecutar obras de mitigación en este sector
INGEOMINAS. (2001). *ESTUDIO DE ZONIFICACION SISMOGEOTECNICA INDICATIVA DEL AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA.* Bogota.	Definir parámetros preliminares para el diseño y construcción sismo resistente, de acuerdo con la respuesta sísmica del subsuelo Contribuir a la prevención y mitigación de posibles eventos sísmicos delimitando los diferentes comportamientos que el suelo puede tener en el momento que se presente dicho evento.	Geología Geotecnia Geofísica Sismo-geotécnica Actividad sísmica	METODO DE TRABAJO Definición de la zona de estudio Consulta de amenaza sísmica nacional Generación de base topográfica Neotectonica regional y local Geología local (geofísica y geotecnia) Acelerogramas de Diseño	La ciudad de Bucaramanga está construida sobre un gran abanico aluvial originado principalmente por el arrastre y depositacion de los materiales de los diferentes ríos de la zona El área metropolitana de Bucaramanga se enmarca dentro de 3 bloques tectónicos definidos por dos principales sistemas de fallamiento: Suarez y

			Zonificación sismo geotécnica indicativa	Bucaramanga-Santa marta
INGEOMINAS, 2009. "Zonificación de amenaza por movimientos en masa de algunas laderas de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta	Realizar cartografía geológica, geomorfológica, cobertura vegetal y uso del suelo a escala 1:5000 Analizar el subsuelo de la zona de estudio.			

MARCO LEGAL: El siguiente marco legal muestra en resumen el contenido legislativo y los aspectos normativos que fundamentan el contenido de este proyecto

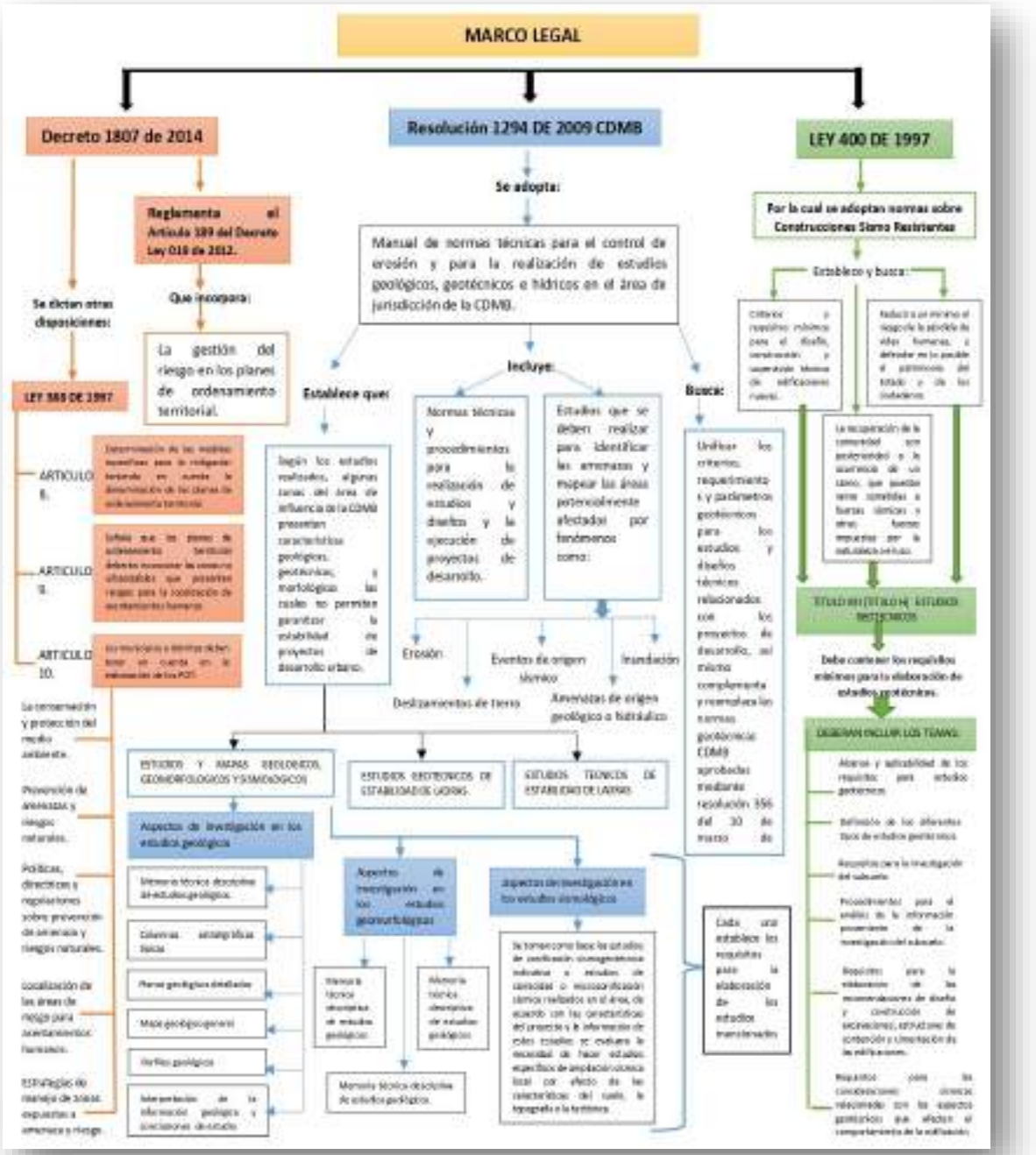


FIGURA 3. Mapa conceptual con la normativa legal vigente, para la aplicación del proyecto, parte 1. (Apéndice C).

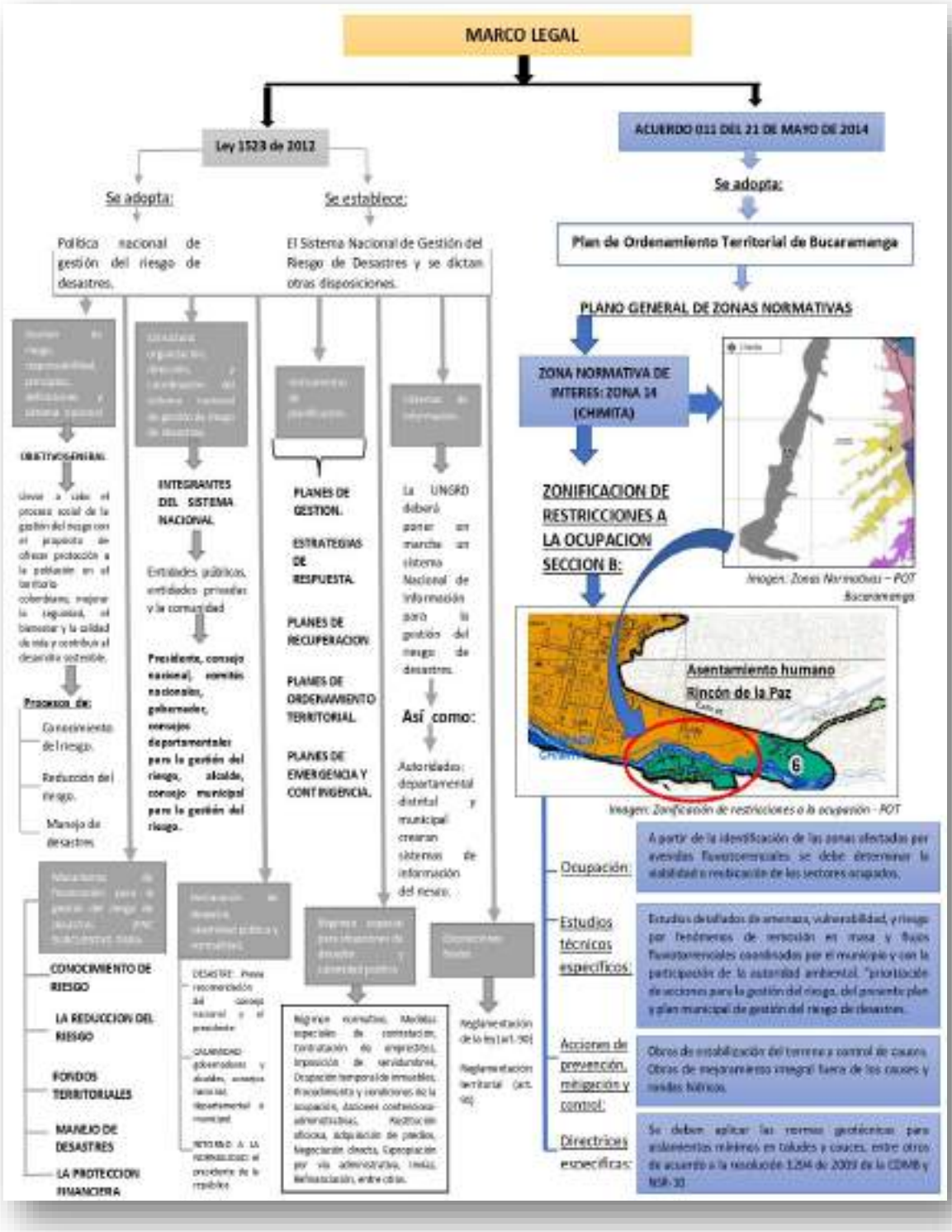


FIGURA 4. Mapa conceptual con la normativa legal vigente, para la aplicación del proyecto, parte 2. (Apéndice D).

6 METODOLOGIA

La metodología usada para el desarrollo del presente trabajo consta de las siguientes fases propuestas por el servicio geológico colombiano (SGC) en la "guía metodología para amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa".

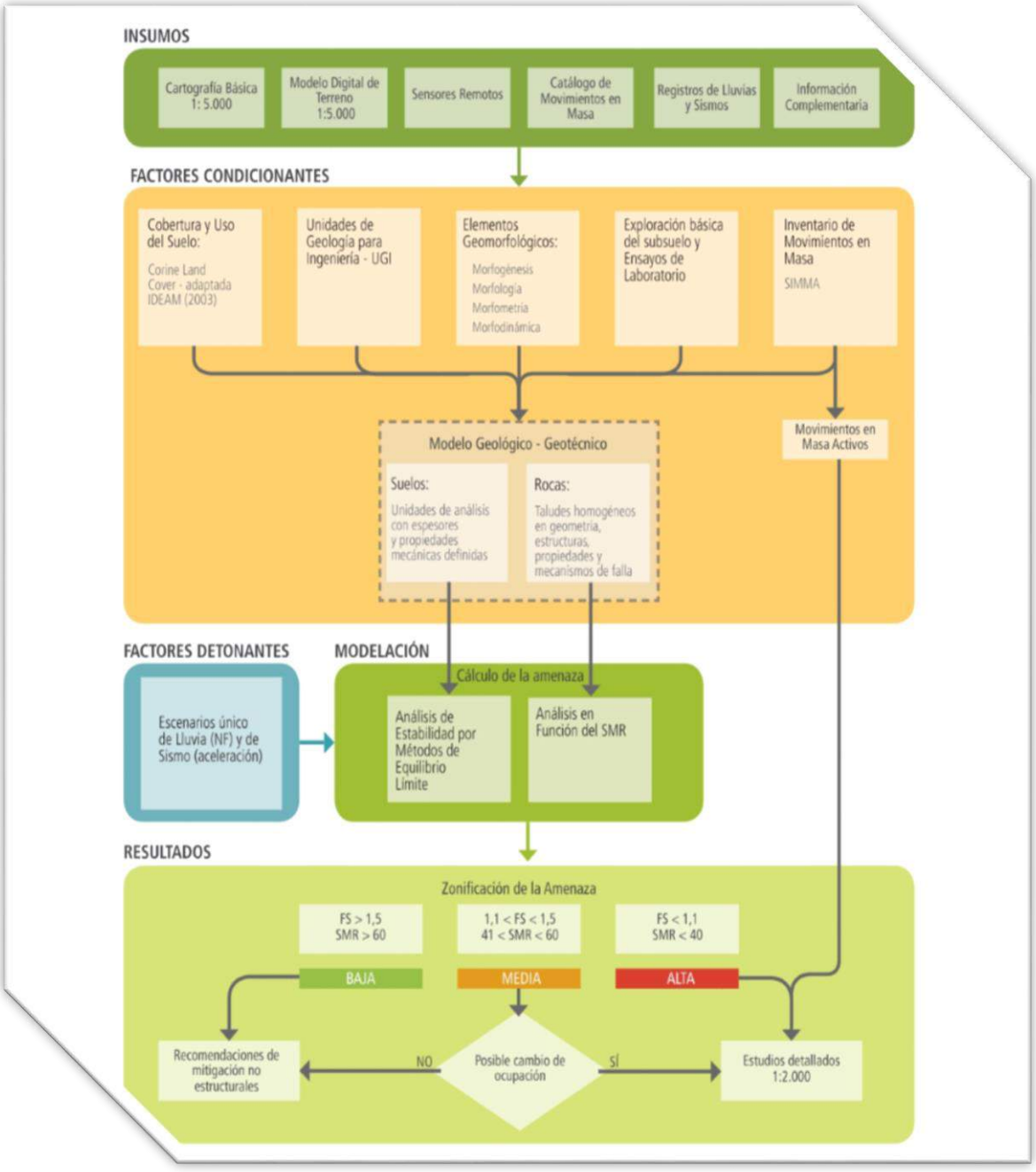


FIGURA 5. Metodología para la Zonificación de la amenaza por movimientos en masa. (SGC, 2015)

7 MARCO GEOLOGICO REGIONAL

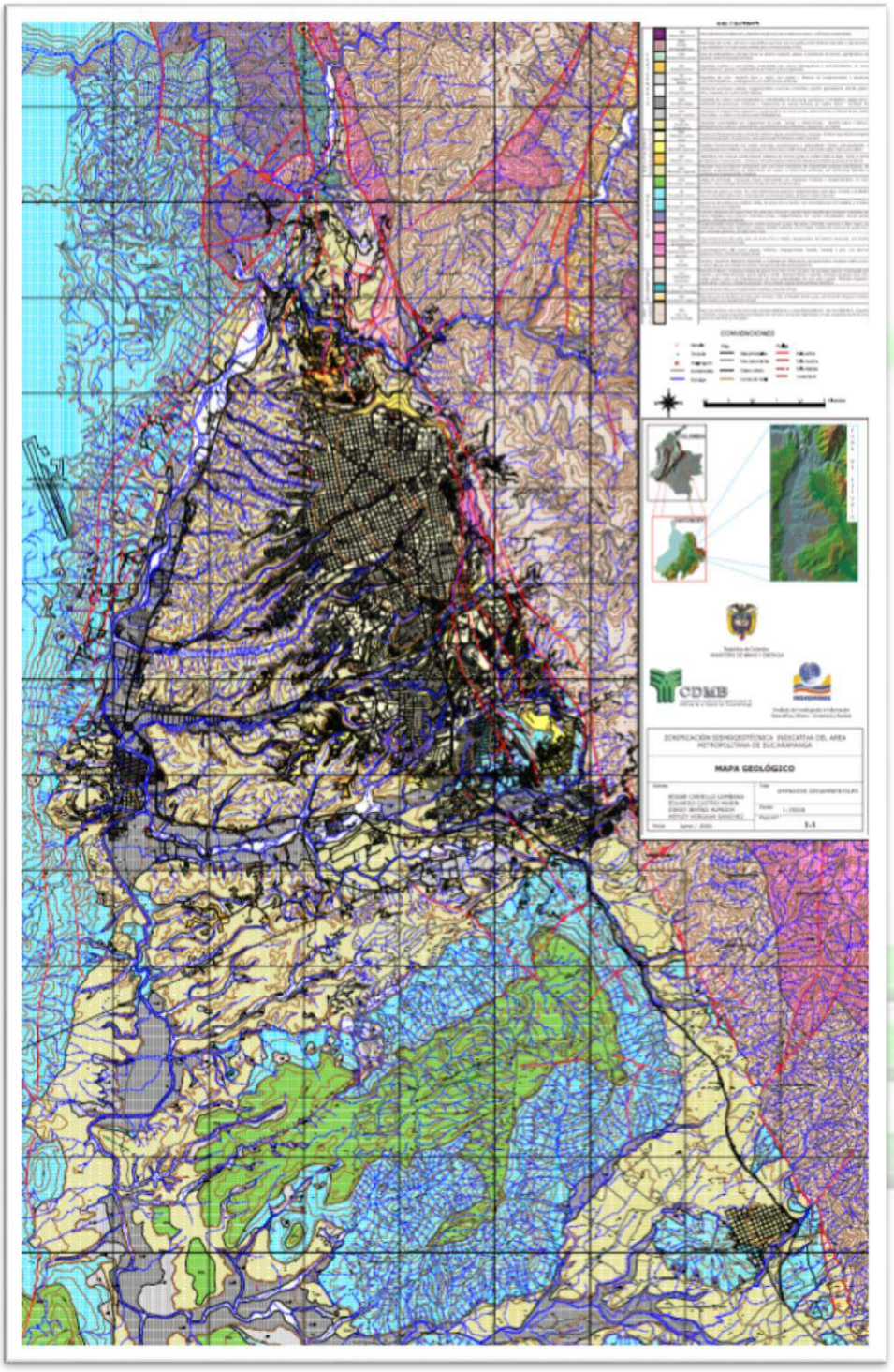


FIGURA 6. Mapa Geológico del Área Metropolitana de Bucaramanga, Tomado de Zonificación Sismogeotécnica Indicativa del área Metropolitana de Bucaramanga (INGEOMINAS, 2001). (Apéndice A).

El sector objeto del presente estudio se localiza en la convergencia de dos extensos depósitos sedimentarios, uno de ellos catalogado como un abanico aluvial erosionado y posiblemente asociado en su mayor parte al Rio Surata que fue depositado sobre una depresión tectónica y el adyacente del origen coluvial, formada a partir del desprendimiento y redepositacion del material proveniente del abanico aluvial. A continuación, se realizan una descripción generalizada de las unidades temporales de acuerdo al mapa geológico del área metropolitana de Bucaramanga (ver figura 6) y se define con mayor énfasis en la formación Bucaramanga y cada uno de sus miembros, debido a que sobre esta unidad se ubica el asentamiento que es objeto de estudio.

De acuerdo al Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS, 2001) "las Unidades Litoestratigráficas más antiguas, de origen metamórfico-ígneo, tipo neis, esquisto, migmatita y pequeños intrusivos de granodiorita, han sido agrupadas dentro del Neis de Bucaramanga (PEb) de edad Precámbrico. Esta unidad, junto con Stocks de composición ácida de edad Jurásico y Triásico (JRcg, TRt) afloran en el bloque montañoso ubicado al nororiente del sistema de fallas Bucaramanga-Santa Marta conformando un gran volumen rocoso conocido con el nombre de Macizo de Santander", (Ver figura 1).

"Afloramientos de rocas metamórficas del Paleozoico inferior, que conforman la formación Silgará (PDs), aparecen en pequeñas franjas al oriente y suroriente del casco urbano de Piedecuesta, y nororiente de Bucaramanga, asociadas al sistema de fallas de Bucaramanga" (SGC, 2001). "Al extremo norte del Área Metropolitana de Bucaramanga afloran también rocas sedimentarias de la formación Floresta (PDf), abarcando una delgada franja de dirección norte sur" (INGEOMINAS, 2001).

"Rodeando el perímetro del Área Metropolitana de Bucaramanga, se presentan extensiones notables de rocas sedimentarias clásticas, de edad Jurásico, conformando la formación Jordán (Jj) ubicada al noroccidente de Bucaramanga, norte de Floridablanca y alrededores de Piedecuesta, (Ver figura 1). La formación Girón (Jg) se ubica principalmente al occidente del Área Metropolitana de Bucaramanga, noroccidente de Piedecuesta y Norte de Floridablanca constituyendo en su mayor parte, el basamento que subyace los depósitos aluviales sobre los cuales está construida la ciudad de Bucaramanga" (INGEOMINAS, 2001).

"Otras rocas sedimentarias de edad Triásico hacen parte de la formación Bocas (TRb) que se presenta al norte de Bucaramanga" (INGEOMINAS, 2001).

"Rocas sedimentarias Cretácicas de la formación Tambor (Kita) se encuentran al sur y suroccidente del Área Metropolitana de Bucaramanga" (INGEOMINAS, 2001).

"Al norte de Bucaramanga han sido reconocidas dos unidades litológicas, de extensión relativamente pequeña, denominadas formación Diamante (PCd) y formación Tiburón (TRPt). Se trata de rocas calcáreas, de edad Carbonífero y Pérmico respectivamente, (Ver figura 1). Utilizadas como materia prima por la industria cementera" (INGEOMINAS, 2001).

Suprayaciendo las rocas anteriores se presentan depósitos detríticos de edad Cuaternaria, que se encuentran formados por bloques, cantos, gravas, arenas, limos y arcillas, mezclados en proporciones variables, provenientes en su mayor parte de la acción denudatoria sobre las rocas del Macizo de Santander. "Entre estos materiales se destaca el gran depósito de la formación Bucaramanga conformada de base a techo por el miembro Órganos (Qbo), miembro Finos (Qbf), miembro Gravoso (Qbg) y miembro Limos Rojos (Qblr). Morfológicamente se observan conos de deyección producidos por flujos de escombros y detritos (Qfe) provenientes del Macizo de Santander, que bajaron a lo largo

de los valles de algunos ríos y quebradas, sobre los cuales se encuentran las localidades de Floridablanca y Piedecuesta" (INGEOMINAS, 2001).

"Existen también depósitos aluviales (Qal, Qal1 y Qal2), distribuidos de acuerdo a su posición en los valles de los principales ríos, donde se localiza parte de la población de Girón. Localmente se presentan depósitos coluviales de ladera (Ql), la mayoría de pequeña extensión, provenientes en gran parte de movimientos de remoción en masa o por efectos de la gravedad los cuales se acumulan en las laderas o pié de éstas. Dentro de los movimientos de remoción en masa se separó la unidad de Deslizamientos (Qd) ubicada en el escarpe norte de Bucaramanga, y de acuerdo a su actividad se dividió en Deslizamientos Activos (Qda) y Deslizamientos Inactivos (Qdi) y por último se separaron las zonas de Llenos Mecánicos (Qllm) y Sanitarios (Qlls), correspondiendo a este último el relleno de basuras del Carrasco" (INGEOMINAS, 2001).

7.1 Formación Bucaramanga

"La formación Bucaramanga fue descrita inicialmente por De Porta (1958). Se trata de un importante depósito sedimentario de edad Cuaternaria que morfológicamente corresponde a un abanico aluvial erosionado, posiblemente asociado en su mayor parte al río Suratá, acumulado sobre una depresión de origen tectónico, sobre el cual se ubica el casco urbano de la ciudad de Bucaramanga. Este abanico limita al nororiente y oriente con el Macizo de Santander, al noroccidente y occidente con el cerro de Palonegro y el río de Oro, y al sur con la Mesa de Ruitoque. Presenta una superficie suavemente ondulada, con pendiente ligeramente inclinada al occidente, entre 2º y 7º, y una extensión aproximada de 60 a 80 km^2. La formación Bucaramanga es disectada por varias quebradas, la mayoría afluentes del río de Oro, conformando un drenaje dendrítico subparalelo" (INGEOMINAS, 2001).

"De Porta (1958) divide la formación Bucaramanga en los siguientes niveles: a) un paquete inferior con más de 150 m de espesor, conformado por niveles discontinuos de gravas, clasto soportado, con lentes arenosos intercalados; b) una capa relativamente delgada de 10 a 18 m de espesor, ubicada en la parte intermedia a alta, compuesta de sedimentos arcillosos, la cual se extiende por una buena parte de la terraza; y c) un nivel superior de 8 a 15 m de espesor, constituido por una mezcla de fragmentos angulares gruesos y finos arenosos" (INGEOMINAS, 2001).

"Algunos trabajos recientes proponen 5 miembros definidos de base a techo como: Calcáreo, Órganos, Finos, Gravoso y Limos Rojos. Dos de ellos propuestos por Hubach, (1952) y tres por Niño y Vargas, (1992). Es importante destacar que las relaciones estratigráficas del miembro Calcáreo, descritas por Niño y Vargas, con respecto al miembro Órganos, no se pudieron determinar durante el trabajo de campo, debido a que el denominado miembro Calcáreo no presenta limites estratigráficos claros que permitan separarlo del Órganos, no presenta distribución lateral y se observa en forma de lentes locales en la quebrada La Picha, al noroccidente del Área Metropolitana. Lo anterior indica que el denominado miembro Calcáreo forma parte del miembro Órganos; por lo tanto, teniendo en cuenta las clasificaciones hechas por Hubach (1952) y Niño y Vargas (1993), se propone dividir la formación Bucaramanga, de base a techo, en los siguientes miembros: miembro Órganos (Qbo), miembro Finos (Qbf), miembro Gravoso (Qbg) y miembro Limos Rojos (Qblr)" (INGEOMINAS, 2001). (Ver figura 2).

"De acuerdo con las dataciones paleomagnéticas publicadas en el proyecto hidroeléctrico Fonce-Suárez, la parte más antigua de la formación Bucaramanga tiene unos 730.000 años ubicándola dentro del Pleistoceno medio-superior" (INGEOMINAS, 2001).

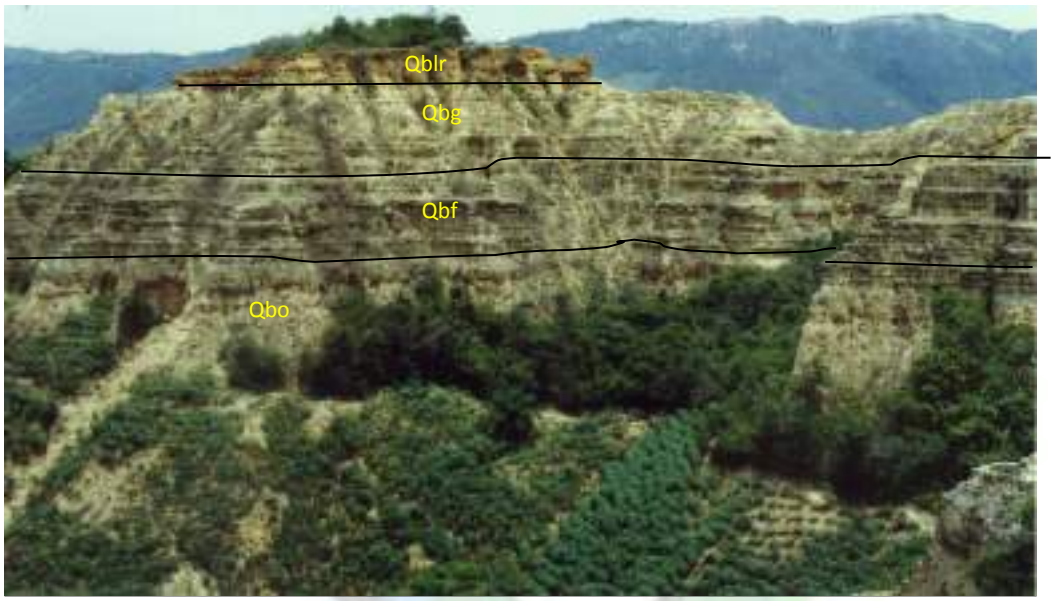


FIGURA 7. Panorámica de los miembros que conforman la formación Bucaramanga. De base a techo: Órganos (Qbo), Finos (Qbf), Gravoso (Qbg) y Limos Rojos (Qblr). Margen derecha de la quebrada La Joya, vista desde el barrio Campo Hermoso. Tomado de INGEOMINAS, 2001.

7.2 Miembro Órganos (Qbo)

"Aflora en las laderas y escarpes de la parte occidental de la Meseta de Bucaramanga y el Área Metropolitana, en los alrededores del municipio de Girón, anillo vial, en las estribaciones de la parte norte de la mesa de Ruitoque y en los cortes de la carretera que comunica la población de Girón con la ciudad de Bucaramanga" (INGEOMINAS, 2001). (Ver figura 3).

"De acuerdo con Bueno y Solarte (1994), corresponde a una serie monótona de niveles polimícticos de fragmentos gruesos, de aspecto conglomerático, en alternancia con capas y lentes limo arenosos, con variaciones laterales y verticales en composición y textura. Hubach (1952) describe niveles lenticulares limo arenosos, con espesores hasta de 5 m" (INGEOMINAS, 2001).

"Los niveles de aspecto "conglomerático" conforman depósitos de gravas y bloques, débilmente consolidados, clasto soportados (60%) y grano soportados (40%), dispuestos en forma de capas gruesas a muy gruesas, con espesores hasta de 15 m. El tamaño de los cantos varía entre 10 y 30 cm, alcanzando bloques mayores de 1 metro 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 micáceo de color amarillo a rosado, areniscas lodosas rojizas de grano fino y alto contenido de micas, cuarzo lechoso, liditas y cherts. Todos los fragmentos tienen formas redondeadas a sub redondeadas, esfericidad baja a media y mala selección. Los niveles gravosos presentan matriz arcillosa, pardo amarillenta, con algunas variaciones a gris amarillento. Los feldespatos en las rocas se encuentran moderadamente meteorizados" (INGEOMINAS, 2001).

Los niveles finos corresponden a arcillas arenosas y arenas arcillosas compactas, de consistencia firme, ligeramente micáceas, con trazas de materia orgánica, Su origen se relaciona con depósitos cíclicos intercanales (Bueno y Solarte, 1994).

"El ambiente de depositacion de este miembro se relaciona con flujos de escombros y flujos torrenciales, e interdigitación de facies de corrientes de canal, correspondiendo a la parte proximal y media del Abanico de Bucaramanga. La edad del Miembro Órganos podría abarcar el Pleistoceno medio" (INGEOMINAS, 2001).

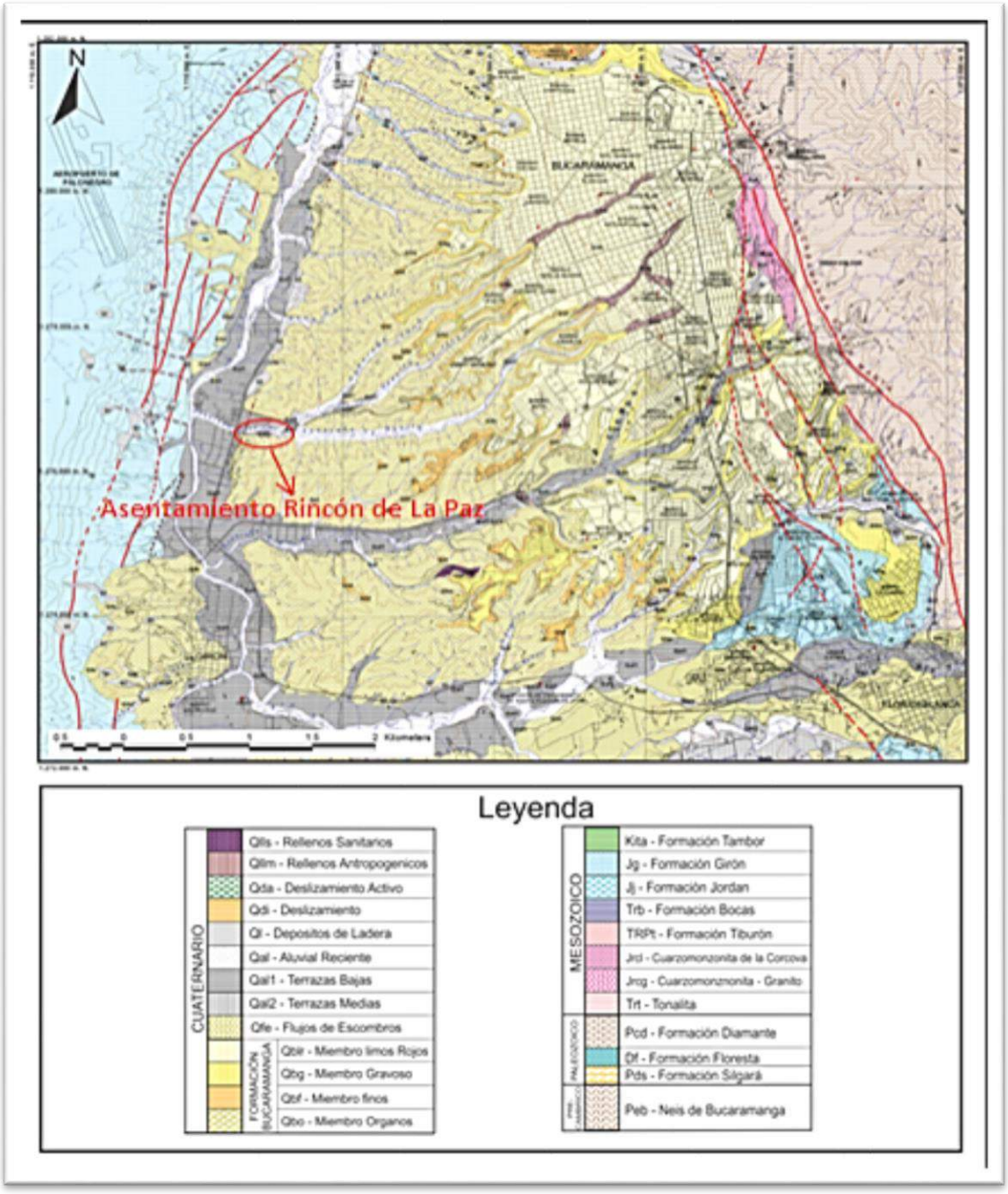


FIGURA 8. Distribución de la Formación Bucaramanga en el Área Metropolitana de Bucaramanga, Tomado y modificado de INGEOMINAS, (2001).

7.3 Miembro Finos (Qbf)

"Éste nivel fue reconocido y definido por Hubach (1952). Se ubica estratigráficamente entre el nivel inferior de la Formación Bucaramanga (Miembro Órganos) y el nivel superior (Miembro Gravoso) en contactos netos plano paralelos. Es una extensa capa lenticular horizontal, más o menos continua, de unos 15 m de espesor promedio, donde alternan niveles arcillosos, limoarenosos y arenolimosos, de colores gris verdosos.

La geometría de sus niveles es tabular a lenticular, con espesores que oscilan entre 5 y 40 cm, de estratificación plana paralela, cruzada y ondulosa. La secuencia del miembro Finos se puede dividir en dos conjuntos: *1) Conjunto Arcilloso*: Localizado hacia la base, se caracteriza por ser arcillo-limoso, masivo, de colores grises a verdes, con estratificación plana paralela, en donde el espesor varía ampliamente. *2) Conjunto Arenoso:* Se localiza hacia el techo, donde muestra una alternancia de niveles arenolimosos con niveles limoarenosos arcósicos de colores amarillento a pardo amarillento. Hacia la base de este conjunto predominan costras y un nivel arcilloso pardo oscuro" (INGEOMINAS, 2001).

"El ambiente de depositacion de este miembro es de depósitos de ambiente aluvial de intercanales poco profundo, de baja energía y de escasas interdigitaciones de flujo de escombros de facies arenosas" (INGEOMINAS, 2001).

7.4 Miembro Gravoso (Qbg)

"Definido por Niño y Vargas (1992), ubicado sobre la escarpa occidental y norte de Bucaramanga, (Ver figura 3), también conforma los escarpes superiores de la parte alta del nacimiento de la quebrada La Iglesia, en los alrededores de los barrios Lagos del Cacique, Diamante II y San Luis. Otras secciones importantes se localizan en los barrios La cumbre, La Feria, Polvorines, Don Bosco y la vía a Café Madrid" (INGEOMINAS, 2001).

"La morfología que presenta el miembro Gravoso es similar a la del Órganos en los sectores de los valles de las quebradas, pero hacia la parte sur de la quebrada la Iglesia la morfología corresponde a colinas suaves onduladas, con un drenaje dendrítico" (INGEOMINAS, 2001).

"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" (INGEOMINAS, 2001).

7.5 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" (INGEOMINAS, 2001). (Ver figura 3).

"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" (INGEOMINAS, 2001).

"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. El ambiente de depositacion indica un dominio de flujo de lodos combinados con caídas de bloques de la pendiente del macizo" (INGEOMINAS, 2001).

8 MARCO ESTRUCTURAL REGIONAL

Se encuentra en un ambiente tectónico compresivo, resultado del choque entre las placas Caribe y suramericana, lo cual generó desplazamientos rumbo-deslizantes en el Noroeste de Suramérica. El principal rasgo estructural es el sistema de fallas de Bucaramanga-Santa Marta, la cual tiene una extensión aproximada de 600 km, cruzando la región centro-oriental hasta la costa nor-oriental de Colombia; también se pueden reconocer el sistema de Palestina, Otú-Pericos en Colombia, y las fallas del Pilar y Boconó de Venezuela. A continuación, se describen las principales estructuras presentes en la zona de estudio:

8.1 Sistemas de fallas de Bucaramanga

"El sistema de fallas de Bucaramanga, se extiende desde el municipio de Curumaní y el extremo Noroccidental del Macizo de Santander, (ver figura 4). Generalmente dicho sistema tiene dirección aproximada N20°W y su trazo es rectilíneo, siendo considerado un sistema de fallas de rumbo con movimiento sinestral" (Campbell, 1965; Boinet et al., 1989; León, 1991; Vargas y Niño, 1992; Clavijo et al., 1993; Clavijo et al., 1994), cuyo desplazamiento ha sido estimado entre 40 y 240 km (Alberding, 1957; Campbell, 1965; Tschanz et al., 1969, 1974; Etayo y Rodríguez, 1985; Gansser 1955; Toro 1990). Aunque otros autores reportan para esta falla una componente de desplazamiento vertical importante (Julivert et al, 1958, 1961; Ward et al., 1973; París y Sarria, 1988, Royero, 1994) que permite interpretar en algunos sectores movimientos de tipo inverso con buzamientos hacia el este (de ángulo bajo a alto), y en su extremo sur cabalgamientos (Boinet, 1985; Cediel et al., 2003).

Según (Cárdenas et al. 2013) "para la edad de la falla se han propuesto los siguientes periodos: Eoceno (Young et al., 1956), PostCretácea (Irving, 1971), finales del Mesozoico o principios del Terciario (Tschanz et al., 1974), comienzos del Paleoceno (Cáceres et al., 1980), Terciario tardío y el Cuaternario (Campbell, 1965) y el lapso entre el Plioceno y el Pleistoceno (Duque-Caro, 1980). Cediel et al. (2003) consideran activo al sistema durante la Orogenia Grenvilliana-Orinoco de aproximadamente 1200 m.a. como resultado de una colisión entre el Bloque Continental Norteamericano con el Escudo Guyanés, la cual conforma la porción norte de la paleosutura entre el Terreno Chicamocha (Dominio Subplaca Continental Central) y el Escudo".

8.2 Falla Suarez

Esta falla se extiende por una longitud de unos 120 km desde Barbosa al sur hasta la Falla de Bucaramanga, 5 km al norte de la capital santandereana, su trazo tiene una dirección N20°E y N25°E, con inclinación al occidente y sigue el curso de los ríos Suárez y Río de Oro, (Ver figura 4).

Es una falla inversa de ángulo alto, con una componente vertical importante. (París y Sarria, 1988) "calculan una velocidad de desplazamiento vertical de 0,1 mm/año; además, se trata de una falla de rumbo con desplazamiento sinestral". "El desplazamiento vertical se ha calculado entre 400 y 2.300 m" (WARD et al., 1973).

"La Falla del Suárez, al occidente del pueblo de Girón afecta capas de la Formación Girón, las cuales se pliegan por arrastre, alcanzando posiciones verticales y en algunos casos invertidos. En cercanías de la falla se observa un fuerte fracturamiento y un alto grado de meteorización de las rocas hasta el punto de llegarse a confundir con depósitos cuaternarios" (Julivert, 1963).

8.3 Falla de Surata

"Presenta un rumbo predominante N15°E, y su trazo sigue el curso del Río Suratá, y se prolonga en el Departamento de Norte de Santander, (ver figura 4). Es una falla inversa de ángulo alto y su plano de falla buza al noroccidente. La evolución tectónica de esta falla es compleja, con movimientos relativos PreCretácicos de distensión, en donde el bloque occidental se hunde y PostCretácicos de tipo compresivo relacionado con la orogénesis Terciaria", según (Julivert y Téllez 1963).

"La Falla de Suratá actualmente es inversa con el bloque noroccidental levantado y también tiene desplazamiento de rumbo lateral derecho, y afecta la Falla Bucaramanga por lo menos en unos 750 m, al norte de Bucaramanga" (Ward, et al., 1973).

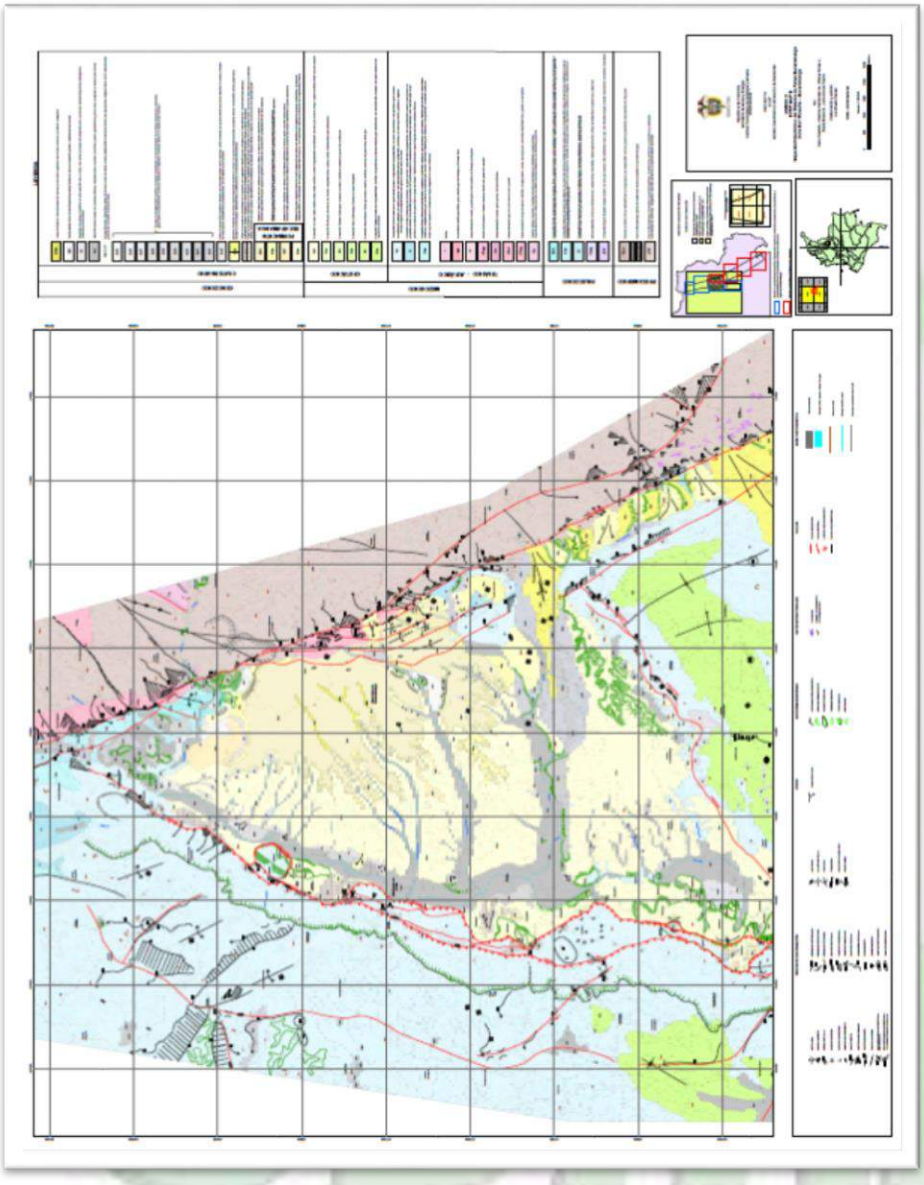


FIGURA 9. Mapa Morfotectónico del Sistema de Fallas Bucaramanga. Zona Sur: Ricaurte-Bucaramanga. Tomado y modificado de Modelo Geodinámica del Macizo de Santander (INGEOMINAS, 2008). (Apéndice B).

8.4 Fase de campo

La fase de campo se desarrolló en el área comprendida por el asentamiento Rincón de La Paz, perteneciente a la comuna 5 de Bucaramanga. En campo se hace un recorrido que cuenta con una cantidad de 22 estaciones como se listan en el mapa, (Ver figura 7), en cada una de ellas se reconocieron las unidades geológicas presentes y se realizó su respectiva caracterización macroscópica. Así mismo, se realizó un reconocimiento de la geomorfología, un análisis de la

cobertura del suelo actual y se delimitaron deslizamientos y zonas propensas a erosión y remoción en masa. La información colectada se plasmó mediante fotografías y mapas digitalizados con su respectiva georreferenciación.

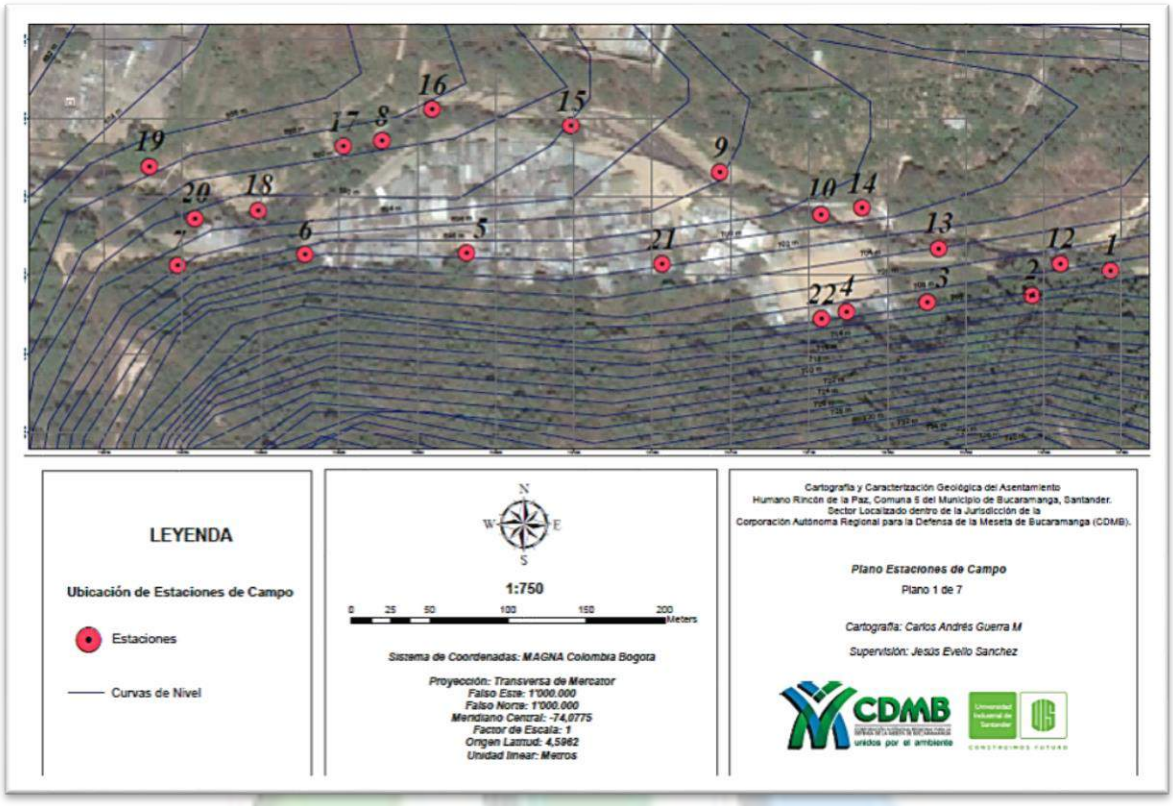


FIGURA 10. Plano de estaciones de campo. (Apéndice E).

9 METODOLOGIA PARA OBTENER LA CARTOGRAFIA GEOLOGICA

La cartografía y descripción de las unidades geológicas superficiales presentes en el asentamiento Rincón de La Paz, se realizó a escala detallada 1:750, Teniendo en cuenta la nomenclatura para la clasificación de las Unidades Geológicas para Ingeniería (UGI) propuesta en la (Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa, del Servicio Geológico Colombiano, 2015), y la escala de colores para producción cartográfica se basan en el mapa de Unidades Geológicas Superficiales de la (Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa de Algunas Laderas de los Municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón – revisión, Informe Técnico del Servicio Geológico Colombiano, 2009).

La metodología deI (SGC, 2016) "permite elaborar mapas a partir de las Unidades de Geología para Ingeniería (UGI), que son el insumo más importante desde el punto de vista de homogeneización de las características ingenieriles de los materiales del área de estudio. Las UGI permiten diferenciar tres aspectos fundamentales para obtener los modelos que permitan realizar los análisis de estabilidad:

1) Diferenciar los materiales aflorantes entre suelos y rocas,
2) Definir los espesores de suelo o las características estructurales del macizo rocoso
3) Caracterizar los materiales de acuerdo con sus propiedades mecánicas". (Servicio Geologico Colombiano (SGC), 2015)

9.1 Criterios para la definición preliminar de las UGI

9.1.1 Origen y litología

ORIGEN DE LA UGI	TIPO DE UGI
Derivadas de roca In situ	Roca inalterada Saprolito Suelo residual
Depósitos aluviales	Aluviones recientes o de lecho de río Llanuras aluviales Abanicos o conos aluviales Terrazas aluviales Depósitos fluviotorrenciales
Depósitos lacustres y paludales	Planicie lacustrina, artesa lagunar, plano anegadizo
Depósitos de ladera, de vertiente o coluviales	Coluviones Talus Flujos (de lodo, tierra y de escombros) Derrubios de pendiente
Depósitos costeros	Deltas, barras, playas, etc.
Depósitos volcánicos	Tefras Surges Flujos de piroclastos Ignimbritas Flujos de lodos volcánicos Lahares Cenizas Coladas de lava
Depósitos eólicos	Dunas, medanos Loess Cenizas volcánicas
Depósitos glaciares	Morrenas y tillitas Fluvioglaciares, valle glaciar, abanicos de lavado
Depósitos antrópicos	Rellenos sanitarios o de basuras Rellenos de excavaciones Escombreras o botaderos

FIGURA 11. Unidades Geológicas de Ingeniería según su origen. Tomado de Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa, del Servicio Geológico Colombiano, 2015.

Como base para la generación de las UGI, se propone clasificar los materiales de acuerdo con su origen, donde se modificó a partir de las unidades geológicas superficiales propuestas por *Hermelin (1985) y Salazar (1995)* en (Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa, del Servicio Geológico Colombiano, 2016), (Ver figura 8), En la zona de estudio se identificaron suelos transportados del Miembro Órganos pertenecientes a la Formación

Bucaramanga, suelos transportados de terraza media y baja, material de coluvión reciente, suelo transportado aluvial y suelos antrópico de lleno de escombros.

9.1.2 Nomenclatura de las UGI

Una vez establecidas las posibles UGI, identificadas preliminarmente por el origen y la litología, se definió la nomenclatura asociada, la cual se ajusta de acuerdo con la caracterización de los materiales en la fase de campo.

El sistema de nomenclatura que se siguió fue el siguiente:

- ✓ La primera letra, en mayúscula, indica si es roca (R) o depósito (D). En la fase de campo se reconocieron depósitos aluviales, por lo tanto, corresponde la letra (D).
- ✓ Si es depósito (D), la segunda letra indicara el origen: transportado (t), residual (r) o antrópico (a). en la zona de estudio de acuerdo al origen se reconocieron depósitos transportados y antrópicos.
- ✓ La tercera letra indica el tamaño del grano predominante o la textura del material (opcional).
- ✓ Se agregaron unas letras extras a la nomenclatura que son las siglas de como es reconocida la unidad geológica.

9.2 Caracterización geomorfológica

La caracterización geomorfológica del presente estudio se basa en (La Propuesta de Estandarización de la Cartografía Geomorfológica en Colombia. INGEOMINAS, 2011), y la escala de colores para producción cartográfica usados se basan en el (Mapa de Elementos Geomorfológicos de la Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa de Algunas Laderas de los Municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón – revisión, Informe Técnico del Servicio Geológico Colombiano, 2009). Howard y Mitchell (1980) explican que la mejor manera de definir la geomorfología presente en una zona determinada es definiendo unidades homogéneas que sean claramente delimitables aproximándose a la escala que se requiera

Según la jerarquía y la escala se presenta una categorización geomorfológica. Para escalas detalladas mayores de 1:10.000 (INGEOMINAS, 2011). Se describe un Componente o elemento geomorfológico como la categoría definida por los rasgos del relieve definidos en sitios puntuales, tales como: escarpes naturales o antrópicos, relieves internos de laderas o flancos de crestas y formas de valle, Los cuales se obtienen por el análisis detallado del terreno en una subunidad geomorfológica. Estos componentes o elementos aportan a la nomenclatura caracteres combinados de letras y números que simbolizan el origen de la geoforma, nombre de las unidades y subunidades, estos números podrían indicar la posición del componente en la subunidad. Preferiblemente los elementos deben cartográficamente ser diferenciados según el tipo de material y sus características utilizando el achurado y el color correspondiente también sugeridos en (INGEOMINAS, 2011).

De acuerdo a la Jerarquización geomorfológica propuesta y aspectos generales de la nomenclatura y la relación entre geoformas en cada división o categoría la zona a estudiar se encuentra dentro de la geomorfo-estructura del sistema montañoso de la Guyana, en el sistema orogénico Andino más exactamente en la provincia de la Cordillera Oriental de Colombia. Y debido a la escala usada para la cartografía se llega hasta el nivel inferior de la jerarquización que son los elementos o componentes geomorfológicos que se definen de acuerdo a las geoformas halladas en campo.

La nomenclatura utilizada para definir las unidades geomorfológicas presentes en la zona de estudio se explica a continuación:

- ✓ La primera letra depende del origen de la unidad geomorfológica, definiéndose así: Denudacional (D), Volcánico (V), Estructural (S), Fluvial y deltaico (F), Kárstico (K), Marino y costero (M), Glacial (G), Eólico: E, Antropogénicos(A).
- ✓ Las demás letras irán en minúscula y corresponden a iniciales del nombre de la unidad geomorfológica o combinación de letras que permitan asociar el símbolo con la unidad geomorfológica.

ESCALA > 1:100 000
AMBIENTE MORFOGENETICO: DENUDATIVO

COBERTURA	NOMBRE	ELEMENTO	TOPOLOGIA	SIMB. ITC	SIMB. IGM	CODIGO	COLOR	CODCOL	OBSERVACIONES
UNIDADES GEOMORFOLOGICA	GEOFORMA	Superficie de aplanamiento	Area			Dsa		444	Proceso erosivo
	GEOFORMA	Glacis de erosión	Area			Dge		442	Proceso erosivo
	GEOFORMA	Glacis de acumulación	Area			Dga		448	Proceso acumulación
	GEOFORMA	Montaña residual	Area	M		Dmr		451	Proceso erosivo
	GEOFORMA	Loma residual	Area	Lm		Dlr		455	Proceso erosivo
	GEOFORMA	Cerro residual	Area	Ce		Dcr		445	Proceso erosivo
	GEOFORMA	Colina residual	Area			Dkr		453	Proceso erosivo
	GEOFORMA	Monadnock	Area			Dmk		440	Proceso erosivo
	GEOFORMA	Inselberg	Area			Di		439	Proceso erosivo
	GEOFORMA	Talud de escombros	Area			Dte		443	Proceso gravitacional
	GEOFORMA	Deslizamiento mayor activo				Dmya		456	Proceso gravitacional
	GEOFORMA	Deslizamiento mayor inactivo				Dmyi		459	Proceso gravitacional
	GEOFORMA	Deslizamiento menor activo	Area			Ddma		460	Proceso gravitacional
	GEOFORMA	Deslizamiento menor inactivo	Area			Ddmi		463	Proceso gravitacional
	GEOFORMA	Deslizamiento rotacional				Ddr		400	Proceso gravitacional

COBERTURA	NOMBRE	ELEMENTO	TOPOLOGIA	SIMB. ITC	SIMB. IGM	CODIGO	SIMBOLO	CODCOL	OBSERVACIONES
UNIDADES GEOMORFOLOGICA	GEOFORMA	Deslizamiento translacional	Area			Ddt		408	Proceso gravitacional
	GEOFORMA	Alud de rocas	Area			Dar		405	Proceso gravitacional
	GEOFORMA	Deslizamiento de rocas	Area			Dr		402	Proceso gravitacional
	GEOFORMA	Corriente de bloques	Area			Dcb		406	Proceso Transporte
	GEOFORMA	Corriente terrosa	Area			Dct		401	Proceso Transporte
	GEOFORMA	Corriente de fango	Area			Dcf		404	Proceso Transporte
	GEOFORMA	Estorague?	Area			Des		450	Proceso erosivo

FIGURA 12. Catálogo para elementos de geomorfología en ambiente Denudativo. Tomado de La Propuesta de Estandarización de la Cartografía Geomorfológica en Colombia. INGEOMINAS, 2011

ESCALA < 1: 100 000

AMBIENTE MORFOGENETICO: FLUVIAL Y DELTAICO

COBERTURA	NOMBRE	ELEMENTO	TOPOLOGIA	SIMB. ITC	SIMB. IGM	CODIGO	COLOR	CODCOL	OBSERVACIONES
		Cauce de río	Area			Fc		342	Proceso acumulación
		Cauce de río abandonado	Area			Fca		344	Proceso acumulación
	GEOFORMA	Terraza de erosión	Area			Fte		332	Proceso acumulación
		Terraza de acumulación	Area			Fta		330	Proceso acumulación
		Planicie Aluvial	Area			Fpa		300	Proceso acumulación
		Barra longitudinal	Area			Fbl		287	Proceso acumulación
UNIDADES		Meandro cortado	Area			Fmc		335	Abandono de cauce
EOMORFOLOGICAS		Lago medialuna (oxbow-lak	Area			Flm		338	Abandono de cauce
		Albardones o diques	Area			Fa		292	Proceso acumulación
		Delta de desborde lateral o cr	Area			Fdd		291	Proceso acumulación
		Barra Puntual	Area			Fbp		294	Proceso acumulación
		Abanico aluvial	Area			Faa		336	Proceso acumulación
		Delta con partes sumergida	Area			Fds		334	Proceso acumulación
		Pantano agua dulce	Area			Fp		288	Proceso acumulación
		Lago permanente	Area			Fl		296	Proceso inundación

COBERTURA	NOMBRE	ELEMENTO	TOPOLOGIA	SIMB. ITC	SIMB. IGM	CODIGO	COLOR	CODCOL	OBSERVACIONES
UNIDADES		Cuencas de decantación	Area			Fcd		339	Procso de acumulación
		Lago temporal	Area			Flt		290	Proceso inundación
		barras tranasversales	Area			Fbt		297	
GEOMORFOLOGICAS		Barras alternantes	Area			Fba		286	Procso de acumulación
	GEOFORMA	Barras linguoides	Area			Fbl		293	Procso de acumulación
		Planicie de inundación	Area			Fpi		379	Proceso inundación
		Canal distributario				Fdcd		299	
		Diques subacuaticos deltaicos				Fds		289	
		Barra de boca disstributaria				Fdbd		295	
		Barra distal				Fdbd		298	
		Bahia interdistributaria				Fdbi		341	
		Barras digitales				Fdbf		331	
		Frente deltaico				Fdfd		337	
		Prodelta				Fdp		340	
		Marismas				Fdm		343	

FIGURA 13. Catálogo para elementos de geomorfología en ambiente Fluvial y Deltaico. Recuperado de La Propuesta de Estandarización de la Cartografía Geomorfológica en Colombia. INGEOMINAS, 2011

9.3 Unidades geológicas para ingeniería (UGI)

En el presente estudio se realizó la cartografía y descripción de las unidades geológicas superficiales presentes en el asentamiento humano Rincón de La Paz, perteneciente a la comuna 5 del municipio de Bucaramanga, a escala detallada 1:1000, Teniendo en cuenta la nomenclatura para la clasificación de las Unidades Geológicas para Ingeniería (UGI) propuesta en La Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, del Servicio Geológico Colombiano, 2015.

La caracterización geológica de estas unidades permite evaluar el comportamiento mecánico de un terreno, siendo esta evaluación un material imprescindible para el desarrollo de obras civiles. A partir de esta información se elabora el mapa de Unidades Geológicas Superficiales, (ver figura 18), el cual proporciona de manera visual las condiciones físicas de estas unidades en superficie.

9.3.1 Unidades de depósito

A continuación, se describen las características de cada una de las unidades en el área de estudio:

9.3.1.1 Depósito transportado gravoso del miembro órganos dtg (qbo)

El suelo del miembro Órganos aflora en la escarpa occidental del abanico de Bucaramanga y se extiende a lo largo de las laderas que recorren el área de estudio. Según *INGEOMINAS (2001),* dicha unidad es matriz soportada, con una matriz limo-arcillosa, de color gris, amarillento, la cual adquiere tonalidades marrones a rojizas por alteración. Se observan cantos redondeados y bloques de areniscas cuarzosas micáceas, limolitas rojas alteradas, bloques de esquistos, cantos de cuarzo, cuarcitas y conglomerados. (Ver figura 15).



FIGURA 14. Suelos del Miembro Órganos en la zona de estudio. Estación 7.

Generalmente esta unidad es consistente en estado seco, pero al absorber agua pierde totalmente la solidez y consistencia, por lo que se ven favorecidos los procesos de meteorización, erosión y remoción en masa, generando surcos, cárcavas, estoraques, de alrededor de 15 m de altura. Estas geoformas son características de dicha unidad. En épocas de lluvias se presentan desprendimientos de bloques y cantos.



FIGURA 15. Badlands pertenecientes a los suelos del miembro Órganos (Qbo), formados por la erosión fluvial y la gravedad. Estación 2.

Los suelos del miembro órganos, corresponden a depósitos medianamente meteorizados, débilmente consolidados de tonalidades que van de marrones y naranjadas a rojizas, conglomeraticos, dispuestos en forma de capas gruesas a muy gruesas. La matriz es areno-arcillosa y el armazón es clasto-soportado con tamaños que van desde 0,5 cm a 60 cm. Los clastos son redondeados a sub-redondeados, sin orientación evidente. La composición es variable, y se pueden observar en su mayoría areniscas silíceas de grano medio, y en menor proporción fragmentos de rocas ígneas acidas de textura fanerítica, neis micáceo, cuarzo lechoso, cherts y liditas. Tanto en rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas. Es común observar variaciones laterales y verticales en composición y textura.



FIGURA 16. Suelos conglomera ticos del Miembro Órganos, donde se observa la matriz areno-arcillosa y la composición variable de los cantos que lo conforman. Estación 1.

El espesor de la unidad completa no se pudo medir en campo, aunque se estima un espesor aproximado en la zona de estudio, estimado mediante mapa geológico de 80 m. El ambiente de depositación de este nivel se relaciona con flujos de escombros y flujos torrenciales, e interdigitación de facies de corrientes de canal, correspondiendo a la parte proximal y media del Abanico de Bucaramanga (INGEOMINAS, 2001).

9.3.1.2 Depósito transportado de terraza media (Qal2) y de terraza baja (Qal1)

Estas unidades se presentan en mayor cantidad sobre el margen norte de la quebrada Chimita, (Ver figura 18) y se componen de matriz areno-arcillosa de color amarillo – grisáceo con algunos clastos de gravas gruesas, estos depósitos son los más susceptibles a erosión debido a que se ubican en las pendientes más planas del terreno y están propensos a la inundación del cauce fluvial.

9.3.1.3 Depósito transportado de coluvión (Ql)

Los depósitos de coluvión componen un área muy pequeña en el asentamiento, se ubican en el pie de la ladera y se componen de clastos de grava de diámetros entre 5 y 20 cm dentro de una matriz arenosa de color amarillo – grisáceo.

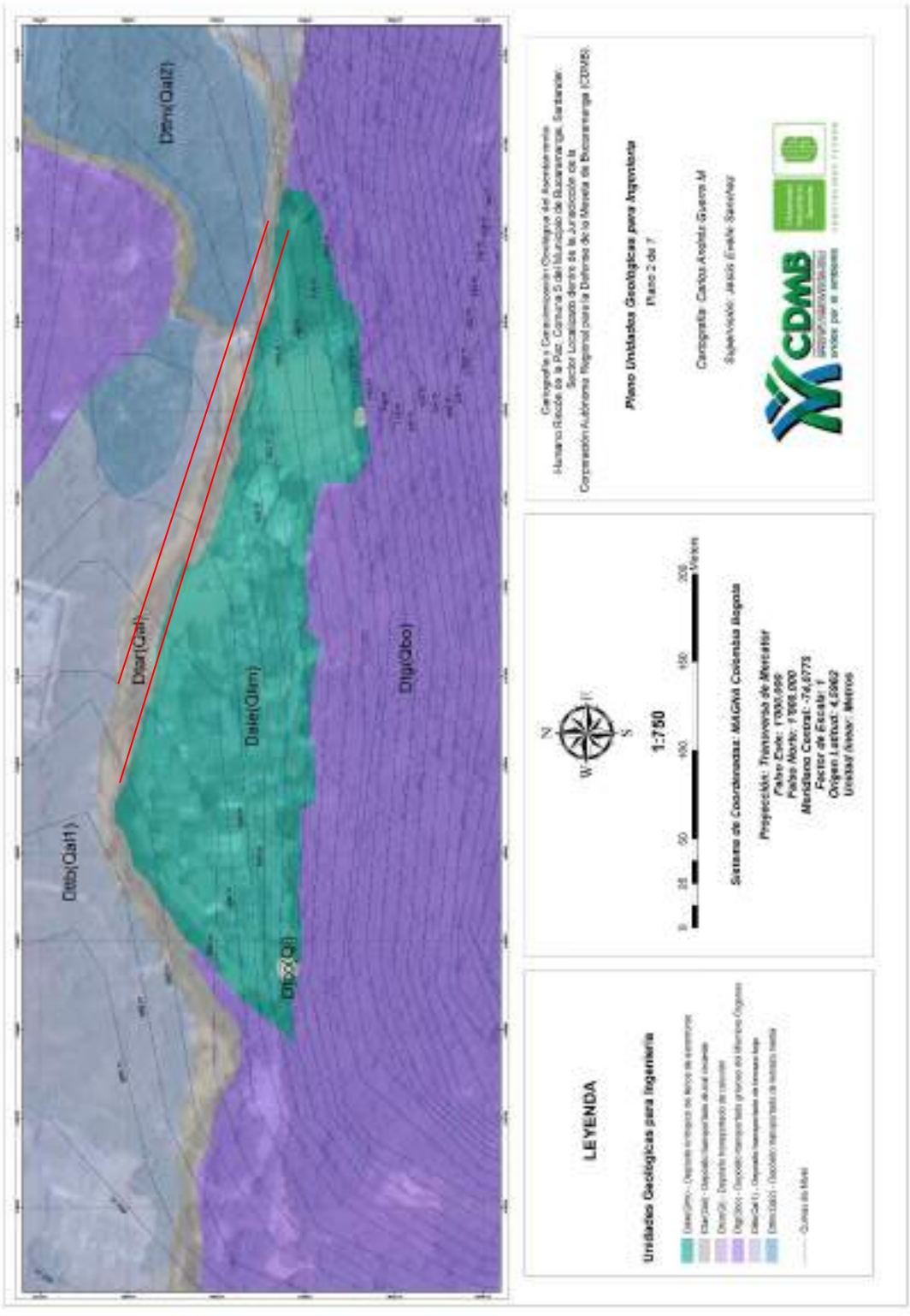


FIGURA 17. Plano de unidades geológicas para ingeniería en la zona de estudio, C1 y C2 son las columnas estratigráficas respectivamente. (Apéndice F).

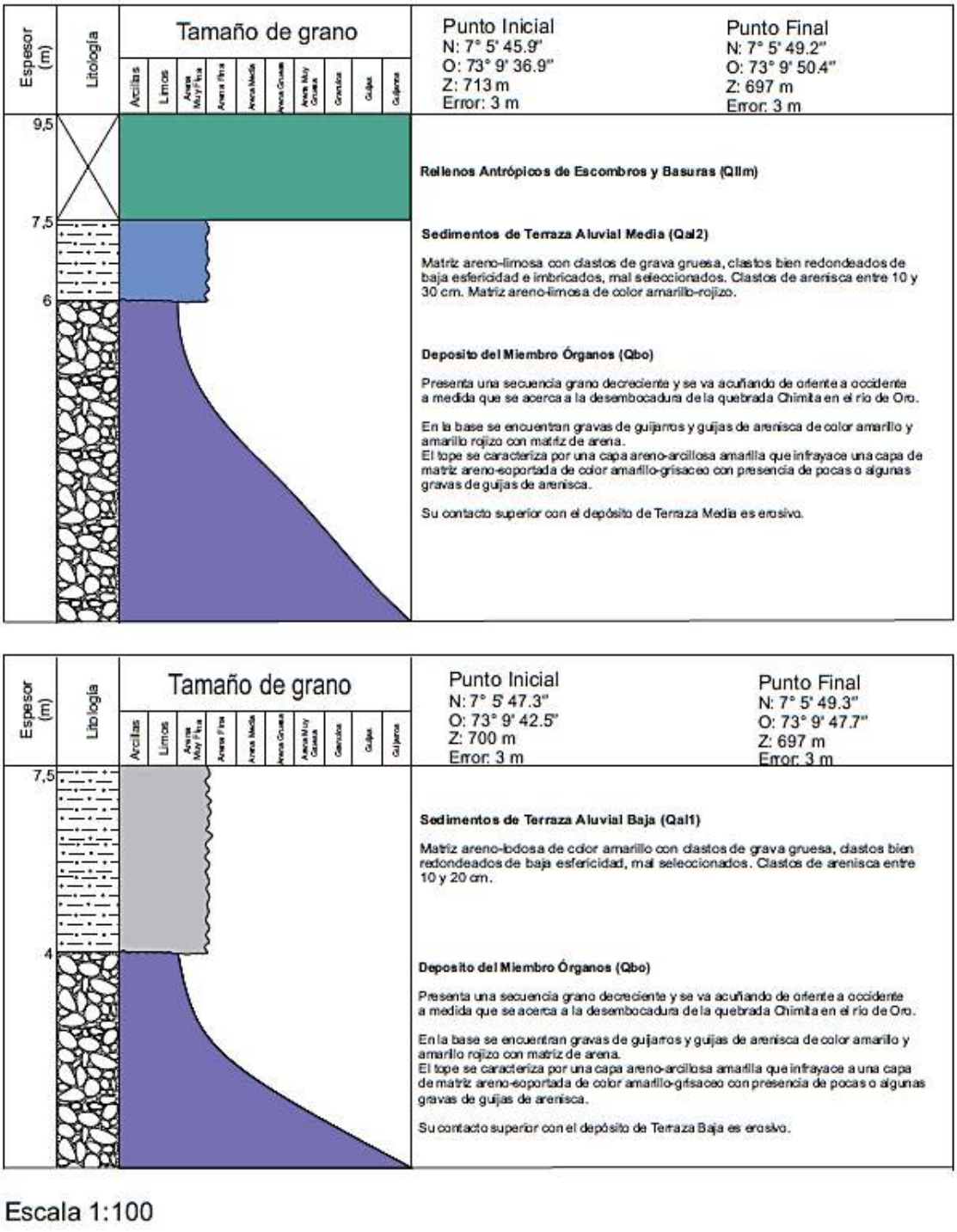


FIGURA 18. Columnas estratigráficas representativas de cada uno de los márgenes de la quebrada Chimita. C1 es la columna superior y C2 es la columna inferior. (Apéndice G).

9.4 Cartografía Geomorfológica

Las condiciones geomorfológicas presentes nos permiten analizar los deslizamientos en relación con la evolución del paisaje *(Aristizabal y Yokota, 2006).*

Los diferentes procesos endógenos y exógenos interactúan dando lugar a diferentes modelados morfodinámicos que serán diferentes en ambientes continentales y en ambientes marinos o transicionales. Involucrando en ellos diferentes factores como son el agua y el viento que dependen directamente de las condiciones climáticas y el comportamiento del material a estas. Los principales ambientes geomorfológicos son:

Denudacional, Volcánico, Estructural, Fluvial y deltaico, Kárstico, Marino y costero, Glacial, Eólico, Antropogénicos, siendo más importantes en este estudio los ambientes: Denudacional y Fluvial los cuales son los únicos presentes en el área.

La zona estudiada está dominada por procesos continentales: denudaciones, estos se han encargado de meteorizar los materiales y exponerlos al desgaste. Estos procesos no se limitan solamente a erosión si no que incluyen también todo lo que contribuye a la degradación y reducción de los relieves iniciales. También se ve afectada por procesos fluviales de orden medio, que ha modificado el relieve, generando un valle alrededor de la quebrada Chimita.

La clasificación de las geoformas y la nomenclatura utilizada para su cartografía en este trabajo se basó en la Propuesta de Estandarización de la Cartografía Geomorfologica en Colombia del Servicio Geológico de Colombia (SGC, 2011), (Ver figura), por José Henry Carvajal y en los trabajos realizados por la CDMB que utilizaron las normas estipuladas en la resolución 1294 del 2009. (Ver numeral 4.3.2.). Los componentes geomorfológicos definidos en la zona de estudio se listan a continuación:

9.4.1 Componentes geomorfológicos

9.4.1.1 Componentes geomorfológicos de ambiente denudacional

La formación de estas unidades está relacionada con procesos de denudación que se presentan en zonas de clima tropical, se caracterizan por la meteorización, erosión, movimientos en masa y exposición de las rocas y suelos presentes en ellas, comúnmente se clasifican según la pendiente, y están fuertemente influenciadas por la actividad tectónica que combinada con los procesos denudacionales dan lugar a diferentes formas del relieve que corresponden al Ambiente Denudacional.

Componente de laderas moderadas y escarpadas (Dldm):

Las formas del relieve se presentan en laderas que son cuestas naturales del terreno responden a las condiciones pluviométricas y tectónicas y según su pendiente son moderadas (inclinaciones entre 10° y 40°) (Dldm), estas se encuentran principalmente afectadas por los procesos denudacionales como la gravedad, los grados de inclinación de la pendiente, las disposición y el tipo de materiales y la permeabilidad de los mismos, el clima y por lo general presentan buena cobertura vegetal. A partir de fenómenos que se presentan en las vertientes de estas laderas se generan procesos denudacionales que propician los movimientos en masa. (Ver figura 20).



FIGURA 19. Ladera Denudacional (Dldm). Estación 7.

Componente de estoraques o "badlands" (Des):

Un elemento denudacional que se encuentra en algunas laderas son los estoraques (Des) que también se conocen como columnas de erosión, (Ver figura 21), los cuales son producto de un proceso erosivo. Estas estructuras son grandes formas labradas por el agua y el viento, y endurecidas por efectos del sol, están conformadas por columnas y torres que se encuentran en colinas y crestas montañosas, contienen grandes cárcavas que terminan en valles aluviales.
Estas rocas han emergido luego de una fase profunda de meteorización de las rocas, la formación de estos ha obedecido principalmente al contenido de minerales solubles o alterables, se evidencia una parte superior abrupta, desnuda sin vegetación que por su verticalidad tiene un aspecto de cornisa.

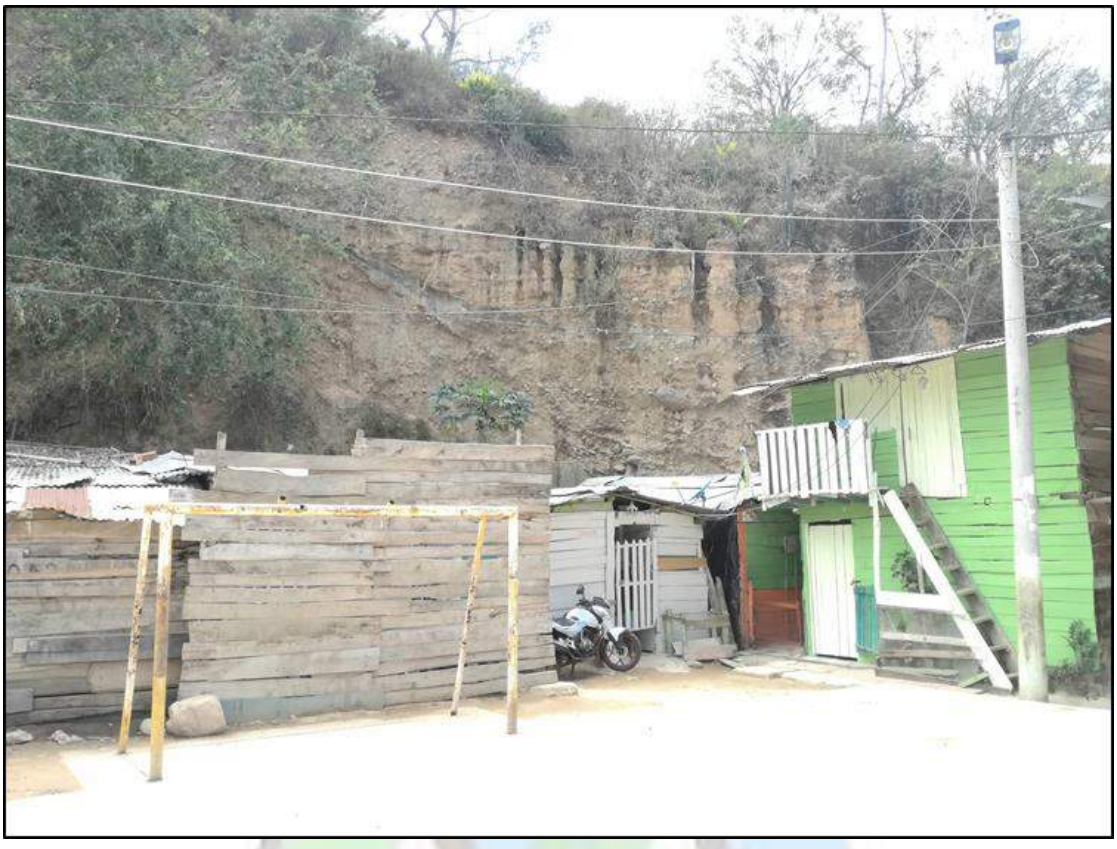


FIGURA 20. Estoraques (Badlands) (Des). Estación 4.

9.4.1.2 Componentes Geomorfológicos de Ambiente fluvial

Componente fluvial de cauce actual (Fca), terraza media (Ftm), terraza baja (Ftb) y escapes de terraza

Las geoformas en este ambiente se derivan de procesos agradacionales y degradacionales de corrientes fluviales, incluyen la influencia de cauces actuales de corrientes como la quebrada Chimita, (Ver figura 22), que se forma de la confluencia de las quebradas La Rosita y La Joya que unos metros más arriba se une a la quebrada Seca, formando niveles de terrazas bajo y medio, formados a partir de procesos de incisión y eventos fluvio-torrenciales.



FIGURA 21. . Quebrada Chimita, en la que se evidencian los procesos degradacionales que socavan el miembro órganos (Qbo) y la terraza media (Qal2), formando un valle de incisión a partir de los escarpes de terraza. Estación 9.

9.4.1.3 Componentes geomorfológicos de ambiente antrópico

Como resultado de la intervención humana en el terreno se originan geoformas de ambiente antrópico, en su mayoría estas se presentan debido a procesos efectuados por el hombre con objetivo de realizar obras de ingeniería, explotación de recursos y planes urbanísticos.

Componente de terrazas y laderas explanadas de relleno (Qllm)
Superficies que son resultado de explanaciones de rellenos de escombros y desechos, realizadas mecánicamente sobre laderas y terrazas de las quebradas presentes en la zona con fines urbanísticos o de infraestructura, (Ver figura 22), estas condicionan el paisaje de tal modo que, en su éxito, permitan habitar la zona por la población.



FIGURA 22. En la foto a (Estación 6), se observan las laderas explanadas para construcción de viviendas y en la foto b (Estación 9), se observan las terrazas de la quebrada Chimitá sobrespuestas con rellenos de escombros y desechos que, han sido explanados con el mismo objetivo de edificación en el Asentamiento Rincon de la paz

9.5 Análisis de la morfodinámica en la quebrada chimita y la ladera posterior al asentamiento

Para lograr un análisis del comportamiento morfodinámico en el tiempo, se tomaron las fotos satelitales disponibles en Google Earth entre los años 2002 – 2014 que contaban con buena resolución y en ellas se analizó el desplazamiento generalizado del cauce de la quebrada a través del tiempo y se identificaron los deslizamientos ocurridos sobre el escarpe de terraza o sobre el talud de la ladera, (ver figura 24), este diagnóstico brinda la posibilidad de inferir en que magnitud afecta la erosión de la quebrada al asentamiento humano y que tanto mitigan estos fenómenos las obras construidas años atrás. Aparte de ello se identifican las manzanas del sector que han sido más afectadas por movimientos de remoción en masa, (Ver figura 23).



FIGURA 23. . Línea de tiempo 2002 – 2014, en la que se observa la morfodinámica de la quebrada Chimita y su impacto en el asentamiento Rincón de La Paz. (Apéndice H).

Plano de Levantamiento Topográfico, Manzanas del Asentamiento Rincón de La Paz.

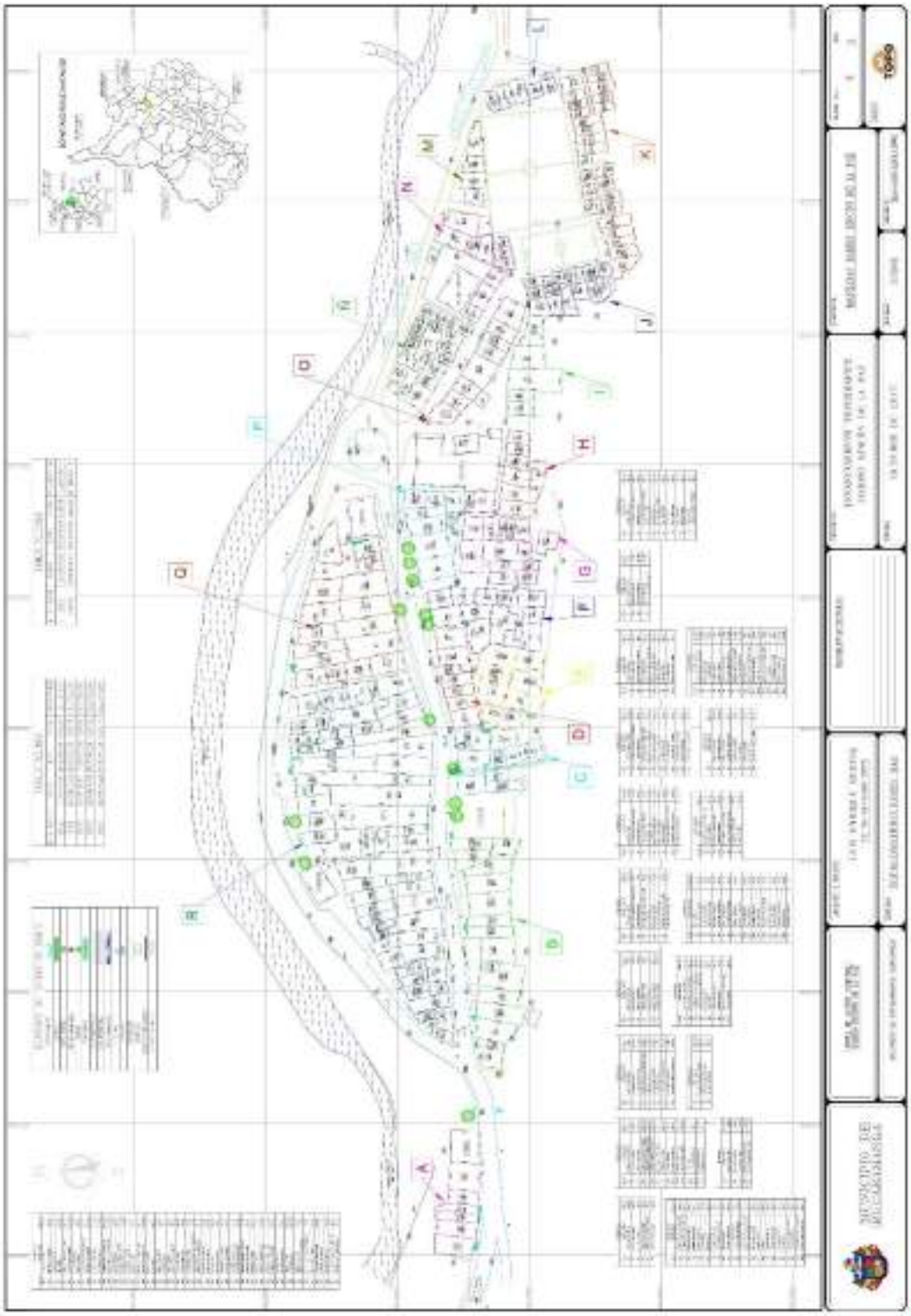


FIGURA 24. Manzanas del asentamiento Rincón de La Paz. Tomado de Junta de Acción Comunal, archivos CDMB. (Apéndice I).

INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA PRESENTES EN LA ZONA DE ESTUDIO (MORFODINAMICA).

"Los movimientos en masa son el resultado de procesos geológicos, hidrometeorológicos, químicos y mecánicos, los cuales modelan el relieve de la tierra y se dan en la corteza terrestre y en la interface entre esta, la hidrósfera y la atmósfera" (Grupo de Estándares para Movimientos en Masa (GEMMA). 2007).

"La ocurrencia de un movimiento en masa comienza desde el momento en que se forma una ladera natural o se construye un talud artificial, ya que, así como el levantamiento tectónico forma montañas, la meteorización, las lluvias, los sismos y otros eventos (incluyendo la acción del hombre) actúan sobre las laderas para desestabilizarlas y cambiar el relieve a una condición más plana" (Grupo de Estándares para Movimientos en Masa (GEMMA). 2007).

Cruden y Varnes en el "*Special Report 247"* del Transportation Research Board de los Estados Unidos (1996), presentan una actualización de *Varnes (1978),* la cual propone una clasificación para los tipos de movimientos en masa. (Ver numeral 5.3.3.). Tomando como base dicho estudio, a continuación, se presenta el inventario de movimientos en masa presentes en la zona de trabajo.

9.6 Caído por erosión diferencial y flujo de detritos, compuesto (CFD)

En este tipo de movimiento en masa ocurren simultáneamente dos tipos de movimiento en diferentes áreas de la masa desplazada, caído por erosión diferencial y flujo de detritos. (Ver figura 28). En los deslizamientos donde se observa este fenómeno, el talud presenta pendientes fuertes, cárcavas y surcos que lo atraviesan. Por dichos espacios descienden detritos en caída libre, rodando o transportados que forman un flujo y una acumulación en el pie del talud.

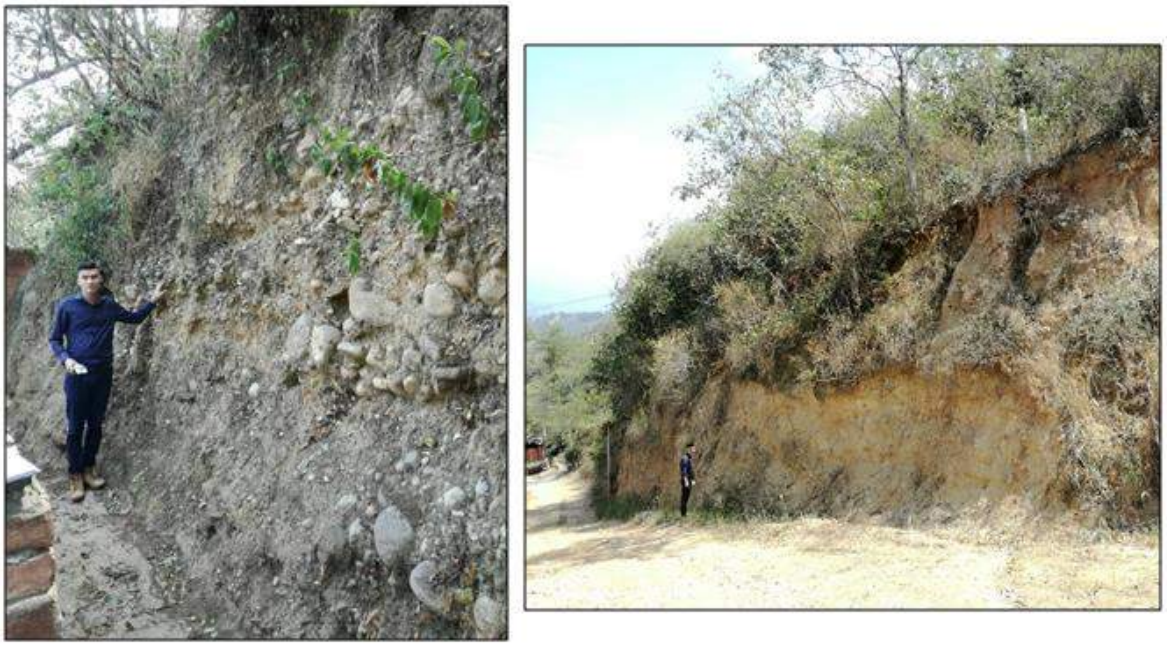


FIGURA 25. En las dos fotografías se observa la caída por erosión diferencial y el flujo de detritos en la zona de estudio. Estaciones 17 y 23, consecutivamente.

9.7 Flujo de detritos - sencillo (FD)

Los flujos de detritos son hondas extensas de materiales tanto solidos como líquidos, mezclados entre sí, que se mueve en forma constante a través de un canal con algunas ondas menores superpuestas que se mueven a velocidades superiores a aquellas del flujo mismo.

A medida que el proceso de flujo avanza, los materiales se van triturando y se observa una diferencia importante en los tamaños entre la cabeza y el pie del deslizamiento. Se observa que el movimiento de los flujos de detritos ha sido activado por las lluvias, debido a que los materiales han perdido la resistencia por la disminución de la absorción de agua al saturarse. (Ver figura 27).



FIGURA 26. En las imágenes se observa el flujo de detritos sobre el asentamiento Rincón de La Paz. Estaciones 6 y 3, consecutivamente.



FIGURA 27. Plano Geomorfológico de la zona de estudio (Apéndice J).

10 COBERTURA DEL SUELO

En la actualidad es fundamental realizar un análisis de la cobertura del suelo que con lleve a conocer y aplicar las herramientas adecuadas para lograr la sustentabilidad de este recurso, el mejor beneficio económico, los procesos por erosión y remoción en masa que lo afectan y la utilidad que presta al ser humano.

El análisis de la cobertura del suelo se elaboró de acuerdo con la metodología "Corinne Land Cover", adaptada para Colombia por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), (2010). Esta metodología tiene como propósito la realización del inventario homogéneo de la cubierta biofísica (cobertura) de la superficie de la tierra a partir de la interpretación visual de imágenes de satélite asistida por computador y la generación de una base de datos geográfica.

En la zona de estudio se reconocieron una variedad de unidades de la cobertura del suelo, las cuales fueron agrupadas en categorías de mayor jerarquía, (Ver figura 33), lo anterior se realizó teniendo en cuenta que las unidades tuvieran características similares que permitieran asociarlas entre sí, con el fin, de lograr un mejor entendimiento del mapa de la cobertura del suelo. Dichas categorías se describen a continuación:

10.1 Territorios Artificializados

Comprende las áreas de las ciudades y las poblaciones y, aquellas áreas periféricas que están siendo incorporadas a las zonas urbanas mediante un proceso gradual de urbanización o de cambio de la cobertura del suelo hacia fines residenciales, comerciales, industriales, de servicios y recreativos, (ver figura 31). En la zona de estudio se presenta la siguiente categoría:

10.2 . Zonas urbanizadas (ZU)

Las zonas urbanizadas es la cobertura de suelo predominante en el área de trabajo, incluyen los territorios cubiertos por infraestructura urbana y todos aquellos espacios verdes y redes de comunicación asociados con ellas, que configuran un tejido urbano. Dentro de esta categoría se agrupan las unidades de tejido urbano continuo y tejido urbano discontinuo.



FIGURA 28. Zonas urbanizadas en la que se observan viviendas y una cancha de fútbol en tierra. Estaciones 1 y 10, consecutivamente.

10.3 Bosque fragmentado (BF)

Comprende los territorios cubiertos por bosques naturales densos o abiertos cuya continuidad horizontal está afectada por la inclusión de otros tipos de coberturas como pasto, cultivos, vegetación en transición y tierras desnudas o degradadas, (ver figura32), las cuales representan entre 5% y 30% del área total de la unidad de bosque natural.

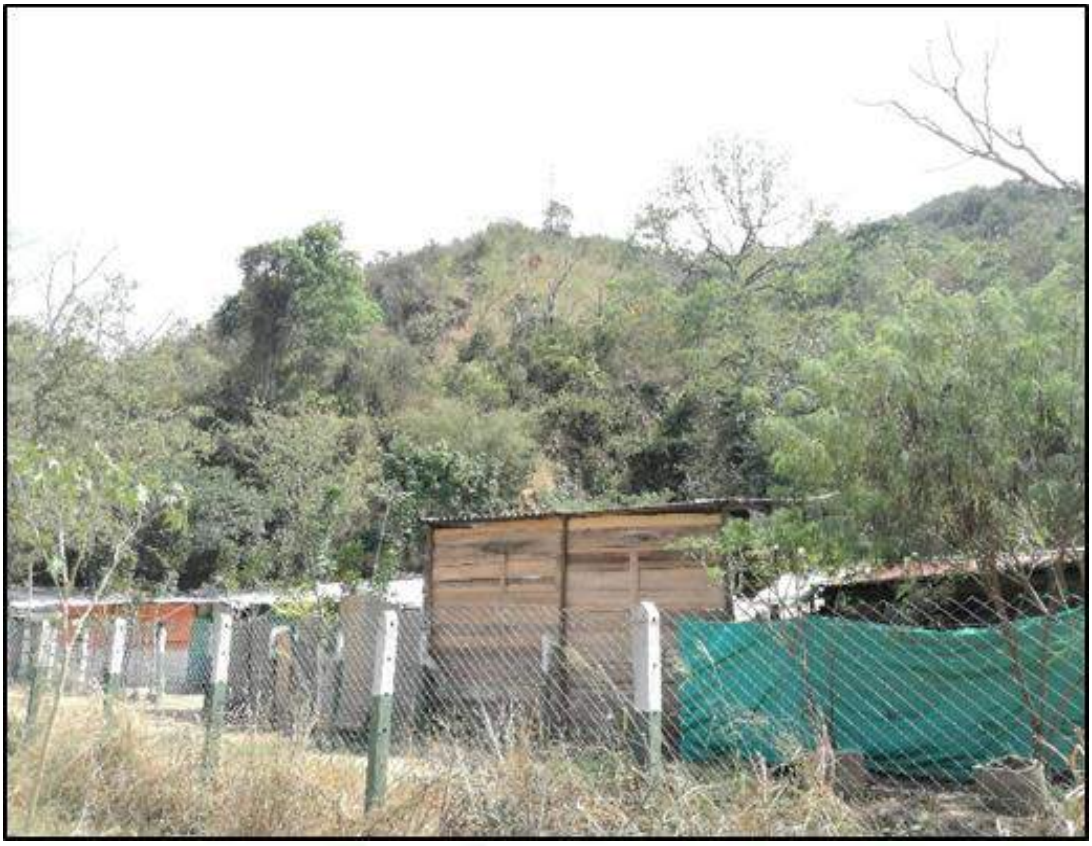


FIGURA 29. Bosque fragmentado (BF) por tierras desnudas y vegetación secundaria o en transición presente sobre el asentamiento Rincón de La Paz. Estación 9.

10.4 Vegetación secundaria o en transición (VS)

Comprende aquella cobertura vegetal originada por el proceso de sucesión de la vegetación natural que se presenta luego de la intervención o por la destrucción de la vegetación primaria, que puede encontrarse en recuperación tendiendo al estado original. (Ver figura 33), Se desarrolla en zonas desmontadas para diferentes usos, en áreas agrícolas abandonadas y en zonas donde por la ocurrencia de eventos naturales la vegetación natural fue destruida. No se presentan elementos intencionalmente introducidos por el hombre.



FIGURA 30. Vegetación secundaria o en transición (VS) posterior a un evento artificial por canalización de las aguas escorrentías. Estación 2.

10.5 Tierras desnudas y degradadas (TD)

Esta cobertura corresponde a las superficies de terreno desprovistas de vegetación o con escasa cobertura vegetal, debido a la ocurrencia de procesos tanto naturales como antrópicos de erosión, degradación y/o condiciones climáticas extremas. Se incluyen las áreas donde se presentan tierras salinizadas, en proceso de desertificación o con intensos procesos de erosión que pueden llegar hasta la formación de surcos, cárcavas y estoraques. (Ver figura 31).



FIGURA 31. Tierras desnudas y degradas (TD), donde por procesos de erosión y remoción en masa se generan surcos y cárcavas. Estación 7.



FIGURA 32. Plano de cobertura del suelo en la zona de estudio (Apéndice K).

11 SISMOLOGIA

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

11.1 Amenaza sísmica según la nsr-10 y el estudio de zonificación sismo geotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga.

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

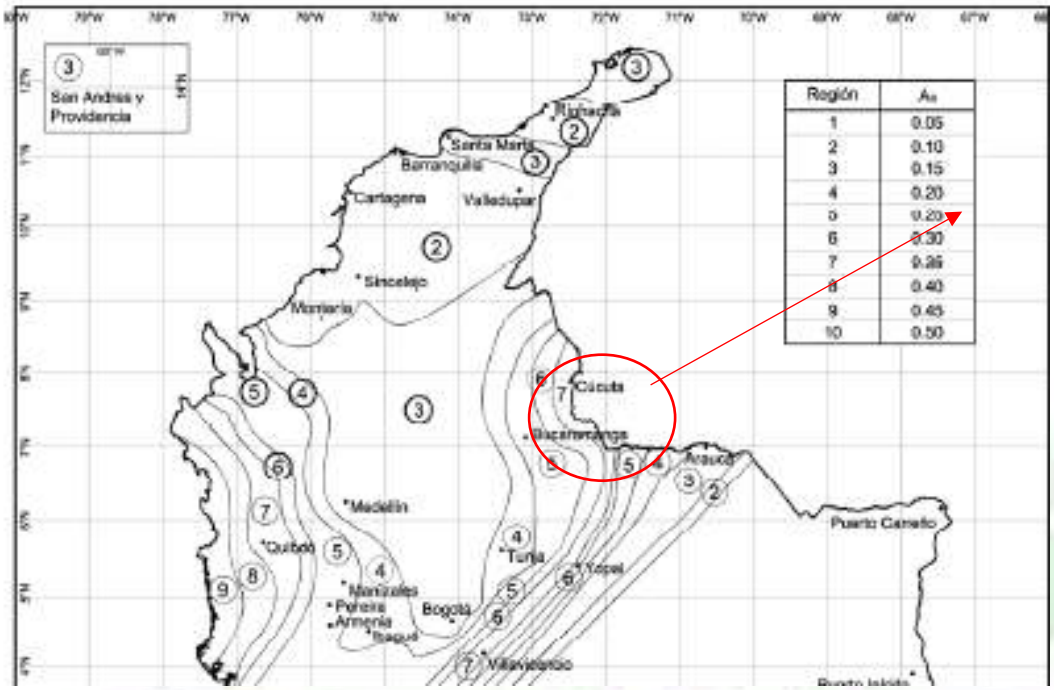


FIGURA 33. Valores de Aceleración Horizontal Pico efectiva (Aa) para cada uno de los Departamentos del pais

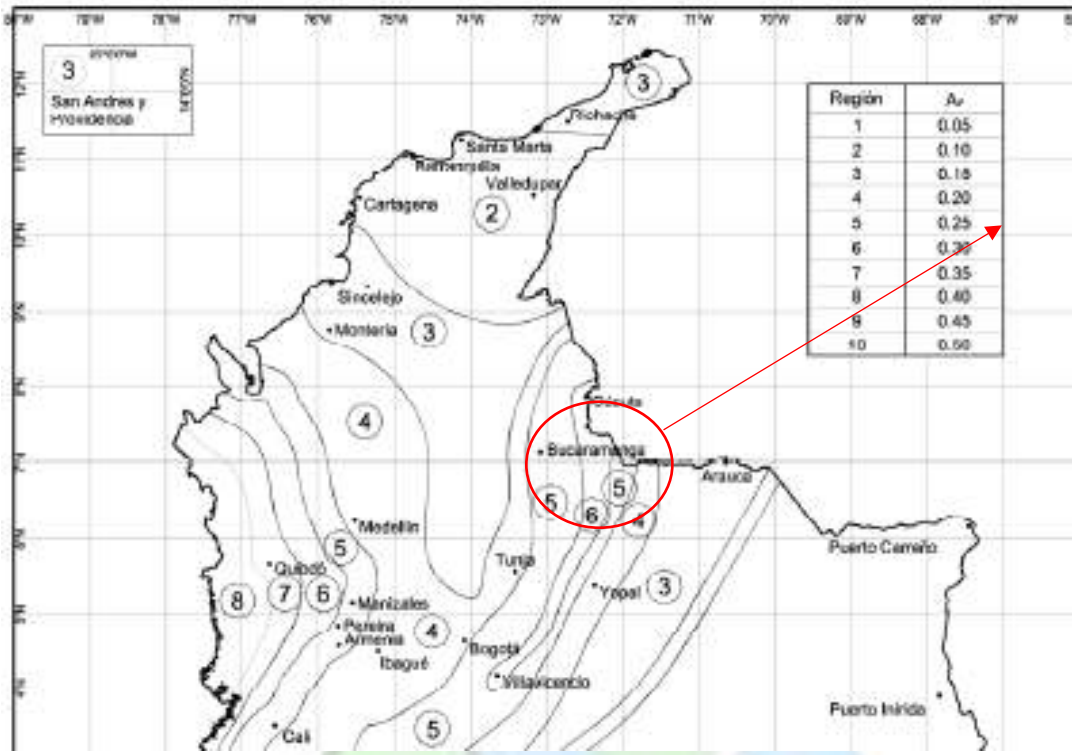


FIGURA 34. Valores de Velocidad Horizontal Pico efectiva (Aa) para cada uno de los Departamentos del país

Tabla 1.Clasificación de la amenaza por regiones

Mayor valor entre A_a y A_v	Asociado en mapas de las figuras A.2.3-2 y A.2.3-3 a Región Nº	Amenaza Sísmica
0.50	10	Alta
0.45	9	Alta
0.40	8	Alta
0.35	7	Alta
0.30	6	Alta
0.25	5	Alta
0.20	4	Intermedia
0.15	3	Intermedia
0.10	2	Baja
0.05	1	Baja

.

Tabla 2. NSR-10 Apéndice A-4 Valores de Aa. Av, Ae y Ad y definición de la zona de amenaza sísmica de los municipios colombianos

Departamento de Santander

Municipio	Código Municipio	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica	A_e	A_d
Bucaramanga	68001	0.25	0.25	Alta	0.15	0.09
Aguada	68013	0.15	0.20	Intermedia	0.17	0.09
Albania	68020	0.15	0.15	Intermedia	0.09	0.06
Aratoca	68051	0.25	0.25	Alta	0.11	0.07
Barbosa	68077	0.15	0.20	Intermedia	0.09	0.06
Barichara	68079	0.20	0.25	Alta	0.13	0.08
Barrancabermeja	68081	0.15	0.15	Intermedia	0.06	0.04
Betulia	68092	0.20	0.20	Intermedia	0.13	0.09
Bolivar	68101	0.15	0.15	Intermedia	0.07	0.04
Cabrera	68121	0.20	0.20	Intermedia	0.13	0.08
California	68132	0.25	0.25	Alta	0.09	0.05
Capitanejo	68147	0.25	0.25	Alta	0.11	0.06
Carcasi	68152	0.25	0.25	Alta	0.12	0.06
Cepitá	68160	0.25	0.25	Alta	0.11	0.06
Cerrito	68162	0.25	0.25	Alta	0.11	0.06
Charalá	68167	0.20	0.25	Alta	0.08	0.05
Charta	68169	0.25	0.25	Alta	0.09	0.06
Chima	68176	0.15	0.20	Intermedia	0.20	0.10
Chipatá	68179	0.15	0.20	Intermedia	0.11	0.07
Cimitarra	68190	0.15	0.15	Intermedia	0.06	0.04

11.2 Movimiento sísmico de diseño.

Los movimientos sísmicos de diseño se definen en función de la aceleración pico efectiva, representada por el parámetro Aa, y de la velocidad pico efectiva, representada por el parámetro Av, para una probabilidad del diez por ciento de ser excedidos en un lapso de cincuenta años. Los valores de estos coeficientes para el Municipio de Bucaramanga son: Aa=0.25, Av=0.25, además se dan a conocer los coeficientes de aceleración pico efectiva de diseño con seguridad limitada y coeficiente de aceleración efectiva para umbral de daño Ae=0.15 y Ad=0.09.

11.3 Tipo de perfil del suelo.

Los efectos locales de la respuesta sísmica de una obra civil deben evaluarse de acuerdo a los perfiles de suelo mostrados en la tabla 32, los cuales se determinan en base a la exploración geotécnica realizada por el especialista de suelos y no dependen del tipo de cimentación empleado. Para el caso en particular la clasificación del tipo de suelo se da gracias al parámetro de velocidad media de onda de corte (Vs) que se encuentra en el estudio de zonificación sismo geotécnica del área metropolitana de Bucaramanga de 2001 (Ver Tabla 31, Mapa Zonificación Geotécnica y Tabla de rangos de Vs para las diferentes descripciones litológicas).

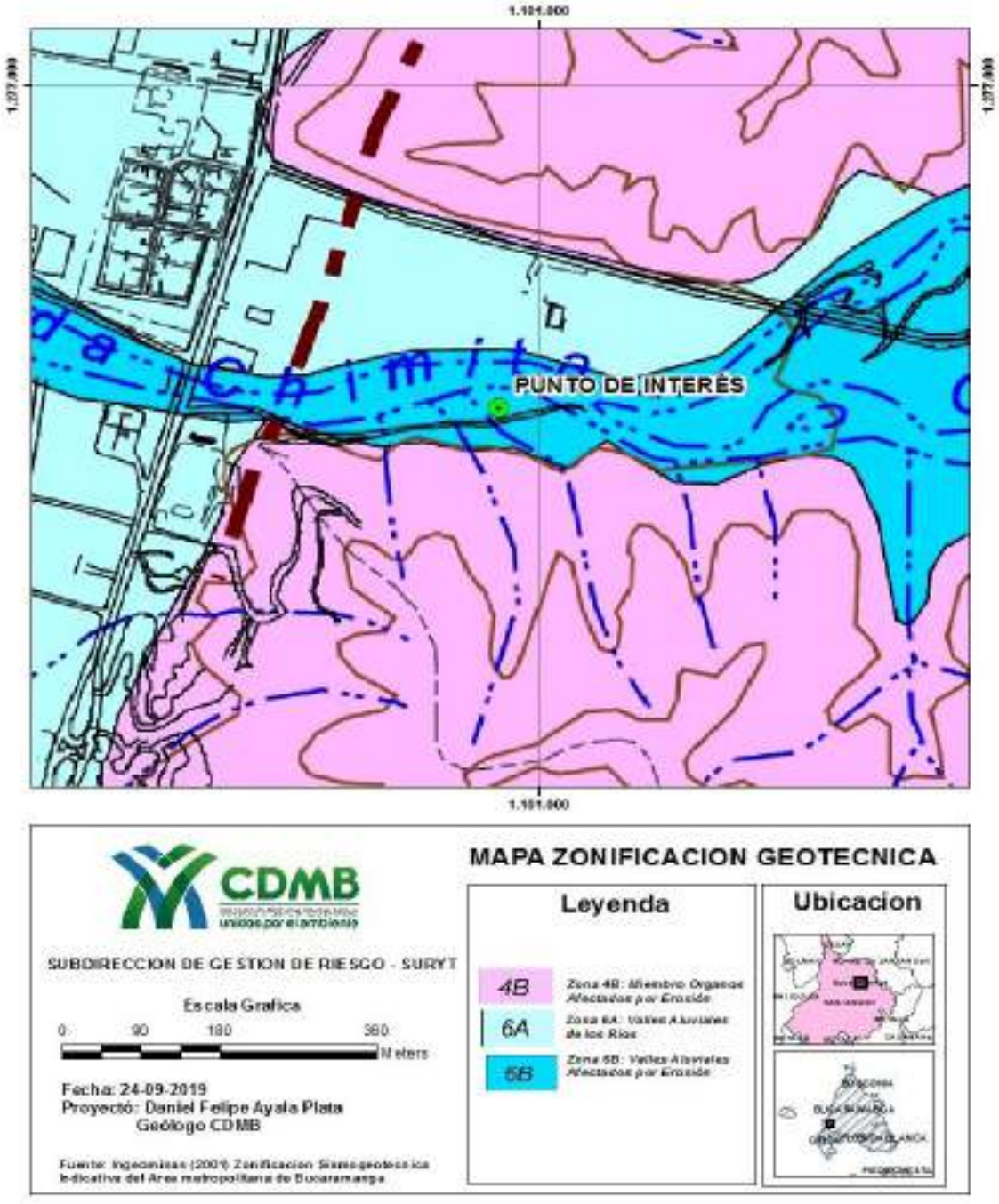


FIGURA 35. Zonificación Sismo-geotécnica del lugar de estudio de 2001 (Fuente: Estudio de Zonificación Sismo geotécnica Indicativa del área metropolitana de 2001).

.

Tabla 3.Tabla de Rangos de Velocidades de corte para diferentes descripciones litológicas.

ZONA GEOTECNICA	SITIOS	DESCRIPCION LITOLOGICA	RANGO Vs (m/seg)
Zona 2	La Albania	Suelo alterado, gravas, limos arcillosos Miembro Finos Roca Ignea	350 800 1350
Zona 3 Sector Sur	Estadio La Flora	Suelo alterado (Miembro Limos Rojos) Miembro Finos Roca Ignea	575 1000 1900
Zona 3 Sector Centro	Parques Los Niños, San Pío y Mejoras Públicas	Suelo alterado (Miembro Limos Rojos), limos arenosos, gravas Arcillas y limos arenosos (Miembro Finos) Miembro Organos Formación Macizo de Santander (Igneo)	375 – 450 800 950 – 1250 1500
Zona 3 Sector Occidente	Marsella Real Terragona	Suelos alterados (Limos Rojos), gravas y arenas Miembro Finos Miembro Organos Formación Girón	300 – 400 1000 1250 – 1450 2250
Zona 4	Villa Helena Villa Rosa José María Córdoba	Suelos alterados Miembro Organos Formación Girón	350 – 425 1150 – 1275 1850 – 1950
Zona 5	Villa San Francisco (Floridablanca)	Suelos alterados, flujo de escombros Miembro Organos o Formación Tambor Neis o Formación Girón	300 925 1650
Zona 5	Campo Verde, La Rioja, San Francisco (Piedecuesta)	Suelos alterados, flujo de escombros Formación Girón o flujo de escombros Formación Girón o Formación Jordán	300 – 550 1250 – 1375 1750 – 1900
Zona 6	Q. Chimita Cárcel de Mujeres	Depósitos aluviales Miembro Organos Formación Girón	400 – 450 1200 – 1500 2100 – 2150
Zona 6	El Poblado, Anillo Vial (Girón)	Depósitos aluviales Miembro Organos Formación Girón	350 – 550 1150 – 1200 1700 – 2050

De acuerdo a este estudio, el asentamiento humano rincón de la paz se clasifica dentro de la Zona geotécnica número 6 en la que predominan los depósitos fluviotorrenciales y limo arenosos pertenecientes al miembro órganos de la formación Bucaramanga y los valles y llanuras de inundación de ríos y quebradas importantes (terrazas bajas y medias). Para este estudio, siendo conservadores se tomaran los valores máximos de velocidad media de la onda de cortante los cuales son 1500 m/s para miembro órganos y 450 m/s para los depósitos aluviales y con esto clasificamos el tipo de suelo y se determina el espectro de diseño.

Tabla 4.Clasificación de los perfiles de suelos, título A de la NSR-10, tabla A.2.4-1.

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$\overline{v}_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	1500 m/s > $\overline{v}_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	760 m/s > $\overline{v}_s \geq 360$ m/s
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\overline{N} \geq 50$, o $\overline{s}_u \geq 100$ kPa (≈1 kgf/cm²)
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	360 m/s > $\overline{v}_s \geq 180$ m/s
	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	50 > $\overline{N} \geq 15$, o 100 kPa (≈1 kgf/cm²) > $\overline{s}_u \geq 50$ kPa (≈0.5 kgf/cm²)
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	180 m/s > $\overline{v}_s$
	perfil que contiene un espesor total **H** mayor de 3 m de arcillas blandas	**IP** > 20 **w** ≥ 40% 50 kPa (=0.50 kgf/cm²) > $\overline{s}_u$
F	Los perfiles de suelo tipo **F** requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases: F_1 — Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. F_2 — Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (**H** > 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). F_3 — Arcillas de muy alta plasticidad (**H** > 7.5 m con índice de Plasticidad **IP** > 75) F_4 — Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (**H** > 36 m)	

Se determinan dos factores de amplificación del espectro por efectos de sitio, Fa (coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de períodos cortos, debida a los efectos de sitio) y Fv (coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de períodos intermedios, debida a los efectos de sitio), estos valores son adimensionales y dependientes de los coeficientes de aceleración Aa, Av y del perfil de suelos de la zona de estudio.

Tabla 5.Valores de coeficiente Fa. Título A de la NSR-10, tabla A.2.4-3

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_a \leq 0.1$	$A_a = 0.2$	$A_a = 0.3$	$A_a = 0.4$	$A_a \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

Nota: Para el perfil tipo **F** debe realizarse una investigación geotécnica particular para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda de acuerdo con A.2.10.

Tabla 6.Valores de coeficiente Fv. Título A de la NSR-10, tabla A.2.4-4.

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_V \leq 0.1$	$A_V = 0.2$	$A_V = 0.3$	$A_V = 0.4$	$A_V \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

Nota: Para el perfil tipo **F** debe realizarse una investigación geotécnica particular para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda de acuerdo con A.2.10.

Tabla 7.Tipo de suelo de acuerdo al título A de la NSR-10.

DESCRIPCION LITOLOGICA	**TIPO DE SUELO**	**Fa**	**Fv**
DEPOSITOS ALUVIALES (Qal,Qal1,Qal2)	TIPO DE PERFIL C	1,15	1.55
MIEMBRO ORGANOS (Qbo)	TIPO DE PERFIL B	1,0	1,0

11.4 Coeficiente de importancia.

Se define el grupo de tipo de uso de todas las obras civiles que se puedan plantear en el talud como Grupo I con un coeficiente de importancia, I, igual a 1.0 Tabla A.2.5-1 (Valores de coeficiente de Importancia I), esta asignación se da debido a la ocupación de características normales que ha tenido el sector. Tabla 8. Valores de coeficiente de Importancia I

Tabla 8. Coeficiente de importancia

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

11.5 Espectro de diseño

Se presenta el espectro de diseño elástico de aceleración para cada tipo de suelo, en el cual el valor de Sa representa el valor de la máxima aceleración horizontal, expresada como una fracción de la aceleración de la gravedad, para un sistema de un grado de libertad con un periodo de vibración T



FIGURA 36. Espectro de diseño para el tipo de suelo B.

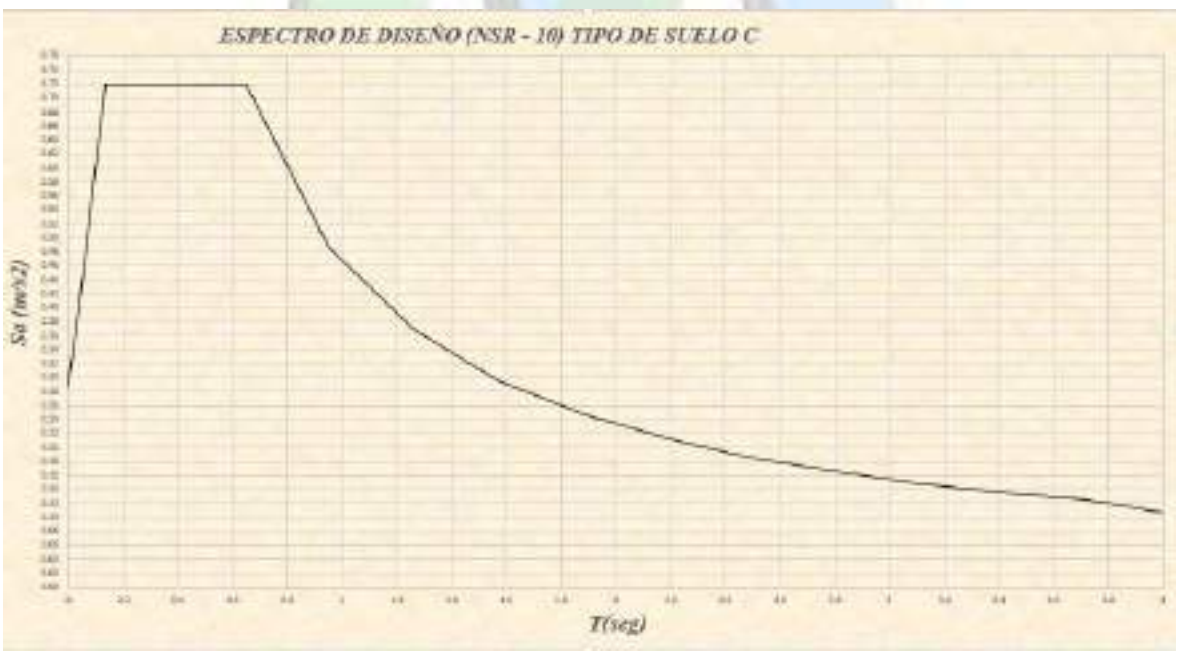


FIGURA 37. Espectro de diseño para el tipo de suelo C.

De acuerdo al análisis del espectro del diseño la Aceleración máxima (A_{max}) presentada en el sector estudio, para un periodo (T) igual a cero (0) evaluado de acuerdo a lo descrito en el titulo H.5 de la NSR-10 para un tipo de suelo C o B la A_{max} es de 0.285 g. y 0.25g respectivamente para Tr = 50años.

11.6 Sismo de diseño para análisis seudoestatico en taludes

El sismo de diseño para el análisis seudoestatico en taludes se analiza de acuerdo a la aceleración sísmica máxima predominante, como se indicó anteriormente la A_{max} de 0.285 g y se tomara para realizar el sismo de diseño de acuerdo a lo establecido por el título H de la NSR-10.

Tabla 9. Valores de Kst/amax mínimos para análisis seudoestaticos en taludes.

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

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

$\mathbf{K_{st}}$= 0.8*0.285= **0.23 g**

Donde:

Kst: Sismo de diseño a ingresar en el modelo geológico geotécnico y análisis seudoestatico en los modelos de estabilidad para periodos de retorno superior a 50 años.

El análisis anterior se realiza de acuerdo a los parámetros tomando como base la zonificación sismo-geotécnica indicativa de 2001, para un periodo de retorno superior a 50 años, con lo anterior se evalúa la amenaza a fenómenos de remoción en masa en condiciones extremas. Para la evaluación en condiciones normales, es decir para tiempos de exposición y periodos de retorno inferiores a 1.0 año, para ello se tomara el estudio General de amenaza sísmica de Colombia 2009 (AIS, 2010), allí se menciona que la forma común de expresar la amenaza sísmica se realiza por medio de la probabilidad de excedencia (q) de un parámetro típico, para el caso se podría mencionar la amplificación Aa, esa probabilidad se toma de 10% sin importar el valor de a_0 (aceleración).

La AIS 2010, de acuerdo a lo dicho anteriormente lo expresa como q=P ($a \geq a_0$, 1 año)= 10% y el periodo de retorno (T) se expresa mediante T=1/q, la probabilidad mínima (q_o) de ocurrencia de un evento con aceleración mayor o igual a a_o se puede expresar como:

$$q_o = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^t$$

Siendo t el tiempo de exposición de la estructura.

En base a lo anterior la AIS 2010, determino curvas de amenaza sísmica para las principales ciudades del país, mediante fuentes de información sismogenica de cada lugar, para Bucaramanga arrogo los resultados que se observan en la figura 38 y 39.

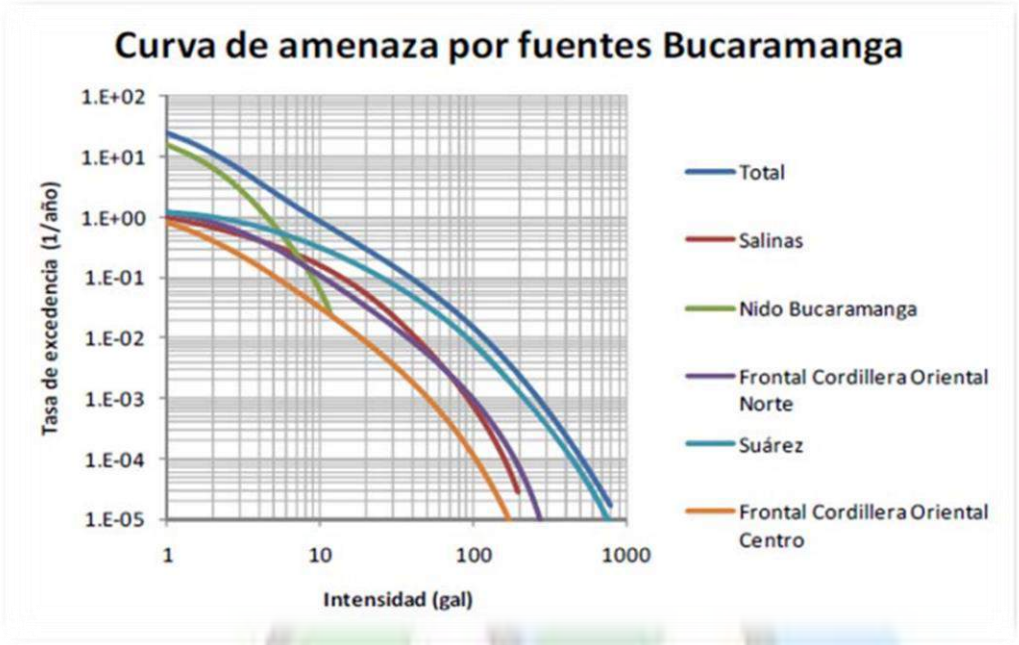


FIGURA 38. Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes del amb (AIS, 2010).

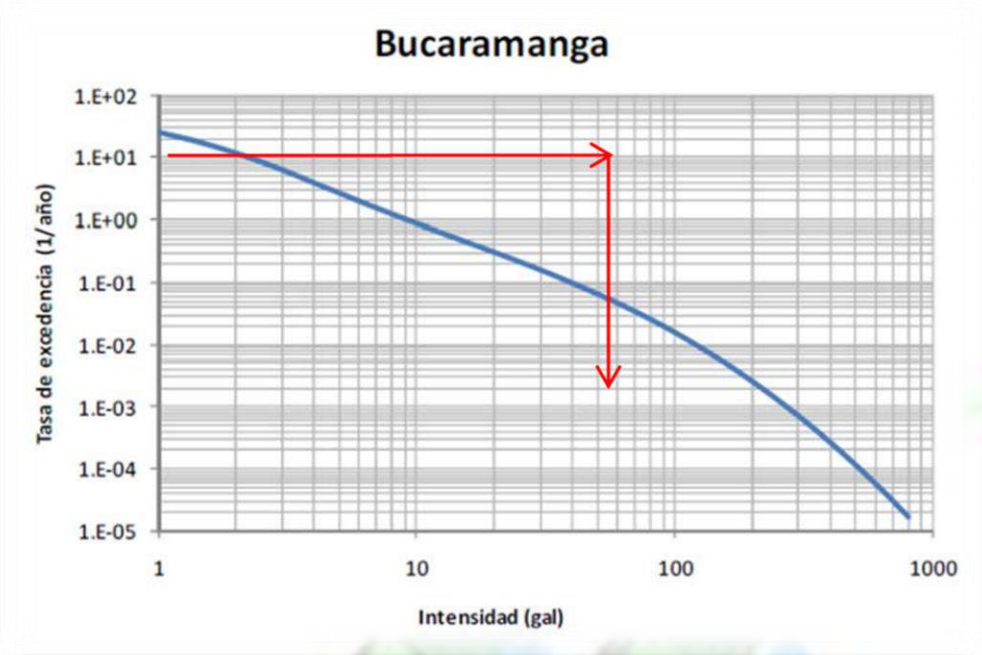


FIGURA 39. Curva envolvente de amenaza aceleración máxima del terreno del amb (AIS, 2010)

De acuerdo a lo anterior y tomando lo descrito en el anexo técnico del Área Metropolitana de Bucaramanga, para el análisis de la amenaza en condiciones normales para periodos de retorno menores a un año (1), se tomaran los siguientes parámetros:

Tabla 10. Parámetros para un periodo de retorno de 1 año.

Bucaramanga	1 Año
Prob. De Ocurrencia	0.900
Prob. De Excedencia (qo)	0.100
Periodo de Exposición (años) t	1
Periodo de Retorno (años) T	10
Tasa de Excedencia	0.1000
Aa (Gales)	40
Aa (g)	0.04

De acuerdo a lo anterior para un análisis en periodos normales (Lapso de 1 año), el valor de Aa es de 0.04.De acuerdo al análisis del espectro del diseño la Aceleración máxima (A_{max}) presentada en el sector de acuerdo a la NSR-10 Titulo A, para un periodo (T) igual a cero (0) evaluado de acuerdo a lo descrito en el titulo H.5 de la NSR-10 y tomando el Aa anteriormente hallado, se encontró una Aceleración máxima igual a:

A_{max}= *Aa*Fa*I.*

A_{max}= *0.04*1.0*1.0*

A_{max}= *0.04 g. Para Tr= 1 año***.**

De la

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

K_{st}= 0.8*0.04= **0.032g.**

Donde:

Kst: Sismo de diseño a ingresar en el modelo geológico geotécnico y análisis seudoestatico en los modelos de estabilidad para periodos de retorno inferiores a 1 año.

12 HIDROLOGIA

12.1 Descripción general.



FIGURA 40. Microcuenca de aportación al Asentamiento humano rincón de la paz – Fuente propia

Los taludes referentes a la zona del presente estudio han sufrido una serie de modificaciones en su uso y su cobertura, como consecuencia de actividades antrópicas, principalmente dirigida a la construcción de viviendas sobre terrenos de altas pendientes, la mayoría de las veces sin criterios técnicos, y sin la autorización ni supervisión de las entidades competentes. Este tipo de construcción modifican las condiciones morfológicas del terreno por el retiro total o parcial de la cobertura vegetal nativa, con lo cual el suelo queda desprotegido ante factores externos, entre los cuales se debe prestar interés particular a las precipitaciones.

Las precipitaciones prolongadas y/o de intensidades altas, son generadores de procesos de erosión y efectos concatenados de movimientos en masa, principalmente en terrenos pendientes con modificaciones en el uso y la cobertura del suelo.

Muchas de las viviendas del asentamiento humano rincón de la paz se encuentra localizadas en pie de laderas del sector cuyas modificaciones en las condiciones originales del terreno, pueden desencadenar en su desestabilización y en eventos de deslizamiento, por lo cual se hace necesaria la ejecución de estudios detallados que determinen el nivel de riesgo al que están expuestos los habitantes de este sector, así como las acciones necesarias para su mitigación**.**

El presente informe evalúa las precipitaciones y los caudales de los flujos de escorrentía en el asentamiento humano rincón de la paz, donde la propia construcción inadecuada de viviendas puede generar un riesgo por erosión superficial y remoción en masa.

Con base en un análisis técnico de las precipitaciones correspondientes a diferentes periodos de retorno, se calculan sus correspondientes caudales de escorrentía y se proponen obras hidráulicas para su eficiente control, encaminadas a ser complementarias de las demás obras y trabajos de estabilización requeridos en los taludes del sector de interés.

El análisis hidrológico se ejecuta con base en la información hidrometeoro lógica disponible y en base al estudio de actualización de amenaza por inundación del Río de Oro sector Vahondo hasta la confluencia con el Rio Surata-CDMB, con lo cual se estiman las precipitaciones esperadas correspondientes a los diferentes periodos de retorno.

Con base en las características del área aferente al sector de interés, se escoge la metodología más adecuada para la estimación de los caudales de escorrentía correspondientes a cada periodo de retorno.

Una vez estimados los caudales por escorrentía que puedan llegar a presentarse para diferentes periodos de retorno, se analiza la necesidad de proyectar obras hidráulicas, como complemento de las obras de estabilización.

12.2 Información hidrológica

El Área Metropolitana de Bucaramanga cuenta con una gran cantidad de estaciones hidro-meteorológicas, instaladas principalmente por la necesidad de monitorear la incidencia de las precipitaciones en los fenómenos erosivos y de remoción en masa que se presentan en los límites de la meseta.

Una evaluación preliminar de la red de monitoreo, arroja que en los municipios de Bucaramanga, Lebrija, Girón, Piedecuesta, Floridablanca, Toná, Rionegro y Matanza, se encuentran 32 estaciones activas, de las cuales sólo la mitad cuentan con información consecutiva en volumen y confiabilidad adecuados, incluyendo tanto estaciones pluviométricas como pluviográficas.

Dentro de las estaciones pluviográficas (automatizadas) se escoge la más cercana geográficamente a la zona de estudio la cual es la estación Apto Palonegro.

12.3 Periodo de retorno (T)

El período de retorno es un término probabilístico, conocido también como intervalo de recurrencia o frecuencia de diseño, que corresponde al intervalo de tiempo en el cual se espera que un evento dado sea igualado o excedido una sola vez en promedio.

Otros autores utilizan la probabilidad asociada de ocurrencia del evento, conocida como probabilidad de excedencia anual que corresponde al inverso del período de retorno (1/T) expresado como porcentaje.

De acuerdo a la normatividad vigente de la CDMB, que mediante Resolución No. 1294 del año 2009 estableció sus Normas Geotécnicas, los estudios de amenaza por inundación, para la determinación de los niveles máximos deben utilizar periodos de retorno de 100 y 500 años, de acuerdo a las siguientes definiciones:

- **Creciente básica:** La creciente básica se define como la creciente con un 1% de posibilidad de ocurrencia en un año, equivalente a una creciente con periodo de retorno de 100 años.

- **Creciente máximo:** La creciente máxima o súper-creciente es la que tiene un 0.2% de probabilidad de ocurrencia en un año, equivalente a una creciente con periodo de retorno de 500 años.

12.4 Procesamiento de la información hidrológica disponible- Estación Palonegro

Los estudios hidrológicos requieren partir de valores extremos (máximos). Para la determinación de éstos se conocen dos distribuciones comúnmente usadas: la distribución de Gumbel tipo I y la distribución Normal.

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

La distribución acumulada viene dada por la ecuación:

$$F(X) = exp^{-exp^{(-\frac{x-u}{\pi})}}$$

Dónde:

$$\alpha = \frac{S\sqrt{6}}{\pi} \qquad u = 0{,}5772\alpha$$

Definiendo la variable reducida,

$$\delta = \frac{x-u}{\alpha}$$

Se tiene entonces que,

$$P(X \leq x) = \frac{1}{T} = e^{-e^{-b}}$$

Dónde:

x = Variable en estudio (Precipitación)

$\bar{x}$ = Media de la variable en estudio

S = Desviación estándar de la variable en estudio

La probabilidad de ocurrencia de un evento con un valor igual o mayor que un valor dado x se expresa con la siguiente ecuación, la cual permite determinar la magnitud de la variable hidrológica correspondiente a un periodo de retorno dado.

$$P(X \leq x) = \frac{1}{T} = e^{-e^{-b}}$$

12.4.1 Ajuste de serie de datos a una distribución normal

Función densidad

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi s}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-x}{s}\right)^2}$$

Para -8< x < 8

Dónde:

f(x) = función densidad normal de la variable x

x = variable independiente 38X

S = parámetro de escala, igual a la desviación estándar de x

Función densidad de la distribución normal estándar

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\Pi}} e^{-\frac{Z^2}{2}}$$

Para -8 < Z <8

Dónde:

$$Z = \frac{x - \bar{X}}{S}$$

Función de distribución acumulada

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\Pi}} \int_{-\infty}^{x} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-X}{S}\right)^2} dx$$

$$F(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\Pi}} \int_{-\infty}^{Z} e^{-\frac{Z^2}{2}} dz$$

Cálculo de la función de distribución acumulada

Abramowitz y Stegun (1965), han dado varias aproximaciones para la F.D.A. de la variable normal estandarizada Z. Una aproximación polinomial con un error menor que 10-5 es:

F(Z) ˜ 1 - f(Z) (0.4361836 t - 0.1201676 t2 + 0.9372980 t3)

Dónde:

F(Z) = es la función de distribución acumulada

f(Z) = es la función densidad de la variable estandarizada

t = es definido para Z = 0, como:

$$t = \frac{1}{1 + 0{,}2316419|Z|}$$

Si Z < 0, la F.D.A. se calcula como:

1 - F (Z)

Cálculo de la inversa de la normal estándar

Una aproximación para el cálculo de la inversa de la distribución normal estándar, válida para

10-7 < F (Z) <0.5, es:

$$Z = \sqrt{\frac{y^2[(4y + 100)y + 205]}{[(2y + 56)y + 192]y + 131}}$$

Dónde:

$y = -\ln(F(Z))$

Estimación de parámetros método de momentos y máxima verosimilitud

$$\bar{X} = \mu = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} X_i$$

$$s = \sigma = \left[\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(X_i - X)^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

Estimación de parámetros método de momentos lineales

$\bar{X} = \mu = \lambda_1$

$S = \sqrt{\Pi\lambda_2}$

Dónde:

λ1= primer momento lineal

λ2= segundo momento lineal

12.4.2 Ajuste de serie de datos a una distribución log normal

Función densidad

$$f(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\Pi}\sigma_y} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{\ln x - \mu_y}{\sigma_y}\right]^2}$$

Para 0 < x < 8

Donde μy, σy, son la media y desviación estándar de los logaritmos naturales de x, es decir de lnx, y representan respectivamente, el parámetro de escala y el parámetro de forma de la distribución.

Función de la distribución acumulada

$$F(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\Pi}\sigma_y}\int_0^x e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{\ln x-\mu_y}{\sigma_y}\right]^2} dx$$

Si

$$Z = \frac{\ln x - \mu_y}{\sigma_y}$$

Se tiene la distribución normal estándar:

$$F(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\Pi}}\int_{-\infty}^{Z} e^{-\frac{Z^2}{2}} dZ$$

Estimación de parámetros método de momentos

$$\mu_y = \frac{1}{2}\ln(\frac{X^2}{1+C_v^2})$$

$$\sigma_y = \sqrt{\ln(1+C_v^2)}$$

Dónde:

$\bar{X}$ = media aritmética de x

C_V = Coeficiente de variación

$$C_v = \frac{S}{\bar{X}}$$

Estimación de parámetros método de máxima verosimilitud

$$\mu_y = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\ln x_i$$

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(\ln x_1 - \mu_y)^2$$

Estimación de parámetros método de momentos lineales

$$\mu_y = \lambda_1$$

$$\sigma_y = \sqrt{\Pi}\lambda_2$$

Dónde:

λ1, λ2 = primer y segundo momento lineal calculados con los yi = lnxi

12.4.3 Ajuste de serie de datos a una distribución Gumbel

Función densidad

$$f(x) = \frac{1}{a} e^{-\frac{x-\mu}{a} - e^{-\frac{x-\mu}{a}}}$$

Para: -8 < x < 8

Dónde:

0 < α < 8, es el parámetro de escala

-8 < μ < 8, es el parámetro de posición, llamado también valor central o moda

Función de la distribución acumulada

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{(x-\mu)}{a}}}$$

La variable aleatoria reducida Gumbel, se define como:

$$y = \frac{x-\mu}{a}$$

Con lo cual, la función acumulada reducida Gumbel es:

$$G(y) = e^{-e^{-y}}$$

Estimación de parámetros método de momentos

$$a = \frac{\sqrt{6}}{\Pi} S = 0{,}78S$$

$$\mu = \bar{X} = 0{,}45S$$

Dónde:

$$\bar{X} = \mu = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} X_i$$

$$s = \sigma = \left[\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(X_i - \bar{X})^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

Estimación de parámetros método de momentos lineales

Los parámetros de la distribución Gumbel, por el método de los momentos lineales se encuentran con las siguientes ecuaciones:

$$a = \frac{\lambda_2}{\ln 2}$$

$$\mu = \lambda_s - 0{,}577215664901532861a$$

Dónde:

λ1= primer momento lineal

λ2= segundo momento lineal

12.4.4 Ajuste de serie de datos a una distribución log gumbel

Función de la distribución acumulada

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{(\ln x - \mu)}{a}}}$$

La variable aleatoria reducida Log-Gumbel, se define como:

$$y = \frac{\ln X - \mu}{a}$$

Con lo cual, la función acumulada reducida Log-Gumbel es:

$$G(y) = e^{-e^{-y}}$$

Proceso de cálculo

Para el cálculo de los parámetros de la serie de datos:

x1, x2, x3, ..., xN

Se convierte a sus logaritmos, luego se calcula la media y desviación estándar, con las siguientes ecuaciones:

Media:

$$\bar{X} \ln x = \frac{\sum \ln x}{N}$$

Desviación estándar:

$$S_{\ln x} = \sqrt{\frac{\sum (\ln x - \bar{X} \ln x)^2}{N-1}}$$

Estimación de parámetros método de momentos

$$a = \frac{\sqrt{6}}{\Pi} S_{\ln x} = 0{,}78 S_{\ln x}$$

$$\mu = \bar{X} \ln 0{,}57721 \; a = \bar{X} \ln x \; 0{,}45 \; S_{\ln x}$$

Estimación de parámetros método de momentos lineales

Los parámetros de la distribución Log-Gumbel, por el método de los momentos lineales se encuentras con las siguientes ecuaciones:

$$a = \frac{\lambda_2}{\ln 2} \qquad \mu = \lambda_1 - 0{,}577215664901532861a$$

Dónde:

λ1= primer momento lineal

λ2= segundo momento lineal

Nota: para calcular los momentos lineales λ1, λ2, trabajar con los yi = lnxi.

Para este cálculo se utiliza el software HidroEsta2, este se alimenta con los datos de precipitación máxima en 24 horas. Primero el programa verifica la bondad de ajuste escogida, y determina su confiabilidad de acuerdo al número de datos y valores. Este software fue desarrollado por Villon Bejar, Maximo. Software para cálculos hidrológicos y su uso es libre.

Análisis Probabilísticos de datos: En estudios hidráulicos se exige la determinación de la magnitud de las características hidrológicas que pudieran ocurrir con cierta frecuencia para valores máximos durante un período determinado. Para esto, se deben analizar estadísticamente las observaciones realizadas en los puestos de medida, verificando con qué frecuencia tomaría cada una de ellas determinado valor. Posteriormente, se pueden evaluar las probabilidades teóricas.

12.4.5 Resultados hidroesta2 - Ajuste de datos a la distribución Normal

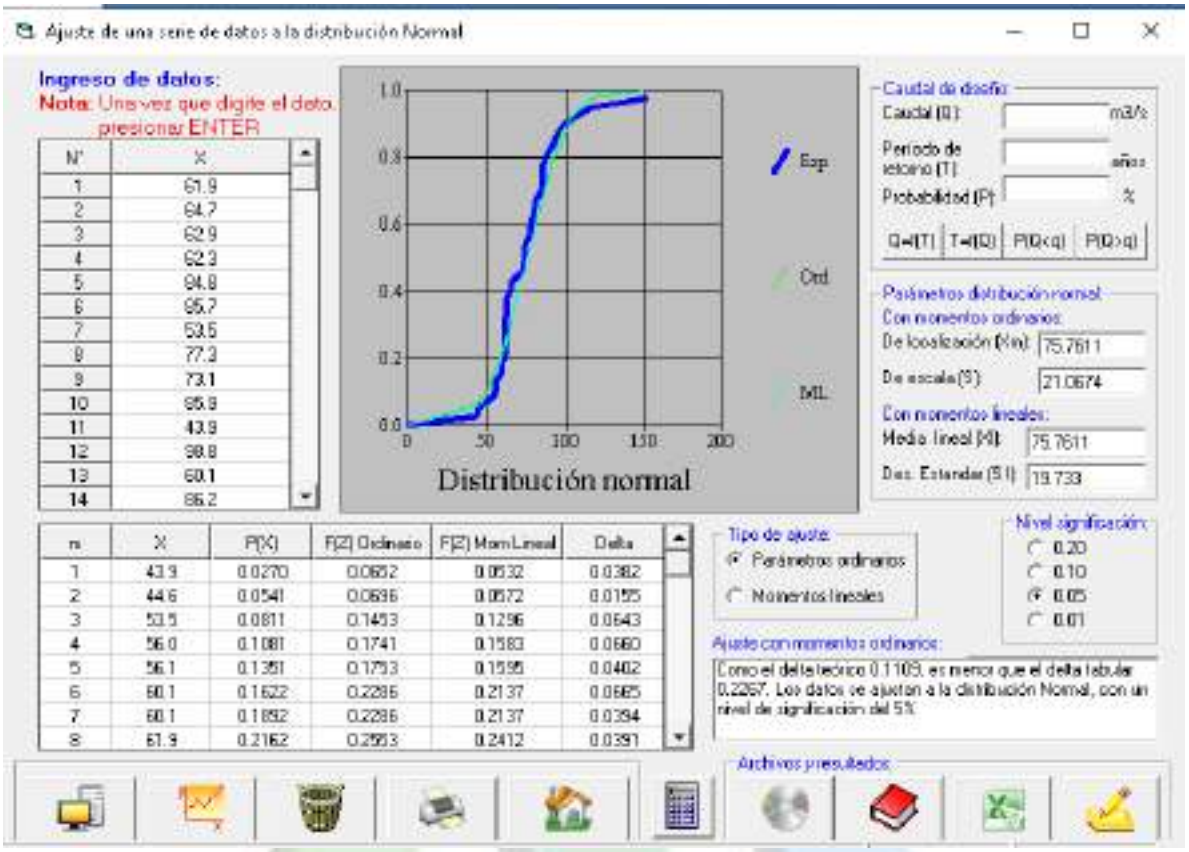


FIGURA 41. Datos de precipitación máx. 24 Horas – distribución Normal Estación Palonegro – Fuente: El Consultor

Como el delta teórico 0.1109, es menor que el delta tabular 0.2267. Los datos se ajustan a la distribución Normal, con un nivel de significación del 5%.

12.4.6 Resultados hidroesta2 - Ajuste de datos a la distribución log-Normal

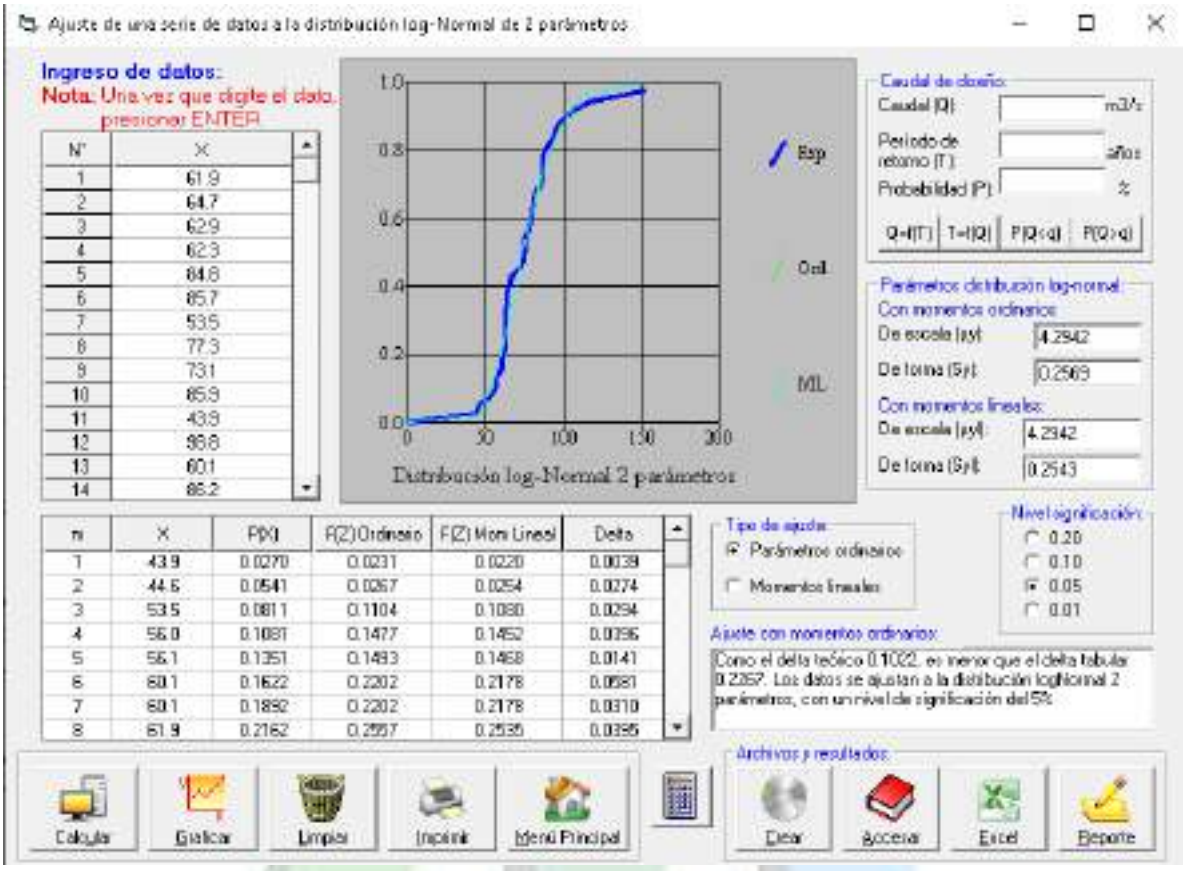
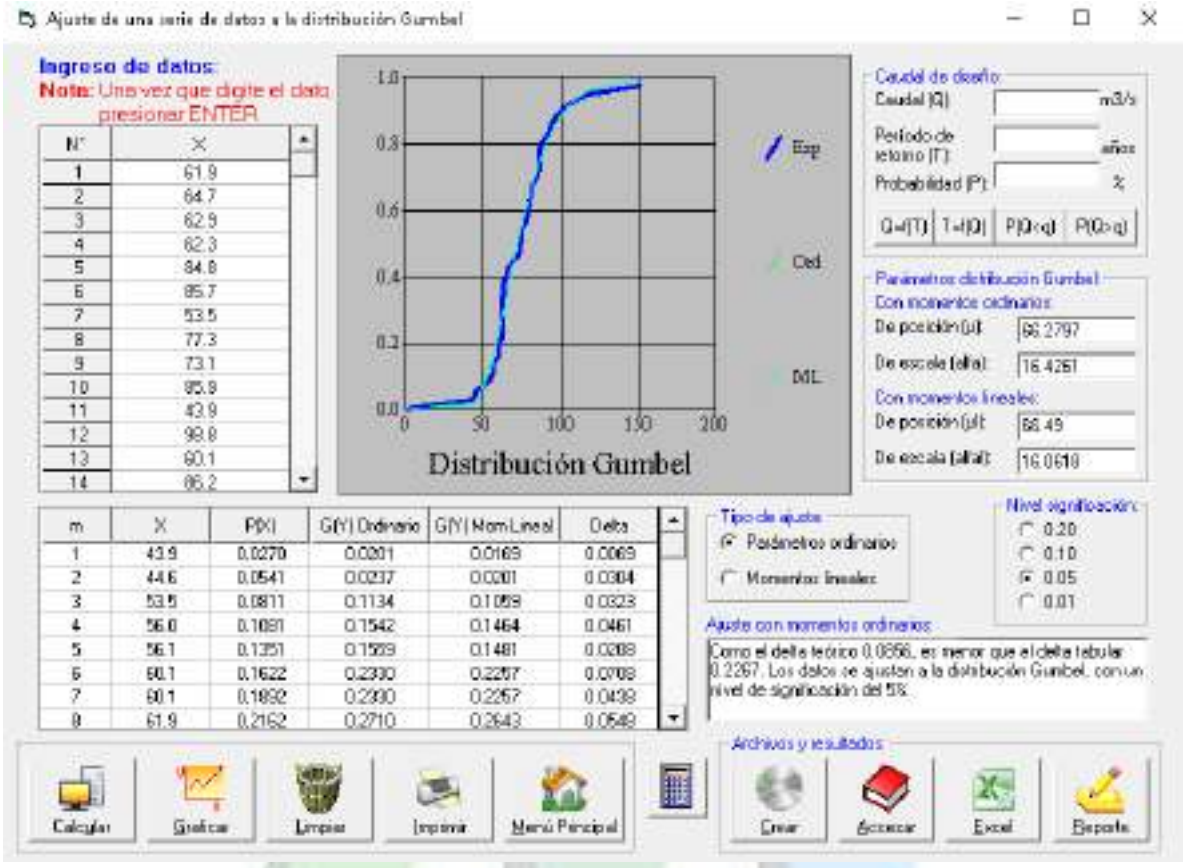


FIGURA 42. Datos de precipitación máx. 24 Horas – distribución Log Normal de 2 parámetros Estación Palonegro – Fuente: El Consultor

Como el delta teórico 0.1022, es menor que el delta tabular 0.2267. Los datos se ajustan a la distribución log-Normal 2 parámetros, con un nivel de significación del 5%.

12.4.7 Resultados hidroesta2- Ajuste de datos a la distribución Gumbel



N°	X
1	61.9
2	64.7
3	62.9
4	62.3
5	84.8
6	85.7
7	53.5
8	77.3
9	73.1
10	85.8
11	43.9
12	98.8
13	60.1
14	86.2

m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom.Lineal	Delta
1	43.9	0.0270	0.0201	0.0169	0.0069
2	44.6	0.0541	0.0237	0.0201	0.0304
3	53.5	0.0811	0.1134	0.1059	0.0323
4	56.0	0.1081	0.1542	0.1464	0.0461
5	56.1	0.1351	0.1589	0.1481	0.0238
6	60.1	0.1622	0.2330	0.2257	0.0709
7	60.1	0.1892	0.2330	0.2257	0.0439
8	61.9	0.2162	0.2710	0.2643	0.0549

FIGURA 43. Datos de precipitación máx. 24 Horas – distribución Gumbel Estación Palonegro – Fuente: El Consultor

Como el delta teórico 0.0856, es menor que el delta tabular 0.2267. Los datos se ajustan a la distribución Gumbel, con un nivel de significación del 5%.

12.4.8 Resultados hidroesta2 - Ajuste de datos a la distribución LogGumbel

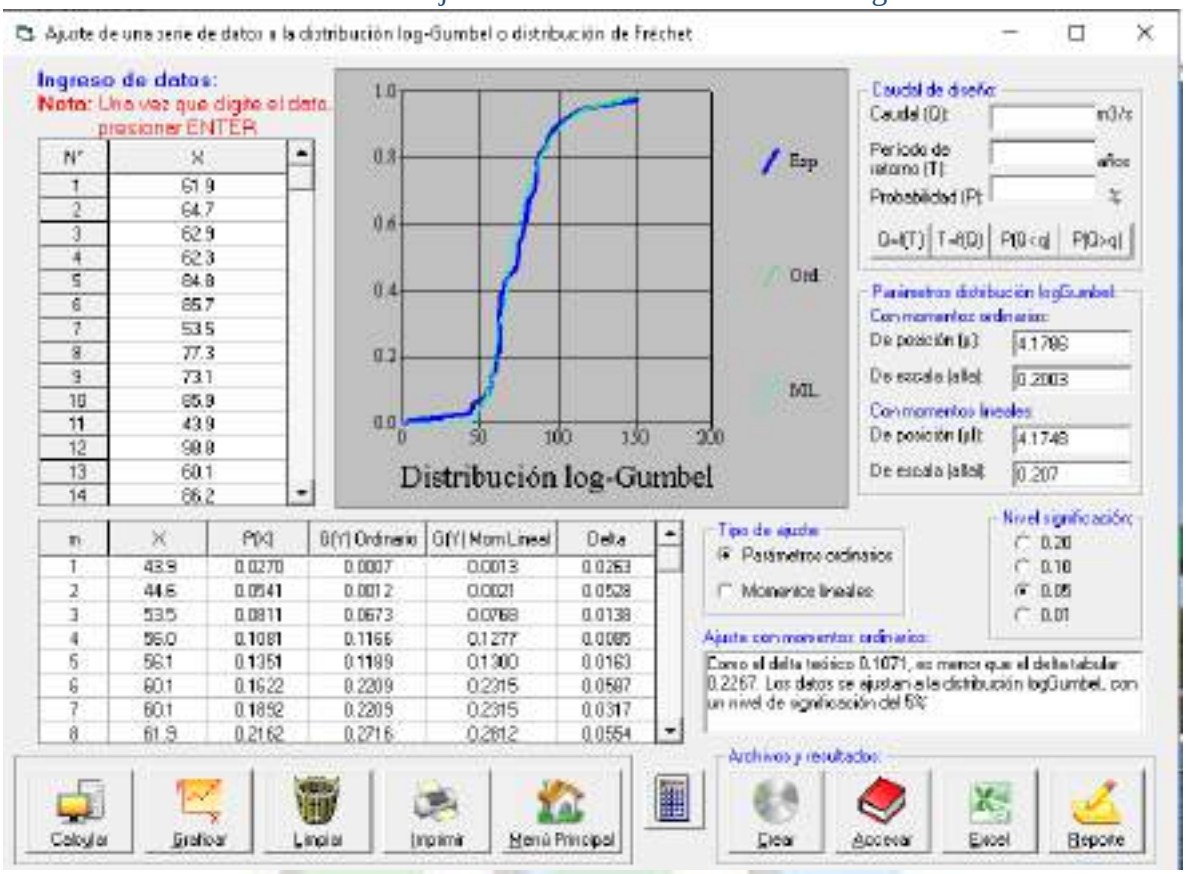


FIGURA 44. Datos de precipitación máx. 24 Horas – distribución Log Gumbel Estación Palonegro – Fuente: El Consultor

Como el delta teórico 0.1071, es menor que el delta tabular 0.2267. Los datos se ajustan a la distribución log-Gumbel, con un nivel de significación del 5%.

Definida la confiabilidad de la distribución para la estación se procede a calcular el valor máximo para los diferentes períodos de retorno, con la ayuda del mismo software. En el presente estudio se utilizó la distribución de valores extremos Tipo Gumbel para la estación palonegro debido a que este presentaba el valor de delta teórico menor con respectos a las otras distribuciones.

De acuerdo con esta estimación los valores de precipitación máximos para los periodos de retorno de 25, 50, 100 y 500 años se registran en la **Tabla 11.**

Tabla 11. Precipitación Máxima 24 Horas en mm para periodos de retorno

Estación	**Distribución**	**Tr 25 años**	**Tr 50 años**	**Tr 100 años**	**Tr 500 años**
Palonegro	Gumbel	118.82	130.37	141.84	168.35

Fuente: Consultoría

12.5 Cálculo de intensidad de la lluvia

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

La información de entrada para estimar las curvas IDF sintéticas, corresponde a los resúmenes multianuales de precipitación máxima en 24 horas.

El método, divide el territorio nacional en cinco grandes zonas, permitiendo realizar un análisis independiente con estaciones pertenecientes a las mismas regiones geográficas, buscando condiciones meteorológicas regidas por fenómenos similares para cada grupo de estaciones. La división propuesta por Vélez (1983), contempla las siguientes regiones climatológicas: Región Andina (R1), Región Caribe (R2), Región Pacífica (R3), Región Orinoquia (R4) y Región Amazonia (R5). A partir de esta división se calcularon los índices que necesita la ecuación a utilizar (Vargas M. & Díaz Granados, 2000).

La Ecuación de aplicación es:

$$i = \frac{a * T^b * M^d}{(\frac{t}{60})^c}$$

Dónde:

i = Intensidad en mm/h

T = Tiempo de retorno en años

t = Duración de la lluvia en minutos.

M = Precipitación máxima promedio anual en 24 horas a nivel multianual.

"a, b, c, d" = Parámetros de ajuste de la regresión regionalizados de acuerdo a la Tabla y gráfica.

Tabla 12. Valores de regresión de ajuste para Colombia

Región	**a**	**b**	**c**	**d**
Andina	0.94	0.18	0.66	0.83
Caribe	24.85	0.22	0.50	0.10
Pacífico	13.92	0.19	0.58	0.20
Orinoquía	5.53	0.17	0.63	0.42

Fuente: Manual INVIAS

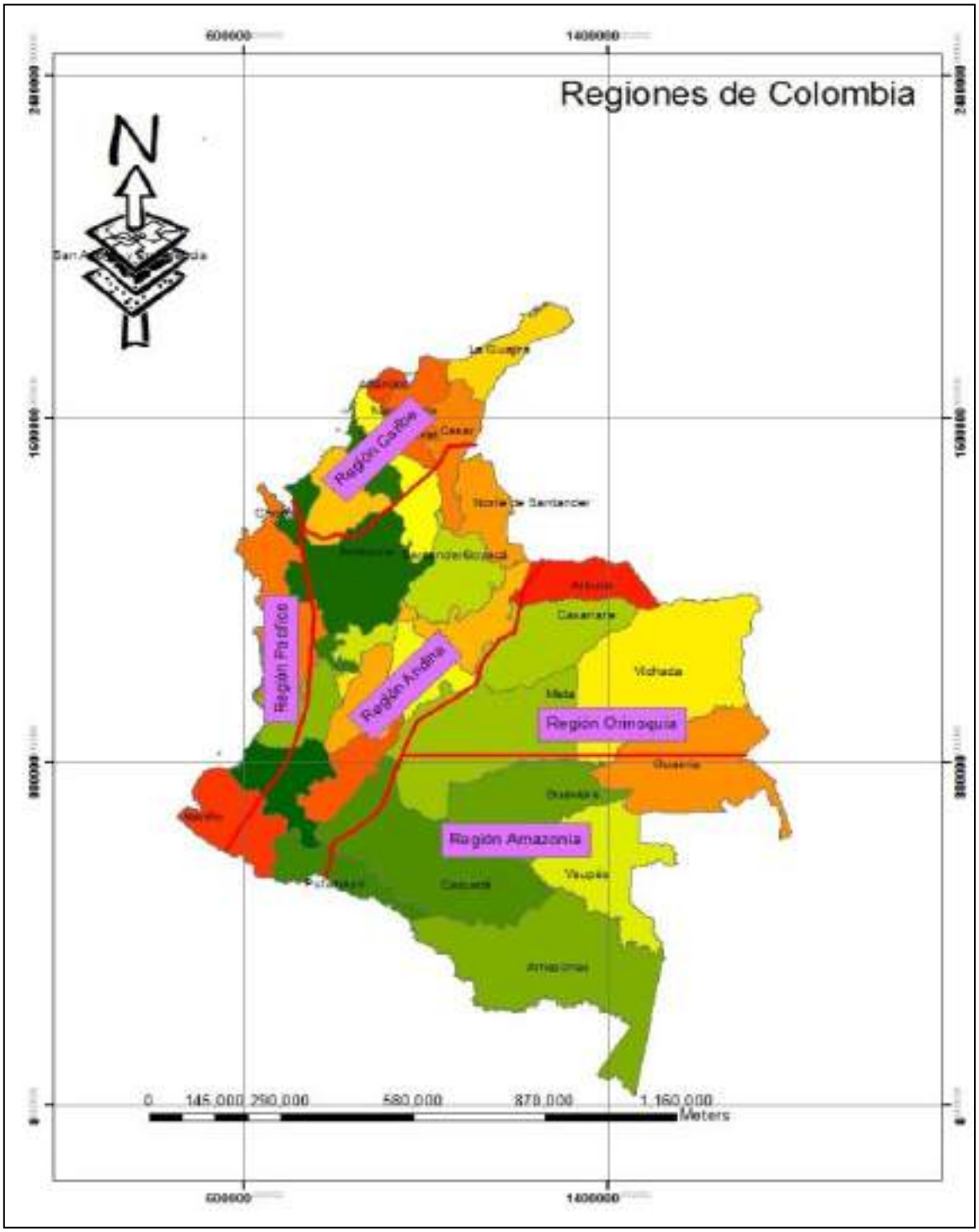


FIGURA 45. División regiones de Colombia – Fuente: Manual INVIAS

Utilizando la metodología presentada, se calcularon las siguientes curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), para la estación representativa:

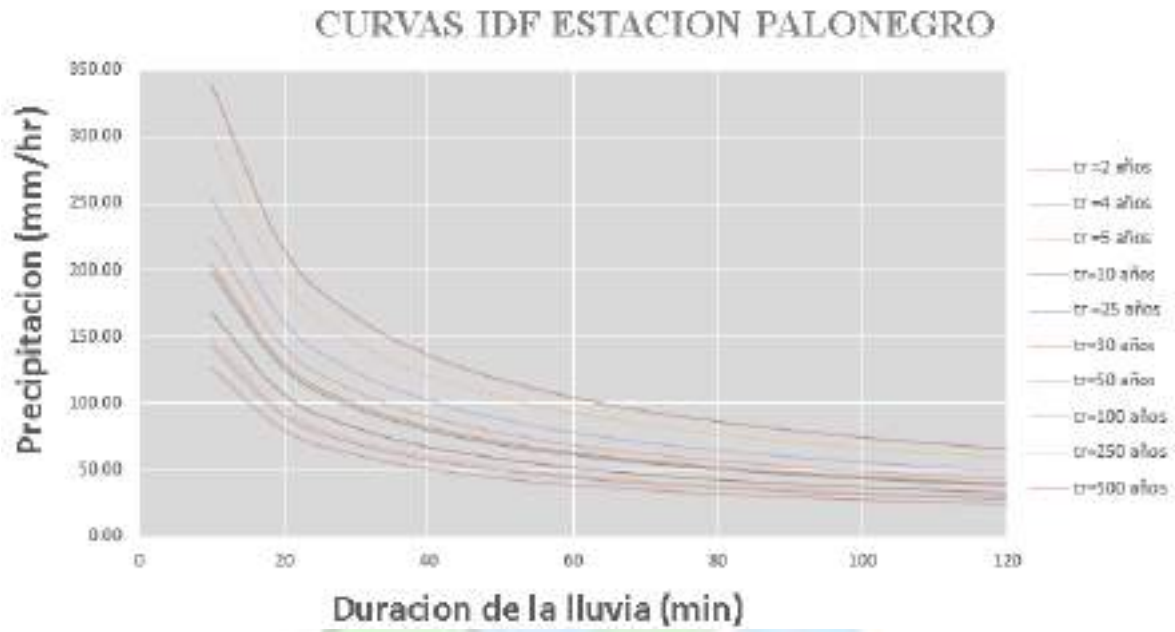


FIGURA 46. Curvas IDF Estación Palonegro – Fuente: Consultoría

Tabla 13. Tabla de Intensidades en mm/hora – Estación Palonegro

Duración/ Tr	**Intensidad en mm/hora – Estación Palonegro**									
	2	**4**	**5**	**10**	**25**	**30**	**50**	**100**	**250**	**500**
10	126.13	142.90	148.75	168.52	198.74	205.37	225.15	255.06	300.80	340.77
20	79.83	90.44	94.14	106.65	125.78	129.97	142.49	161.42	190.37	215.67
30	61.08	69.20	72.04	81.61	96.24	99.46	109.03	123.52	145.67	165.03
40	50.52	57.23	59.58	67.50	79.60	82.26	90.18	102.16	120.48	136.49
50	43.60	49.40	51.42	58.25	68.70	70.99	77.83	88.17	103.98	117.80
60	38.66	43.80	45.59	51.65	60.91	62.94	69.01	78.18	92.19	104.44
70	34.92	39.56	41.18	46.65	55.02	56.85	62.33	70.61	83.27	94.34
80	31.97	36.22	37.71	42.72	50.38	52.06	57.07	64.66	76.25	86.38
90	29.58	33.51	34.89	39.52	46.61	48.16	52.80	59.82	70.55	79.92
100	27.60	31.26	32.54	36.87	43.48	44.93	49.26	55.80	65.81	74.55
110	25.91	29.36	30.56	34.62	40.83	42.19	46.25	52.40	61.80	70.01
120	24.47	27.72	28.85	32.69	38.55	39.84	43.67	49.48	58.35	66.10

12.6 Cálculo de caudal de diseño

En el presente capítulo se estiman los caudales correspondientes a diferentes periodos de retorno para las franjas de escorrentía determinadas con base en la topografía del área de estudio.

Una vez se diseñen obras geotécnicas para mitigación de problemas de estabilidad de terreno, estas se complementarán con obras hidráulicas para control de escorrentía, diseñadas para cada área aferente particular.

12.6.1 Metodologías para estimación de caudales

Para el cálculo de caudales de diseño existen varios métodos:

1. Método racional: Es posiblemente el método más antiguo de la relación lluvia – escorrentía. Este modelo toma en cuenta el área de la cuenca, la altura o intensidad de precipitación, y la relación entre precipitación y escorrentía.

2. Métodos envolventes: Toman en cuenta sólo el área de la cuenca. Aunque no son métodos que analicen propiamente la relación entre la lluvia y la escorrentía son de enorme utilidad en los casos donde se requiera solo estimaciones gruesas de los gastos máximos probables o bien cuando se carezca por completo de información. Consisten en obtener gráficas de ensayos de forma empírica, existen diferentes fórmulas como la de Creager y Lowry, además de diferentes gráficas para México, EUA, y otros países, pero en nuestro caso no existen.

3. Método del Hidrograma Unitario: Tiene en cuenta además del tipo de suelo y área, la forma. El volumen escurrido puede ser el mismo para dos cuencas similares pero el caudal máximo, y las demás características del hidrograma varían de una cuenca a otra, el método del hidrograma unitario toma en cuenta estas variaciones considerando además la altura total de precipitación y el área de la cuenca, su forma, pendiente, vegetación, etc., aunque no de forma explícita.

12.6.2 Caudales de escorrentía aferentes

Debido a su poca extensión, es adecuado suponer una distribución homogénea de la precipitación sobre la totalidad del área aportante, obteniendo un caudal resultante igual un porcentaje de la precipitación multiplicado por el área de la cuenca hasta el sector estudiado.

La duración de la lluvia seleccionada deberá ser el tiempo necesario, para que una gota de agua recorra la mayor distancia posible dentro del área aferente. Este tiempo corresponde al tiempo de concentración (Tc).

Por lo tanto, debido a las características del área aportante, de las tres metodologías descritas anteriormente, se selecciona como más confiable el método racional.

12.6.3 Utilización del método racional

Según la Dirección Nacional de Carreteras de España, entidad que adelantó un perfeccionado estudio para determinar el cálculo de caudales máximos en pequeñas cuencas (áreas menores a 75 Km^2), el Método Racional es un método que además de ser sencillo cumple con los requisitos de confiabilidad requeridos.

Otros autores como H.H. Barnes, V. T. Chow y el UI.S. Forest Service lo recomiendan por su sencillez y confiabilidad aunque ellos difieren en que el tamaño de la cuenca debe ser menor de 12,5 Km2.

Según “Carreteras, Estudio y Proyecto” de Jacobo Carciente, esta fórmula solo es confiable en cuencas pequeñas menores de 5 Km^2 (500 Ha).

El método es criticado debido a que lleva en sí un grado de incertidumbre que puede aportar valores de caudal sobrestimados en cuencas grandes, pero otras entidades lo tienen como base de sus estudios, entre los cuales se cuentan las normas de la TEM (Trans European North – South Motorway), Asphalt Institute, MOPU (Ministerio de obras públicas y Urbanismo de España) ASCE & WPCF en el diseño de alcantarillados y el Ministerio de Obras Públicas de Venezuela.

Para seguir sustentando el Método Racional se puede mencionar que Lourens A.V. Hiemtra y Brian M. Reich efectuaron en 1967 un estudio comparativo (Engineering Judament and Small Area Flood Peaks, Colorado State University 1.967) de 5 métodos de estimación de caudales (Racional, SCS, BPR, Chow y TMP) en 45 cuencas pequeñas y concluyeron que el Método Racional da razonables estimativos del caudal siempre y cuando se escoja bien el coeficiente de escorrentía. Esto es factible en cuencas pequeñas, donde las condiciones de escorrentía suelen ser uniformes.

La fórmula racional fue desarrollada originalmente para estimar el escurrimiento en áreas urbanas. El uso de esta fórmula se remonta a 1889, cuando Emil Kuichling la menciona por primera vez.

12.6.4 Marco teórico método racional

La fórmula racional expresa que la descarga es igual a un porcentaje de la precipitación multiplicado por el área de la cuenca. La duración de la lluvia seleccionada deberá ser el tiempo necesario, en minutos, para que una gota de agua llegue a la estructura de drenaje desde el punto más alejado de la cuenca. Este tiempo se llama tiempo de concentración (Tc).

La estimación de los caudales se hará entonces utilizando el Método Racional que matemáticamente se expresa así:

$$Q = k * C * I * A$$

Donde;

Q = Descarga o caudal estimado en un sitio determinado.
C = Coeficiente de escorrentía (adimensional).
I = Intensidad de lluvia.
A = Área de drenaje.
k = Coeficiente por corrección de unidades.

La fórmula racional está basada en las hipótesis de Krimgold:

- El escurrimiento resultante de cualquier intensidad de lluvia es un máximo cuando esta intensidad de lluvia dura, al menos tanto como el tiempo de concentración.

- El escurrimiento resultante de una intensidad de lluvia, con una duración igual o mayor que el tiempo de concentración, es una fracción de la precipitación.

- La frecuencia de la máxima descarga es la misma que la de la intensidad de lluvia para el tiempo de concentración dado.

- La relación entre máxima descarga y tamaño del área de drenaje es la misma que la relación entre duración e intensidad de precipitación.

- El coeficiente de escorrentía es el mismo para lluvias de diversas frecuencias.
- El coeficiente de escorrentía es el mismo para todas las lluvias en una cuenca dada.

El Método Racional no toma en cuenta el efecto de almacenamiento de la cuenca, pues supone que la descarga es igual a la precipitación pluvial menos toda la retención de la cuenca.

Tampoco considera variaciones de intensidad de lluvia en el área durante todo el tiempo de concentración. Estas suposiciones hacen particularmente susceptible de errores de cálculo cuando el tamaño del área de drenaje es grande, pero sobrestimando los caudales, por lo cual se puede decir que de cualquier forma, el método racional garantiza un buen grado de confiabilidad, siempre y cuando se escoja adecuadamente el valor del coeficiente de escorrentía.

Con valores correctos de precipitación pluvial y para un escurrimiento dado, la fórmula racional siempre sobrestima el escurrimiento, con errores apreciables al aumentar el tamaño de la cuenca. Por consiguiente esta fórmula solo es confiable en cuencas pequeñas, como la que nos ocupa, generalmente de menos de 500 hectáreas (5 Km^2).

12.6.5 Parámetros para el método racional

12.6.5.1 Coeficiente de escorrentía (C)

Tabla 14. Coeficientes de escorrentía recomendados por las normas de alcantarillado CDMB – EMPAS E.S.P

SECTOR	Coeficiente de Escorrentía C
Comercial	0,9
Desarrollos residenciales con casas contiguas y predominio de zonas duras	0,8
Desarrollos residenciales multifamiliares con bloques contiguos y con zonas duras entre ellos	0,7
Desarrollos residenciales unifamiliares con casas contiguas y predominio de jardines	0,6
Residencial con casas rodeadas de jardines	0,5
Desarrollos residenciales multifamiliares apreciablemente separados entre ellos	0,5
Áreas recreacionales con predominio de zonas verdes y cementerios tipo jardines	0,3

El coeficiente de escorrentía depende las características y las condiciones del suelo. La tasa de infiltración disminuye a medida que la lluvia continúa y también es influida por las condiciones de humedad antecedentes en el suelo.

Otros factores que influyen son la intensidad de la lluvia, la proximidad del nivel freático, el grado de compactación del suelo, la porosidad del subsuelo, la vegetación, la pendiente del suelo y el almacenamiento por depresión.

Teniendo en cuenta lo anterior, se ha considerado establecer un coeficiente de escorrentía de 0,5, es decir que un 50% del agua que cae como lluvia, drena hacia los cauces naturales, el 50% restante se infiltra en el terreno natural.

12.6.5.2 Tiempo de concentración

Se define como el tiempo necesario, desde el inicio de la precipitación, para que toda la cuenca contribuya al sitio de la obra de drenaje en consideración, o, en otras palabras, el tiempo que toma el agua desde los límites más extremos de la cuenca hasta llegar a la salida de la misma. En general el tiempo de concentración se calcula por medio de ecuaciones empíricas, entre las cuales se cuentan las siguientes (Manual de drenaje INVIAS).

Ecuación de Kirpich:

$$Tc = 0.06628\left(\frac{L}{S^{0.5}}\right)^{0.77}$$

Dónde:

Tc: Tiempo de concentración, en horas (h).
L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km).
S: Pendiente entre las elevaciones máxima y mínima del cauce principal, en (m/m).

Ecuación de Temez:

$$Tc = 0.30\left(\frac{L}{S^{0.25}}\right)^{0.76}$$

Dónde:

Tc: Tiempo de concentración, en horas (h).
L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km).
S: Pendiente total del cauce principal, en porcentaje (%).

Ecuación de Giadotti:

$$Tc = \frac{4A^{0.5} + 1.50L}{0.8(LS)^{0.5}}$$

Dónde:

Tc: Tiempo de concentración, en horas (h).

A: Área de la cuenca, en kilómetros cuadrados (km^2).

L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km).

S: Pendiente del cauce principal, en metros por metro (m/m).

Se estima para la cuenca el tiempo de concentración por los diferentes métodos y se detallan las características morfométricas para la cuenca analizada.

Tabla 15. Tiempos de concentración en horas calculados

Cuenca	A (km2)	L(Km)	CotaMax	CotaMin	S (m/m)	Tc Kirpich	Tc Temez	Tc Giandoti
Rincón de la Paz	0.1418	0.412	780	690	0.2184	0.06014	0.2041	8.98

Fuente: Consultor con metodología del Manual INVIAS

Se asume el tiempo de concentración de la ecuación de Temez de 0.2041 horas que son 12 minutos para así calcular la intensidad y el caudal de diseño.

12.6.5.3 Intensidad de lluvia (i)

Para el análisis de intensidad de lluvia se adoptan las curvas IDF calculadas para la Estación Palonegro (Ver Figura 56), establecida como representativa y se empleó la metodología y los resultados encontrados en la investigación de Rodrigo Vargas (1998) de la Universidad de los Andes, denominado "Curvas Sintéticas de Intensidad Duración Frecuencia para Colombia.

Las curvas IDF de la estación representativa, arrojan el valor de intensidad de la precipitación para diferentes periodos de retorno, con base en el Tc del área aferente.

12.6.5.4 Caudal de diseño

Tomando como referencia el área aferente determinada con base en la topografía del estudio, se calculan los caudales aportantes en el sector para diferentes periodos de retorno, utilizando el método racional.

Se inicia por estimar los tiempos de concentración por las ecuaciones de Kirpich, Temez y Giandotti para escoger el menor de ambos, con el objetivo de obtener la mayor intensidad de precipitación posible de las curvas IDF (Ver Figura 56). Debido a que el área aferente es relativamente pequeña, los tiempos de concentración obtenidos para el área son los mínimos, por lo cual se utilizan en los cálculos de caudal, las máximas intensidades para cada uno de los periodos de retorno.

Finalmente, en la tabla 16 se determinan los caudales correspondientes a los periodos de retorno de 100 y 500 años como lo indica la normativa vigente de la CDMB mediante la resolución 1294, para diseñar medidas de mitigación encaminadas al control de las aguas de escorrentía del sector estudio.

Tabla 16. Caudales de diseño para periodos de reorno de 100 y 500 años.

Resultados		
Datos	**un**	**Valor**
Coeficiente de escorrentía (c)		0.5
Área cuenca de aporte	ha	14.186
Longitud de la cuenca	m	412
Cota Máxima	m	780
Cota Mínima	m	690
Pendiente promedio	m/m	0.2183
Tc (tiempo de concentración)	min	10
Intensidad para un periodo de retorno de 100 años	mm/hr	255.063
Intensidad para un periodo de retorno de 500 años	mm/hr	340.771
Caudal de diseño (100 años)	m3/s	5.025
Caudal de diseño (500 años)	m3/s	6.714

Fuente: Consultor

13 ANALISIS DE AMENAZA POR REMOCION EN MASA

13.1 Modelo geológico geotécnico

Para la determinación los factores de seguridad por deslizamiento y los niveles de amenaza por fenómenos de remoción en masa, es necesario efectuar el modelo geológico geotécnico del área analizada, donde se relacionen todas las variables principales que interactúan con la masa del suelo encontrado.

Para la definición de un modelo completo es necesario contar con la mayor cantidad de información del área analizada, donde se identifica principalmente información correspondiente a: Topografía base, cobertura vegetal, hidrología, hidrogeología, hidráulica, geología, geomorfología, pendientes del terreno y levantamiento de predios y obras estructurales existentes entre otros parámetros puntuales de interés. Con esta información se determinan las características puntuales de la zona del modelo geológico, donde se identifica principalmente la hidrología, hidrogeología, la geología superficial la morfometría y la geomorfología del área analizada, donde se determina y se realiza la cartografía detallada de las unidades geológicas superficiales y demás temáticos, donde mediante evidencias de campo, se puede definir mediante el levantamiento de los contactos, identificando la variación de los materiales en profundidad.

Después de haber reconocido la geología, geomorfología, cobertura vegetal, hidrología y los materiales del sector, y en base a la información secundaria recopilada por la entidad se procede a definir el modelo geológico geotécnico, donde se agrupan los materiales de acuerdo a sus características geológicas, geomorfologías y geotécnicas similares. En el modelo geológico geotécnico, también es indispensable tener en cuenta los factores detonantes de la inestabilidad de laderas, que corresponden principalmente al ascenso del nivel freático y la aceleración pseudo estática.

Para validar el modelo geotécnico de estabilidad, en base a la topografía, la geología, la geomorfología y la hidrología del sector, se definieron seis (06) secciones transversales tipo (A, B, C, D, E, F), teniendo encueta que son las secciones con mayores pendientes, con el fin de garantizar el buen comportamiento geotécnico de la sección más crítica. Para los modelos geológicos geotécnico, se levantaros los detalles de las obras existentes y se incluyeron al modelo geotécnico.

En relación a la aceleración pseudo estática de diseño Kst, se definió de acuerdo a los lineamientos de la norma NSR 10.

Una vez caracterizados los parámetros de diseño geotécnico, se calculan los factores de seguridad de deslizamiento (fenómenos de remoción en masa), mediante métodos aceptados. Obtenidos los factores de seguridad e identificadas las superficies de falla y los volúmenes de suelos comprometidos en el deslizamiento, se procedió a definir las áreas en amenaza, que son función de los factores de seguridad obtenidos. Finalmente se realizó la cartografía temática del plano de amenaza por fenómenos de remoción en masa para los escenarios estático y dinámico actual como se puede observar en las siguientes figuras.

13.2 Marco teórico:

13.2.1 Método de análisis "equilibrio limite y factor de seguridad"

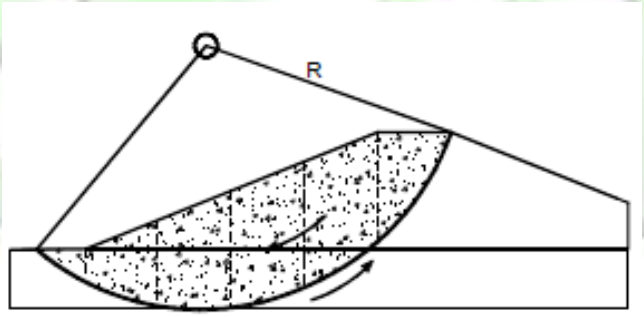
Existen diferentes metodologías para el análisis de estabilidad de laderas, a continuación, se presentan algunas metodologías utilizadas: Limite de equilibrio, Esfuerzo – Deformación, discontinuos esfuerzo - deformación de elementos discretos, cinemáticos estereográficos para taludes en roca, Dinámica de caídos de roca, dinámica de flujo. De acuerdo al comportamiento de la ladera identificada, se adopta la metodología de Equilibrio límite.

Un análisis de equilibrio límite permite obtener un factor de seguridad o a través de un análisis regresivo, obtener los valores de la resistencia al cortante en el momento de la falla. Una vez se han determinado las propiedades de resistencia al cortante de los suelos, las presiones de poros y otras propiedades del suelo y del talud, se puede proceder a calcular el factor de seguridad ante deslizamiento del talud. Este análisis de estabilidad consiste en determinar si existe suficiente resistencia en los suelos del talud para soportar los esfuerzos de cortante que tienden a causar la falla o deslizamiento.

La teoría de equilibrio límite supone que, en el caso de generarse un movimiento en masa, las fuerzas actuantes y resistentes son iguales a lo largo de toda la superficie de falla, y equivalentes a un factor de seguridad 1.0. El análisis se puede realizar estudiando directamente la totalidad de la longitud de la superficie de falla o dividiendo la masa deslizada en tajadas o dovelas. Generalmente, los métodos son iterativos y cada uno ofrece diferentes grados de precisión.

El factor de seguridad es empleado por los ingenieros para conocer cuál es el factor de amenaza para que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña. Fellenius (1922) presentó el factor de seguridad como la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla:

$$F.S. = \frac{\text{Resistencia al cortante disponible}}{\text{Esfuerzo al cortante actuante}} \qquad F.S. = \frac{\text{Momento resistente disponible}}{\text{Momento actuante}}$$



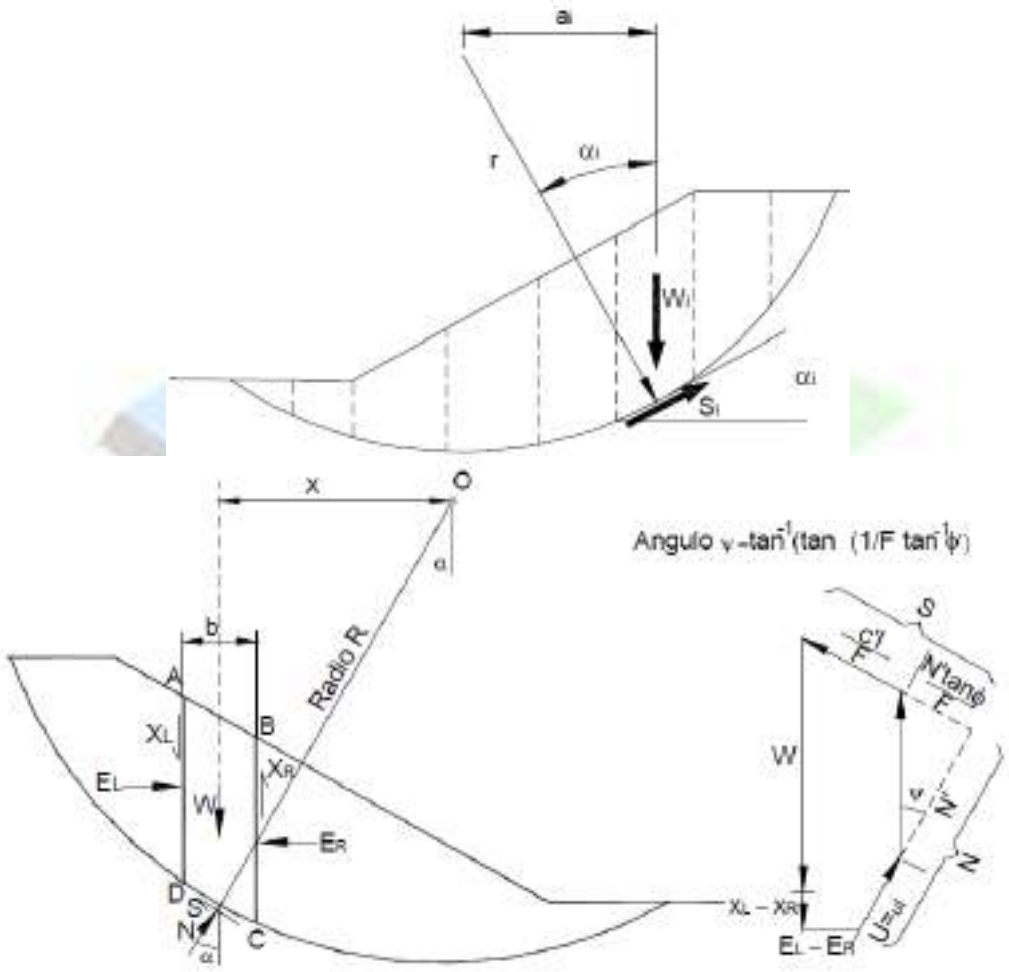


FIGURA 47. Deslizamientos, análisis geotécnico, FUENTE: Jaime Suarez.

Parámetros utilizados: Topografía del talud, estratigrafía, ángulo de fricción, cohesión, peso unitario, niveles freáticos y cargas externas.

Ventajas: Existe una gran cantidad de paquetes de software. Se obtiene un número de factor de seguridad. Analiza superficies curvas, rectas, cuñas, inclinaciones, etc. Análisis en dos y tres dimensiones con muchos materiales, refuerzos y condiciones de nivel de agua.

Desventaja: Genera un número único de factor de seguridad sin tener en cuenta el mecanismo de inestabilidad. El resultado difiere de acuerdo con el método que se utilice. No incluye análisis de las deformaciones.

Para los análisis de estabilidad, se utilizó el método de equilibrio límite, asumiendo superficies de falla circular, esta superficie de falla es característica de los movimientos analizados sobre las unidades geológicas identificados en las zonas críticas, en los modelos de análisis de estabilidad de taludes se aplicaron metodologías conocidas.

Dentro de los métodos de equilibrio límite, se pueden identificar diferentes autores que crearon metodologías para la determinación de factores de seguridad, para la determinación de la estabilidad de las laderas, a continuación, se presenta una tabla donde se presenta diferentes autores:[1]

Tabla 17. Métodos de análisis de estabilidad de taludes

Método	Superficies de Falla	Equilibrio	Características
Talud infinito	Rectas	Fuerzas	Bloque delgado con nivel freático, falla paralela a la superficie.
Bloques o cuñas	Cuñas con tramos rectos	Fuerzas	Cuñas simples, dobles o triples, analizando las fuerzas que actúan sobre cada cuña.
Espiral logarítmica (Frohlich, 1953)	Espiral logarítmica	Fuerzas y momentos	Superficie de falla en espiral logarítmica. El radio de la espiral varía con el ángulo de rotación.
Arco circular, (Fellenius, 1922)	Circulares	Momentos	Círculo de falla, el cual es analizado como un solo bloque. Se requiere que el suelo sea cohesivo ($\phi = 0$).
Ordinario o de Fellenius (Fellenius 1927)	Circulares	Fuerzas	No tiene en cuenta las fuerzas entre dovelas.
Bishop simplificado (Bishop 1955)	Circulares	Momentos	Asume que todas las fuerzas de cortante, entre dovelas, son cero.
Janbú Simplificado (Janbú 1968)	Cualquier forma	Fuerzas	Asume que no hay fuerza de cortante entre dovelas.
Sueco Modificado. U.S. Army Corps of Engineers (1970)	Cualquier forma	Fuerzas	Las fuerzas entre dovelas tienen la misma dirección que la superficie del terreno.
Lowe y Karafiath (1960)	Cualquier forma	Fuerzas	Las fuerzas entre dovelas están inclinadas en un ángulo igual al promedio de la superficie del terreno y las bases de las dovelas.
Spencer (1967)	Cualquier forma	Momentos y fuerzas	La inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada, pero son desconocidas.
Morgenstern y Price (1965)	Cualquier forma	Momentos y fuerzas	Las fuerzas entre dovelas, sea asume, que varían de acuerdo con una función arbitraria.
Sarma (1973)	Cualquier forma	Momentos y fuerzas	Utiliza el método de las dovelas en el cálculo de la magnitud de un coeficiente sísmico requerido para producir la falla.

1 Suarez Díaz Jaime. *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales,* Instituto De Investigación, 1998

Tabla 18. Métodos de análisis de estabilidad de taludes.

Autor	Parámetros	Inclinación de talud	Método analítico utilizado	Observaciones
Taylor (1948)	c_u c, ϕ	0-90° 0-90°	$\phi = 0$ Círculo de fricción	Análisis no drenado. Taludes secos solamente.
Bishop y Morgenstern (1960)	c, ϕ, r_u	11-26.5°	Bishop	Primero en incluir efectos del agua.
Gibsson y Morgenstern (1960)	c_u	0-90°	$\phi = 0$	Análisis no drenado con cero resistencia en la superficie y c_u aumenta linealmente con la profundidad.
Spencer (1967)	c, ϕ, r_u	0-34°	Spencer	Círculos de pie solamente.
Janbú (1968)	c_u c, ϕ, r_u	0-90°	$\phi = 0$ Janbú GPS	Una serie de tablas para diferentes efectos de movimiento de agua y grietas de tensión.
Hunter y Schuster (1968)	c_u	0-90°	$\phi = 0$	Análisis no drenado con una resistencia inicial en la superficie y c_u aumenta linealmente con la profundidad.
Chen y Giger (1971)	c, ϕ	20-90°	Análisis límite	
O´Connor y Mitchell (1977)	c, ϕ, r_u	11-26°	Bishop	Bishop y Morgenstern (1960) extendido para incluir $N_c = 0.1$
Hoek y Bray (1977)	c, ϕ c, ϕ	0-90° 0-90°	Círculo de fricción Cuña	Incluye agua subterránea y grietas de tensión. Análisis de bloque en tres dimensiones.
Cousins (1978)	c, ϕ	0-45°	Círculo de fricción	Extensión del método de Taylor (1948).
Charles y Soares (1984)	ϕ	26-63°	Bishop	Envolvente de falla no lineal de Mohr-Coulomb.
Barnes (1991)	c, ϕ, r_u	11-63°	Bishop	Extensión de Bishop y Morgenstern (1960) para un rango mayor de ángulos del talud.

Fuente. Deslizamientos, análisis geotécnico, Jaime Suarez.

13.2.2 Método de bishop

Bishop (1955) presentó un método utilizando dovelas y teniendo en cuenta el efecto de las fuerzas entre las dovelas. Bishop asume que las fuerzas entre dovelas son horizontales, es decir, que no tiene en cuenta las fuerzas de cortante.

La solución rigurosa de Bishop es muy compleja y por esta razón, se utiliza una versión simplificada de su método, de acuerdo con la expresión:

$$F.S. = \frac{\sum \left[\frac{c'\Delta l \cos\alpha + (W'u\Delta l \cos\alpha)\tan\phi'}{\cos\alpha + (sen\alpha \tan\phi')/FS} \right]}{\sum W sen\alpha}$$

Bishop Simplificado

$$F_s = \frac{\sum \left[\frac{(c' b_n + W_n (1 - r_{un}) \tan\phi') \sec\alpha_n}{1 + \frac{\tan\phi' \tan\alpha_n}{F_s}} \right]}{\sum W_n \sin\alpha_n}$$

Donde:

Δl = longitud de arco de la base de la dovela

W = Peso de cada dovela

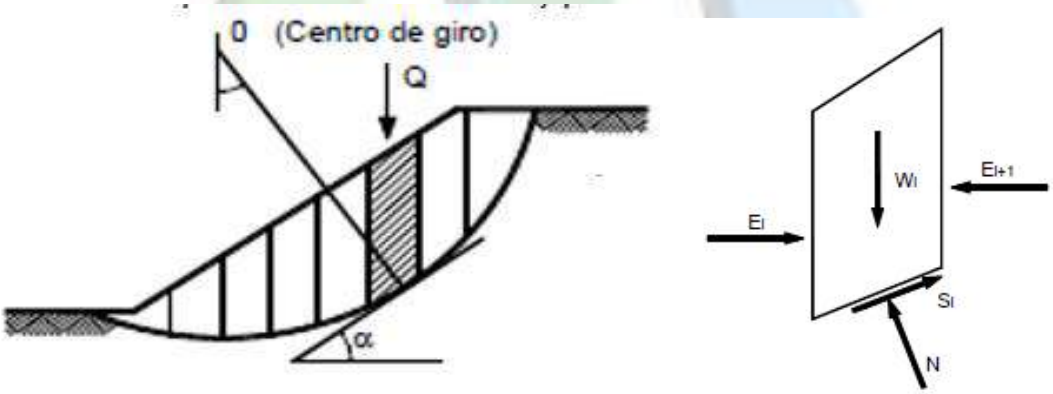
C', φ= Parámetros de resistencia del suelo.

u = Presión de poros en la base de cada dovela = γ w x h w

α = Angulo del radio y la vertical en cada dovela.

El método simplificado de Bishop es uno de los métodos más utilizados actualmente para el cálculo de factores de seguridad de los taludes. Aunque el método sólo satisface el equilibrio de momentos, se considera que los resultados son muy precisos. A continuación, se presenta la metodología grafica para la determinación del factor de seguridad en una ladera por medio de la utilización de tajadas.[2]

Figura 48. Tajadas en una ladera y Diagramas de fuerzas analizadas pro Bishop

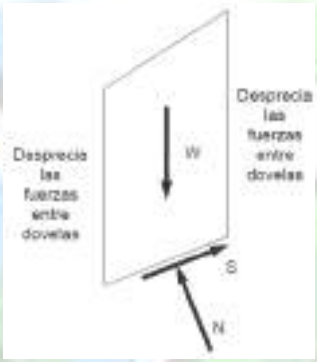


Fuente. Deslizamientos, análisis geotécnico, Jaime Suarez.

13.2.3 Método fellenius

Conocido también como método Sueco, método de las Dovelas o método U.S.B.R. Este método asume superficies de falla circulares, divide el área de falla en tajadas verticales, obtiene las fuerzas actuantes y resultantes para cada tajada y con la sumatoria de los momentos con respecto al centro del círculo producido por estas fuerzas se obtiene el Factor de Seguridad.

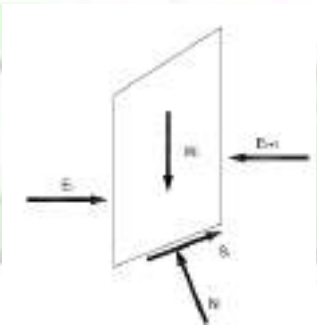
El método ordinario o de Fellenius solamente satisface equilibrios de momentos y no satisface equilibrio de fuerzas. Para el caso de φ = 0 el método ordinario da el mismo valor de factor de seguridad que el método del arco circular.



$$F_s = \frac{R\sum\{c'L_n + (W_n\cos\alpha_n - u_n)\tan\phi' + [(X_{n+1} - X_n)\cos\alpha_n - (E_{n+1} - E_n)\sin\alpha_n]\tan\phi'\}}{\sum W_n x_n}$$

13.2.4 Método jambu

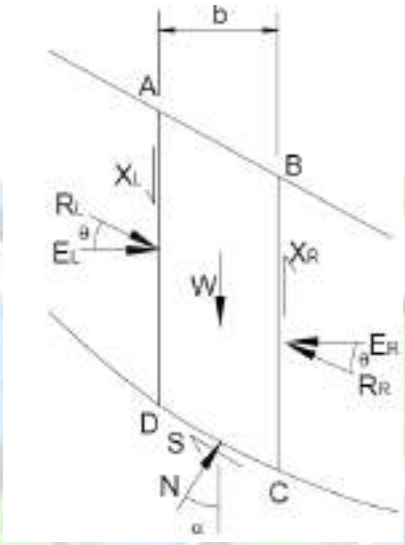
El método simplificado de Janbú se basa en la suposición que las fuerzas entre dovelas son horizontales y no tiene en cuenta las fuerzas de cortante. Janbú considera que las superficies de falla no necesariamente son circulares y establece un factor de corrección f0. El factor f_o depende de la curvatura de la superficie de falla. El método de Janbú solamente satisface equilibrio de fuerzas y no satisface equilibrio de momentos.



$$\frac{f_o\sum\left\{\left[c'b + (W - ub)Tan\phi\right]\frac{1}{\cos\alpha ma}\right\}}{\sum(W\tan\alpha)}$$

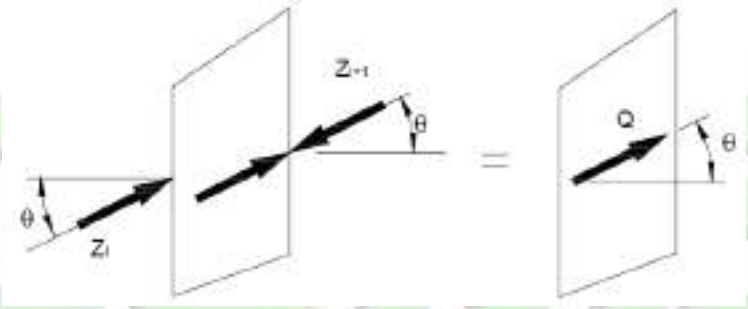
13.2.5 Método Spencer

El método de Spencer es un método que satisface totalmente el equilibrio tanto de momentos como de esfuerzos. El procedimiento de Spencer (1967) se basa en la suposición que las fuerzas entre dovelas son paralelas las unas con las otras o sea que tienen el mismo ángulo de inclinación.



13.2.6 Método Morgenstern and Price

El método de Morgenstern y Price (1965) asume que existe una función que relaciona las fuerzas de cortante y las fuerzas normales entre dovelas. Esta función puede considerarse constante como en el caso del método de Spencer o puede considerarse otro tipo de función. Esta posibilidad de suponer una determinada función para determinar los valores de las fuerzas entre dovelas lo hace un método más riguroso que el de Spencer.



De acuerdo al tipo de superficie de falla de la ladera analizada en el presente proyecto de grado, se adopta la metodología de Bishop.

13.2.7 Limitaciones de los métodos de equilibrio limite

Se basan solamente en la estática. Como los métodos de equilibrio límite se basan solamente en la estática y no tienen en cuenta las deformaciones, las distribuciones de presiones, en muchos casos, no son realistas. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que estos esfuerzos no realistas, generalmente ocurren en algunas tajadas del análisis y no significa que el factor de seguridad general sea inaceptable.

• Suponen los esfuerzos uniformemente distribuidos. Debe tenerse cuidado cuando existan concentraciones de esfuerzos debidos a la forma de la superficie de falla o a la interacción de suelo-estructura.

• Utilizan modelos de falla muy sencillos. El diseño de taludes utilizando solamente la modelación con métodos de equilibrio limite, es completamente inadecuado si los procesos de falla son complejos, especialmente cuando están presentes los procesos de "creep", la deformación progresiva, el flujo, la rotura por fragilidad, la licuación y otras formas de deterioro de la masa del talud

• Generalmente se asume el material como isotrópico. La mayoría de los trabajos que aparecen en la literatura sobre el tema, asumen que el suelo es un material isotrópico y han desarrollado métodos de análisis de superficies circulares o aproximadamente circulares.

13.3 Consideraciones de diseño

Para la determinación de las consideraciones de diseño, se tuvo en cuenta la geología puntual del sector y los resultados obtenidos del "Estudio de amenaza vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa e inundación y sismológico, diseño de planificación urbana y estudio de vulnerabilidad y riesgo social" realizado por la empresa de consultoría CAMVHIL y el estudio de " Zonificación de amenaza por movimientos en masa en algunas laderas de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, girón y Piedecuesta " esto con con el fin de efectuar el modelo geológico geotécnico, que más se ajusta al problema identificado.

13.3.1 Modelo y Software Utilizado

Para el análisis de estabilidad del modelo geológico, se utilizó el software SLIDE v5.0 de la firma ROCSCIENCE, el cual es un producto que utiliza la teoría de equilibrio límite y elementos finitos, analizando superficies de falla circulares las cuales, son características del movimiento analizado en el presente proyecto, debido a su formación geológica y las características puntuales del suelo, además se identificaron superficies de falla activas en el are analizada. Este software, permite la determinación de los factores de seguridad ante deslizamiento por fenómenos de remoción en masa, teniendo en cuenta análisis determinísticos y probabilísticos, así como análisis de elementos finitos y análisis subterráneos de flujo

Métodos de análisis

Aunque el programa permite trabajar con nueve diferentes métodos de análisis, para objeto del presente estudio se trabajó conjuntamente con los siguientes Cinco métodos:

1. Ordinaru Fellinious

2. Método Bishop simplificado

3. Método Janbú simplificado

4. Método de Spencer

5. Método de GLE/Morgenstern-Price

De las metodologías planteadas, se asume para el proyecto la metodología de Bishop, ya que se ajusta al comportamiento del suelo.

Para el análisis de estabilidad por fenómenos de remoción en masa, se llevaron a cabo los siguientes lineamientos o determinantes Geotécnicas:

1. Cálculo de factores de seguridad empleando un modelo determinístico y probabilístico, utilizando el software SLIDE de la firma ROCSCIENCE, para un escenario actual y en condiciones críticas de ascenso máximo del nivel freático y aceleración pseudo estática, para identificar las medidas de mitigación.

2. Identificación de los detonantes del movimiento y el material comprometido con la inestabilidad.

3. Definir el tipo de movimiento y la tendencia de este, por medio de la caracterización de las superficies de falla y las áreas comprometidas con el deslizamiento.

4. Para los análisis de estabilidad, se utilizó el método de equilibrio límite, que analiza la superficie de falla circular para talud finito; esta superficie de falla es característica del movimiento analizado, ya que se evidencia las fallas circulares puntuales sobre las laderas que presentan movimientos activos, también se utilizara la teoría de Bishop para la definición de los factores de seguridad.

Para la determinación de los modelos, se asumen escenarios críticos, que contemplan el ascenso máximo del nivel freático y una carga sísmica Pseudo-Estática que se encuentra definida por la Norma sismo Resistente Colombiana NSR-10 para el municipio de Bucaramanga dentro del departamento de Santander.

13.3.2 Aceleración pseudo estática para el diseño de estabilidad de taludes en condiciones críticas

Se determinó el coeficiente de aceleración horizontal, para análisis de estabilidad de taludes Kst, en función de los parámetros pseudo estáticos de la norma NSR 10, en el Titulo A y H. ver capítulo 12 Sismología. Para el modelo geológico geotécnico se utilizó un Kst de 0.8Ao, que equivale a 0.23g para la zona analizada.

13.3.3 Cargas modeladas.

Para el modelamiento de las cargas de edificaciones y obras que interactúan con la masa de suelo. Se consultó la información facilitada por el análisis de vulnerabilidad física, donde por medio de modelos matemáticos, se determinaron las características de las edificaciones y su vulnerabilidad, encontrando entre sus parámetros, la masa de las edificaciones tipo. Las principales cargas modeladas correspondes a la interacción de edificaciones de 1, 2, 3 pisos

Tabla 19. Cargas modeladas

TIPO DE CARGA	CARGA ASUMIDA (KN/m2)
EDIFICACION 1 PISO S	15
EDIFICACION 2 PISO S	30
EDIFICACION 3 PISO S	45

13.4 Escenarios del modelamiento

Con el fin de desarrollar modelos geológicos geotécnicos en condiciones críticas de ascenso máximo del nivel freático y aceleración Pseudo-estática y evaluar las posibles condiciones de estabilidad, se proponen los siguientes escenarios de modelamiento:

Tabla 20. Escenarios críticos de modelamiento

Escenario 1	Terreno en condición Actual, con cargas existentes, para análisis estático y sin presencia de nivel freático.
Escenario 2	Terreno en condiciones actuales, aceleración pseudo-estatica y cargas existentes.

Fuente. Autor.

13.5 Categorización de la amenaza

Como criterios para definir los niveles de amenaza se utilizaron los especificados en alcance del proyecto.

"La evaluación de la amenaza se deberá realizar teniendo en cuenta la situación actual y futura bajo condiciones normales (periodo de retorno 1 año) y extremas (periodo de retorno de 100 y 500 años) de los agentes detonantes de niveles de agua y sismo a las que podrán estar expuestas las zonas de estudio, sin tener en cuenta las medidas de mitigación del riesgo.

La aceleración crítica a ser considerada en los análisis de tipo pseudo-estático deberá estar de acuerdo con el análisis sobre sismología realizado y no podrá ser menor a los establecidos en el Título H de la Norma Sismo Resistente NSR-10, debidamente justificada. A su vez se deben identificar y evaluar las sobrecargas para cada escenario planteado.

Para ambos escenarios y como mínimo para la condición más extrema se elaborarán y presentarán mapas de amenaza en escala 1:750 con curvas de nivel cada 1.0 metro, clasificando el área con base en los siguientes criterios:

Tabla 21. Categorización de la amenaza

Cond. normales	**FS**
Amenaza Baja	> 1.5
Amenaza Media	1.25 - 1.5
Amenaza Alta	< 1.25
Cond. Con Sismo	**FS**
Amenaza Baja	> 1.20
Amenaza Media	1.0 – 1.20
Amenaza Alta	< 1.0

13.6 Niveles de amenaza asumidos

Nivel de amenaza baja: Son terrenos "geológicamente estables" donde las amenazas de movimientos naturales de masa son mínimas o no existen. Los factores de seguridad en los análisis de estabilidad de taludes deben ser superiores a 1.5 para condiciones estáticas y 1.2 para eventos sísmicos.

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

Los factores de seguridad en el análisis de estabilidad de taludes se encuentran entre 1.25 y 1.5 para condiciones estáticas y entre 1.0 y 1.2 para eventos sísmicos.

Nivel de amenaza alta: Pertenecen a esta clasificación terrenos clasificados como "inestables" en los cuales no se debe adelantar ninguna obra de construcción, debido a que presentan riesgos altos para la vida y bienes de la comunidad, además su recuperación es muy compleja, o demasiado costosa. En caso que la relación costo beneficio no sea razonable se deben destinar a zonas verdes, reforestación o de tratamientos especiales a largo plazo. Factores de seguridad inferiores a 1.05 y a 1.25 para los caos pseudo estático y estático respectivamente.

Tabla 22. Factores de seguridad básicos mínimos directos

CATEGORIA	FACTORES SEGURIDAD	
	Condición Extrema Pseudo Estático	Condición Normal Estático
AMENAZA BAJA	FS>1,2	FS>1,5
AMENAZA MEDIA	1.05<FS<1,2	1,25<FS<1,5
AMENAZA ALTA	FS<1.05	FS<1,25

13.7 Determinación del modelo geológico geotécnico

Una vez obtenida toda la información de campo, laboratorio y la información temática levantada, se procedió a definir los tipos de materiales encontrados en cada uno de los perfiles analizados. Estos materiales presentan características geotécnicas similares y corresponden a la misma unidad de suelo. También es necesario definir los espesores de los materiales y la tendencia del material del sub suelos.

Para la definición del modelo geológico geotécnico del sector analizado, se definieron seis (06) secciones transversales tipo, que representan el comportamiento general de la ladera, la distribución de estas secciones, se realizó con la prioridad de que estas secciones, sean las más críticas del sector; con el fin de realizar la estabilización a la zona más crítica y así garantizar el buen comportamiento de todo el sector.

A continuación, se presenta la ubicación de las secciones transversales modeladas.



FIGURA 50. Ubicación de secciones transversales en planta

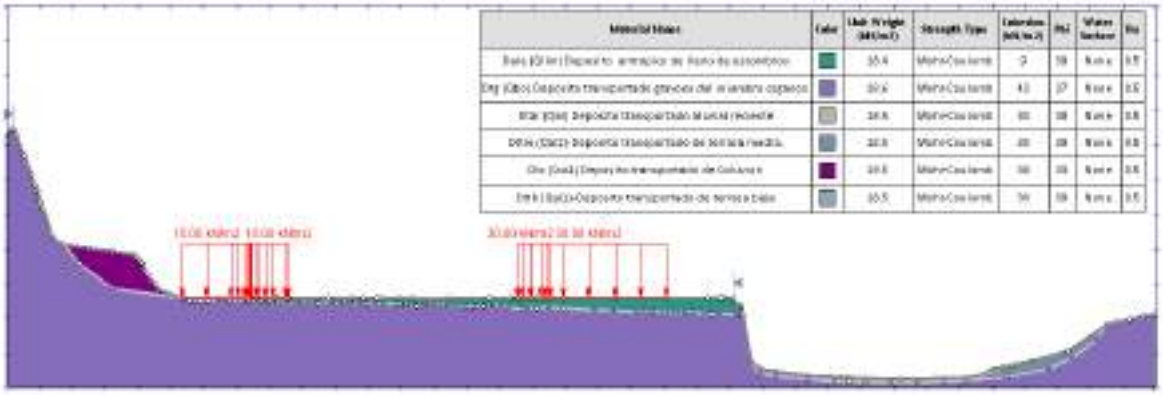


FIGURA 49. Sección transversal A

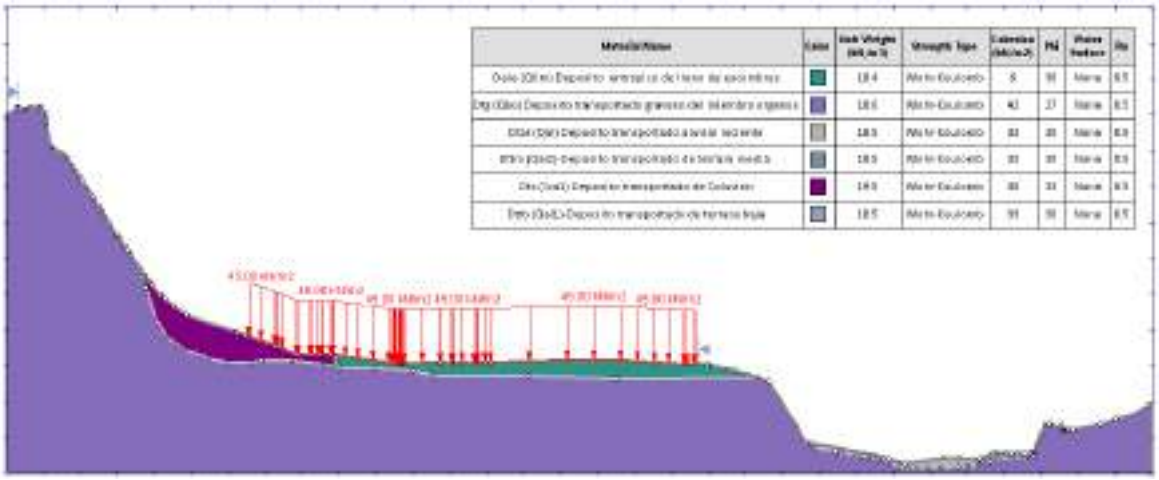


FIGURA 50. Sección Transversal B

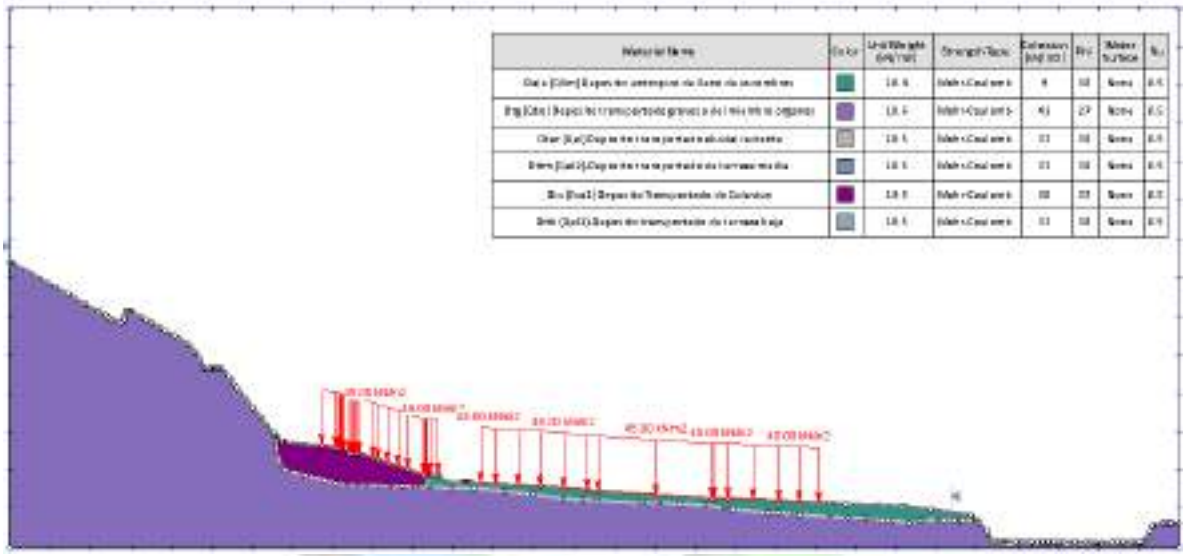


FIGURA 51. Sección Transversal C

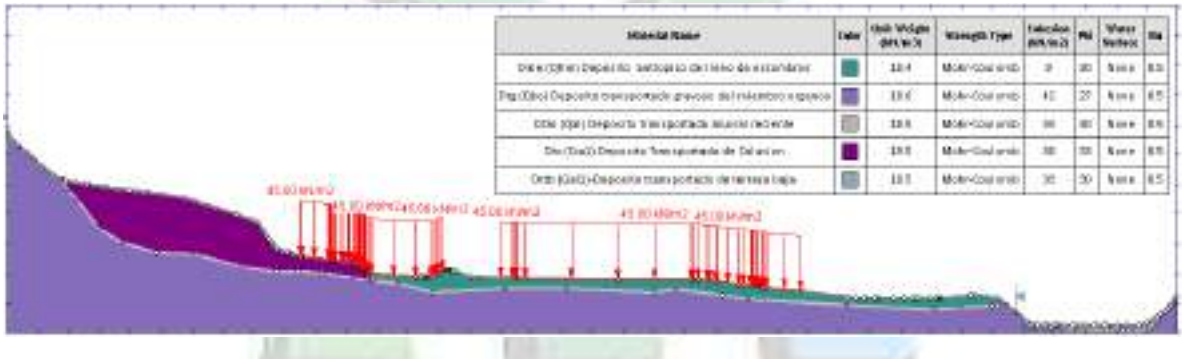


FIGURA 52: Sección Transversal D

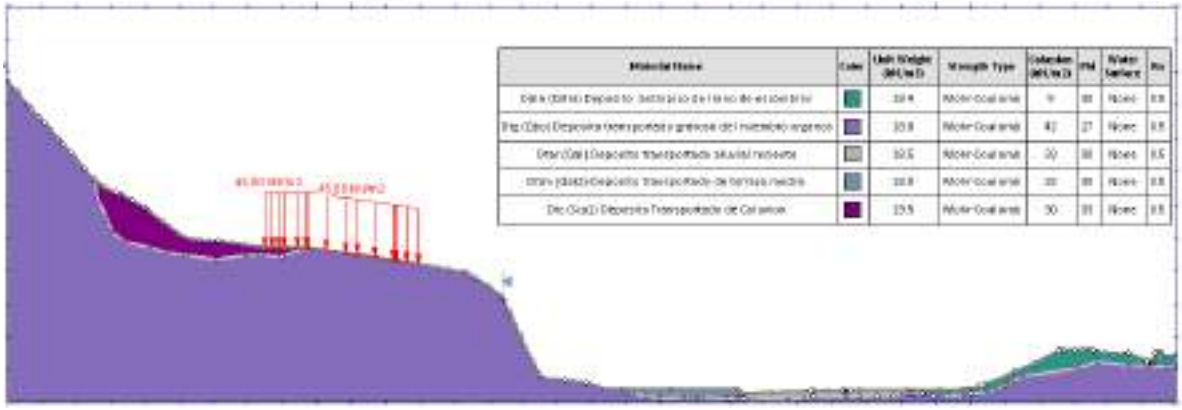


FIGURA 53. Sección Transversal E

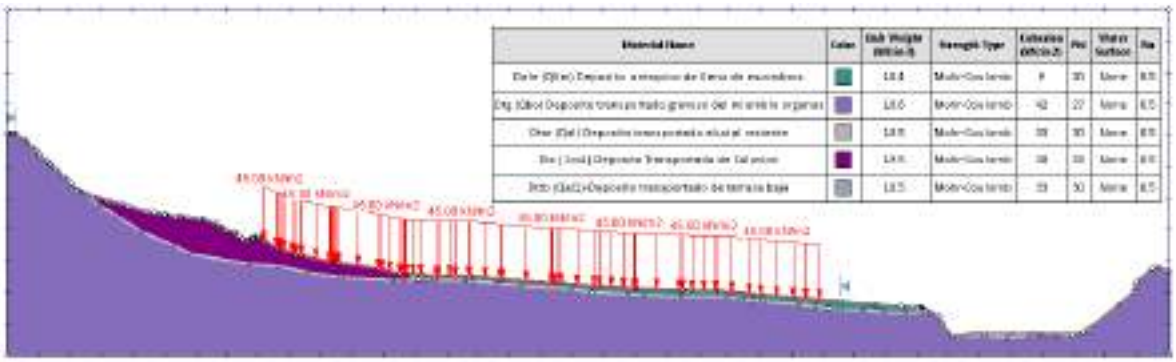


FIGURA 54. Sección Transversal F.

13.8 Resultados de estabilidad y amenaza por fenómenos de remoción en masa

A continuación, se presentan los trabajos realizados para determinar la amenaza por fenómenos de movimientos en masa sobre el sector de análisis, implementándose metodologías determinísticas para la obtención de los factores de seguridad y con los índices de vulnerabilidad fisca, se efectúa un tratamiento estadístico para la determinación del riesgo específico.

. Para tal efecto se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Identificación de las laderas críticas.
- Levantamiento del perfil topográfico.
- Identificación de la geología local y el perfil de suelo.
- Identificación de las características geotécnicas de las unidades cartografiadas.
- Modelamiento geológico Geotécnico de las laderas identificadas, mediante el software Slide de la Firma Rocscience.
- Cálculo de factores de seguridad determinísticos.
- Clasificación de la amenaza para los escenarios presentados, de acuerdo a la categorización asumida.

13.9 Identificación de la inestabilidad de las laderas para los escenarios planteados, de acuerdo a la categorización de la amenaza.

Una vez definidos los modelos geotécnicos, se procedió a identificar las superficies de falla y los niveles de estabilidad, como las áreas afectadas por los procesos de remoción en masa
Por medio del análisis de estabilidad de los taludes, se realizó el modelamiento de estos en el software SLIDE de la firma ROSCIENCE, se analizó la estabilidad general por medio de la teoría de equilibrio límite, determinando los factores de seguridad de falla para los dos escenarios propuestos.

En las siguientes figuras se muestra un ejemplo de los resultados de estabilidad por fenómenos de movimientos en masa para los dos escenarios propuestos. Los resultados de los modelamientos completos, se encuentran en el anexo resultados de amenaza.

A continuación, se presenta los resultados de los modelos geológicos geotécnicos para el sector analizado, con el fin de identificar el comportamiento general de las laderas estudiadas, la totalidad de los resultados geotécnicos, se presenta en el anexo de resultados de estabilidad y amenaza.

13.10 Resultados de estabilidad y amenaza por fenómenos de remoción en masa. Escenario Estático

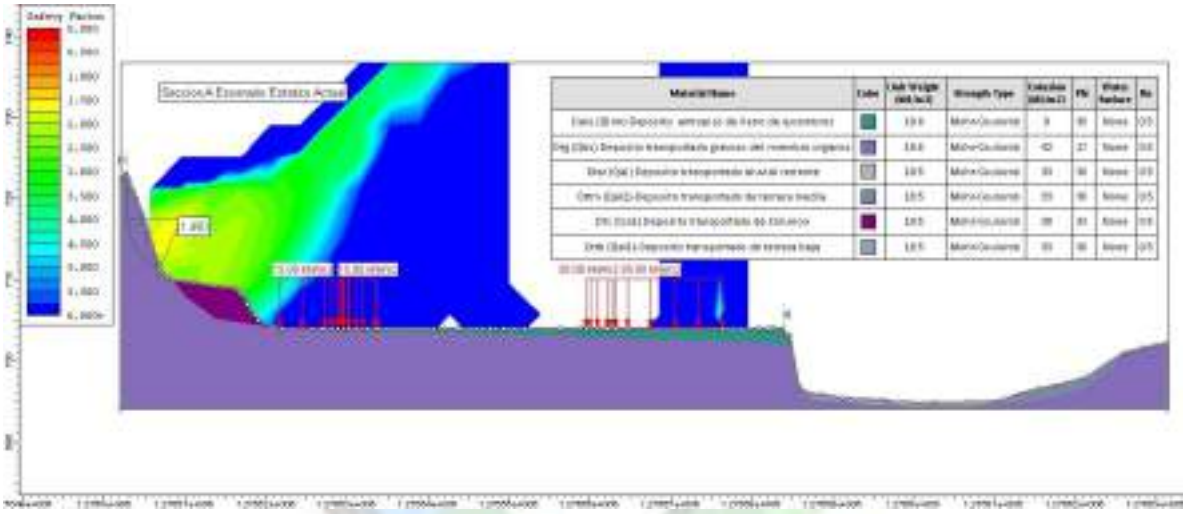


FIGURA 55. Resultados del Análisis Estático en condiciones actuales para la Sección A. Fuente: Autor

Tabla 23. Tabla de Resultados del análisis Estático en condiciones actuales para la Sección A.

Sección A: Escenario Estático Actual			
METODO	FS Determinístico	FS Referencia	Categorización de la Amenaza
ORDINARY/FELLENIUS	1.490	1.5	MEDIA
BISHOP SIMPLIFIED	1.049	1.5	ALTA
JANBU SIMPLIFIED	0.915	1.5	ALTA
SPENCER	1.499	1.5	MEDIA
GLE/MORGENSTERN-PRICE	1.014	1.5	ALTA

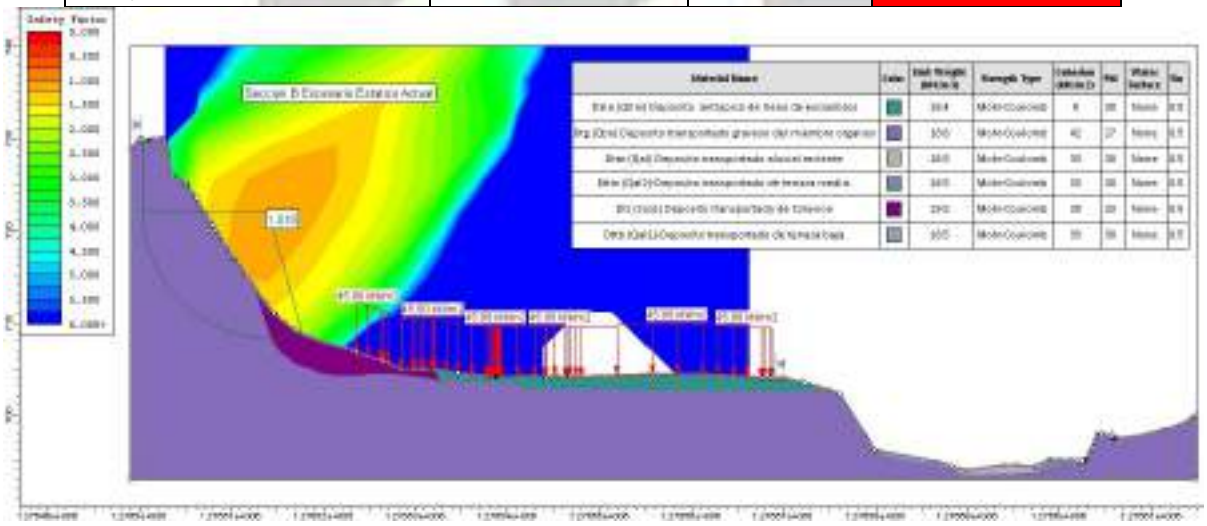


FIGURA 56. Resultados del análisis Estático en condiciones actuales para la Sección B. Fuente: Autor

Tabla 24. Tabla de Resultados del análisis Estático en condiciones actuales para la Sección B. Fuente: Autor

Sección B: Escenario Estático Actual			
METODO	FS Determinístico	FS Referencia	Categorización de la Amenaza
ORDINARY/FELLENIUS	1.018	1.5	ALTA
BISHOP SIMPLIFIED	0.840	1.5	ALTA
JANBU SIMPLIFIED	0.649	1.5	ALTA
SPENCER	0.859	1.5	ALTA
GLE/MORGENSTERN-PRICE	0.858	1.5	ALTA

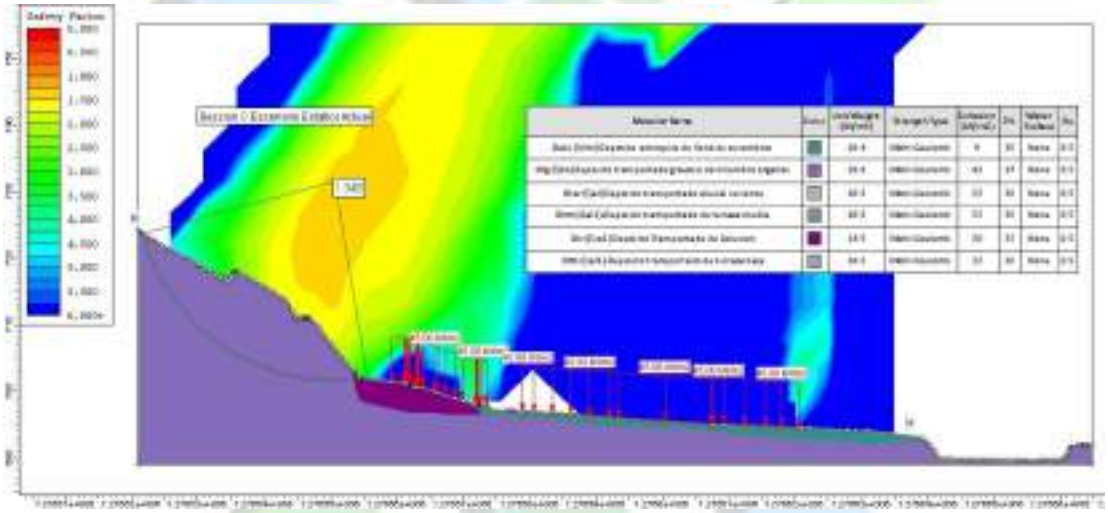


FIGURA 57. Resultados del Análisis Estático en condiciones actuales para la Sección C. Fuente: Autor

Tabla 25. Tabla de Resultados del Análisis Estático en condiciones actuales para la Sección C. Fuente: Autor

Sección C: Escenario Estático Actual			
METODO	FS Determinístico	FS Referencia	Categorización de la Amenaza
ORDINARY/FELLENIUS	1.348	1.5	MEDIA
BISHOP SIMPLIFIED	1.225	1.5	MEDIA
JANBU SIMPLIFIED	1.116	1.25	ALTA
SPENCER	1.231	1.25	ALTA
GLE/MORGENSTERN-PRICE	1.222	1.25	ALTA

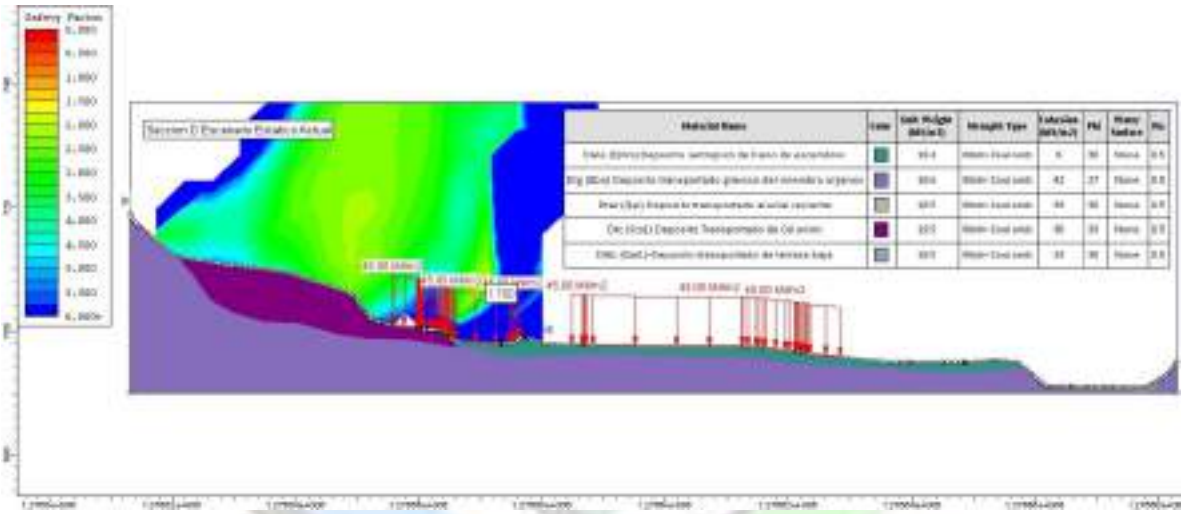


FIGURA 58. Resultados del Análisis Estático en condiciones actuales para la Sección D. Fuente: Autor

Tabla 26. Tabla de Resultados del Análisis Estático en condiciones actuales para la Sección D. Fuente: Autor

Sección D: Escenario Estático Actual			
METODO	FS Determinístico	FS Referencia	Categorización de la Amenaza
ORDINARY/FELLENIUS	1.70	1.5	BAJA
BISHOP SIMPLIFIED	1.689	1.5	BAJA
JANBU SIMPLIFIED	1.691	1.5	BAJA
SPENCER	1.691	1.5	BAJA
GLE/MORGENSTERN-PRICE	1.691	1.5	BAJA

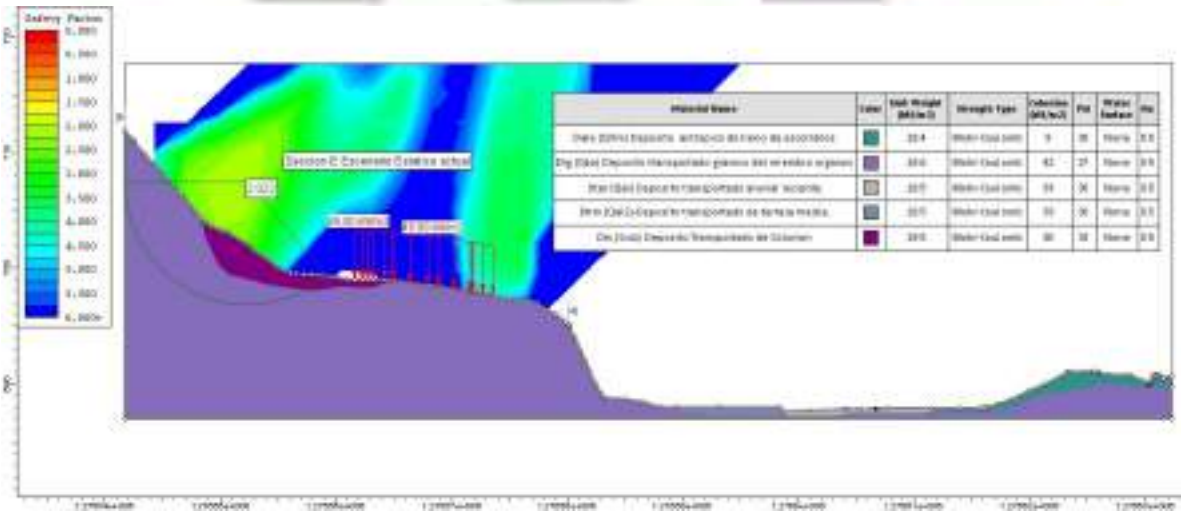


FIGURA 59. Resultados del Análisis Estático en condiciones actuales para la Sección E. Fuente: Autor

Tabla 27. Tabla de Resultados del Análisis Estático en condiciones actuales para la Sección E. Fuente: Autor

Sección E: Escenario Estático Actual			
METODO	FS Determinístico	FS Referencia	Categorización de la Amenaza
ORDINARY/FELLENIUS	2.022	1.5	BAJA
BISHOP SIMPLIFIED	1.843	1.5	BAJA
JANBU SIMPLIFIED	1.556	1.5	BAJA
SPENCER	1.855	1.5	BAJA
GLE/MORGENSTERN-PRICE	1.849	1.5	BAJA

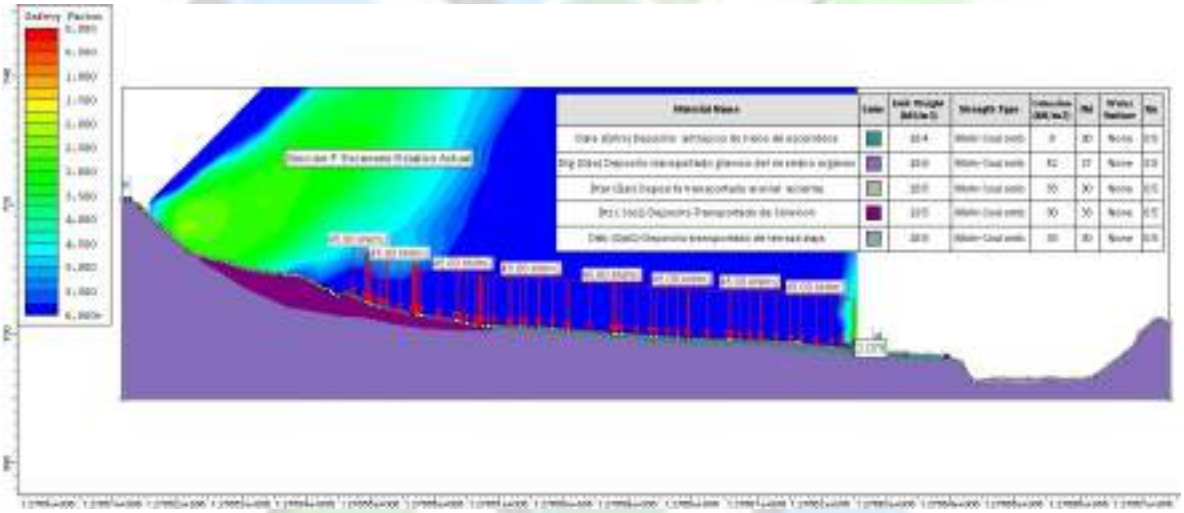


FIGURA 60. Resultados del Análisis Estático en condiciones actuales para la Sección F. Fuente: Autor

Tabla 28. Tabla de Resultados del Análisis Estático en condiciones actuales para la Sección F. Fuente: Autor

Sección F: Escenario Estático Actual			
METODO	FS Determinístico	FS Referencia	Categorización de la Amenaza
ORDINARY/FELLENIUS	2.079	1.5	BAJA
BISHOP SIMPLIFIED	2.410	1.5	BAJA
JANBU SIMPLIFIED	1.917	1.5	BAJA
SPENCER	2.418	1.5	BAJA
GLE/MORGENSTERN-PRICE	2.424	1.5	BAJA

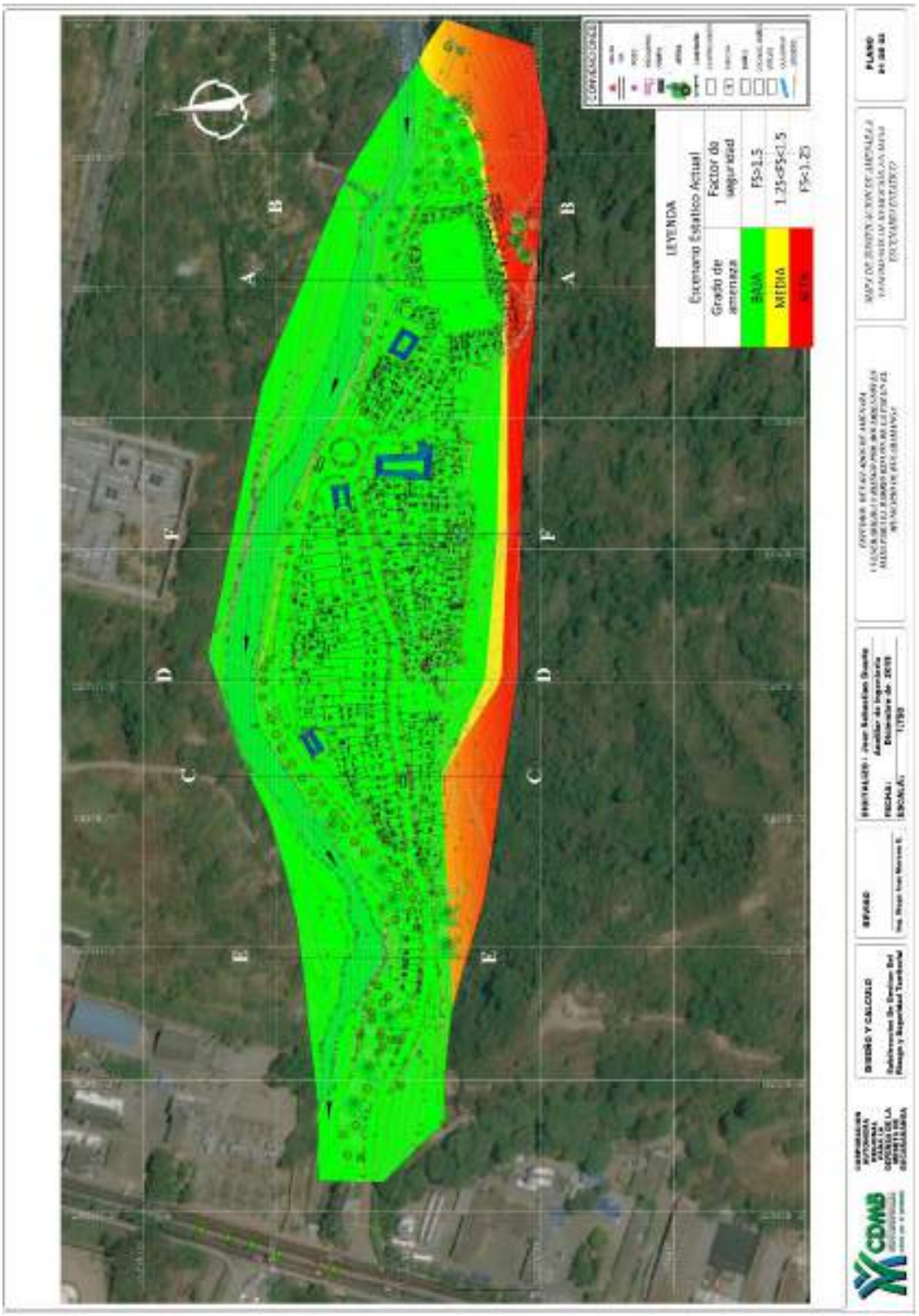


FIGURA 61. Plano de amenaza por fenómenos de remoción en masa escenario Estático

13.11 Resultados de estabilidad y amenaza por fenómenos de remoción en masa Escenario Dinámico

Resultados de los modelos en slide de acuerdo con las propiedades del terreno actuales en condicione pseudo estáticas

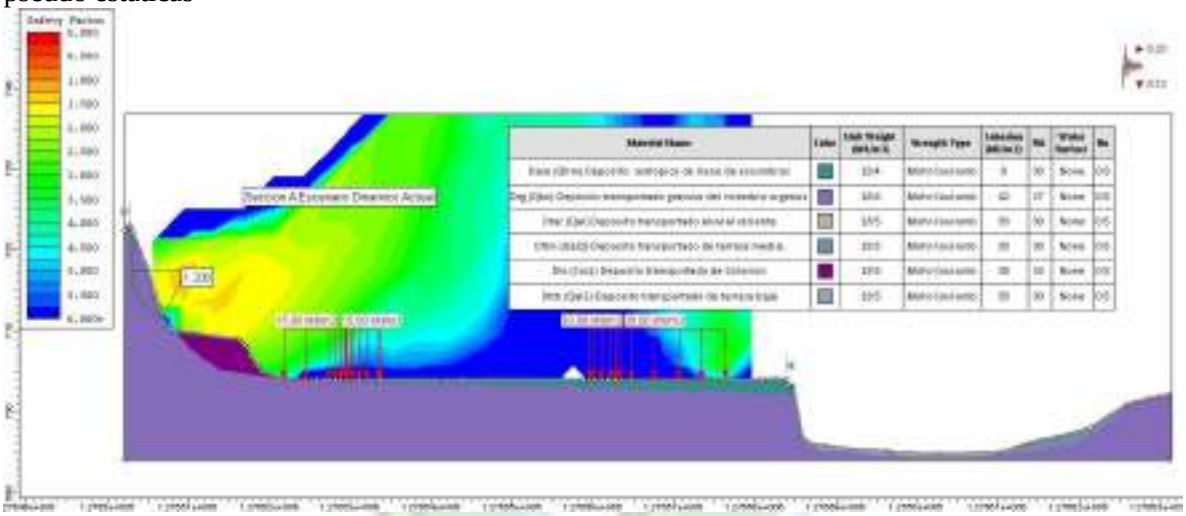


FIGURA 62. Resultados del Análisis Dinámico en condiciones actuales para la Sección A. Fuente: Autor

Tabla 29.Resultados del Análisis Dinámico en condiciones actuales para la Sección A. Fuente: Autor

Sección A: Escenario Dinámico Actual			
METODO	FS Determinístico	FS Referencia	Categorización de la Amenaza
ORDINARY/FELLENIUS	1.208	1.2	BAJA
BISHOP SIMPLIFIED	0.909	1.0	ALTA
JANBU SIMPLIFIED	0.669	1.0	ALTA
SPENCER	1.699	1.2	BAJA
GLE/MORGENSTERN-PRICE	1.395	1.2	BAJA

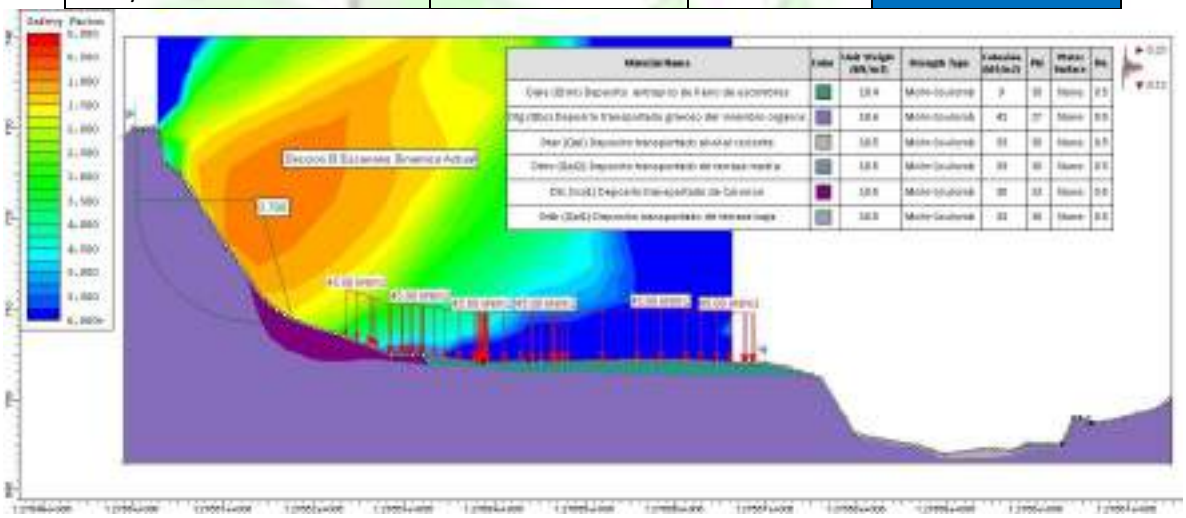


FIGURA 63. Resultados del Análisis Dinámico en condiciones actuales para la Sección B. Fuente: Autor

Tabla 30. Resultados del Análisis Dinámico en condiciones actuales para la Sección B. Fuente: Autor

Sección B: Escenario Dinámico Actual			
METODO	FS Determinístico	FS Referencia	Categorización de la Amenaza
ORDINARY/FELLENIUS	0.780	1.0	ALTA
BISHOP SIMPLIFIED	0.669	1.0	ALTA
JANBU SIMPLIFIED	0.479	1.0	ALTA
SPENCER	0.723	1.0	ALTA
GLE/MORGENSTERN-PRICE	0.703	1.0	ALTA

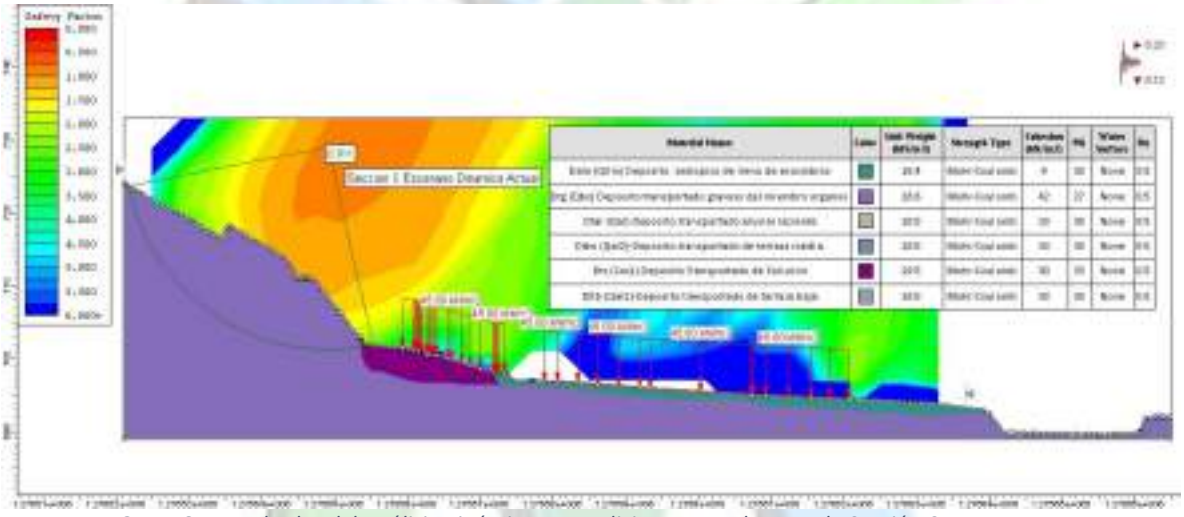


FIGURA 64. Resultados del Análisis Dinámico en condiciones actuales para la Sección C. Fuente: Autor

Tabla 31. Resultados del Análisis Dinámico en condiciones actuales para la Sección C. Fuente: Autor

Sección C: Escenario Dinámico Actual			
METODO	FS Determinístico	FS Referencia	Categorización de la Amenaza
ORDINARY/FELLENIUS	0.911	1.0	ALTA
BISHOP SIMPLIFIED	0.859	1.0	ALTA
JANBU SIMPLIFIED	0.746	1.0	ALTA
SPENCER	0.886	1.0	ALTA
GLE/MORGENSTERN-PRICE	0.873	1.0	ALTA

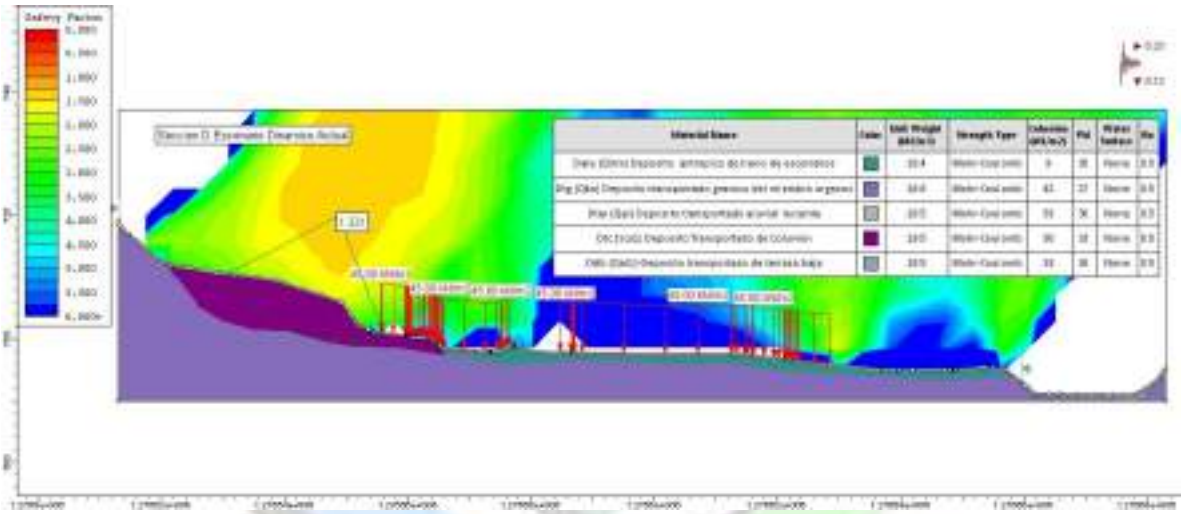


FIGURA 65. Resultados del Análisis Dinámico en condiciones actuales para la Sección D. Fuente: Autor

Tabla 32. Resultados del Análisis Dinámico en condiciones actuales para la Sección D. Fuente: Autor

Sección D: Escenario Dinámico Actual			
METODO	FS Determinístico	FS Referencia	Categorización de la Amenaza
ORDINARY/FELLENIUS	1.331	1.2	BAJA
BISHOP SIMPLIFIED	1.353	1.2	BAJA
JANBU SIMPLIFIED	1.195	1.2	MEDIA
SPENCER	1.365	1.2	BAJA
GLE/MORGENSTERN-PRICE	1.361	1.2	BAJA

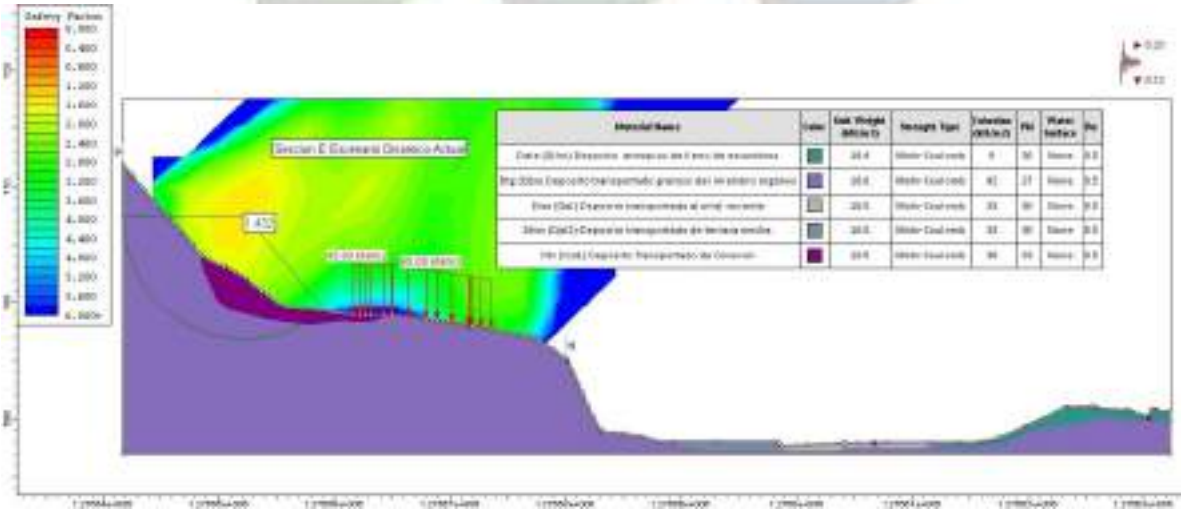


FIGURA 66. Resultados del Análisis Dinámico en condiciones actuales para la Sección E. Fuente: Autor

Tabla 33. Resultados del Análisis Dinámico en condiciones actuales para la Sección E. Fuente: Autor

Sección E: Escenario Dinámico Actual			
METODO	FS Determinístico	FS Referencia	Categorización de la Amenaza
ORDINARY/FELLENIUS	1.432	1.2	BAJA
BISHOP SIMPLIFIED	1.349	1.2	BAJA
JANBU SIMPLIFIED	1.104	1.2	MEDIA
SPENCER	1.576	1.2	BAJA
GLE/MORGENSTERN-PRICE	1.381	1.2	BAJA

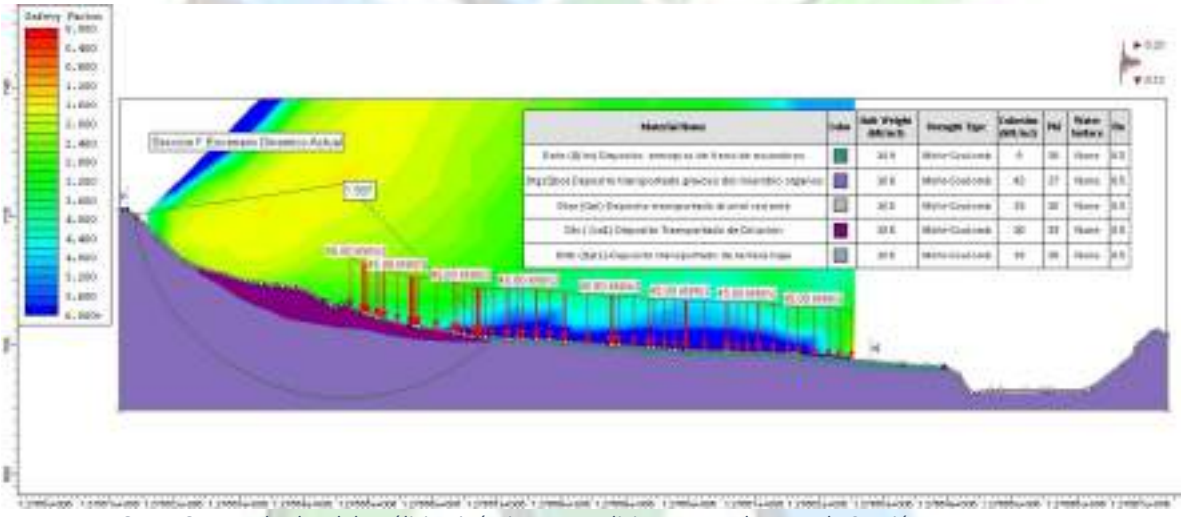


FIGURA 67. Resultados del Análisis Dinámico en condiciones actuales para la Sección F. Fuente: Autor

Tabla 34. Resultados del Análisis Dinámico en condiciones actuales para la Sección F. Fuente: Autor

Sección E: Escenario Dinámico Actual			
METODO	FS Determinístico	FS Referencia	Categorización de la Amenaza
ORDINARY/FELLENIUS	1.587	1.2	BAJA
BISHOP SIMPLIFIED	1.703	1.2	BAJA
JANBU SIMPLIFIED	1.343	1.2	BAJA
SPENCER	1.754	1.2	BAJA
GLE/MORGENSTERN-PRICE	1.734	1.2	BAJA

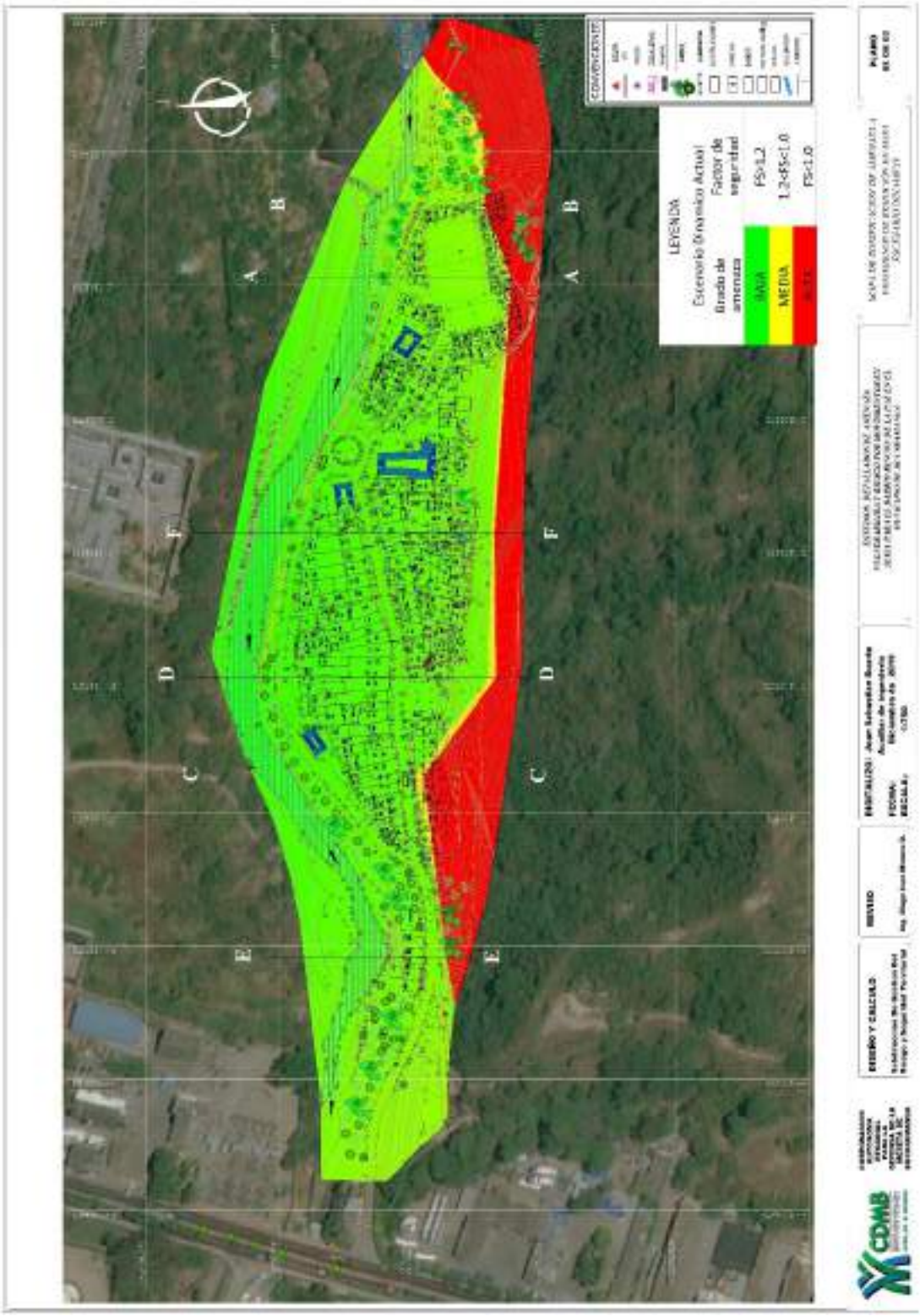


FIGURA 68. Plano de amenaza por fenómenos de remoción en masa escenario Dinámico.

De acuerdo a los resultados de estabilidad y amenaza, obtenidos para los escenarios 1 y 2 planteados para el sector estudio, se encuentra que para ambas condiciones actuales (Estáticas y Dinámicas) modeladas, se identifica la inestabilidad del cuerpo de ladera general, comprometiendo a todas las viviendas ubicadas al pie de ladera a un grado de amenaza alta por fenómenos de remoción en masa.

Requiriéndose la necesidad de implementar obras geotécnicas de prevención, mitigación y estabilización sobre esta zona, con el fin de encontrar las medidas necesarias para mitigar la amenaza alta presente. De no encontrar una solución eficiente que cumpla con las condiciones de costo beneficio, se deberá realizar la reubicación de las edificaciones en amenaza y riesgo no mitigable.

14 ANALISIS DE VULNERABILIDAD

14.1 Resumen ejecutivo

El propósito del siguiente trabajo, es el análisis de vulnerabilidad del asentamiento humano Rincón de la Paz, con el fin de identificar a partir de su caracterización de amenaza y riesgo, los diferentes escenarios de vulnerabilidad, sus elementos expuestos (edificaciones o personas) a los posibles desastres o eventos dañinos, dependiendo de su capacidad de respuesta.

Este proyecto tiene como alcance, la zonificación a escala detallada (1:2000); de la vulnerabilidad del asentamiento humano Rincón de la Paz, con el fin de determinar qué elementos (edificaciones o personas) se encuentran más vulnerables dependiendo de sus condiciones físicas y de sus capacidades de respuesta frente a la problemática de la remoción en masa que el barrio tiene como amenaza, y así posteriormente definir las recomendaciones necesarias para mitigar la vulnerabilidad tanto de personas como de las construcciones. Como producto entregable, se tiene como fin, un análisis estadístico de las condiciones de elementos expuestos en el asentamiento humano, un análisis cuantitativo de vulnerabilidad de cada vivienda del asentamiento humano, y la realización de un mapa de vulnerabilidad sobre una cartografía básica de la zona, o de un levantamiento topográfico incluyendo la información predial o catastral con el fin de que se determinen las viviendas que se clasifican en vulnerabilidad alta, media o baja.

La metodología, se basará en la Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa del Servicio Geológico Colombiano, para tener claridad en los pasos a seguir y poder realizar un análisis cuantitativo de vulnerabilidad, a partir de los insumos y demás información brindada por estudios anteriores por parte de la Corporación Autónoma Regional para la defensa de la meseta de Bucaramanga – CDMB.

14.2 Descripción del trabajo de investigación.

¿Cómo pueden verse afectadas las construcciones y las personas ante los eventos de remoción en masa, en zonas de alta vulnerabilidad?

Debido a las intensas temporadas de lluvia o épocas de precipitaciones fuertes, además de la ubicación de la ciudad de Bucaramanga; que se encuentra en una zona de alta actividad sísmica junto con la geomorfología de la misma, donde hay taludes sobre todo en las partes de terminación del abanico aluvial, que es donde se interviene para la construcción y en estas áreas se construye sin ninguna normativa, se presenta el problema de amenaza, vulnerabilidad y riesgo para las construcciones y las vidas humanas.

La zona de análisis corresponde a un asentamiento humano, ubicado en una zona donde se encuentran cortes de taludes con altas pendientes, en la cual se ven afectadas las obras civiles (Viviendas) y personas que están expuestas, las cuales son susceptibles a los diferentes eventos que se pueden presentar como es la remoción en masa. Estas viviendas se encuentran en susceptibilidad considerable ya que la mayoría no cumple con una estructura establecida por la norma sismorresistente NSR-10, y considerando las características del terreno, sus pendientes en laderas, viviendas localizadas en la corona, cuerpo o pie del talud y demás factores que aceleran estos procesos, pueden afectar estos elementos expuestos de forma inminente, lo cual necesita de una solución, y una determinación del grado de vulnerabilidad para dichas viviendas, y así se establezcan las respectivas recomendaciones.

14.3 Justificación.

Este análisis y zonificación de vulnerabilidad, se considera necesario, pues se pretende resolver una situación crítica de tipo social, ya que este asentamiento humano necesita determinar y valorar las debilidades identificadas en los elementos expuestos según el tipo de amenaza, es decir que según la metodóloga a usar en este trabajo; brindará la información para clasificar el nivel de vulnerabilidad de cada elemento expuesto, de cómo o cuál es su grado de pérdida o destrucción ante un evento natural, ya sea por remoción en masa u otro, la comprensión de los escenarios de riesgos y posteriormente determinar cada zona de vulnerabilidad especialmente la categoría alta para definir las recomendaciones geotécnicas necesarias como obras de estabilización o mitigación, reforzamientos, reubicaciones y acciones para el mejoramiento de la calidad de vida los elementos expuestos del asentamiento clasificados en vulnerabilidad alta a eventos posibles de la zona, lo cual brindaría un efecto positivo para la búsqueda de soluciones a las viviendas y personas habitantes de este asentamiento.

Este trabajo puede brindar un gran aporte hacia el campo del conocimiento de las UTS, y especialmente al programa de Estudios Geotécnicos, debido a que es de suma importancia el tema relacionado con estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo para todas las comunidades de la meseta de Bucaramanga, también el tema relacionado con las actividades de la Gestión del Riesgo, para que posteriormente se determinen las diferentes recomendaciones a la población y medidas para realizar las respectivas obras de mitigación y dar una solución al problema. Cabe exaltar que la práctica empresarial en la subdirección de Gestión del Riesgo y Seguridad Territorial-SURYT de la CDMB, es un gran paso a la vida profesional, ya que busca disponer de todos nuestros conocimientos adquiridos durante el programa de Estudios Geotécnicos, para fortalecerlos y nosotros como estudiantes, aportar a la subdirección y aprender cada vez más las diferentes situaciones relacionas con la Gestión del Riesgo, en situaciones reales presentadas en el área de jurisdicción de la CDMB.

14.4 Marcos referenciales

14.4.1 Marco teórico

14.4.1.1 Análisis de vulnerabilidad

Este análisis comprende dos etapas fundamentales: la identificación de escenarios de vulnerabilidad y la zonificación de la vulnerabilidad. Los escenarios de vulnerabilidad se construyen con base en los escenarios de amenaza y consisten en la identificación de los tipos de daños esperados, para lo cual se consideran variables de entrada los elementos expuestos (bienes físicos y personas) y la fragilidad de tales elementos ante el tipo de amenaza definida en el escenario que se evalúa. Esta fragilidad depende de la tipología de la edificación, de las condiciones de exposición y de su resistencia ante las solicitaciones impuestas. Una vez que se tienen los escenarios se procede a realizar la zonificación de vulnerabilidad, mediante la construcción de mapas en los que se identifiquen las zonas de vulnerabilidad alta, media y baja (Ávila et al., 2016).

14.4.1.2 Vulnerabilidad en deslizamientos de tierra

La vulnerabilidad no se ha considerado sistemáticamente para deslizamientos de tierra hasta hace poco, pero es un componente fundamental en la evaluación del riesgo. La vulnerabilidad depende de la intensidad del deslizamiento de tierra, las características de los elementos en riesgo y el impacto del deslizamiento de tierra. Los deslizamientos de tierra pueden ocurrir en ubicaciones inesperadas en un momento desconocido en el tiempo y, por lo tanto, se consideran un proceso estocástico. La secuencia de resultados de los procesos estocásticos a menudo se puede modelar utilizando enfoques

basados en la probabilidad. Tal proceso estocástico puede definirse como un fenómeno que se desarrolla en el tiempo de acuerdo con una ley de probabilidad y la teoría estocástica puede ayudar a comprenderlos mejor. (Ávila et al., 2016).

Tabla 35. Grafica de identificación de elementos, Guía Metodológica del SGC, 2016

CLASIFICACION		**IDENTIFICACION**	**USO - COMPONENTES**
Bienes Físicos	Edificaciones	Indispensables – Grupo IV (Norma NSR-10)	Salud (publica/privada)
		Atención a la comunidad – Grupo III (Norma NSR-10)	Seguridad
			Emergencia
			Educación
		Ocupación Especial – Grupo II (Norma NSR-10)	Institucionales
			Gubernamentales
			Centros Comerciales
			Industria
		Ocupación normal – Grupo I (Norma NSR-10)	Residencial y Comercio
	Líneas Vitales	Red Vial	Vías
			Puentes Vehiculares
			Puentes Peatonales
		Servicios Públicos	Líneas de Acueducto, alcantarillado y Gas (tuberías)
			Redes eléctricas y Conclusiones
Personas		Población	

14.4.1.3 Identificación y localización de los elementos expuesto

Los elementos expuestos incluyen tanto elementos físicos (bienes e infraestructura) como servicios ambientales, recursos económicos y sociales y bienes culturales, que por su localización pueden resultar afectados por la materialización de una amenaza. Los elementos expuestos se reducen a dos grupos: bienes físicos y personas (tabla 4-1). La base para la identificación y localización de los elementos expuestos será la información predial o catastral presentada en el levantamiento topográfico, de acuerdo con los insumos mínimos para la elaboración de estudios detallados de amenaza y riesgo.

La base para la identificación y localización de los elementos expuestos será la información predial o catastral presentada en el levantamiento topográfico, de acuerdo con los insumos mínimos para la elaboración de estudios detallados de amenaza y riesgo.

Parámetros tales como el nivel socioeconómico (estratificación), avaluó catastral (millones de pesos) o aspectos macroeconómicos y sociales (avaluó comercial y uso del suelo) permiten identificar los elementos expuestos en materia de infraestructura, facilitando su representación y análisis espacial con SIG en un nivel de detalle (Yamin et al., 2013).

14.4.1.4 Tipología

Edificaciones. Para efectos de aplicación de esta guía, las tipologías de edificaciones, definidas a partir de los trabajos de Heinimann (1999) y Jam (2007), se presentan en la tabla 18

Tabla 36. Tipologías de edificaciones.

CODIGO	TIPO DE IDENTIFICACION	DESCRIPCION
A	Edificaciones con reforzamiento especial	Edificaciones de concreto y acero diseñadas y construidas con requerimientos superiores a los convencionales o con la exigencia máxima de los códigos de diseño
B	Edificaciones reforzadas	Edificaciones con estructura en concreto y acero de los grupos de importancia I y II construidas con pórticos en concreto reforzado, sistema combinado en concreto reforzado, pórticos resistentes a momentos en acero, pórticos arriostrados en acero, etc. También se incluyen aquellas del grupo A construidas antes de 1998
C	Mampostería reforzada	Aquellas edificaciones que tienen un sistema estructural de mampostería con elementos elementos de refuerzo (barras, láminas, pernos, platinas, etc.). También se incluyen las edificaciones en mampostería confinada.
D	Estructuras con confinamiento deficiente y estructuras hibridas	Edificaciones con muros cargueros, pero sin confinamiento adecuado (mampostería no reforzada). También hace referencia a aquellas construcciones de las categorías A, B y C que poseen elementos de otros materiales no competentes, como por ejemplo mampostería no reforzada, adobe, bahareque, madera, tapia pisada, etc., con mayor componente de elementos de los grupos A, B y C.

E	Estructuras Ligeras	Edificaciones construidas con materiales tradicionales o de baja calidad, con un sistema estructural de muros cargueros. Dentro de esta tipología se incluyen las edificaciones construidas con materiales como adobe, bahareque, madera bruta, tapia pisada y las prefabricadas.
F	Construcciones Simples	Edificaciones que no poseen una estructura definida, de carácter improvisado, generalmente construidas utilizando materiales precarios o de Recuperación. Entre estas se incluyen las edificaciones en proceso de construcción y las construidas en materiales de recuperación, pórticos y paneles de madera, y pórticos de madera y paneles en otros materiales. Son ejemplo de este tipo de edificaciones tugurios, ranchos, campamentos, carpas, etc.
G	Lotes Vacíos	

Fuente: SGC, 2016.

14.4.1.5 Exposición

La vulnerabilidad física hace referencia a la respuesta de los elementos expuestos frente a las solicitaciones generadas por la interacción de los movimientos en masa con dichos elementos. En bienes físicos, esta respuesta y la intensidad de la solicitación dependen de dos aspectos: **las** características del elemento (tipología, calidad de construcción, mantenimiento, uso, etc.) y su posición relativa con respecto al área afectada por el evento (exposición). (SGC, 2016).

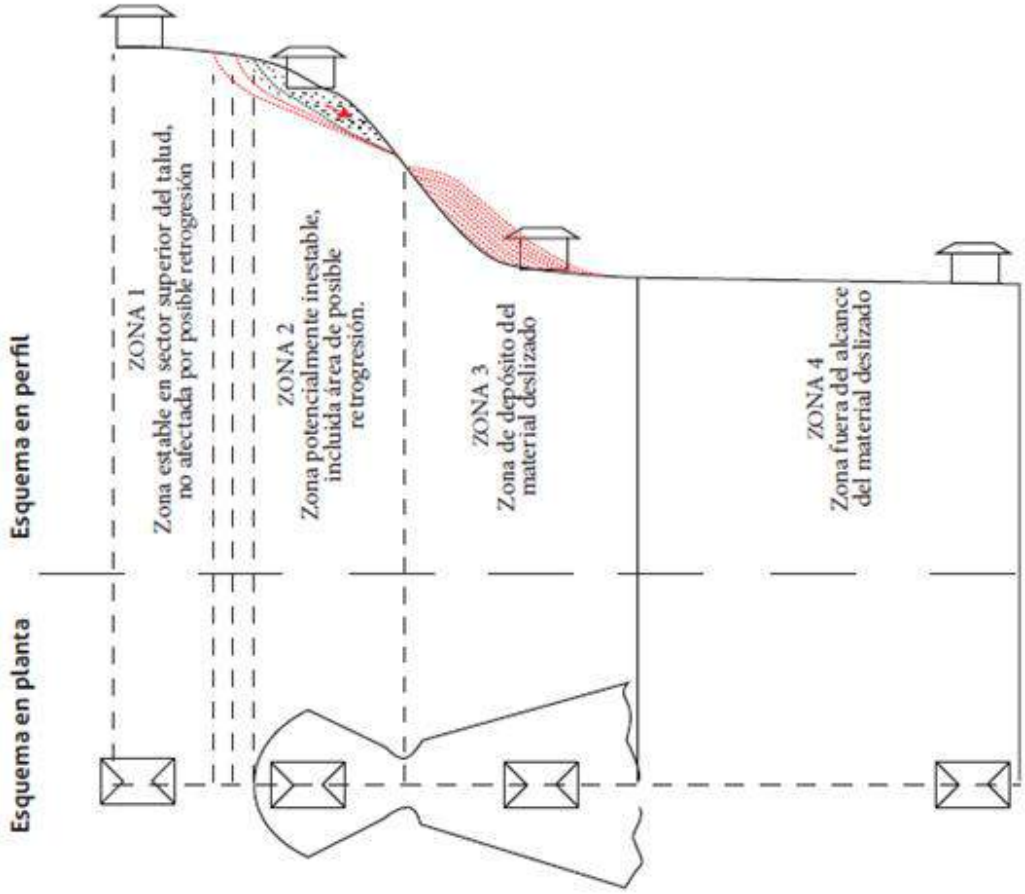


FIGURA 69.Zonas de Exposición de los elementos ante un deslizamiento. ***Fuente:*** *Guía Metodológica del SGC, 2016.*

Tabla 37. Zonas o Escenarios de exposición. Fuente: SGC, 2016.

ZONA	DESCRIPCION	DAÑOS ESPERADOS	CRITERIO DE INTENSIDAD O MAGNITUD
1	Elementos ubicados sobre la zona estable en la parte superior del talud, sin posibilidad de afectación por retrogresión.	No se esperan danos a causa de los movimientos en masa.	
2	Elementos ubicados sobre una ladera potencialmente inestable o potencialmente afectados por efectos de retrogresión.	Colapso o danos instantáneos debido a perdida de soporte en la zona de retrogresión. Asentamientos diferenciales, inclinaciones y agrietamientos asociados con movimientos lentos; Colapso de la estructura asociado con movimientos rápidos.	Velocidad del movimiento Actividad del deslizamiento Cantidad de desplazamiento Desplazamientos verticales

3	Elementos ubicados en la trayectoria del movimiento en masa o en la zona de depósito del material deslizado.	Danos localizados por impacto, colapso total, obstrucción, enterramiento, entre otros.	Velocidad del movimiento Distancia de viaje Presiones laterales Impactos (volúmenes y energía cinética) Alturas de acumulación de material
4	Elementos fuera del alcance del movimiento en masa y su área de depósito.	No se esperan danos debidos a los movimientos en masa.	

14.4.1.6 Fragilidad

Por fragilidad se entiende la respuesta de los elementos expuestos frente a las solicitaciones generadas por la interacción de los movimientos en masa con dichos elementos. En bienes materiales, esta respuesta depende de las características del elemento expuesto, y en personas, de la capacidad de respuesta y la posición relativa con respecto al área afectada por el evento (SGC, 2016)

14.4.1.7 Fragilidad de edificaciones

Siguiendo la metodología propuesta por Li et al. (2009), modificada por Du et al. (2013, 2014), en la presente guía se consideran cuatro parámetros para la evaluación de la fragilidad de las edificaciones, relativos al tipo de estructura (Stip), su altura (Salt), su conservación (Scon) y su edad (Sed). Partiendo de estos parámetros, se calcula la fragilidad de la estructura (Se) con la ecuación (4-1), que al desarrollar cada uno de sus factores se expresa como la ecuación (4-2):

$$Se = 1 – (1– Stip)(1 – Salt)(1 – Scon)(1– Sed)$$

14.4.1.8 Fragilidad de personas

Como ya se mencionó, la vulnerabilidad física de personas se evaluara en conjunto con la

Vulnerabilidad de edificaciones. Algunos autores han propuesto la fragilidad de personas como una función exponencial de la fragilidad de las edificaciones (Ragozin & Tikhvinsky, 2000; Uzielli, 2006); otros, valores fijos de vulnerabilidad, de acuerdo con criterio experto y recopilación de información antecedente (AGS, 2007c). En esta guía se propone la fragilidad de personas en estructuras en función de la fragilidad de tales estructuras, de acuerdo con la ecuación (SGC, 2016)

$$S_{per} = (S_e)^{3.2}$$

Donde
S_{per} es la fragilidad de las personas.

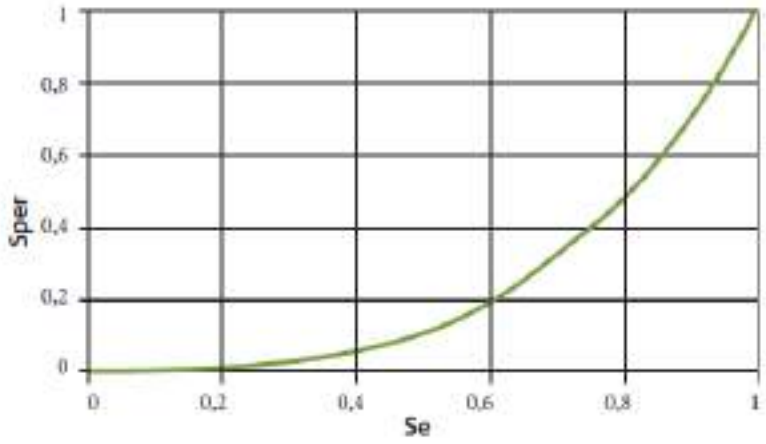


FIGURA 70. Modelo de fragilidad propuesto para personas en estructuras. Fuente: propia

14.4.1.9 Clasificación de Vulnerabilidad

Para estructuras, 1,0 significa la destrucción completa de la estructura; los valores menores que 1,0 representan el grado de daño, y 0 significa que la edificación no presenta ningún daño. En personas, 1 significa la perdida de la vida, y los valores menores que 1 se traducen como la probabilidad de perdida de la vida. (SGC, 2016).

Tabla 38. Clasificación de la vulnerabilidad para edificaciones. Fuente: SGC, 2016

CLASIFICACION DE LA VULNERABILIDAD	VALOR DE LA VULNERABILIDAD	NIVEL DE DAÑO
ALTA	0,50 – 1,00	Total–colapso
MEDIA	0,10 – 0,50	Grave
BAJA	0,02 – 0,10	Moderado
	0,00 – 0,02	Leve

Tabla 39. Clasificación de la vulnerabilidad para personas. Fuente: SGC, 2016

CLASIFICACIÓN	RANGO DE VULNERABILIDAD	DESCRIPCIÓN
ALTA	0,5 – 0,1	Alta posibilidad de muerte o lesiones serias.
MEDIA	0,2 – 0,5	Alta posibilidad de lesiones moderadas, pero baja probabilidad de muertes.
BAJA	0 – 0,2	Probabilidad de muerte casi nula y lesiones muy leves o inexistentes.

Tabla 40. Daños esperados para edificaciones. Fuente: SGC, 2016

CLASIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	EDIFICACIONES
ALTA	Colapso parcial o total de la estructura. Rotura de muros. Destrucción total de acabados y accesorios.
MEDIA	Grietas anchas y profundas. Plastificación local de los elementos estructurales. Posible colapso de elementos no estructurales. Daños en los muros. Daño grave de acabados.
BAJA	Grietas grandes y profundas. Daños graves en elementos no estructurales. Quiebre de ventanas. Entrada de material a la edificación. Daños en pisos.
	Grietas pequeñas. Despegues de pequeños pedazos de pañete, despegue de algunos ladrillos.

14.4.2 Marco legal

Gestión del Riesgo

LEY 46 DE 1988

Ley 46 del 2 de noviembre de 1980. Por la cual se crea y organiza el sistema nacional para la prevención y atención de desastres, se otorga facultades extraordinarias al presidente de la república y se dictan otras disposiciones. (CONGRESO DE LA REPUBLICA, 1988).

LEY 99 DE 1993

Por la cual se crea el Ministerio del medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el sistema nacional ambiental y se dictan otras disposiciones. (CONGRESO DE LA REPUBLICA, 1193).

LEY 388 DE 1997

Por el cual se organiza el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres y se dictan otras disposiciones. (CONGRESO DE LA REPUBLICA, 1997).

LEY 1523 DE 2012

Ley 1523 del 24 de abril de 2012. Por el cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el sistema nacional de gestión del riesgo de desastres y se dictan otras disposiciones. (CONGRESO DE LA REPUBLICA, 2012)

DECRETO 1547 DE 2000

Por el cual se modifican los Decretos 1052 de 1998 y 297 de 1999, en lo relacionado con la prórroga de las Licencias de urbanismo y construcción. (PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA, 2000).

DECRETO LEY 919 DE 1989

Decreto ley 919 del 1 de mayo de 1989. Por el cual se organiza el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres y se dictan otras disposiciones. (PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA, 1989).

DECRETO 1807 DE 2014
Por el cual se reglamenta el artículo 189 del Decreto Ley 019 de 2012 en lo relativo a la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial y se dictan otras disposiciones. Promulgado por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, las etapas generales que se deben seguir para evaluar la vulnerabilidad son:

• Identificación y localización de los elementos expuestos.

• Caracterización de los elementos expuestos: tipología, exposición y resistencia.

• Tipos de daño o efectos esperados como resultado de los escenarios de vulnerabilidad.

• Zonificación de la vulnerabilidad.

DECRETO 919 DE 1989
Por el cual se organiza el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres y se dictan otras disposiciones. (PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA, 1989).

DECRETO 4147 DE 2011
Decreto 4147 del 3 de noviembre de 2011. Por el cual se crea la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, se establece su objeto y estructura.

(PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA, 2011)

DECRETO 308 DE 2016
Decreto 308 del 24 de Febrero de 2016. Por medio del cual se adopta el Plan Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres. (PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA, 2016)

CONPES 3146 DE 2001
Bogotá, D.C., Diciembre 20 de 2001**.** Estrategia para consolidar la ejecución del plan nacional para la prevención y atención de desastres – PNPAD - en el corto y mediano plazo (DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION, 2001)

CONPES 3318 DE 2004
Autorización a la nación para contratar operaciones de crédito externo con la banca multilateral hasta por $226600 millones para financiar parcialmente el programa de reducción de la vulnerabilidad fiscal del estado frente a los desastres naturales

(DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION, 2004)

PLAN NACIONAL DE DESARROLLO
Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2014 -2018 “Todos Por un Nuevo País”, que se expide por medio de la presente Ley, tiene como objetivo construir una Colombia en paz, equitativa y educada, en armonía con los propósitos del Gobierno Nacional, con los estándares de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), y con la visión de planificación de largo plazo prevista por la Agenda de Desarrollo post 2015 (CONGRESO DE LA REPUBLICA, 2011)

PLAN DE ACCION 2016-2019 “UNIDOS POR EL AMBIENTE”

La elaboro la corporación autónoma regional para la defensa de la meseta de Bucaramanga, y se implementó este plan para disminuir las vulnerabilidades frente al incremento de las amenazas naturales. (Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, 2016)

14.4.3 Marco conceptual

AMENAZA: Fenómeno o evento que puede causar daño a personas o bienes materiales, es el agente (químico, físico, geológico, biológico, humano, etc.) o grupo de condiciones o eventos que tienen el potencial de causar daño. (CDMB, 2008)

ASENTAMIENTO HUMANO: Emplazamiento permanente de individuos en un área geográfica determinada. Puede ser rural, urbana o metropolitana y presenta características heterogéneas según el medio ambiente o hábitat de su emplazamiento (ONE, 2006)

ELEMENTO EXPUESTO: los elementos expuestos incluyen tanto elementos físicos (bienes e infraestructura) como servicios ambientales, recursos económicos y sociales y bienes culturales, que por su localización pueden resultar afectados por la materialización de una amenaza. (Ávila et al., 2016)

EROSIÓN: Es el deterioro progresivo de un terreno por el desprendimiento y arrastre del suelo, como resultado del movimiento del viento y el agua. Dependiendo del flujo de agua se puede presentar inicialmente erosión en surcos y en forma posterior erosión en cárcavas. (CDMB, 2008)

ESTRUCTURA PARA OCUPACIÓN HUMANA: Es una estructura destinada para soportar o cubrir áreas para uso o ocupación humana en períodos continuos superiores a una hora. Incluyen edificaciones para uso como vivienda, oficinas, fábricas, hospitales, establecimientos educativos, locales comerciales, etc. (CDMB, 2008)

ESTUDIO GEOTÉCNICO: Es un estudio realizado por un Ingeniero Geotecnista, de acuerdo a las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismoresistentes vigentes en la República de Colombia y de acuerdo a los criterios contenidos en las presentes Normas técnicas. (CDMB, 2008)

FRAGLIDAD: Por fragilidad se entiende la respuesta de los elementos expuestos frente a las solicitaciones generadas por la interacción de los movimientos en masa con dichos elementos. En bienes materiales, esta respuesta depende de las características del elemento expuesto, y en personas, de la capacidad de respuesta y la posición relativa con respecto al área afectada por el evento (Ávila et al., 2016).

GESTIÓN DE RIESGO: Es la acción integral para el abordaje de una situación de desastre. Permite determinar los riesgos, intervenir para modificarlos, disminuirlos, eliminarlos o lograr la preparación pertinente para responder ante los daños que, sin duda, causará un determinado desastre. (MINISTERIO DE SALUD, PRESIDENCIA DE LA NACION ARGENTICA, 2016)

INFORMACION GEOGRAFICA: Se denomina información geográfica (IG), a aquellos datos espaciales georreferenciados, requeridos como partes de operaciones científicas, administrativas o legales. Dichos geodatos poseen una posición implícita (la población de

una sección censal, una referencia catastral, una dirección postal, etc.) o explícita (coordenadas obtenidas a partir de datos capturados mediante GPS, etc.). (ICOG, 2008).

MAPA: Es la representación gráfica de un tema, realizada sobre un medio plano y a escala definidos de acuerdo a su temática. Un mapa geológico muestra la distribución en superficie de las diferentes unidades rocosas, depósitos o formaciones de un área. Un mapa geomorfológico muestra la distribución de geoformas del paisaje analizado y los procesos geomorfológicos existentes. Un mapa geotécnico muestra la distribución de unidades geotécnicas resultantes del análisis geológico, geomorfológico y de propiedades de los suelos y demás materiales geológicos identificados mediante símbolos y áreas de colores, las estructuras y los contactos entre las diferentes unidades diferenciadas. (ICOG, 2008).

MAPA DE VULNERABILIDAD: Los mapas de vulnerabilidad representan, sobre los elementos del mapa de exposición, el grado de fragilidad de cada elemento ante el proceso, expresada en una escala entre 0 (mínima fragilidad o capacidad de pérdida nula) y 1 (máxima fragilidad o capacidad de pérdida total); o entre 0 y 100 en escala de porcentajes. Así como los mapas de peligrosidad son variados y diversos, y los de exposición son prácticamente iguales, los mapas de vulnerabilidad dependen en gran medida del tipo de proceso, existiendo diferentes asignaciones de vulnerabilidad según la tipología del fenómeno. (ICOG, 2008).

PENDIENTE DEL TALUD: Identifica el ángulo o nivel de conformación del talud natural o artificial con respecto a la horizontal; se puede medir en grados, ángulo, porcentaje o relación horizontal/vertical. (CDMB, 2008)

PIE DEL TALUD: Corresponde al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte inferior del talud. Un talud puede tener varios puntos de pie. Los criterios de las presentes normas deben cumplirse para todos y cada uno de los puntos de pie de talud identificados. (CDMB, 2008)

PRECISIÓN CARTOGRÁFICA: Es el proceso cartográfico en el que previo estudio geológico y control de campo, se detalla en mapas a escalas 1:10000, 1:5000 y 1:2000 los contactos entre unidades geológicas, geomorfológicas y se define la distribución de las unidades geotécnicas identificadas en el mapa de zonificación geotécnica. (CDMB, 2008)

REMOCIÓN EN MASA: Son todos los procesos en los cuales ocurre movimiento ya sea lento o rápido, de masas de materiales geológicos como rocas y suelos en áreas inestables del terreno, que se convierten en agentes que pueden causar daño a los bienes, infraestructura y personas. (CDMB, 2008)

RIESGO: Es una medida de la probabilidad de pérdida de vidas humanas, daño a las personas y pérdidas económicas causados por un fenómeno natural o amenaza. (CDMB, 2008)

RINCON DE LA PAZ: Asentamiento Humano que corresponde a la zona ubicada entre *Cl 31 y Cl 45* al norte y *Cl 50* al sur, *Kr 24* al oriente y *M. Girón* al occidente.

TALUD: Es una superficie inclinada del terreno. Las pendientes con ángulo superior a 30º con la horizontal y de altura total acumulada superior a tres metros se consideran como talud. (CDMB, 2008)

VULNERABILIDAD: Es un factor interno de riesgo de una comunidad expuesta a una amenaza, en función de su predisposición a resultar dañada. Existe en la medida en que se haga o deje de hacer algo: la ubicación geográfica de las ciudades, la calidad de la construcción de las viviendas, el nivel de mantenimiento en todo tipo de servicios públicos, el tipo de producción económica, el grado de organización social, la capacidad de gestión, etc. (MINISTERIO DE SALUD, PRESIDENCIA DE LA NACION ARGENTICA, 2016)

VULNERABILIDAD FISICA: La vulnerabilidad física está directamente relacionada con la capacidad que tiene la estructura para soportar las solicitaciones a las que se ve sometida en el momento de un sismo, es decir, la forma con la cual responde ante los desplazamientos y los esfuerzos producidos por las fuerzas inerciales durante toda la vida útil de la edificación.

14.5 Desarrollo del estudio

14.5.1 Fase 1:

14.5.1.1 Identificación del área de estudio

El área de estudio, es el asentamiento humano Rincón de la Paz, un asentamiento del municipio de Bucaramanga vía al municipio de Girón, el cual ha sido sometido a diferentes estudios geológicos y geotécnicos, entre ellos estudios de amenaza por remoción en masa, los cuales requieren también de un estudio de vulnerabilidad, lo cual se presentará a continuación.

El asentamiento presenta en el sector sur, taludes naturales y cortes de taludes los cuales presentan peligro hacia las viviendas que se encuentran en el pie y el cuerpo de los mismos, los cuales son las viviendas que se encuentran en las manzanas (A, B, C, E, F, G, H, I, J, K), pues los habitantes de este asentamiento construyeron sus casas sin ninguna restricción o aislamiento a los taludes según las normas geotécnicas, lo cual por consecuencia representa una alta amenaza para las construcciones y los habitantes. Adicionalmente a este problema de asilamientos que tienen las estructuras de los taludes, el sistema constructivo de estos elementos no garantiza una buena respuesta frente a un evento natural, como lo es la remoción en masa pues las estructuras al no poseer las características que exige la norma NSR-10, y al estar ubicadas en una zona de alta amenaza podrían representar un alto grado de vulnerabilidad.

14.5.2 Fase 2:

14.5.2.1 Insumos

Levantamiento topográfico del terreno incluyendo la información predial o catastral 1:2000; este levantamiento se le realizo al asentamiento humano Rincón de la Paz, con sus respectivos elementos de un plano topográfico, localizando adicionalmente en este plano cada vivienda con el nombre de su respectivo propietario y clasificada por manzanas (A – R).

Recopilación y análisis de información disponible; hace referencia a la información recolectada, sobre el área del asentamiento, ya sean estudios geológicos, geotécnicos o de amenaza por movimientos en masa.

Formatos de Campo: este formato se presenta para la toma de información *in situ* de las edificaciones a estudiar del asentamiento Rincón de la Paz, con el fin de determinar su funcionalidad y sus condiciones actuales para así previamente realizar el respectivo análisis de vulnerabilidad ante un evento de remoción en masa, esta encuesta fue aplicada en todos los predios que se encuentran en zonas de amenaza (SGC, 2016). Este formato fue aplicado por funcionarios adscritos a la subdirección de Gestión del Riesgo y Seguridad Territorial (SURYT) de la CDMB, a las 258 edificaciones que se encontraban en el área, realizando la respectiva inspección ocular a las estructuras, lo cual estas encuestas fueron atendidas por las personas que se encontraban en la vivienda ya sean los propietarios o arrendatarios. Siguiendo así el protocolo u orden del formato para posteriormente realizar el análisis respectivo. Cada formato ya diligenciado, se pasó a digital a el programa Excel con los respectivos datos tomados en campo para así aplicarles una serie de datos numéricos, que según la guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, determinan ciertos valores dependiendo las condiciones que presenten cada edificación y al configurar cada hoja de Excel con la encuesta sea más práctico, para que previamente se realice el respetivo cálculo y así determinar el grado de vulnerabilidad que deseamos obtener.

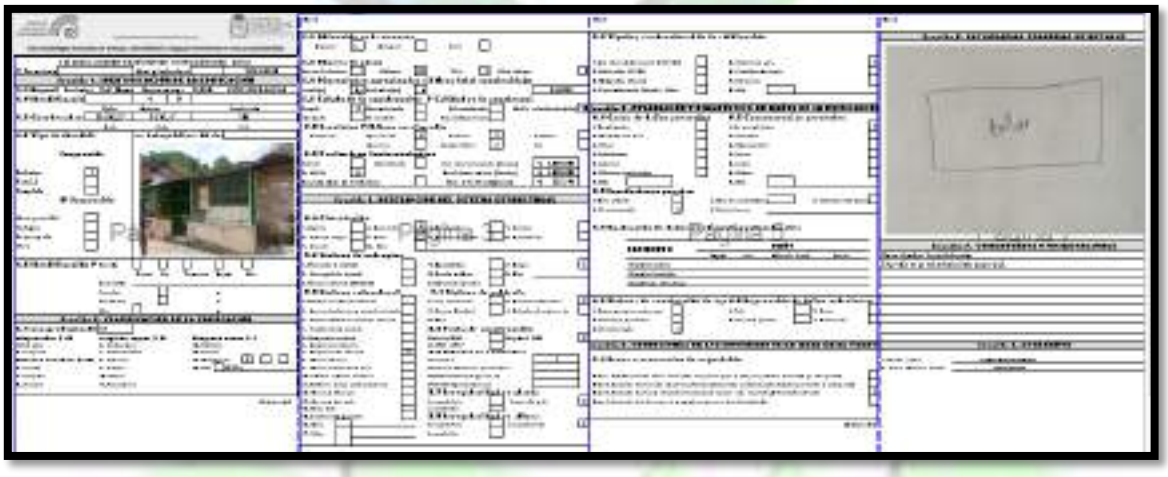


FIGURA 71. Ejemplo de formato diligenciado de vivienda del asentamiento

Este formato ya diligenciado en Excel, es un ejemplo de cómo debe llenarse cada espacio con su respectiva respuesta, dependiendo en qué condiciones se encuentre la edificación inspeccionada, algunos datos solicitados por el formato son los siguientes: Localización de la vivienda, coordenadas, identificación predial y los datos más importantes como lo son su uso, número de pisos, dimensiones aproximadas, estado actual y calidad de la construcción, servicios públicos, parámetros socioeconómicos, descripción del sistema estructural, como su cubierta, cimentación, sistema estructural usado, tipología, daños que presenten y su ubicación en zona de ladera, adicionalmente a esto es necesario una fotografía de la edificación y un esquema en planta de la edificación, ubicando el uso de cada parte.

14.5.2.2 Elementos expuestos (identificación, caracterización, y localización)

Los elementos expuestos que se van a analizar dentro de este estudio son los Bienes Físicos (edificaciones) y las personas presentes en el asentamiento humano Rincón de la Paz. La metodología propuesta en la guía está orientada a la evaluación de vulnerabilidad física con fines de estimaciones

cuantitativas de riesgo, para lo cual los elementos expuestos se reducen a dos grupos: bienes físicos y personas (SGC, 2016).

Como se mencionó antes, como insumo para el presente estudio, se tiene un mapa topográfico, con la información predial o catastral lo cual se complementará con la información obtenida en campo, es decir que los formatos diligenciados en campo y el plano topográfico nos ayudaran a actualizar la información de cada edificación para así identificar cada una.

14.5.2.3 Identificación de los elementos expuestos:

Tabla 41. . Identificación de los elementos expuestos. Fuente: NSR-2010.

CLASIFICACION		IDENTIFICACION	USO - COMPONENTES
Bienes Físicos	Edificaciones	Indispensables – Grupo IV (Norma NSR-10)	Salud (publica/privada)
		Atención a la comunidad – Grupo III (Norma NSR-10)	Seguridad
			Emergencia
			Educación
		Ocupación Especial – Grupo II (Norma NSR-10)	Institucionales
			Gubernamentales
			Centros Comerciales
			Industria
		Ocupación normal – Grupo I (Norma NSR-10)	Residencial y Comercio
	Líneas Vitales	Red Vial	Vías
			Puentes Vehiculares
			Puentes Peatonales
		Servicios Públicos	Líneas de Acueducto, alcantarillado y Gas (tuberías)
			Redes eléctricas y Conclusiones
Personas		Población	

Según las normas NSR-10, las 258 edificaciones que se evaluaron pertenecen al Grupo I – Ocupación Normal, las cuales tienen uso residencial o de comercio (ya sean tiendas, droguerías o papelerías).

Ejemplo de vivienda diligenciada en el formato de campo: (casa 135 manzana O) en este formato se puede observar que se le realizó la encuesta a una vivienda la cual en el numeral 2.1 (uso predominante) de la sección 2 del formato (clasificación de la edificación), es una edificación del Grupo I de uso residencial, la cual ya se tiene identificada dentro de los elementos expuestos.

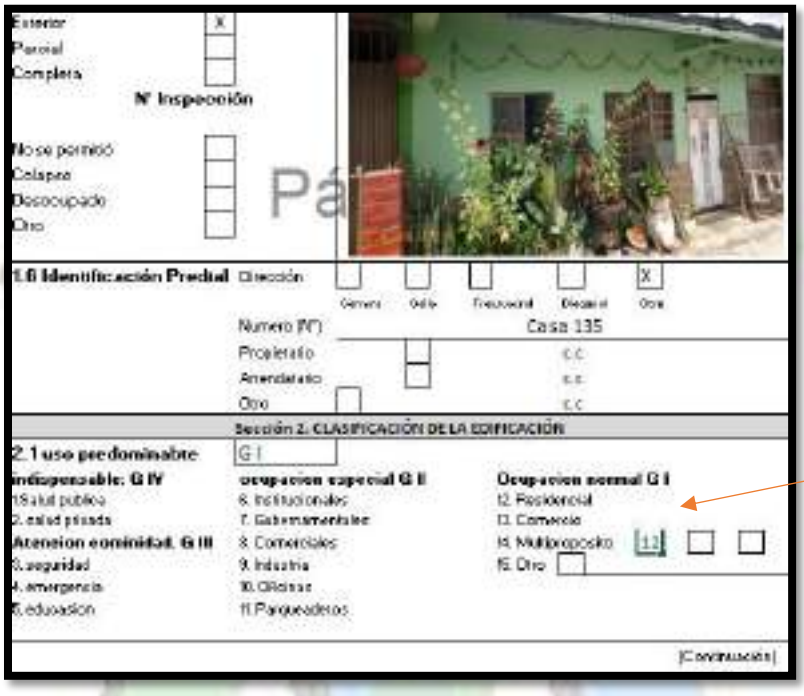


FIGURA 72 Formato de campo, señalando la clasificación de la edificación..

Caracterización de los elementos expuestos: para la caracterización de los elementos expuestos ya identificados y localizados, se deben describir y categorizar en función de su tipología, exposición y fragilidad con el propósito de evaluar su vulnerabilidad física ante la ocurrencia de un movimiento en masa. (Uzielli et al, 2010).

14.5.2.4 Tipología

A continuación, un ejemplo de un formato de campo diligenciado en una vivienda del área de estudio (casa 102, de la manzana H). En este formato digital de EXCEL, se puede observar que en el numeral 3.9 (Tipología estructural de la edificación) fue seleccionado la opción E “estructuras ligeras”, lo cual tiene la siguiente descripción según Heinimann (1999) y Jam (2007)

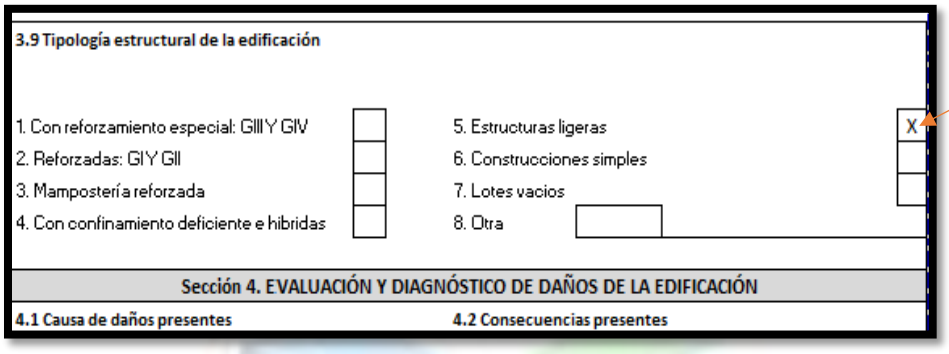


FIGURA 73. Formato de campo, señalando la tipología estructural de la edificación.

Tabla 42. . Características de la tipología "E". Fuente: Heinimann (1999) y Jam (2007).

E	Estructuras Ligeras	Edificaciones construidas con materiales tradicionales o de baja calidad, con un sistema estructural de muros cargueros. Dentro de esta tipología se incluyen las edificaciones construidas con materiales como adobe, bahareque, madera bruta, tapia pisada y las prefabricadas.

Esta y otras opciones fueron seleccionadas dentro de todos los formatos de campo, de cada vivienda caracterizando cada una dependiendo de su tipología, ya que no todas son construidas con la misma tipología.

Para definir la tipología de edificaciones se deben tomar los criterios e información propuestos en la sección 3 del formato de campo (SGC, 2016), es importante ya que tomando todos estos parámetros de la sección las cuales describen diferentes características de las edificaciones, la cual ayuda a entrar en detalle a la tipología de cada vivienda.

14.5.2.5 Exposición:

Cuando se habla de exposición en el caso de nuestra zona de estudio, hace referencia a la posición de un elemento o bien físico, en el área afectada o en condición de amenaza; las cuales serían los taludes que se presentan en la zona. Rincón de la Paz se encuentra en un área la cual pertenece a los valles inferiores de la meseta de Bucaramanga, lo cual sus características geológicas y geomorfológicas hace que esta zona presente una amenaza alta frente a la remoción en masa, y se presenten taludes que están siendo intervenidos por la acción humana ya sea generando una modificación en estos taludes y/o ubicando sus viviendas aledañas a estos taludes, teniendo en cuenta también los factores detonantes como son la lluvia y la sismicidad. Para la evaluación de vulnerabilidad de los elementos expuestos, dependen de dos factores muy importantes que son: las características del elemento (tipología, calidad de construcción, mantenimiento, uso, etc.) y su posición relativa con respecto al área afectada por el evento (exposición) (SGC, 2016). Ya que estos

factores nos ayudaran a determinar el grado de respuesta del elemento expuesto frente a las solicitaciones que genere un evento de remoción en masa.

Según las visitas realizadas en el área de estudio, se pudo analizar que la mayoría de las viviendas están posicionadas en la **zona 3 y 4** de los taludes, lo cual representa una situación crítica para las viviendas de las zona 3 las cuales son las que se encuentran en las manzanas (A, B, C, E, F, G, H, I, J, K) las cuales no presentan ningún aislamiento de los taludes de la zona sur, estas pueden presentar una vulnerabilidad alta dependiendo también de sus características estructurales.

A continuación en el siguiente formato de campo diligenciado en una vivienda del área a estudiar (casa 31 de la manzana K), es una de las viviendas que se encuentran aledañas a los cortes de taludes lo cual presentan un pendiente de 90°, se mostrara en la sección 5 "condiciones de los movimientos en masa en el predio", lo cual hace referencia a la zona de exposición de cada vivienda, lo cual es un ítem a diligenciar.

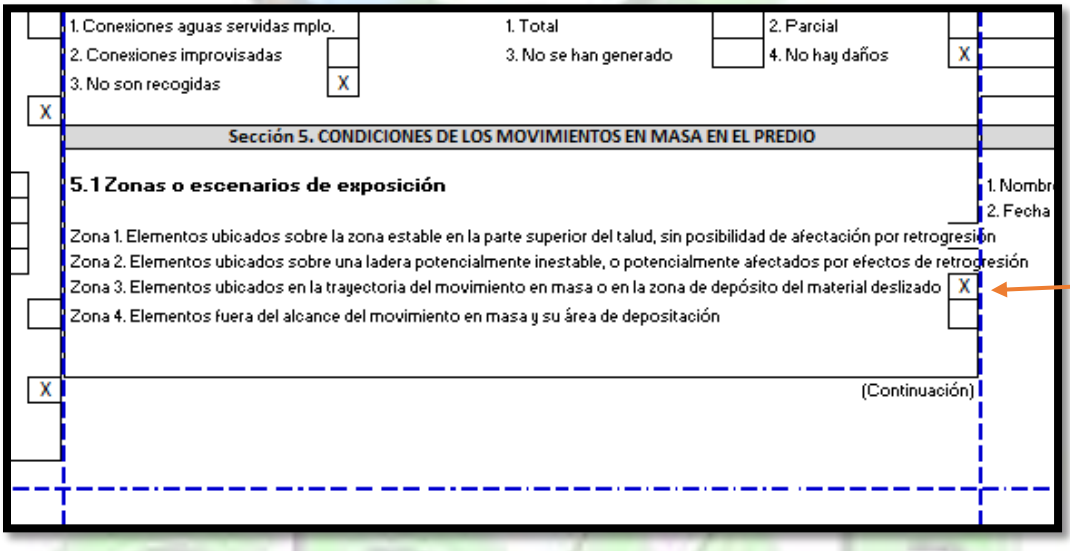


FIGURA 74. . Formato de campo, señalando la zona o escenario de exposición de la edificación.



FIGURA 75. Viviendas aledañas a talud de mayor pendiente. Fuente: propia



FIGURA 76. Viviendas aledañas a talud de mayor pendiente. Fuente: propia



FIGURA 77. Viviendas de la manzana J, Rincón de la Paz. Fuente: propia.



FIGURA 78. Talud con inclinación de 90° con viviendas aledañas al pie del mismo. Fuente: propia

.

14.5.3 Fase 3:

14.5.3.1 Fragilidad

"Por fragilidad se entiende la respuesta de los elementos expuestos frente a las solicitaciones generadas por la interacción de los movimientos en masa con dichos elementos" (SGC, 2016, p.94).

En el caso del presente estudio se evaluara la fragilidad de las edificaciones y las personas del asentamiento humano Rincón de la Paz de la siguiente manera según la guía metodológica

Según la guía metodológica, recordando anteriormente que para este análisis de vulnerabilidad se hace de manera cuantitativa, para determinar el valor de la fragilidad de las edificaciones se necesitan de cuatro parámetros, relativos al tipo de estructura (Stip), altura de la edificación (Salt), su conservación (Scon), y su edad (Sed). Estos parámetros los podemos determinar en las tablas que se mostraran a continuación, y dependiendo también de los datos que se diligenciaron en el formato de campo en cada vivienda. Teniendo en cuenta estos parámetros se hace el respectivo cálculo para la fragilidad de cada edificación, cabe aclarar que estos cálculos se realizaron en los formatos de campo digitales en un ahoja de Excel.Siguiendo la metodología propuesta por Li et al. (2009), modificada por Du et al. (2013, 2014), se tiene la siguiente fórmula para calcular la fragilidad de las edificaciones.

$$S_e = 1 - \prod(1 - s_i)$$

$$S_e = 1 - (1 - S_{tip})(1 - S_{alt})(1 - S_{con})(1 - S_{ed})$$

Li et al. (2009) Du et al. (2013, 2014)

Se mostrara un ejemplo con una vivienda del área de estudio (casa 56 de la manzana I), la cual se le diligencio el formato de campo y con esos datos poder determinar cada parámetro exigido por la fórmula de fragilidad



FIGURA 79. Vivienda en Rincón de la Paz. Fuente: propia

Parámetro de fragilidad por tipo de estructura (Stip)

Teniendo en cuenta la tipología de la estructura evaluada se determina el factor Stip de la siguiente manera:

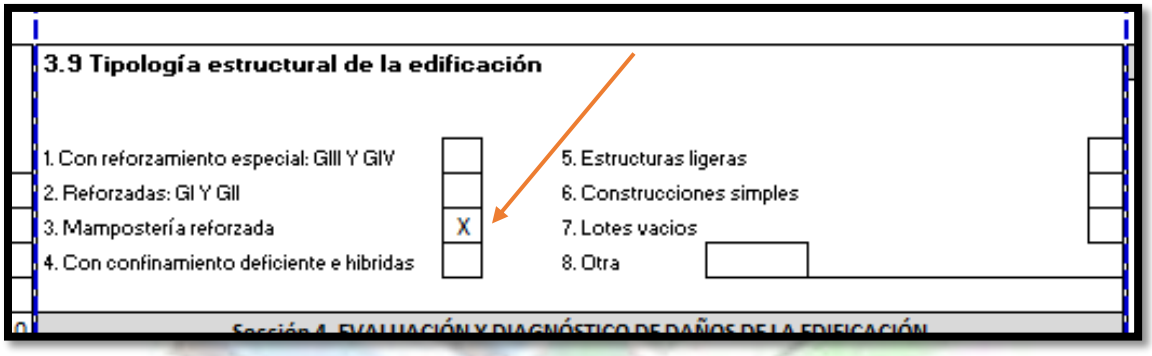


FIGURA 80. . Formato de campo, señalando la tipología estructural de la edificación.

Se determinó en este caso que la vivienda tiene una tipología de mampostería reforzada lo cual representa el siguiente valor cuantitativo según Heinimann, 1999, en Du et al., 2013.

Tabla 43. Fragilidad de las edificaciones en función de su tipología. Fuente: Heinimann, 1999, en Du et al., 2013.

TIPOLOGIA		FRAGILIDAD	Stip
F	Construcciones simples	Muy alta	1,00
E	Estructuras ligeras	Alta	0,90
D	Estructuras con confinamiento deficiente	Media	0,70
C	Mampostería reforzada	Baja	0,50
B	Edificaciones reforzadas	Muy baja	0,30
A	Edificaciones con reforzamiento especial	Extremadamente Baja	0,10

Como resultado de este parámetro tenemos que esta vivienda por tener una tipología de mampostería reforzada, su respectivo parámetro (Stip) tendrá un valor de **Stip=0,50**

Parámetro de Fragilidad por altura de la estructura (Salt)

En la sección 2 “clasificación de la edificación” del formato de campo podemos encontrar en el numeral 2.3 el número de pisos de la edificación, de cada vivienda, en este caso de la casa 56 de la manzana I, la cual es una vivienda de dos niveles sobre el terreno.



FIGURA 81. Formato de campo, señalando el número de pisos de la edificación

Este parámetro se determina a partir del **número de pisos** y la **tipología** de la estructura como se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 44. Fragilidad por altura de la estructura en función del número de pisos y tipología estructural. Fuente: Li et al. (2010).

TIPOLOGIA	NUMERO DE PISOS	Salt
E, F	≥2	0,90
D	≥4	0,90
D	2 y 3	0,60
Demás tipologías y alturas		0,05

Es decir que en el presente caso de esta vivienda que tiene una tipología de mampostería reforzada y tiene una altura de dos pisos, su respectivo parámetro (Salt) tendrá un valor de **Salt=0,05.**

Parámetro de fragilidad por conservación de la estructura (Scon)

El estado de conservación se puede inspeccionar en la visita a cada vivienda y se diligencia dicho dato en la sección 4. "Evaluación y diagnóstico de daños de la edificación" en el numeral 4.4 "Evaluación de daños en elementos estructurales", lo cual se evalúa el daño sus elementos verticales, horizontales y no estructurales dependiendo de su magnitud.

En el caso de la vivienda que se está evaluando, no presenta ningún daño como se muestra a continuación.

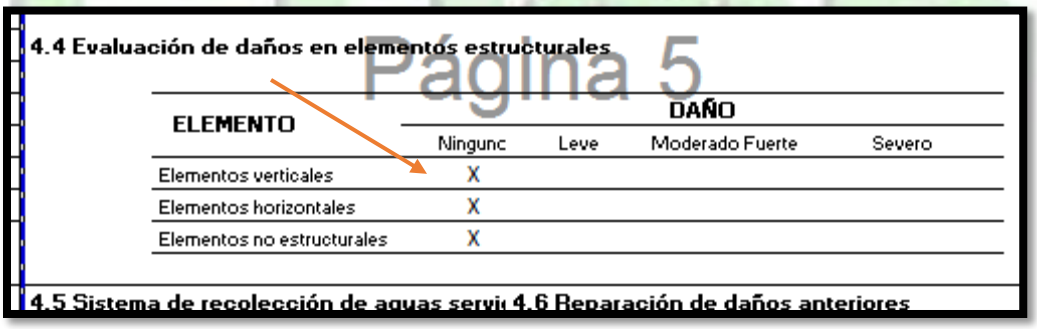


FIGURA 82. . Formato de campo, señalando la evaluación de daños de la edificación

Tabla 45. Factores de fragilidad por estado de conservación de la edificación. Fuente: Adaptado de Audell, 1996, consultada en Rodriguez y Jimenez, 2009

ESTADO DE CONSERVACIÓN	DESCRIPCIÓN	SEPARACIÓN GRIETAS (mm)	Scon
Muy bueno	No se observan deformaciones, agrietamiento o envejecimiento.	0	0,00
Bueno	Solo se observan daños superficiales leves en los acabados.	0-0,5	0,05
Deformaciones leves	Fisuras en juntas horizontales en los extremos superior e inferior de elementos verticales.	0,5-1,0	0,25
Deformaciones medias	Desplazamiento relativo o movimiento en el plano fuera de el (pandeo).	1,0-5,0	0,50
Deformaciones graves	Inclinaciones del elemento fuera de su plano vertical.	5,0-10,0	0,75
Deformaciones muy graves	Unidades de mampostería con fallas por aplastamiento. Concreto con fallas por aplastamiento.	>10,0	1,00

De acuerdo a lo observado en la vivienda se determina su respectivo valor del parámetro de conservación (Scon) y el valor que presenta esta vivienda es de **Scon=0,00.**

Parámetro de fragilidad por edad de la estructura (Sed).

El siguiente parámetro se determina a partir de la relación de los años de servicio con respecto a la vida útil de diseño de la edificación (servicio/vida útil) (SGC, 2016).

En el formato de campo en la sección 2 “clasificación de la edificación”, numeral 2.7 “calidad en la construcción” se podrá encontrar la edad de la construcción de cada vivienda evaluada en el área de estudio, en el presente caso, esta vivienda tiene 10 años desde su construcción.



FIGURA 83. . Formato de campo, señalando la calidad de la edificación

En este parámetro también se tiene en cuenta la tipología de la estructura, es decir que el primer paso es determinar la vida útil de la edificación en función de su tipología.

Tabla 46. Vida útil de la edificación en función de su tipología estructural. Fuente: Du et al. 2013-2014.

TIPOLOGIA	VIDA UTIL
A y B	50 años
C y D	30 años
E	15 años
F	1 – 2 años

Para esta vivienda que tiene una tipología de mampostería reforzada (Tipología C), su vida útil es de **30 años.** Luego de estimar su vida útil se hace una relación entre los años de construcción de la vivienda y su vida útil, lo cual a partir de dicha relación se determina el parámetro de fragilidad por edad de la construcción.

Tabla 47. . Factor de fragilidad por edad de la edificación. Fuente: Fuente: Du et al., 2013.

RELACIÓN AÑOS DE SERVICIO/VIDA ÚTIL	Sed
≤0,1	0,05
0,1-0,4	0,10
0,4-0,6	0,30
0,6-0,8	0,50
0,8-1,0	0,70
1,0-1,2	0,80
>1,2	1,00

La relación entre los años de servicio de la vivienda y su vida útil, tendrá un valor de 0,3, lo cual el respectivo parámetro de fragilidad por edad de la edificación será de **Sed=0,10.**

Teniendo estos valores de los respectivos parámetros según la fórmula de fragilidad de las edificaciones, se hace el respectivo cálculo y el valor total será de **Se = 0,57**

$$S_e = 1 - \prod(1 - s_i)$$

$$S_e = 1 - (1 - S_{tip})(1 - S_{alt})(1 - S_{con})(1 - S_{ed})$$

Li et al. (2009) Du et al. (2013, 2014)

Fragilidad de las personas

Según la guía metodológica, se propone estimar esta fragilidad de las personas en función de la fragilidad de las edificaciones, siguiendo las propuestas Ragozin & Tikhvinsky, 2000; Uzielli, 2006.

Se estimara de la siguiente manera,

$$S_{per} = (S_e)^{3.2}$$

SGC, 2016

A partir de la función exponencial de la fragilidad de la edificación.

De esta manera la fragilidad de las personas en dicha vivienda tendrá un valor de **Sper=0,168**

14.5.4 Fase 4:

14.5.4.1 Escenarios de Vulnerabilidad

Como se ha mencionado anteriormente para definir la vulnerabilidad de una estructura depende de su tipología y de la intensidad del evento amenazante, en este caso los deslizamientos. Según la guía metodológica existen tres tipos de escenarios de deslizamientos los cuales son: escenarios de deslizamiento de baja deformación (movimientos lentos), escenarios de deslizamiento en etapa de falla (movimientos rápidos) y escenario de caída de rocas.

Según lo observado en las visitas y los datos o insumos recolectados del asentamiento humano, las edificaciones presentes se ubican en su mayoría en la zona 3 y 4 de exposición, lo que quiere decir que para el caso de la zona 3, se considera el escenario de alta velocidad de deformación (movimientos rápidos) puesto que las viviendas se encuentran dentro de la zona de viaje del deslizamiento lo cual el mecanismo se divide en dos categorías: enteramiento e impacto (SGC, 2016). En el caso de las

edificaciones ubicadas en la zona 4, no se considera ninguna deformación debido a que es una zona fuera del alcance de la deposición de los deslizamientos.

14.5.4.2 Escenario de alta velocidad de deformación (movimientos rápidos)

Se toma como ejemplo una vivienda ubicada en la manzana B, lo cual estas viviendas están localizadas ubicadas en el pie del talud, lo que quiere decir que pertenecen a la zona 3 de exposición lo cual su escenario a evaluar es el de alta velocidad de deformación.

En términos generales, la intensidad de los movimientos en masa en este escenario se define en función de su profundidad y de la presión de impacto según la ecuación (4-9), propuesta por Du et al. (2014):

$$Irap = 1 – (1 – I\ f\text{-}pre)\ (1– I\ f–prof)$$

Irap es la intensidad para el escenario con movimientos rápidos.

If-pre es el parámetro de intensidad debido a la presión y se estima a partir de la relación entre la presión de impacto del deslizamiento y la presión límite soportada por la estructura.

Primero se debe estimar la presión límite de la estructura, la cual en términos de falla depende de la tipología estructural según Du et al. (2014). En el caso de la vivienda a evaluar, (vivienda 4 51W - 51 de la manzana B) su tipología es “MAMPOSTERIA REFORZADA”

Tabla 48. Presión de falla según tipología de estructura Fuente: SGC, 2016

TIPOLOGIA		**PRESIÓN LÍMITE DE LA ESTRUCTURA (kPa)**
F	Construcciones simples	1
E	Estructuras ligeras	5
D	Estructuras con confinamiento deficiente	8
C	Mampostería reforzada	11
B	Edificaciones reforzadas	18
A	Edificaciones con reforzamiento especial	20

Se puede observar que la presión límite de la estructura dada en KPa, tiene un valor de **11**, por otra parte, se debe determinar el valor de la presión y de la carga lateral que ejerce el deslizamiento hacia la estructura la cual se determina de la siguiente manera:

$$P = \frac{1}{2}\rho v^2$$

SGC, 2016

Donde

P es la presión de impacto (kPa).

p es la densidad de la masa movida (kg/m3) y ***v*** es la velocidad (m/s).

Para determinar la presión de impacto se necesitan de dos parámetros los cuales fueron estimados bajo los estudios de amenaza anteriormente desarrollados en base a la guía metodológica, se hizo el respectivo cálculo y modelamiento de los taludes, con sus características del suelo presentes en la zona, y posteriormente se estimaron los valores de densidad de masa movida, velocidad, y profundidad del deslizamiento.

Para el siguiente caso que es la vivienda 4 ubicada en la manzana B, se hizo el respectivo modelamiento del talud aledaño a dicha vivienda o manzana, y se estimaron los siguientes valores:

Densidad de masa movida: 1459 kg/m3

Velocidad del Deslizamiento: 9,3054 m/s

Profundidad del Deslizamiento: 6,59 m

Obtenidos estos valores se hace el caculo para la presión de impacto y su valor es de **0,0632.**

Posteriormente se hace la relación de la presión de impacto del deslizamiento y la presión límite de la estructura, lo cual sería de la siguiente manera: 0,0632/11 = **0,0057**

Tabla 49. Parámetro de intensidad por presión de impacto. Relación presión deslizamiento/presión límite estructura. Fuente: SGC, 2016

RELACIÓN PRESIÓN DE IMPACTO DE DESLIZAMIENTO/ PRESIÓN HORIZONTAL LÍMITE DE ESTRUCTURA	***If – pre***
<0,1	0,05
0,1-0,2	0,20
0,2-0,4	0,40
0,4-0,7	0,70
0,7-1,0	0,90
≥1,0	1,00

Y así el valor de ***If-pre*** es de **0,05**

*"**If-prof*** es el parámetro de intensidad por la profundidad del deslizamiento. Este parámetro se presenta en función de la relación entre la profundidad del deslizamiento y la altura de la edificación" (SGC, 2016, P.103).

Como se mencionó antes con los estudios de amenaza se determinó el la profundidad del deslizamiento en el talud aledaño, para el caso de la vivienda 4 de la manzana B, el cual es de 6,59 m, lo cual se hace una relación con la respectiva altura de la edificación, esta vivienda cuenta con una altura de 4,6 m. 6,59/4,6 = **1.4326**

Tabla 50. Parámetro de intensidad relación profundidad/altura de la estructura. Fuente: SGC, 2016.

RELACIÓN **PROFUNDIDAD DEL DESLIZAMIENTO/** **ALTURA EDIFICACION**	***If – prof***
<0,2	0,10
0,2-0,4	0,30
0,4-0,6	0,50
0,6-0,8	0,70
0,8-1,0	0,90
≥1,0	1,00

Y así el valor del parámetro ***If-prof*** es de **1,00.**

Se aplica la fórmula de intensidad para movimientos rápidos y el resultado es **1**.

14.5.5 Cálculo y zonificación de vulnerabilidad

Para determinar la vulnerabilidad como resultado final, se debe tener en cuenta que la vulnerabilidad es función de la fragilidad de la edificación y de la intensidad del deslizamiento, según el concepto de varios autores.

Para esta guía metodológica se adopta el modelo de Du et al. (2013) y Du et al. (2014), definido por la siguiente ecuación.

$$V = \begin{cases} \frac{1}{2}\left(\frac{I}{1-S}\right)^2 & I \leq 1-S \\ 1-\frac{1}{2}\left(\frac{1-I}{S}\right)^2 & I > 1-S \end{cases}$$

Du et al. (2013) y Du et al. (2014)

Donde

V es la vulnerabilidad de los elementos expuestos a la amenaza.

I es la intensidad del evento.

S es la fragilidad del elemento expuesto.

Para el caso de la vivienda que se está evaluando (casa 4 manzana B), se aplica la segunda fórmula debido a que el valor de la intensidad del evento es mayor que la diferencia entre 1 y la fragilidad de la edificación, según Du et al (2013) (2014), y al realizar este cálculo se puede determinar que la edificación se encuentra en un grado de vulnerabilidad **ALTO**, con un valor de **1,0**, lo cual significa que la estructura presentaría destrucción total en caso de deslizamiento. Para la evaluación de vulnerabilidad de personas, se aplican las mismas formulas, pero se tiene en cuenta el factor de fragilidad de las personas en lugar de la fragilidad de las edificaciones, en este caso también se aplica la segunda fórmula porque la intensidad es mayor que la diferencia entre 1 y la fragilidad de las personas, al aplicar la formula se tiene que la vulnerabilidad de las personas en dicha vivienda es **ALTA**, con un valor de **1,0** lo que significa la probabilidad de perdida de los individuos habitantes de la vivienda.

14.6 Resultados

14.6.1 Clasificación de vulnerabilidad física y de personas

MANZANA A

Tabla 51. Vulnerabilidad de viviendas manzana A

Vivienda	Vulnerabilidad Edificación	Valor de Vulnerabilidad	Vulnerabilidad para Personas	Valor de Vulnerabilidad
Casa 1	ALTA	1.0	ALTA	1.0
Casa 2	ALTA	1.0	ALTA	1.0
Casa 3	ALTA	1.0	ALTA	1.0
Casa 4	ALTA	1.0	ALTA	1.0
Casa 5	ALTA	1.0	ALTA	1.0
Casa 6	ALTA	1.0	ALTA	1.0

MANZANA B

Tabla 52. Vulnerabilidad de viviendas manzana B

Vivienda	Vulnerabilidad Edificación	Valor de Vulnerabilidad	Vulnerabilidad para Personas	Valor de Vulnerabilidad
Casa 1	ALTA	1.0	ALTA	1.0
Casa 2	ALTA	1.0	ALTA	1.0
Casa 3	ALTA	1.0	ALTA	1.0
Casa 4	ALTA	1.0	ALTA	1.0
Casa 5	ALTA	1.0	ALTA	1.0
Casa 6	ALTA	1.0	ALTA	1.0
Casa 7	ALTA	1.0	ALTA	1.0
Casa 8	ALTA	1.0	ALTA	1.0
Casa 9	ALTA	1.0	ALTA	1.0
Casa 10	ALTA	0,86513	MEDIA	0,35094
Casa 11	ALTA	0,99386	ALTA	0,98793
Casa 12	ALTA	1.0	ALTA	1.0
Casa 13	ALTA	1.0	ALTA	1.0
Casa 14	ALTA	0,99386	ALTA	0,98793
Casa 15	ALTA	1.0	ALTA	1.0
Casa 16	ALTA	1.0	ALTA	1.0

MANZANA C

Tabla 53. Vulnerabilidad de viviendas manzana C

Vivienda	Vulnerabilidad Edificación	Valor de Vulnerabilidad	Vulnerabilidad para Personas	Valor de Vulnerabilidad
Casa 1	MEDIA	0,18637	BAJA	0,03124
Casa 2	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 3	ALTA	0,50291	BAJA	0,06963
Casa 4	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 5	ALTA	1,0	ALTA	1,0

Casa 6	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 7	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 8	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 9	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 10	ALTA	1,0	ALTA	1,0

MANZANA D

Tabla 54. Vulnerabilidad de viviendas manzana D

Vivienda	Vulnerabilidad Edificación	Valor de Vulnerabilidad	Vulnerabilidad para Personas	Valor de Vulnerabilidad
Casa 1	MEDIA	0,18637	BAJA	0,03124
Casa 2	ALTA	0,61273	ALTA	0,56019
Casa 3	BAJA	0,09509	BAJA	0.01996
Casa 4	ALTA	0,50291	BAJA	0,06963
Casa 5	ALTA	0,50291	BAJA	0,06963
Casa 6	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 7	ALTA	0,50291	BAJA	0,06963

MANZANA E

Tabla 55. Vulnerabilidad de viviendas manzana E

Vivienda	Vulnerabilidad Edificación	Valor de Vulnerabilidad	Vulnerabilidad para Personas	Valor de Vulnerabilidad
Casa 1	ALTA	1.0	ALTA	1.0
Casa 2	ALTA	1.0	ALTA	1.0
Casa 3	ALTA	1.0	ALTA	1.0
Casa 4	ALTA	1.0	ALTA	1.0
Casa 5	ALTA	1.0	ALTA	1.0
Casa 6	ALTA	1.0	ALTA	1.0
Casa 7	ALTA	1.0	ALTA	1.0
Casa 8	ALTA	1.0	ALTA	1.0
Casa 9	ALTA	1.0	ALTA	1.0

MANZANA F

Tabla 56. Vulnerabilidad de viviendas manzana F

Vivienda	Vulnerabilidad Edificación	Valor de Vulnerabilidad	Vulnerabilidad para Personas	Valor de Vulnerabilidad
Casa 1	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 2	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 3	ALTA	0,79705	ALTA	0,94437
Casa 4	ALTA	0,63228	ALTA	0,62739
Casa 5	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 6	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 7	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 8	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 9	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 10	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 11	ALTA	1,0	ALTA	1,0

MANZANA G

Tabla 57. Vulnerabilidad de viviendas manzana G

Vivienda	Vulnerabilidad Edificación	Valor de Vulnerabilidad	Vulnerabilidad para Personas	Valor de Vulnerabilidad
Casa 1	ALTA	0,55837	BAJA	0,15413
Casa 2	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 3	ALTA	0,52934	BAJA	0,09497
Casa 4	ALTA	0,60111	ALTA	0,51656
Casa 5	ALTA	0,876089	MEDIA	0,369116
Casa 6	ALTA	0,99549	ALTA	0,99549
Casa 7	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 8	ALTA	0,87609	MEDIA	0,36912
Casa 9	ALTA	0,86513	MEDIA	0,35094
Casa 10	ALTA	0,9954	ALTA	0,9952

Casa 11	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 12	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 13	ALTA	1,0	ALTA	1,0

MANZANA H

Tabla 58. Vulnerabilidad de viviendas manzana H

Vivienda	Vulnerabilidad Edificación	Valor de Vulnerabilidad	Vulnerabilidad para Personas	Valor de Vulnerabilidad
Casa 1	BAJA	0,05163	BAJA	0,01443
Casa 2	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 3	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 4	ALTA	0,98501	ALTA	0,7899
Casa 5	ALTA	0,98623	ALTA	0,8398
Casa 6	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 7	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 8	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 9	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 10	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449

MANZANA I

Tabla 59. Vulnerabilidad de viviendas manzana I

Vivienda	Vulnerabilidad Edificación	Valor de Vulnerabilidad	Vulnerabilidad para Personas	Valor de Vulnerabilidad
Casa 1	BAJA	0,05752	BAJA	0,01518
Casa 2	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 3	ALTA	0,80597	MEDIA	0,40956
Casa 4	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 5	ALTA	0,98623	ALTA	0,8398

MANZANA J

Tabla 60. Vulnerabilidad de viviendas manzana J

Vivienda	Vulnerabilidad Edificación	Valor de Vulnerabilidad	Vulnerabilidad para Personas	Valor de Vulnerabilidad
Casa 1	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 2	ALTA	0,93736	ALTA	0,98283
Casa 3	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 4	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 5	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 6	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 7	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 8	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 9	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 10	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 11	ALTA	0,95939	ALTA	1,0
Casa 12	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 13	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 14	ALTA	1,0	ALTA	1,0

MANZANA K

Tabla 61. Vulnerabilidad de viviendas manzana K

Vivienda	Vulnerabilidad Edificación	Valor de Vulnerabilidad	Vulnerabilidad para Personas	Valor de Vulnerabilidad
Casa 1	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 2	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 3	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 4	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 5	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 6	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 7	ALTA	1,0	ALTA	1,0

Casa 8	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 9	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 10	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 11	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 12	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 13	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 14	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 15	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 16	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 17	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 18	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 19	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 20	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 21	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 22	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 23	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 24	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 25	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 26	ALTA	1,0	ALTA	1,0

MANZANA L

Tabla 62. . Vulnerabilidad de viviendas manzana L

Vivienda	Vulnerabilidad Edificación	Valor de Vulnerabilidad	Vulnerabilidad para Personas	Valor de Vulnerabilidad
Casa 1	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 2	ALTA	0,6345	ALTA	0,6345
Casa 3	ALTA	0,6345	ALTA	0,6345
Casa 4	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 5	ALTA	1,0	ALTA	1,0

MANZANA M

Tabla 63. Vulnerabilidad de viviendas manzana M

Vivienda	Vulnerabilidad Edificación	Valor de Vulnerabilidad	Vulnerabilidad para Personas	Valor de Vulnerabilidad
Casa 1	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 2	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 3	ALTA	1,0	ALTA	1,0

MANZANA N

Tabla 64. Vulnerabilidad de viviendas manzana N

Vivienda	Vulnerabilidad Edificación	Valor de Vulnerabilidad	Vulnerabilidad para Personas	Valor de Vulnerabilidad
Casa 1	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 2	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 3	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 4	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 5	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 6	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 7	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 8	ALTA	0,59712	ALTA	0,50092
Casa 9	MEDIA	0,16904	BAJA	0,02914
Casa 10	ALTA	0,61273	ALTA	0,56019

MANZANA Ñ

Tabla 65. Vulnerabilidad de viviendas manzana Ñ

Vivienda	Vulnerabilidad Edificación	Valor de Vulnerabilidad	Vulnerabilidad para Personas	Valor de Vulnerabilidad
Casa 1	BAJA	0,05752	BAJA	0,01518
Casa 2	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 3	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449

Casa 4	ALTA	0,634488	ALTA	0,634488
Casa 5	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 6	ALTA	0,634488	ALTA	0,634488
Casa 7	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 8	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 9	BAJA	0,09509	BAJA	0,01996
Casa 10	ALTA	0,634488	ALTA	0,634488
Casa 11	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 12	ALTA	0,61835	ALTA	0,58028
Casa 13	BAJA	0,09509	BAJA	0,01996
Casa 14	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 15	BAJA	0,057522	BAJA	0,015181
Casa 16	BAJA	0,057522	BAJA	0,015181
Casa 17	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 18	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 19	BAJA	0,09509	BAJA	0,01996
Casa 20	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449

MANZANA O

Tabla 66. Vulnerabilidad de viviendas manzana O

Vivienda	Vulnerabilidad Edificación	Valor de Vulnerabilidad	Vulnerabilidad para Personas	Valor de Vulnerabilidad
Casa 1	BAJA	0,05752	BAJA	0,01518
Casa 2	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 3	MEDIA	0,33133	BAJA	0,04837
Casa 4	BAJA	0,05752	BAJA	0,01518
Casa 5	BAJA	0,05752	BAJA	0,01518
Casa 6	ALTA	0,6380	ALTA	0,62257
Casa 7	ALTA	0,61273	ALTA	0,56019
Casa 8	ALTA	0,59712	ALTA	0,50092

MANZANA P

Tabla 67. Vulnerabilidad de viviendas manzana P

Vivienda	Vulnerabilidad Edificación	Valor de Vulnerabilidad	Vulnerabilidad para Personas	Valor de Vulnerabilidad
Casa 1	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 2	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 3	ALTA	0,61273	ALTA	0,56019
Casa 4	BAJA	0,09509	BAJA	0,01996
Casa 5	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 6	ALTA	0,59712	ALTA	0,50092
Casa 7	ALTA	0,59712	ALTA	0,50092
Casa 8	BAJA	0,05752	BAJA	0,01518
Casa 9	BAJA	0,05752	BAJA	0,01518

MANZANA Q

Tabla 68. . Vulnerabilidad de viviendas manzana Q

Vivienda	Vulnerabilidad Edificación	Valor de Vulnerabilidad	Vulnerabilidad para Personas	Valor de Vulnerabilidad
Casa 1	ALTA	0,59712	ALTA	0,50092
Casa 2	ALTA	0,58056	MEDIA	0,26911
Casa 3	BAJA	0,05752	BAJA	0,01518
Casa 4	ALTA	0,50291	BAJA	0,06963
Casa 5	ALTA	0,50291	BAJA	0,06963
Casa 6	ALTA	0,59712	ALTA	0,50092
Casa 7	ALTA	1,0	ALTA	1,0
Casa 8	ALTA	0,50291	BAJA	0,06963
Casa 9	BAJA	0,05752	BAJA	0,01518
Casa 10	ALTA	0,59712	ALTA	0,50092
Casa 11	ALTA	0,59712	ALTA	0,50092
Casa 12	ALTA	0,59712	ALTA	0,50092

Casa 13	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 14	BAJA	0,09509	BAJA	0,01996
Casa 15	BAJA	0,09509	BAJA	0,01996
Casa 16	BAJA	0,05752	BAJA	0,01518
Casa 17	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 18	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449

MANZANA R

Tabla 69. Vulnerabilidad de viviendas manzana R

Vivienda	Vulnerabilidad Edificación	Valor de Vulnerabilidad	Vulnerabilidad para Personas	Valor de Vulnerabilidad
Casa 1	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 2	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 3	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 4	BAJA	0,05163	BAJA	0,01443
Casa 5	BAJA	0,05163	BAJA	0,01443
Casa 6	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 7	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 8	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 9	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 10	BAJA	0,09509	BAJA	0,01996
Casa 11	ALTA	0,50291	BAJA	0,06963
Casa 12	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 13	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 14	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 15	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 16	ALTA	0,634488	ALTA	0,634488
Casa 17	MEDIA	0,18637	BAJA	0,03124
Casa 18	ALTA	0,529344	BAJA	0,09497
Casa 19	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449

Casa 20	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 21	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 22	MEDIA	0,18637	BAJA	0,031241
Casa 23	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 24	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 25	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 26	ALTA	0,502911	BAJA	0,069627
Casa 27	ALTA	0,502911	BAJA	0,069627
Casa 28	ALTA	0,553722	BAJA	0,140606
Casa 29	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 30	MEDIA	0,18637	BAJA	0,031241
Casa 31	MEDIA	0,18637	BAJA	0,031241
Casa 32	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 33	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 34	BAJA	0,09509	BAJA	0,01996
Casa 35	MEDIA	0,18637	BAJA	0,031241
Casa 36	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 37	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 38	ALTA	0,502911	BAJA	0,069627
Casa 39	ALTA	0,62019	ALTA	0,58674
Casa 40	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 41	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 42	ALTA	0,502911	BAJA	0,069627
Casa 43	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 44	ALTA	0,502911	BAJA	0,069627
Casa 45	ALTA	0,502911	BAJA	0,069627
Casa 46	ALTA	0,597123	ALTA	0,500924
Casa 47	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 48	BAJA	0,05752	BAJA	0,01518

Casa 49	BAJA	0,09509	BAJA	0,01996
Casa 50	ALTA	0,502911	BAJA	0,069627
Casa 51	ALTA	0,502911	BAJA	0,069627
Casa 52	ALTA	0,502911	BAJA	0,069627
Casa 53	ALTA	0,597123	ALTA	0,500924
Casa 54	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 55	ALTA	0,502911	BAJA	0,069627
Casa 56	BAJA	0,09509	BAJA	0,01996
Casa 57	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 58	ALTA	0,63449	ALTA	0,63449
Casa 59	ALTA	0,61273	ALTA	0,56019
Casa 60	ALTA	0,597123	ALTA	0,500924

14.6.2 Análisis estadístico

Se realizó el respectivo análisis estadístico de las encuestas realizadas por funcionarios adscritos a la subdirección de gestión del riesgo y seguridad territorial de la CDMB, el día 19 de abril del 2018, estas encuestas se realizaron a cada vivienda del asentamiento humano Rincón de la Paz, para verificar su sistema estructural, su uso predominante, la evaluación, el diagnóstico de daños de las edificaciones y sus condiciones de movimientos en masa en el predio. Estas características se determinaron por medio del levantamiento de información con un diagnóstico de inspección visual u ocular, dentro de las edificaciones, en las cuales la mayoría se pudo ingresar con autorización de los mismos residentes y posteriormente se realizó el diligenciamiento del formato de "Campo, diagnostico estructural e inspección visual- edificaciones" propuesto en la Guía metodología de estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa escala detallada, Convenio especial de cooperación 020 de 2013- Servicio Geológico Colombiano (SGC) y Universidad Nacional de Colombia (UNAL). Estos resultados se clasificaron en una tabla de Excel con la respectiva característica en la cual se encontraba cada edificación y a continuación se presentan los resultados mediante gráficas estadísticas. A cada uno de los predios se le amarró su respectiva ubicación con coordenadas, logrando así, una identificación individualizada para conseguir mostrar en mapas del asentamiento los resultados de su evaluación dentro del estudio de vulnerabilidad.

El nivel de desempeño de las edificaciones fue realizado con visitas al sitio para una evaluación de resistencia de los materiales que componen los sistemas resistentes de las edificaciones y configuraciones estructurales bastante características de la zona. Al hacer la totalidad de las encuestas de determino que existen 260 edificaciones.

Uso predominante: esto se refiere al uso de la edificación inspeccionada, ya sea de uso institucional, residencial, comercial, o multipropósito, en el levantamiento de información se encontró que la mayoría de las edificaciones son de uso residencial (94%) de uso comercial el 4% e institucional y comercial 1 % respectivamente.

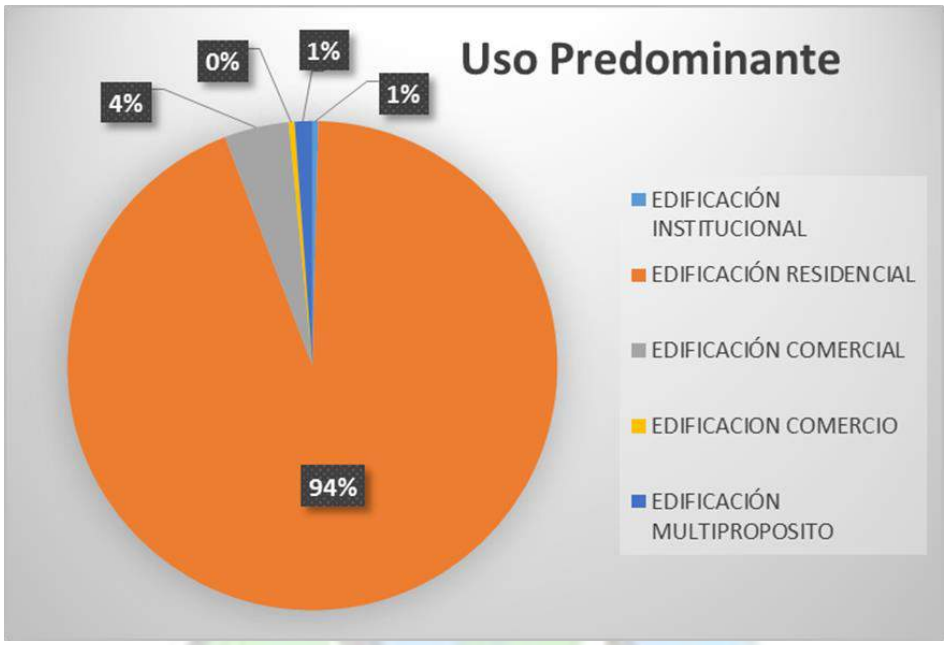


FIGURA 84. Uso predominante de las estructuras en Rincón de la Paz

Niveles o número de pisos de las edificaciones: Se encontró que la mayoría de viviendas están construidas con un nivel o un solo piso (63%) y el número máximo de niveles de las edificaciones que se encuentran en el asentamiento es de 3 niveles.



FIGURA 85. Número de pisos de las estructuras en Rincón de la Paz

Estado de la construcción: El estado de la construcción hace referencia a la condición que se encuentra, si esta se encuentra completamente construida, quiere decir que esta sin ninguna reforma y sin ninguna terminación en proceso, incompleta hace referencia a casas que no se ven bien concebidas en su estructura, la cual hace falta ciertos elementos principales que componen una edificación, y en construcción hace referencia a viviendas que actualmente se encuentran en reformas o en construcción inicial. Se encontró que en las edificaciones de la zona de estudio la mayoría están en estado completo.



FIGURA 86. Estado de las estructuras en Rincón de la Paz

Calidad en la Construcción: Esta condición hacer referencia a la calidad de las edificaciones, si esta al momento de construirse, se hizo por medio de supervisión profesional el cual brindara una construcción de calidad con un sistema estructural completo y adecuado, con un proceso técnico, y autoconstrucción la cual se hizo por medio de los mismos residentes o personas las cuales no se tiene garantizado el conocimiento para este tipo de construcciones o con aprendizajes empíricos, en el caso del asentamiento humano Rincón de la Paz se encontró que el 98% de las edificaciones son de calidad autoconstrucción.

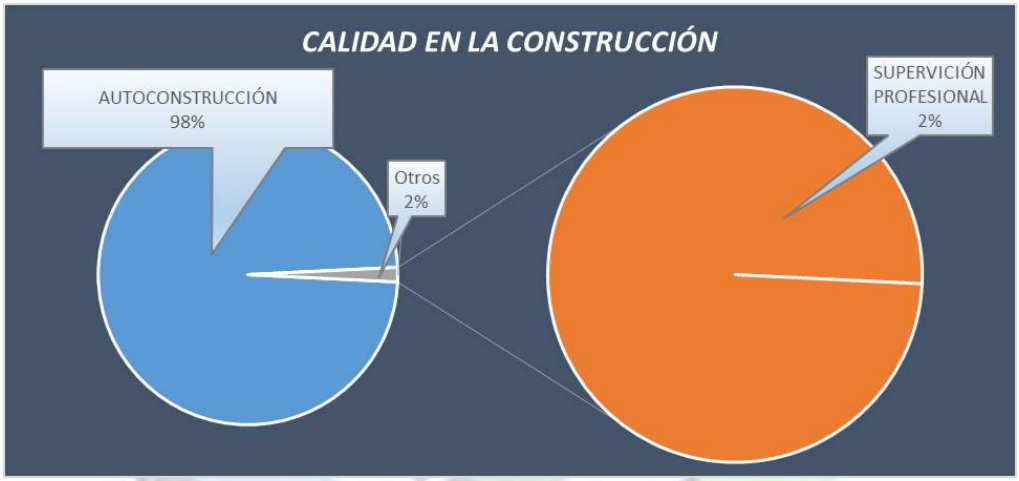


FIGURA 87. Calidad de las estructuras en Rincón de la Paz

Sistema Estructural: se encontró que la mayoría de edificaciones pertenecen a un sistema estructural con mampostería no reforzada (42%) otras con mampostería reforzada (33%) y otras construcciones improvisadas, que pertenecen a viviendas con diferentes materiales diferentes a la mampostería ya sean tablas, plásticos u otros materiales los cuales no garantizan una completa seguridad y un sistema correcto de construcción.



FIGURA 88. Sistema estructural de las viviendas en Rincón de la Paz

Sistema de Cubierta: Se encontró que la mayoría de edificaciones poseen un sistema de cubierta con una estructura metálica y teja, (62%) y otras edificaciones con estructura de madera y teja, también este es un numero representativo ya que la mayoría de viviendas por ser de bajos recursos por sus habitantes, utilizan estos sistemas de cubierta ya sea por las condiciones económicas las cuales tampoco garantizan un buen funcionamiento.

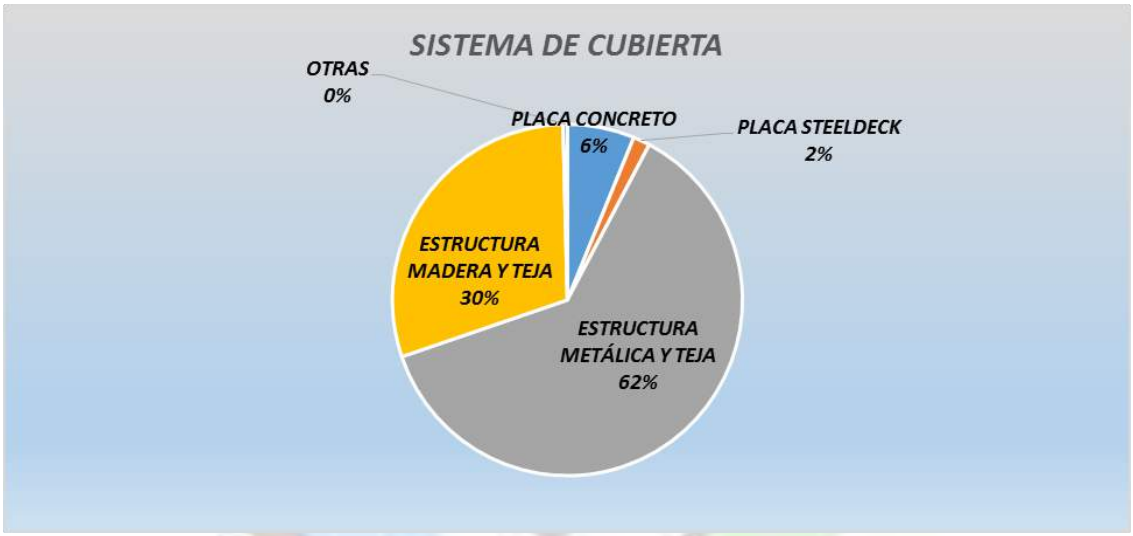


FIGURA 89. Sistema de cubierta de las estructuras en Rincón de la Paz

Tipología Estructural: La tipología estructural de las viviendas del asentamiento, pertenecen a viviendas ligeras debido a su sistema constructivo (43%) estructuras con mampostería reforzada (33%) y estructuras simples (245).

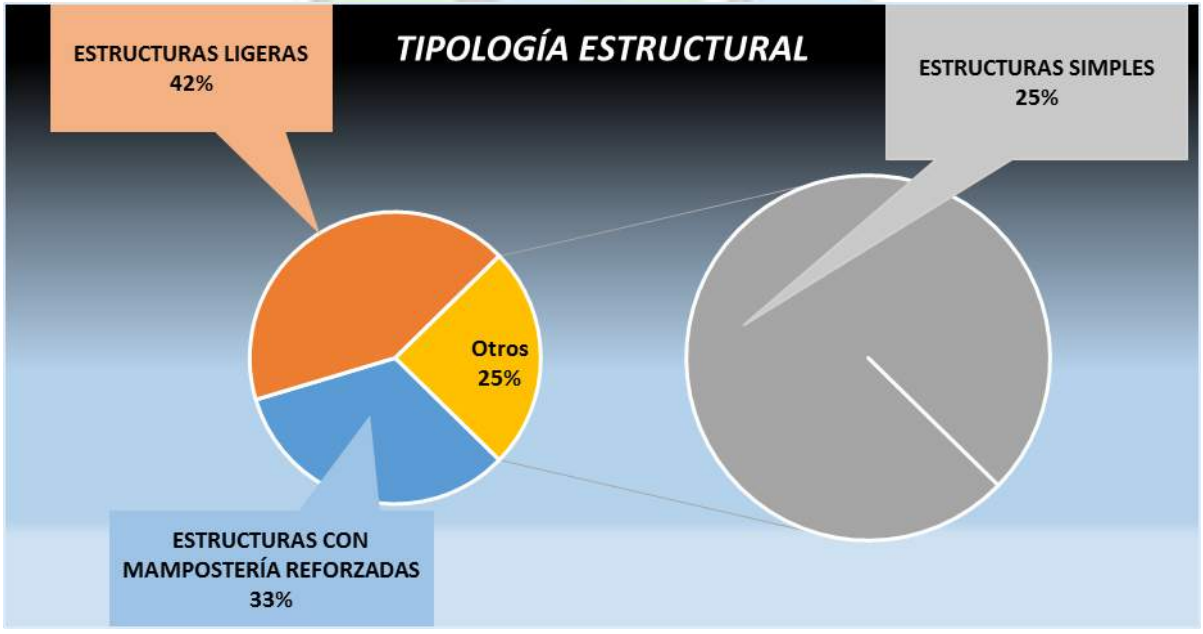


FIGURA 90. Tipología estructural de las viviendas en Rincón de la Paz

Consecuencias Presentes: durante la inspección ocular a cada vivienda del asentamiento humano se pudieron evidenciar las condiciones de las viviendas ya sea por medio de las paredes o muros, en los sistemas de entrepiso o en cualquier parte de la edificación, y se encontraron las siguientes consecuencias, se encontró que la mayoría no presentan daños aparentemente.



FIGURA 91. Consecuencias presentes en las estructuras en Rincón de la Paz

Zonas o escenarios de Exposición: se puede evidenciar que la mayoría de viviendas se encontraban aledañas a pie de los taludes del asentamiento.

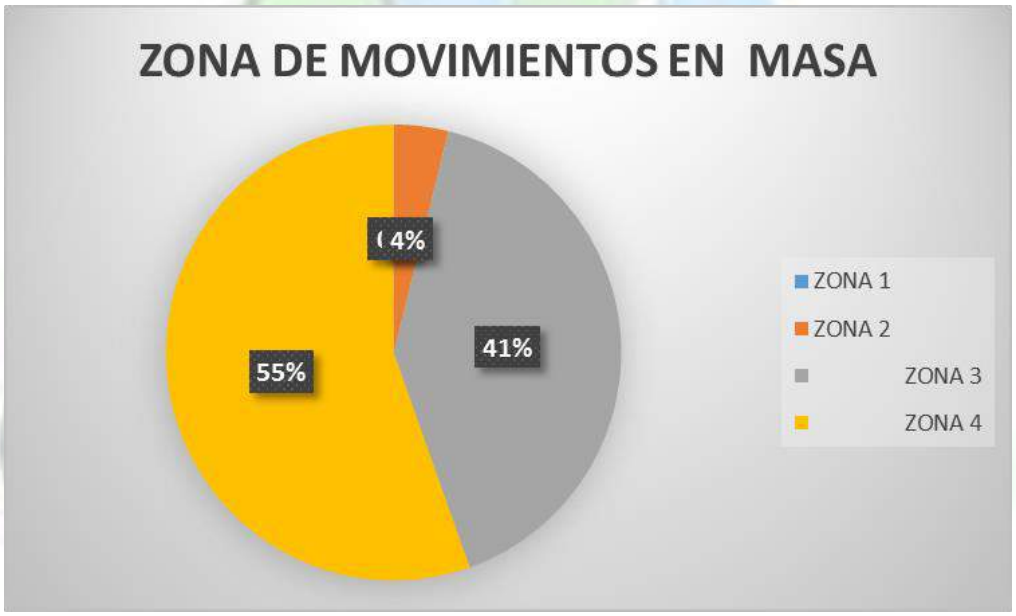


FIGURA 92. Zonas de movimientos en masa de las estructuras en Rincón de la Paz

Índice de Vulnerabilidad Física: el 86,15% de las viviendas del asentamiento humano Rincón de la Paz se encuentran en vulnerabilidad ALTA, el 10,38 % de las viviendas tienen vulnerabilidad MEDIA y el 3,46% de las viviendas tienen una vulnerabilidad BAJA.

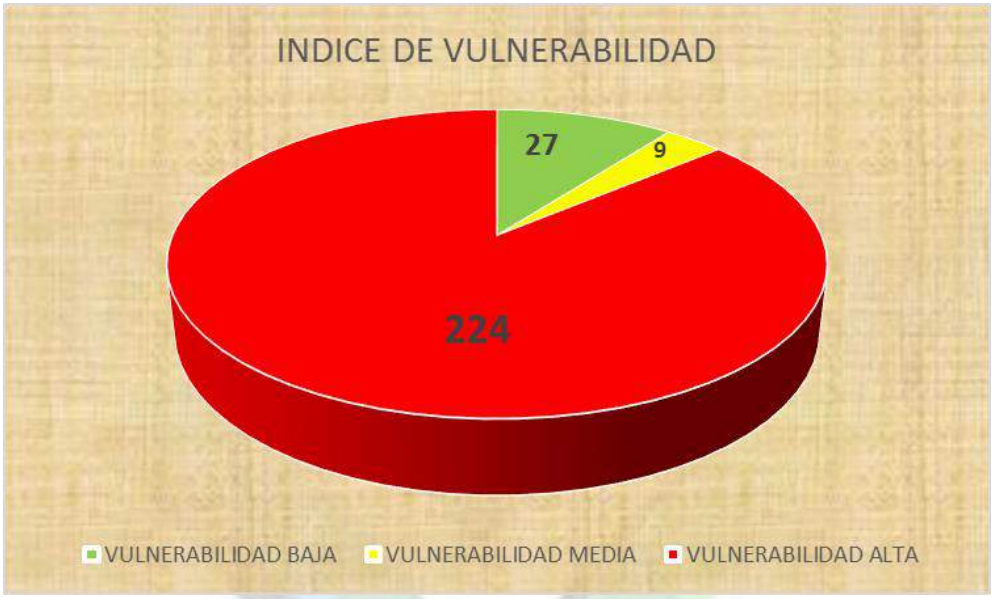


FIGURA 93. Índice de Vulnerabilidad de las estructuras en Rincón de la Paz

15 EVALUACIÓN DEL RIESGO POR FENOMENOS DE REMOCIÓN EN MASA.

Riesgo es el número esperado de vidas humanas perdidas, personas heridas, daño a la propiedad y pérdidas económicas y ambientales, relacionadas con la ocurrencia de un determinado fenómeno (Varnes 1984). En la práctica, el riesgo está definido por la magnitud de las consecuencias de la amenaza. El concepto de riesgo involucra dos variables muy importantes: Amenaza y Vulnerabilidad.

El riesgo puede reducirse si se entiende como el resultado de relacionar la amenaza, o probabilidad de ocurrencia de un evento, y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, o factor interno de selectividad de la severidad de los efectos sobre dichos elementos. Los municipios pueden implementar medidas estructurales, como el desarrollo de obras de protección y la intervención de la vulnerabilidad de los elementos bajo riesgo, y medidas no estructurales, como la regulación de usos del suelo, la incorporación de aspectos preventivos en los presupuestos de inversión y la realización de preparativos para la atención de emergencias pueden reducir las consecuencias de un evento sobre una región o una población.

Este informe pretende describir conceptual y metodológicamente, la forma en que se evaluó el riesgo físico por fenómenos de movimientos en masa en el área comprendida por el Asentamiento Humano Rincón de la Paz

La determinación del riesgo específico que se presenta en un área, es una herramienta que permite establecer la prioridad de los elementos que se ven afectados por éstos y las medidas de mitigación con el fin de prevenir la ocurrencia de desastres. Las metodologías de cuantificación del riesgo consisten, en general, de la integración de la evaluación de la amenaza, el mapeo de los elementos bajo riesgo, la evaluación de la vulnerabilidad y la estimación de costos, en caso de la ocurrencia del evento de calamidad.

La falta de planificación en las construcciones antiguas, han generado que se presenten riesgos altos debido a que los elementos en riesgo (viviendas) no son capaces de disipar las posibles fuerzas externas (sismos, fenómenos de movimientos en masa)

Para la determinación del riesgo específico fueron implementados análisis de carácter determinístico , basados en los datos de entrada de cartografía geológica, geomorfológica, pendiente del terreno natural, inventario de fenómenos de movimientos en masa y encuestas realizadas a los pobladores para la caracterización del índice de vulnerabilidad.

Los resultados del estudio constituyen una fuente para la planificación de obras de mitigación de fenómenos de movimientos en masa por parte de los organismos territoriales, la priorización de las localidades bajo riesgo y la tipificación de las medidas encaminadas al mejoramiento de la estabilidad de terrenos y, en consecuencia, de la calidad de vida de los habitantes.

15.1 Marco conceptual

El impacto de los desastres en las actividades humanas ha sido un tema tratado en los últimos años en un amplio número de publicaciones desarrolladas por diversas disciplinas que han conceptualizado sus componentes en forma diferente, aunque en la mayoría de los casos de una manera similar. La UNDRO en conjunto con la UNESCO promovió una reunión de expertos con el fin de proponer una unificación de definiciones que ha sido ampliamente aceptada en los últimos años

(UNDRO 1979). Entre otros conceptos, el reporte de dicha reunión "Desastres Naturales y Análisis de Vulnerabilidad" incluyó los siguientes:

- **AMENAZA O PELIGRO** (**HAZARD - H**), definida como la probabilidad de ocurrencia de un evento potencialmente desastroso durante cierto período de tiempo en un sitio dado.
- **VULNERABILIDAD (V),** como el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo resultado de la probable ocurrencia de un evento desastroso, expresada en una escala desde 0 o sin daño a 1 o pérdida total.
- **RIESGO ESPECÍFICO (SPECIFIC RISK -RS),** como el grado de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un evento particular y como una función de la Amenaza y la Vulnerabilidad.
- **ELEMENTOS BAJO RIESGO (E),** como la población, las edificaciones y obras civiles, las actividades económicas, los servicios públicos, las utilidades y la infraestructura expuesta en un área determinada.
- **RIESGO TOTAL (TOTAL RISK - Rt),** como el número de pérdidas humanas, heridos, daños a las propiedades y efectos sobre la actividad económica debido a la ocurrencia de evento desastroso, es decir el producto del Riesgo Específico (Rs) y los elementos bajo riesgo (E). En otras palabras, la evaluación del riesgo puede llevarse a cabo mediante la siguiente formulación general:

$$\mathbf{Rt = (E)(Rs) = (E)\ (H\ .\ V)}$$

Conservando esta conceptualización propuesta por el grupo de expertos reunidos en 1979, el autor propuso en 1985 en el Instituto de Ingeniería Sísmica y Sismología - IZIIS, de Skopje Yugoeslavia, eliminar la variable Exposición (E) por considerarla implícita en la Vulnerabilidad (V), sin que esto modificara la concepción original. Dicha formulación, entonces, fue planteada de la siguiente manera:

Una vez conocida la amenaza o peligro así, entendida como la probabilidad de que se presente un evento con una intensidad mayor o igual a i durante un período de exposición t, y conocida la vulnerabilidad Ve, entendida como la predisposición intrínseca de un elemento expuesto e a ser afectado o de ser susceptible a sufrir una pérdida ante la ocurrencia de un evento con una intensidad i, el riesgo puede entenderse como la probabilidad de que se presente una pérdida sobre el elemento e, como consecuencia de la ocurrencia de un evento con una intensidad mayor o igual a i,

$$\mathbf{Rie = f\ (Ai,Ve)}$$

Es decir, la probabilidad de exceder unas consecuencias sociales y económicas durante un período de tiempo t dado (Cardona 1991).

De una manera más exacta, entonces, pueden distinguirse dos conceptos que en ocasiones han sido equivocadamente considerados como sinónimos pero que son definitivamente diferentes tanto desde el punto de vista cualitativo como cuantitativo:

a) La Amenaza, representado por un peligro latente asociado con un fenómeno físico de origen natural o tecnológico que puede presentarse en un sitio específico y en un tiempo determinado produciendo efectos adversos en las personas, los bienes y/o el medio ambiente, matemáticamente expresado como la probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un evento con una cierta intensidad en un cierto sitio y en cierto período de tiempo.

b) El Riesgo, o daño, destrucción o pérdida esperada obtenida de la convolución de la probabilidad de ocurrencia de eventos peligrosos y de la vulnerabilidad de los elementos expuestos a tales amenazas, matemáticamente expresado como la probabilidad de exceder un nivel de consecuencias económicas y sociales en un cierto sitio y en un cierto período de tiempo (Spence 1990).

La diferencia fundamental entre la amenaza y el riesgo está en que la amenaza está relacionada con la probabilidad de que se manifieste un evento natural o un evento provocado, mientras que el riesgo está relacionado con la probabilidad de que se manifiesten ciertas consecuencias, las cuales están íntimamente relacionadas no sólo con el grado de exposición de los elementos sometidos sino con la vulnerabilidad que tienen dichos elementos a ser afectados por el evento (Fourier 1985).

15.2 Características de los desastres

Un desastre puede definirse como un evento o suceso que ocurre, en la mayoría de los casos, en forma repentina e inesperada, causando sobre los elementos sometidos alteraciones intensas, representadas en la pérdida de vida y salud de la población, la destrucción o pérdida de los bienes de una colectividad y/o daños severos sobre el medio ambiente. Esta situación significa la desorganización de los patrones normales de vida, genera adversidad, desamparo y sufrimiento en las personas, efectos sobre la estructura socioeconómica de una región o un país y/o la modificación del medio ambiente; lo anterior determina la necesidad de asistencia y de intervención inmediata

Los desastres de origen antrópico pueden ser originados intencionalmente por el hombre o por una falla de carácter técnico, la cual puede desencadenar una serie de fallas en serie causando un desastre de gran magnitud.

En general existe una diversidad de posibles desastres de origen tecnológico. En la actualidad, los centros urbanos y los puertos ofrecen una alta susceptibilidad a que se presenten este tipo de eventos debido a la alta densificación de la industria, de la edificación y de los medios de transporte masivo de carga y población.

15.3 Enfoque de las ciencias naturales y sociales

El tema de la evaluación de los riesgos y la prevención de desastres ha sido tratado relativamente desde hace pocos años a nivel internacional. Su conceptualización y análisis sistemático prácticamente lo iniciaron los especialistas de las ciencias naturales con estudios acerca de fenómenos geodinámicas, Hidrometeorológicas y tecnológicos tales como terremotos, erupciones volcánicas, deslizamientos, huracanes, inundaciones, accidentes industriales, etc. En otras palabras, durante la mayor parte del tiempo y en particular en los primeros años el énfasis se dirigió hacia el conocimiento de las "amenazas" por el sesgo investigativo y académico de quienes generaron las primeras reflexiones sobre el tema.

Es importante mencionar que aún se conserva este énfasis, en particular en los países más avanzados, donde por su desarrollo tecnológico se intenta conocer con mayor detalle los fenómenos generadores de las amenazas. Está marcada tendencia ha sido evidente durante los primeros años del "Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales" declarado por la Organización de las Naciones Unidas para los últimos años del milenio.

Si lo que se pretende es la estimación del riesgo, indudablemente el estudio y la evaluación de la amenaza es un paso de fundamental importancia; sin embargo, para lograr dicho propósito es igualmente importante el estudio y el análisis de la vulnerabilidad. Por esta razón, varios especialistas, posteriormente, empezaron a impulsar la necesidad de estudiar la "vulnerabilidad física", la cual básicamente fue relacionada con el grado de exposición y la fragilidad o capacidad de los elementos expuestos a la acción de los fenómenos.

Este último aspecto permitió ampliar el trabajo a un ámbito multidisciplinario debido a la necesidad de involucrar a otros profesionales tales como Geólogos, Ingenieros, arquitectos, economistas y planificadores, quienes paulatinamente han encontrado de especial importancia la consideración de la amenaza y la vulnerabilidad como variables fundamentales para la planificación física y la norma de construcción de vivienda e infraestructura.

No obstante, lo anterior, el enfoque es todavía muy "tecnocrático" porque sigue siendo altamente dirigido hacia el detonante del desastre: la amenaza, y no hacia a las condiciones que favorecen la ocurrencia de la crisis, que no son exclusivamente las condiciones de vulnerabilidad física sino las de "vulnerabilidad social". En los países en desarrollo la vulnerabilidad social es, en la mayoría de los casos, la causa de las condiciones de vulnerabilidad técnica. A diferencia de la amenaza que actúa como detonante, la vulnerabilidad social es una condición que permanece en forma continua en el tiempo y está íntimamente ligada a los aspectos culturales y al nivel de desarrollo de las comunidades (Maskrey 1989 y Medina 1992).

Sólo en los últimos años especialistas de las ciencias sociales se han interesado por el tema, razón por la cual aún existen grandes vacíos que impiden un entendimiento completo de los problemas de riesgo y sus verdaderas posibilidades de mitigación. La lectura acerca de la vulnerabilidad y el riesgo de los geofísicos, hidrólogos, ingenieros, planificadores, etc. puede llegar a ser muy diferente de la lectura que tienen las personas y las comunidades expuestas. Por esta razón es necesario profundizar, también, el conocimiento acerca de la percepción individual y colectiva del riesgo e investigar las características culturales, de desarrollo y de organización de las sociedades que favorecen o impiden la prevención y la mitigación; aspectos de fundamental importancia para poder encontrar medios eficientes y efectivos que logren reducir el impacto de los desastres en el mundo.

Un enfoque sociológico de los desastres y del riesgo podría llegar a ser más ambicioso y prometedor, en particular, en los países en desarrollo en donde los modelos tradicionales de planificación no han arrojado resultados satisfactorios debido a la dinámica de sus eventos sociales. Un planeamiento basado en prospectiva y alertas tempranas podría ser un camino interesante para explorar, dado que permitiría adelantarse a las crisis y mitigar los eventos detonantes o las condiciones de vulnerabilidad que favorezcan la ocurrencia de las mismas.

15.4 Riesgo aceptable

Exceptuando algunos valores cuantitativos utilizados por algunos cuerpos legislativos del oeste norteamericano, que en conjunto no constituyen un grupo firme de precedentes, puede decirse que prácticamente no existen leyes que establezcan un "valor" de riesgo aceptable, que en términos generales es aquel que la comunidad está dispuesta a asumir a cambio de determinada tasa o nivel de beneficios.

Este concepto lo ilustra por ejemplo la decisión de una comunidad, una vez conocido el mapa de riesgo por fenómenos de movimientos en masa, el de construir sobre una ladera con alta pendiente

una vivienda, aceptado la posible pérdida de una edificación. En este caso la decisión depende de la estabilidad y la propiedad de los materiales que cubren la zona y de la resistencia del suelo estable.

En la fase de análisis geotécnico y diseño de las obras de ingeniería ha sido común utilizar este concepto en forma implícita con el fin de lograr un nivel de protección y seguridad que justifique la inversión teniendo en cuenta como referencia la vida útil de la obra. Para el efecto se utilizan factores de seguridad que en términos probabilísticos cubren "razonablemente" la incertidumbre de la posible magnitud de las acciones externas, la imprecisión de la modelación analítica y la aproximación de las hipótesis simplificadoras (Cardona 1990).

Varios investigadores han tratado de evaluar cuánto de riesgo puede considerarse como "razonable", "factible" o "aceptable". Estadísticas de mortalidad realizadas por Trevor Kletz indican que una persona corre el mismo riesgo de morir en las siguientes situaciones: recorriendo 6500 km en automóvil, fumando 100 cigarrillos diarios, escalando por dos horas, trabajando en la industria química durante un año, o siendo simplemente una persona de sesenta años durante treinta y seis horas. Otro análisis realizado por el mismo profesor inglés indica que si fuera posible eliminar todas las otras causas de muerte, la esperanza de vida promedio sería de: 6000 años para un trabajador en una siderúrgica, 300 años para el conductor de una moto y 10.000 millones de años si se considerara como única causa de muerte el hecho de ser alcanzado por un rayo (Verger 1983).

Teniendo en cuenta la causa, Starr (Starr 1969) propuso diferenciar el riesgo a morir por actividades voluntarias del asociado con actividades involuntarias. El primero se refiere a situaciones en las cuales un individuo se expone más o menos conscientemente o usa su propio sistema de valores para evaluar de acuerdo con su experiencia su exposición, la cual ajusta normalmente en forma inconsciente. Por ejemplo manejar un automóvil, fumar, viajar en un avión comercial, practicar un deporte, etc. El riesgo que se calcula puede ser del orden de 100 muertes promedio por millón de personas anualmente. En el segundo, los individuos están expuestos, sin tener un control razonable sobre el riesgo, razón por la cual los criterios y las opciones de protección son determinados no por los individuos afectados sino por un cuerpo controlador según las presiones de la sociedad.

Según el estudio de Starr, la comunidad desea que los riesgos involuntarios, tales como los desastres, sean alrededor de 100 a 10.000 veces menores que los voluntarios. Es decir, que para una catástrofe el número de muertes podría estar entre 1 y 0.01 por millón de personas expuestas anualmente (Whitman 1975). De acuerdo con esta apreciación, Wiggins y Moran sugirieron que 0.1 podría ser el valor usado como aceptable para el caso de los terremotos y otros desastres igualmente severos (Wiggins 1970).

La sociedad debe decidir cómo asignar los recursos disponibles entre las diferentes formas de dar seguridad para la vida y proteger el medio ambiente. De una u otra forma los beneficios anticipados de diferentes programas de protección deben compararse con el costo económico que significa la implementación de dichos programas. Existe un punto de equilibrio a partir del cual no se justifica una mayor protección, que bien puede ser utilizado como límite ideal a partir del cual puede transferirse la pérdida a los sistemas de seguros.

15.5 Protección e incertidumbre

Evaluar pérdidas futuras es algo incierto, razón por la cual usualmente se recurre a alguna medida probabilística para la realización de un estudio de esta naturaleza. Los riesgos pueden expresarse en pérdidas promedio de dinero o de vidas por año, sin embargo, debido a que eventos de gran intensidad

son hechos muy raros, las pérdidas promedio para este tipo de eventos, tan poco frecuentes, pueden no dar una imagen representativa de las grandes pérdidas que podrían estar asociadas a los mismos. Esta dificultad puede resolverse determinando para un límite de pérdida la probabilidad de que éste sea igualado o sobrepasado. Un ejemplo puede ser la probabilidad de que el costo de los daños y reparaciones en un sitio sobrepase una cifra de mil millones de pesos como consecuencia de por lo menos un evento en los próximos cincuenta años. Este límite que podría también expresarse en términos de víctimas humanas o de fallas en las edificaciones.

Una metodología ampliamente utilizada para la determinación indirecta del nivel de riesgo es el análisis de costo y beneficio, en el cual se relaciona el daño con el peligro para la vida. En áreas altamente expuestas donde ocurren con frecuencia eventos de dimensiones moderadas, cualquier aumento en los costos de mitigación se verá compensado por la reducción en los costos causados por daños (Mora 1978). Sin embargo, en áreas menos expuestas los requisitos de mitigación se pueden justificar sólo en términos de seguridad para la vida, pues los ahorros esperados en daños por eventos que ocurren con muy poca frecuencia no son lo suficientemente cuantiosos para justificar un aumento en los costos de la mitigación.

Comúnmente, los riesgos que resultan de la frecuente ocurrencia de un número menor de fatalidades tienden a generar menos aversión al riesgo que hechos poco frecuentes, pero con grandes impactos, aunque las sumas de las fatalidades de ambas causas sean comparables. En otras palabras, la percepción del riesgo no es lineal o simplemente existen otros valores que son muy importantes para la sociedad tales como los costos ecológicos y los costos económicos directos e indirectos relacionados con el evento. Para el público en general no es desconocido que el número de muertes causadas por accidentes de tránsito supera ampliamente al causado por eventos tales como los terremotos, las erupciones volcánicas, u otros fenómenos similares.

La aplicación de medidas preventivas no garantiza una confiabilidad del 100% de que no se presenten consecuencias, razón por la cual el riesgo no puede eliminarse totalmente. Su valor por pequeño que sea, nunca será nulo; por lo tanto, siempre existe un límite hasta el cual se considera que el riesgo es controlable y a partir del cual no se justifica aplicar medidas preventivas. A todo valor que supere dicho límite se le cataloga como un riesgo incontrolable, y su diferencia con el mismo se le considera como un riesgo admisible o aceptable. Por ejemplo, las obras de ingeniería que se realizan para impedir o controlar ciertos fenómenos, siempre han sido diseñadas para soportar como máximo un evento cuya probabilidad de ocurrencia se considera lo suficientemente baja, con el fin de que la obra pueda ser efectiva en la gran mayoría de los casos, es decir para los eventos más frecuentes. Esto significa que pueden presentarse eventos poco probables que no podrían ser controlados y para los cuales resultaría injustificado realizar inversiones mayores.

Estos enfoques no toman decisiones por sí mismos, las decisiones se toman mediante actos administrativos y judiciales. Al incorporar elementos de control legal los cuerpos legislativos han demostrado cada vez mayor interés en los estudios técnicos, sin embargo, ponen de manifiesto que no desean verse obligados por sus resultados y es comprensible que cualquier administrador o legislador dude en respaldar explícitamente como aceptable cualquier riesgo que no sea cero. En última instancia los legisladores y los administradores se guían por sus propias perspectivas y por los deseos de la sociedad.

15.6 Responsabilidad técnica

La sociedad toma sus propias decisiones en información fragmentada y proveniente de muchos puntos de vista diferentes. La gente, tanto de manera individual como colectiva, simplemente no percibe el riesgo de una manera cuantitativa; la sociedad está fuertemente influenciada por dirigentes a quienes se les puede creer. Si los dirigentes pueden ser influenciados por estudios técnicos, la sociedad también se verá influenciada por ellos indirectamente (Applied Technology Council 1978).

Con frecuencia los tribunales se convierten en los jueces finales de si un curso de acción propuesto para reducir el riesgo es aceptable o no. La lección que se ha aprendido es que hay que equiparar la severidad de los reglamentos con la severidad del riesgo. Los tribunales se ciñen al principio de la persona razonable que lucha para lograr este balance y utiliza información para respaldar el hallazgo del equilibrio apropiado.

En términos legales, un "acto fortuito" o de "fuerza mayor" es un evento sobre el cual no se tiene control. Sin embargo, aunque en cierto sentido algunos fenómenos no puedan ser controlados, el estado del conocimiento actualmente permite que muchos de ellos puedan ser "pronosticados" y que sus efectos, bajo ciertas circunstancias, puedan ser "mitigados" o prevenidos parcialmente. Por esta razón, dentro de la legislación de algunos estados norteamericanos como California, Utah, Washington y Alaska, este argumento no es aceptado para la defensa en casos de desastre, incluidos eventos como los terremotos (Perkins 1989).

Tradicionalmente las instituciones del estado han sido protegidas por una inmunidad derivada de las nociones inglesas de que "El rey hace, no se equivoca" y de que el hacedor de las leyes no puede ser procesado por las leyes creadas por él. Sin embargo, dicha inmunidad en la mayoría de los países se ha reducido significativamente. En Estados Unidos, la ley explícitamente acepta inmunidad para las entidades del estado y sus funcionarios sólo durante situaciones de emergencia declaradas.

Los actos fortuitos, denominados "Actos de Dios" en otras legislaciones, sólo pueden ser utilizados para la defensa en dos situaciones muy limitadas: 1) Si el evento fue de tal tipo o dimensión que pueda demostrarse que no era posible pronosticarlo y que no se obró en forma negligente en caso de un evento pronosticable; o 2) Si el evento es pronosticable, se demuestra que se tomaron todas las acciones consideradas como "razonables" para prevenir sus efectos, no obstante se hubiesen presentado daños.

15.7 Análisis cuantitativo del riesgo

El riesgo, como ya se mencionó, se obtiene de relacionar la amenaza, o probabilidad de ocurrencia de un fenómeno de una intensidad específica, con la vulnerabilidad de los elementos expuestos. Por lo tanto, el riesgo puede ser de carácter geológico, hidrológico, atmosférico o, también, tecnológico, dependiendo de la naturaleza de la amenaza a la cual está referido.

Desde el punto de vista físico, el "riesgo específico" es la pérdida esperada en un período de tiempo, que puede ser expresada como una proporción del valor o costo de reemplazo de los elementos bajo riesgo. Usualmente, el riesgo específico representa pérdida de vidas, heridos y pérdidas de inversiones de capital. Ahora bien, debido a la dificultad que significa estimar el "riesgo total", o sea la cuantificación acumulativa del riesgo específico de cada uno de los elementos expuestos y para cada una de las amenazas, en general se acepta referirse al riesgo haciendo referencia a un riesgo específico representativo para la región, como, por ejemplo: el riesgo por inundación para las cosechas, el riesgo sísmico de las edificaciones, el riesgo de las líneas vitales por deslizamientos, etc.

Adicionalmente, es común que el riesgo sea estimado solamente en términos físicos, dado que la vulnerabilidad social es difícil de evaluar en términos cuantitativos, no con esto queriendo decir que no sea posible estimar, para estos casos, en forma relativa o mediante indicadores "riesgos relativos", que igualmente permiten tomar decisiones y definir prioridades de prevención y mitigación.

De otra parte, una vez evaluado el riesgo y teniendo en cuenta que no es posible reducirlo a cero, para efectos de la planificación y el diseño de obras de infraestructura y de protección es necesario definir un nivel de "riesgo aceptable", o sea un valor admisible de probabilidad de consecuencias sociales y económicas que, a juicio de las autoridades que regulan este tipo de decisiones, se considera lo suficientemente bajo para permitir su uso en la planificación física, la formulación de requerimientos de calidad de los elementos expuestos o para fijar políticas socio-económicas afines.

Al igual que la amenaza, el riesgo también puede plasmarse en mapas. Estos mapas pueden ser, dependiendo de la naturaleza de la amenaza probabilísticos o determinísticos. En este último caso, los mapas de riesgo representan un "escenario", o sea la distribución espacial de los efectos potenciales que puede causar un evento de una intensidad definida sobre un área geográfica, de acuerdo con el grado de vulnerabilidad de los elementos que componen el medio expuesto (Cardona 1991).

Estos mapas, como puede intuirse, no sólo son de fundamental importancia para la planificación de la intervención de la amenaza y/o la vulnerabilidad a través de los planes de desarrollo, sino también para la elaboración de los planes de contingencia que los organismos operativos deben realizar durante la etapa de preparativos para emergencias. Es importante anotar que un plan operativo elaborado con base en un mapa de riesgo es mucho más eficiente que si se realiza sin conocer dicho escenario de efectos potenciales, dado que este último permite definir procedimientos de respuesta más precisos para atender a la población en caso de desastre.

Para el análisis de riesgos se toma una metodología de Luis I. González de Vallejo, (INGENIERIA GEOLOGICA).

15.7.1 Riesgos Geológicos

Los procesos geodinámicos que afectan a la superficie terrestre dan lugar a movimientos del terreno de diferente magnitud y características, que pueden constituir riesgos geológicos al afectar, de una forma directa o indirecta, a las actividades humanas.

Tabla 70 Procesos geológicos y meteorológicos que pueden causar riesgo al proyecto

PROCESOS GEODINÁMICOS EXTERNOS	➢ Deslizamientos y desprendimientos. ➢ Hundimientos y Subsidencias. ➢ Erosión. ➢ Expansividad y colapsabilidad de suelos.
PROCESOS HIDROGEOLÓGICOS	➢ Lluvias torrenciales y precipitaciones intensas. ➢ Inundaciones y avenidas. ➢ Procesos de arroyada.

Fuente. Vallejo, Gonzales 2001

Fenómenos tan variados como la erosión, disolución movimientos sísmicos, y erupciones volcánicas y las precipitaciones pueden producir deslizamientos y desprendimientos en las laderas, colocadas de tierra y derrubios, aterramientos, hundimientos, subsidencias, etc. Estos movimientos del terreno son el reflejo del carácter dinámico del medio geológico y de la evolución natural del relieve, pero también pueden ser provocados o desencadenados por el hombre al interferir con la naturaleza y modificar sus condiciones.

Estas actuaciones deben partir del conocimiento de los procesos geodinámicas y del comportamiento geomecánica del terreno.

Los daños asociados a un determinado proceso geológico dependen de:

La velocidad, magnitud y extensión del mismo; los movimientos del terreno pueden ocurrir de forma violenta y catastrófica (Terremotos, grandes deslizamientos repentinos, hundimientos) o lenta (Flujos y otros movimientos de laderas, subsidencias, etc.).

La posibilidad de prevención y predicción y el tiempo de aviso; algunos procesos, como terremotos o avenidas repentinas (Flash Floods) no pueden ser previstos, disponiéndose de muy poco o ningún tiempo para alertas.

La posibilidad de actuar sobre el proceso y controlarlo o de proteger los elementos expuestos a sus efectos.

Los efectos de los movimientos del terreno pueden ser directos o indirectos, cortos, largo plazo o permanentes. La escala de tiempo geológico en que se desarrollan determinados procesos, como los tectónicos o isostáticos, hace que sus efectos no sean considerables a escala humana.

Una vez determinad los Índices de Vulnerabilidad Física (IVF) del elemento expuesto, el riesgo se calculará como la multiplicación de la probabilidad de falla obtenida de los análisis de amenaza por el IVF.

A continuación, se desarrollan los aspectos relacionados con la evaluación y prevención de los riesgos geológicos y su influencia en las obras de ingeniería. A este respecto, conviene resaltar la importancia de considerar la incidencia de los procesos dinámicos naturales en el diseño y la seguridad de las obras e instalaciones, junto a la evaluación de la seguridad geotécnica. Así los estudios deben incluir:

- La seguridad frente al fallo geotécnico del terreno.
- La seguridad frente a los procesos geológicos.
- El riesgo está referido como la peligrosidad a un periodo de tiempo determinado, y se puede evaluar de forma determinista o probabilística.

El riesgo puede calcularse a partir de la expresión:

$$\mathbf{IR = Pf * IVF}$$

Dónde:

IR: Índice de Riego, **Pf**: Probabilidad de falla, **IVF**: Índice de Vulnerabilidad Física

Finalmente, con este Índice o Índices de Riesgo se determinarán las pérdidas económicas directas esperadas al multiplicarlo por los costos de la reposición del elemento expuesto para antes del evento.

R=IR*S

El método se ha desarrollado con el fin de considerar la variabilidad de los parámetros y los detonantes. Esta metodología ha sido presentada por muchos autores, entre ellos se encuentra uno de los autores más importantes en la investigación de metodologías para el análisis de Amenaza, Vulnerabilidad y riesgo, Varnes J.D., (1984) en su libro "Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice". Además, es implementado en Colombia desde los años 1999 por el Ingeniero Álvaro González, en donde cito uno de los trabajos realizados para la DPAE: "*Metodología para el Análisis de Vulnerabilidad y Riesgo por Fenómenos de Movimientos en masa en Santa fe de Bogotá.* Colombia: XI CPMSIF Fox de Iguazú, Brasil, 1999 "(Ver Bibliografía).

Finalmente, con este Índice o Índices de Riesgo se determinarán las pérdidas económicas directas esperadas al multiplicarlo por los costos de la reposición del elemento expuesto para antes del evento.

Para la categorización del riesgo, se determinó los valores establecidos por la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias-DPAE, los cuales categorizan el riesgo ara los siguientes rangos del índice de riesgo:

Tabla 71 Categorización del riesgo

CATEGORÍA DEL RIESGO	CRITERIO
ALTO	IR>= 0.4
MEDIO	0.2=<IR<0.4
BAJO	IR<0.2

Fuente. DPAE

15.1 EVALUACION DEL RIESGO.

Con el fin de evaluar la magnitud del índice de riesgo y el riesgo específico, es necesario contar con las probabilidades de falla de la ladera, para las diferentes categorizaciones de amenaza con el fin de correlacionarla con la vulnerabilidad, para la determinación del índice de riesgo.

Una vez se identifica el índice de riesgo, se evalúa los riesgos específicos con el avaluó catastral, con el fin de determinar la influencia sobre los costos de los elementos expuestos.

La espacialización del riesgo se realiza mediante la utilización del programa ArcGIS 10.2.2, en donde se directamente se evalúa el índice de riesgo. A continuación, se presenta el riesgo.

Tabla 72. Resultados de Evaluación del Riesgo.

Direccion	Manzana	Vulnerabilidad Edificación	Indice de Vulnerabilidad Fisica IVF	Nivel de amenaza	PF	Riesgo
Calle 49 No 2 - 52	A	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 251	A	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 2 - 51A	A	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 251 - B	A	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 254	A	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
NO	A	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 20	B	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49# 51W - 53	B	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 - 51W - 60	B	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 - 51W - 51	B	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
NO	B	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Carrera 49	B	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 33	B	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
NO	B	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 35	B	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
NO	B	ALTA	0,8651	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 # 51W - 08	B	ALTA	0,9939	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 # 51W - 04	B	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 39	B	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 No 50 CW - 50	B	ALTA	0,9939	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 42	B	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 # 51W - 123	B	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 # 50CW - 20	C	MEDIA	0,1864	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 # 50CW - 12 Casa 15	C	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 # 50CW - 02	C	ALTA	0,5029	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 # 50CW - 02 Piso 2	C	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 # 50CW - 12	C	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 # 50CW - 12	C	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 # 50CW - 12	C	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
NO	C	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 # 50 CW - 20	C	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49# 50 AW - 38	D	MEDIA	0,1864	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 55	D	ALTA	0,6127	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 # 50 AW - 28	D	BAJA	0,0951	BAJA	0,001	BAJO
Calle 49 # 50 BW - 22	D	ALTA	0,5029	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 # 50 AW - 12	D	ALTA	0,5029	BAJA	0,001	MEDIO

Calle 49 # 49 AW - 12	D	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 # 50 AW - 08	D	ALTA	0,5029	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 68	E	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 77	E	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 64A	E	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 # A -03	E	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Carrera 50 CW 49 - 01	E	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 A #50 AW 24 Casa 64	E	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 65	E	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
NO	E	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 67	E	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Carrera 50AW # 49 - 01	F	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 71	F	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 72	F	ALTA	0,7971	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 73	F	ALTA	0,6323	BAJA	0,001	MEDIO
Carrera 50 w 49 - 29	F	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Carrera 50W 49A - 20 Int 1	F	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Carrera 50W 49A - 20 Int 2	F	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Carrera 50W 49A - 20 Int 3	F	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 68	F	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 70	F	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 40	F	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 84	G	ALTA	0,5584	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 37	G	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
Carrera 49 CW 49 - 08	G	ALTA	0,5293	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 106	G	ALTA	0,6011	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 105	G	ALTA	0,8761	BAJA	0,001	MEDIO
NO	G	ALTA	0,9955	BAJA	0,001	MEDIO
NO	G	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 38 B	G	ALTA	0,8761	BAJA	0,001	MEDIO
NO	G	ALTA	0,8651	BAJA	0,001	MEDIO
NO	G	ALTA	0,9954	BAJA	0,001	MEDIO
NO	G	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 82	G	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 83	G	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 98	H	BAJA	0,0516	BAJA	0,001	BAJO
NO	H	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 108	H	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
NO	H	ALTA	0,9850	BAJA	0,001	MEDIO

Casa 61	H	ALTA	0,9862	BAJA	0,001	MEDIO
NO	H	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 60	H	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 57	H	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 58	H	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 102	H	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 56	I	BAJA	0,0575	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 55B	I	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 W 14 Casa 115	I	ALTA	0,8060	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 116	I	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 117	I	ALTA	0,9862	BAJA	0,001	MEDIO
NO	J	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 48	J	ALTA	0,9374	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 47C	J	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 44	J	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 44	J	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
NO	J	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 42	J	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 18	J	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 38	J	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 36	J	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 34	J	ALTA	0,9594	MEDIA	0,08	ALTO
NO	J	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 45	J	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
NO	J	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 32	K	ALTA	1,0000	ALTA	0,4	ALTO
Casa 31	K	ALTA	1,0000	ALTA	0,4	ALTO
NO	K	ALTA	1,0000	ALTA	0,4	ALTO
Casa 29	K	ALTA	1,0000	MEDIA	0,08	ALTO
Casa 28	K	ALTA	1,0000	ALTA	0,4	ALTO
NO	K	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 24	K	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 21	K	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 20	K	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 16	K	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
NO	K	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
NO	K	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 10	K	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
NO	K	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 6	K	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO

Casa 4	K	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 2	K	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
NO	K	ALTA	1,0000	ALTA	0,4	ALTO
NO	K	ALTA	1,0000	ALTA	0,4	ALTO
Casa 3	K	ALTA	1,0000	ALTA	0,4	ALTO
Casa 21	K	ALTA	1,0000	ALTA	0,4	ALTO
Casa 22	K	ALTA	1,0000	ALTA	0,4	ALTO
NO	K	ALTA	1,0000	ALTA	0,4	ALTO
Casa 24	K	ALTA	1,0000	MEDIA	0,08	ALTO
Casa 25	K	ALTA	1,0000	MEDIA	0,08	ALTO
Casa 27	K	ALTA	1,0000	MEDIA	0,08	ALTO
Casa 33	L	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
NO	L	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 13	L	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
NO	L	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
NO	L	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 C - 14	M	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 - 13	M	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 13	M	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
NO	N	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 10	N	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
NO	N	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
NO	N	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 52	N	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 51	N	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
NO	N	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
NO	N	ALTA	0,5971	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 54	N	MEDIA	0,1690	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 53A	N	ALTA	0,6127	BAJA	0,001	MEDIO
NO	Ñ	BAJA	0,0575	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 23	Ñ	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 17	Ñ	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 8	Ñ	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 6	Ñ	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
NO	Ñ	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 4	Ñ	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 29	Ñ	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 3	Ñ	BAJA	0,0951	BAJA	0,001	MEDIO
NO	Ñ	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 7	Ñ	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO

Casa 26	Ñ	ALTA	0,6184	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 27	Ñ	BAJA	0,0951	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 26	Ñ	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 26A	Ñ	BAJA	0,0575	BAJA	0,001	MEDIO
NO	Ñ	BAJA	0,0575	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 24	Ñ	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
NO	Ñ	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
NO	Ñ	BAJA	0,0951	BAJA	0,001	MEDIO
NO	Ñ	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 55	O	BAJA	0,0575	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 43	O	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
NO	O	MEDIA	0,3313	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 130	O	BAJA	0,0575	BAJA	0,001	MEDIO
NO	O	BAJA	0,0575	BAJA	0,001	MEDIO
NO	O	ALTA	0,6380	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 135	O	ALTA	0,6127	BAJA	0,001	MEDIO
NO	O	ALTA	0,5971	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 # 49BW - 50	P	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 # 49BW - 42	P	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
NO	P	ALTA	0,6127	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 # 50BW - 12 Casa 89	P	BAJA	0,0951	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 # 50BW - 22	P	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
NO	P	ALTA	0,5971	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 93	P	ALTA	0,5971	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 96A	P	BAJA	0,0575	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49A Casa 95	P	BAJA	0,0575	BAJA	0,001	MEDIO
NO	Q	ALTA	0,5971	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 223	Q	ALTA	0,5806	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 151A	Q	BAJA	0,0575	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 # 49BW - 15 INF 1	Q	ALTA	0,5029	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 # 49BW - 15 INF 2	Q	ALTA	0,5029	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 # 49CW 15	Q	ALTA	0,5971	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 # 49BW	Q	ALTA	1,0000	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 # 49BW - 31	Q	ALTA	0,5029	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 # 49BW - 37	Q	BAJA	0,0575	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 157	Q	ALTA	0,5971	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 215	Q	ALTA	0,5971	BAJA	0,001	MEDIO
Carrera 50 BW 48 - 15 Casa 216	Q	ALTA	0,5971	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 # 49 CW - 60	Q	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO

Calle 48 # 49 CW - Casa 2 - 18	Q	BAJA	0,0951	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 48 # 49 CW - 50	Q	BAJA	0,0951	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 48 # 49 CW - 44 Casa 220	Q	BAJA	0,0575	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 221	Q	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 48 # 49 CW - 2 -22	Q	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
NO	R	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
Carrera 50 BW 48 - 12	R	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
Carrera 50 BW 48 - 18	R	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 213	R	BAJA	0,0516	BAJA	0,001	MEDIO
Carrera 50BW # 48 - 30	R	BAJA	0,0516	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 15B	R	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 # 50BW - 11	R	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 # 50BW - 15	R	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
NO	R	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 162	R	BAJA	0,0951	BAJA	0,001	MEDIO
NO	R	ALTA	0,5029	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 164	R	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 # 50BW - 51	R	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 # 50BW - 57	R	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 167	R	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 # 50 BW - 67	R	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
NO	R	MEDIA	0,1864	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 # 50BW - 79	R	ALTA	0,5293	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 # 50BW - 71	R	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 # 50BW - 89	R	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 # 50BW - 49	R	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 # 50BW - Casa 105	R	MEDIA	0,1864	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 175	R	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 BW Casa 176	R	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 BW Casa 177	R	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 BW Casa 178	R	ALTA	0,5029	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 BW - 50	R	ALTA	0,5029	BAJA	0,001	MEDIO
NO	R	ALTA	0,5537	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 180C	R	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
NO	R	MEDIA	0,1864	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 49 # 51W - 44	R	MEDIA	0,1864	BAJA	0,001	MEDIO
NO	R	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
NO	R	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
NO	R	BAJA	0,0951	BAJA	0,001	MEDIO

NO	R	MEDIA	0,1864	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 183	R	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 184	R	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 185	R	ALTA	0,5029	BAJA	0,001	MEDIO
NO	R	ALTA	0,6202	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 187	R	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
NO	R	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 48 # 51E - 06	R	ALTA	0,5029	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 191	R	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 192	R	ALTA	0,5029	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 48 # 50BW - 62	R	ALTA	0,5029	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 48 # 50BW - 194	R	ALTA	0,5971	BAJA	0,001	MEDIO
NO	R	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 48 # 50BW - 44	R	BAJA	0,0575	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 48 # 50BW - 36	R	BAJA	0,0951	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 199	R	ALTA	0,5029	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 200	R	ALTA	0,5029	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 201	R	ALTA	0,5029	BAJA	0,001	MEDIO
NO	R	ALTA	0,5971	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 48 # 50BW - 16	R	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
Calle 48 # 50BW - 12	R	ALTA	0,5029	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 207	R	BAJA	0,0951	BAJA	0,001	MEDIO
Casa 208	R	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
NO	R	ALTA	0,6345	BAJA	0,001	MEDIO
NO	R	ALTA	0,6127	BAJA	0,001	MEDIO
NO	R	ALTA	0,5971	BAJA	0,001	MEDIO

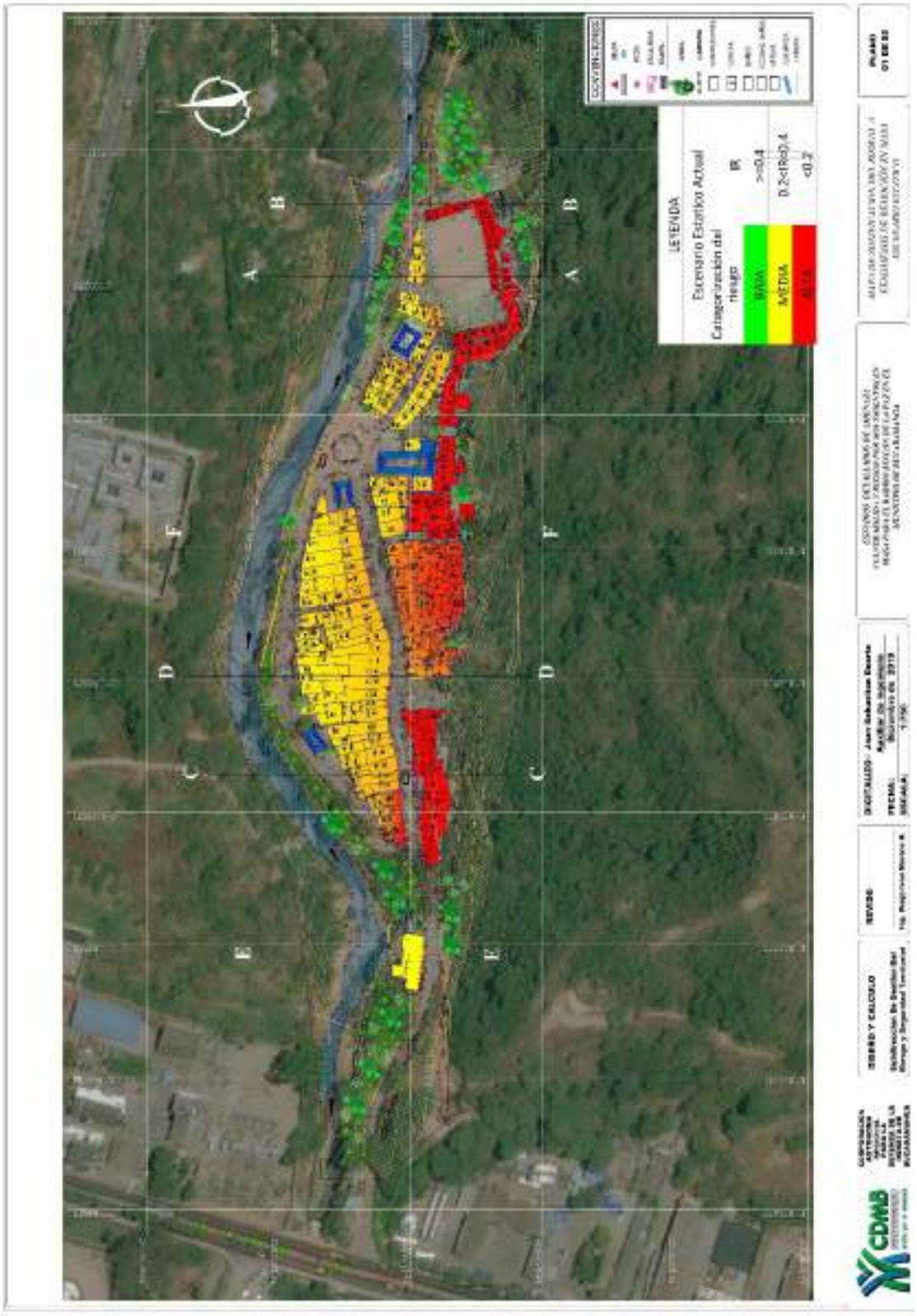


FIGURA 94. Plano de Riesgo

16 MEDIDAS DE MITIGACIÓN ESTRUCTURALES

Las alternativas de mitigación inmersas en el presente estudio están planteadas para contrarrestar la amenaza por fenómenos de remoción en masa en el sector estudio, sus diseños y planos se muestran en los Anexos.



FIGURA 95. Vía de Acceso a Rincón de la Paz

De acuerdo a los resultados obtenidos de la evaluación de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo por Fenómenos de Remoción en Masa, se proyectan obras de estabilización para mitigar la amenaza y disminuir el riesgo para los sectores analizados en el presente estudio.

El objetivo de este análisis establece la disminución de los niveles de amenaza, y riesgo a través de medidas preventivas, correctivas y de atenuación o mitigación.

Cada una de las medidas interviene los procesos que generan la inestabilidad o contrarrestan los niveles de exposición de las viviendas y/o mejoran los escenarios que disminuyen la probabilidad de falla para procesos de remoción en masa.

16.1 MEDIDAS NO ESTRUCTURALES:

La Ley 388 de 1997 tiene por objetivos:

1. Armonizar y actualizar las disposiciones contenidas en la Ley 9 de 1989 con las nuevas normas establecidas en la Constitución Política, la Ley Orgánica del Plan de Desarrollo, la Ley Orgánica de Áreas Metropolitanas y la Ley por la que se crea el Sistema Nacional Ambiental.

2. El establecimiento de los mecanismos que permitan al municipio, en ejercicio de su autonomía, promover el ordenamiento de su territorio, el uso equitativo y racional del suelo, la preservación y defensa del patrimonio ecológico y cultural localizado en su ámbito territorial y la prevención de desastres en asentamientos de alto riesgo, así como la ejecución de acciones urbanísticas eficientes.

3. Garantizar que la utilización del suelo por parte de sus propietarios se ajuste a la función social de la propiedad y permita hacer efectivos los derechos constitucionales a la vivienda y a los servicios públicos domiciliarios, y velar por la creación y la defensa del espacio público, así como por la protección del medio ambiente y la prevención de desastres.

4. Promover la armoniosa concurrencia de la Nación, las entidades territoriales, las autoridades ambientales y las instancias y autoridades administrativas y de planificación, en el cumplimiento de las obligaciones constitucionales y legales que prescriben al Estado el ordenamiento del territorio, para lograr el mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes.

5. Facilitar la ejecución de actuaciones urbanas integrales, en las cuales confluyan en forma coordinada la iniciativa, la organización y la gestión municipales con la política urbana nacional, así como con los esfuerzos y recursos de las entidades encargadas del desarrollo de dicha política.

De acuerdo a los objetivos establecidos por la Ley 388 de 1997 se deben tener en cuenta las siguientes medidas no estructurales para garantizar la habitabilidad de la comunidad de los sectores Nueva Colombia, Bosque Norte y La Independencia del municipio de Bucaramanga

16.1.1 Regulación o Reglamentación Urbana:

El objetivo principal de la regulación urbana consiste en la implementación y puesta en marcha de normas que lleven a cumplir los aspectos de legalidad a nivel del ordenamiento del territorio, legitimidad de predios respecto a su propiedad y la actuación directa del municipio para mitigar los riesgos generados por la falta de control urbano en estos 3 sectores ubicados principalmente en la Comuna 2 y una mínima área perteneciente a la Comuna 3 del municipio de Bucaramanga.



FIGURA 96. Viviendas sin requerimientos tecnicosconstruidas al pie de la ladera

Algunas de las actuaciones del municipio son:

16.1.2 Establecer adquisición de predios:

Se trata de la verificación mediante el estudio de títulos (folios de matrícula inmobiliaria, escrituras públicas, etc.), de los reales titulares de los derechos de dominio de los predios correspondientes y que se verán afectados por la realización de las obras de mitigación (medidas estructurales), con el objetivo de realizar adecuadamente el proceso de adquisición predial



FIGURA 97. Viviendas en condición de vulnerabilidad

16.1.3 Establecer la entidad competente para la adquisición de predios.

Se debe concertar y definir jurídicamente la entidad encargada para realizar el proceso de adquisición de lotes y compra de predios en los que se vean afectados por la ubicación espacial de las obras propuestas para la respectiva mitigación (medidas estructurales).

16.1.4 Actuaciones Urbanísticas.

Se deben restablecer las actuaciones de tipo urbanístico en la zona de estudio para controlar la ilegalidad y evitar el incremento de asentamientos precarios, con el objetivo de establecer zonas de protección ya que se debe garantizar la calidad de vida de la comunidad evitando la construcción de viviendas en sectores no urbanizables y que presentan áreas de riesgo no mitigable.

16.1.5 Reasentamiento de familias ubicadas espacialmente en zonas de alto riesgo:



FIGURA 98. Cambuches ubicados en zona de alto riesgo.

El reasentamiento de familias es un mecanismo de gestión del riesgo en el cual se toman medidas para anular la exposición o vulnerabilidad ante una amenaza en este caso fenómenos de remoción en masa sobre un área que se encuentre en alto riesgo no mitigable.

Este mecanismo contribuye al mejoramiento habitacional de las viviendas de estratos 1 y 2 en los sectores afectados por condiciones de amenaza por fenómenos de remoción en masa.

Los beneficios de esta medida no estructural son:

- Garantizar la vida de las personas que habitan en estos sectores, los cuales presentan riesgos para la integridad física de la comunidad.
- Incrementar los niveles de resiliencia de las familias de la comunidad.

- Aumentar la participación individual y social en la recuperación de zonas con amenaza no mitigable para incrementar las zonas de protección.

- Contribuir al mejoramiento de la distribución espacial de asentamientos en condiciones de riesgo como medida de participación en el reordenamiento del territorio.

Estas medidas garantizan que una comunidad asentada en un sitio determinado cuente con las siguientes características: seguridad, viabilidad técnica, economía y sostenibilidad social; para la cual se debe efectuar una localización transitoria para la comunidad.

Fases para reasentamiento de familias en zonas de alto riesgo no mitigable:

Fase 1: Reconocimiento y Sensibilización.

- Ubicar espacialmente las viviendas que estarán sujetas al proceso de reasentamiento.
- Realizar socializaciones con la comunidad, en donde se dé a conocer el estado de amenaza al cual sus viviendas están expuestas y el riesgo no mitigable para cada una de ellas.
- Caracterizar a la comunidad afectada respecto de su estado cultural, ambiental y socioeconómico.
- Dar a conocer la alternativa habitacional a la comunidad en general.
- Buscar las fuentes de financiación para que apoyen el proceso de reasentamiento de dicha comunidad.

Fase 2: Acompañamiento continuo.

- Escoger la mejor alternativa para el reasentamiento, la cual debe ser legal y técnicamente viable, social y económicamente sustentable adicionalmente segura ambientalmente.
- Tramitar el acceso a la red de servicios sociales (educación, salud, bienestar social) con el Municipio.
- Considerar los impactos sociales y territoriales para la toma de decisiones.
- Realizar programas de educación y cultura ciudadana.
- Acompañamiento en proceso de negociación, venta y entrega de viviendas en alto riesgo.
- Acompañamiento en legalización, recepción de predios y traslado a las nuevas viviendas.
- Implementar mecanismos para generar sentido de pertenencia con el nuevo entorno.

Fase 3: Seguimiento y Monitoreo.

- Efectuar el análisis de sostenibilidad, inclusión social y habitabilidad de los nuevos hogares.
- Caracterizar los impactos culturales, sociales, ambientales, económicos y territoriales generados por la entrada y/o salida del entorno habitacional.

La problemática ha sido abordada principalmente desde el tema de las viviendas y más particularmente, de la ubicación de estas y la influencia en la vulnerabilidad de las edificaciones ante los efectos de remoción en masa.

De acuerdo a los resultados de la evaluación del riesgo por fenómenos de remoción en masa del asentamiento rincón de la paz; se cataloga de la siguiente manera:

Riesgo Alto (3.5%)

Riesgo Medio (2.5%)

Riesgo Bajo (94%).

Conceptualmente, el reasentamiento de poblaciones urbanas vulnerables a amenazas naturales en este caso fenómenos de remoción en masa no será necesario ya que con las obras encaminadas a controlar el la estabilización de algunas laderas en el sector se podría mitigar el riesgo que tienen algunas viviendas del sector (ver capitulo 16 medidas de mitigación)

Las fases de reasentamiento indicadas anteriormente el reconocimiento y sensibilización, acompañamiento continuo, seguimiento y monitoreo

16.1.6 Prevención y Vigilancia de la ocupación ilegal

El objetivo de esta medida no estructural es el de intervenir y desestimular las futuras ocupaciones en el área protegida a través de instrumentos legales y sancionatorios de procesos de ocupación ilegal.

El constante monitoreo previa identificación de sectores susceptibles a desarrollo prohibido para tomar acciones de control ante la ilegalidad.



FIGURA 99: Ocupaciones ilegales rincón de la paz

16.1.7 Recuperación Urbanística

La prevención y control de los riesgos asociados a fenómenos de remoción en masa mediante el desarrollo de estrategias de obras en las cuales el sector se fortalece a través de medidas que distribuyen ordenadamente los parámetros urbanísticos para garantizar la disminución de agentes que inciden en la inestabilidad e incrementan el riesgo.

16.2 OBRAS DE MITIGACIÓN ESTRUCTURALES

Dadas las condiciones de inestabilidad presentes en dentro del área de estudio (Ver capítulo 15 Evaluación del riesgo por fenómenos de remoción en masa), se establecen medidas para mitigar la amenaza a fenómenos de remoción en masa con el objetivo de mejorar las condiciones de estabilidad y disminuir directamente el riesgo. En el subcapítulo Obras de Mitigación, se detalla el análisis y las características de cada una de las obras contempladas en el presente estudio.

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

De acuerdo a los resultados de la amenaza ante fenomenos de remoción en masa se requiere implementar obras geotécnicas de estabilización, mitigación y prevención, los cuales esta compuestos por un sistema de anclajes activos y un sistema de refuerzo tipo soil que generan una franja con un ancho que conforma un area estable para el reasentamiento insitu de las viviendas que se encuentran comprometidas debido a que se encuentran en alto riesgo

En los siguientes modelos geológico-geotécnicos, se comtemplan los sistemas de estabilizacion probados o proyectados , mas adelante descritos, para mitigar la amenaza analizando fallas circulares locales sobre los sectores mas representativos, mostrando los factores de seguridad por los metodos de Bishop, Jambu, Spencer, GLE/Morgenstern-Price y Ordinary/Fellenius, concluyendo la estabilización de los sectores críticos mediante las medidas geotécnicas propuestas con factores de seguridad superiores a 1.2 en un escenario dinámico y superiores a 1.5 en condiciones normales a actuales. A continuación, se representan los resultados de los modelos geológicos geotécnicos con obras proyectados para el sector estudio.

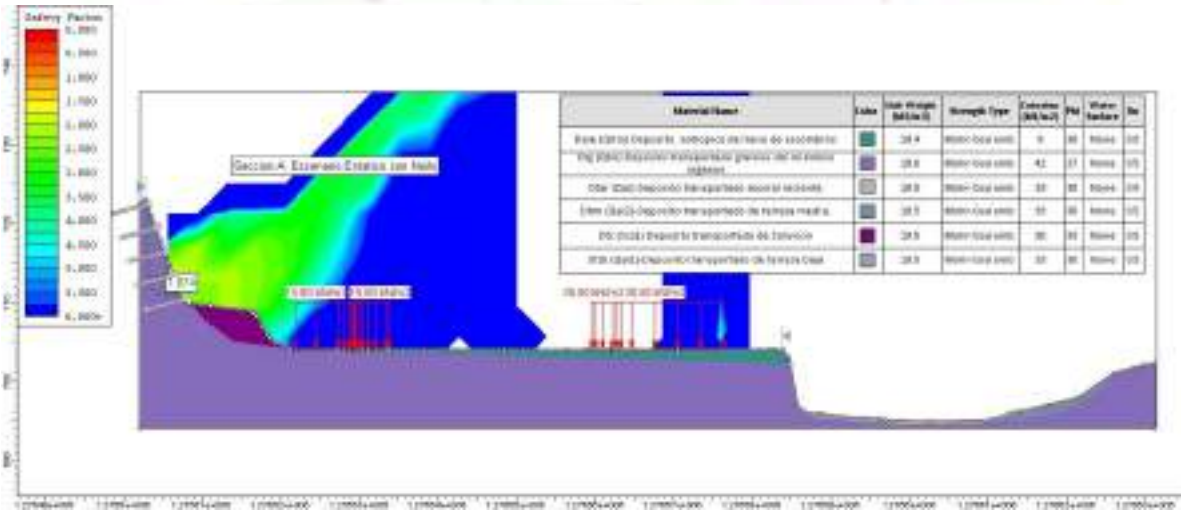


FIGURA 100. Sección A Escenario Estático con Obras de Estabilización tipo Soil Nails.

Tabla 73. Sección A Escenario Estático con Obras de Estabilización tipo Soil Nails.

Sección A: Escenario Estático con Obras de Estabilización Tipo Soil Nails			
METODO	FS Determinístico	FS Referencia	Categorización de la Amenaza
ORDINARY/FELLENIUS	1.874	1.5	BAJA
BISHOP SIMPLIFIED	1.626	1.5	BAJA
JANBU SIMPLIFIED	1.308	1.5	MEDIA
SPENCER	1.722	1.5	BAJA
GLE/MORGENSTERN-PRICE	1.597	1.5	BAJA

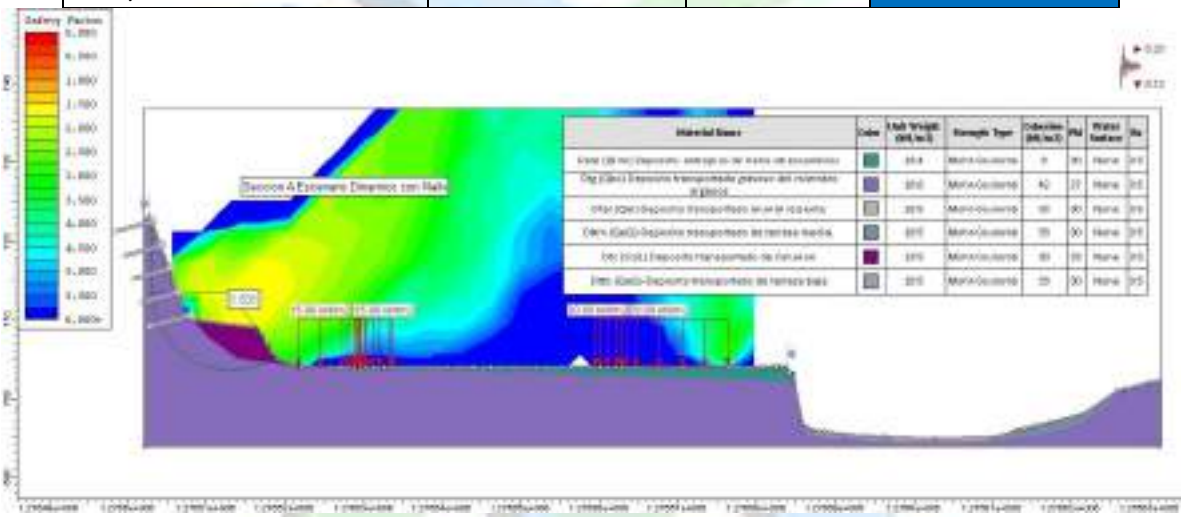


FIGURA 101 Sección A Escenario Dinámico con Obras de Estabilización tipo Soil Nails.

Tabla 74. Sección A Escenario Dinámico con Obras de Estabilización tipo Soil Nails

Sección A: Escenario Dinámico con Obras de Estabilización Tipo Soil Nails			
METODO	FS Determinístico	FS Referencia	Categorización de la Amenaza
ORDINARY/FELLENIUS	1.531	1.2	BAJA
BISHOP SIMPLIFIED	1.359	1.2	BAJA
JANBU SIMPLIFIED	0.945	1.2	ALTA
SPENCER	1.530	1.2	BAJA
GLE/MORGENSTERN-PRICE	1.530	1.2	BAJA

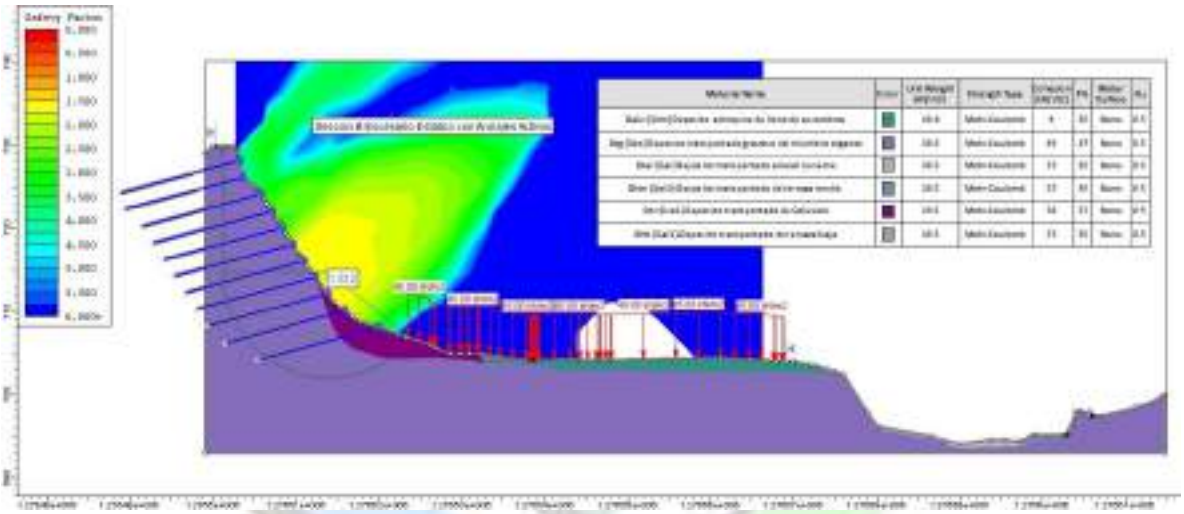


FIGURA 102. Sección B Escenario Estático con Obras de Estabilización tipo Anclaje Activo.

Tabla 75. Sección B Escenario Estático con Obras de Estabilización tipo Anclaje Activo.

Sección B: Escenario estático con Obras de Estabilización Tipo Anclaje Pasivo.			
METODO	FS Determinístico	FS Referencia	Categorización de la Amenaza
ORDINARY/FELLENIUS	1.531	1.5	BAJA
BISHOP SIMPLIFIED	1.500	1.5	BAJA
JANBU SIMPLIFIED	1.090	1.5	ALTA
SPENCER	1.490	1.5	MEDIA
GLE/MORGENSTERN-PRICE	1.490	1.5	MEDIA

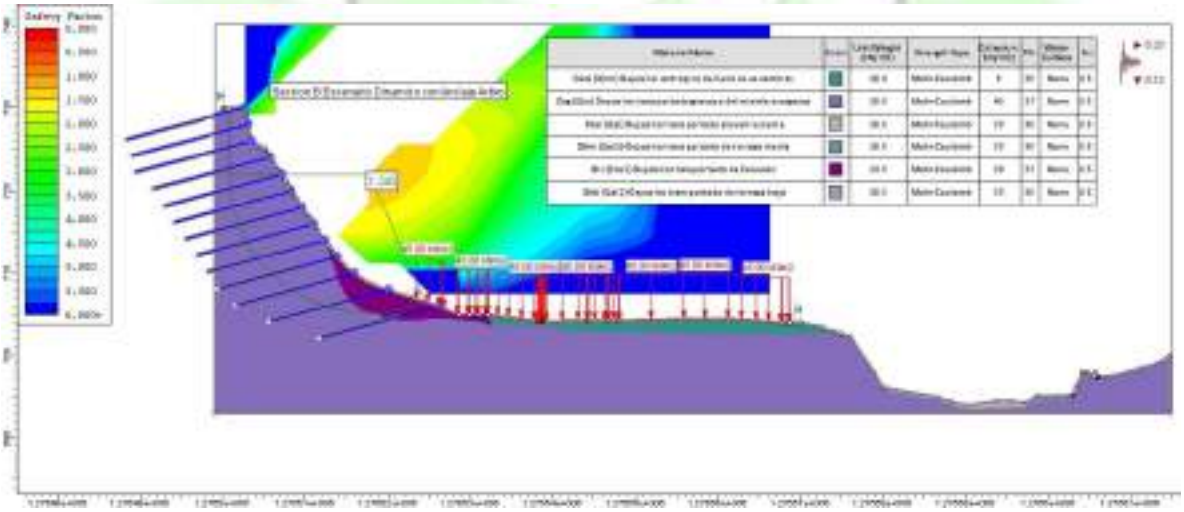


FIGURA 103. Sección B Escenario Dinámico con Obras de Estabilización tipo Anclaje Activo.

Tabla 76. Sección B Escenario Dinámico con Obras de Estabilización tipo Anclaje Activo

Sección B: Escenario estático con Obras de Estabilización Tipo Anclaje Activo.			
METODO	FS Determinístico	FS Referencia	Categorización de la Amenaza
ORDINARY/FELLENIUS	1.18	1.2	MEDIA
BISHOP SIMPLIFIED	1.17	1.2	MEDIA
JANBU SIMPLIFIED	1.00	1.2	MEDIA
SPENCER	1.24	1.2	BAJA
GLE/MORGENSTERN-PRICE	1.18	1.2	MEDIA

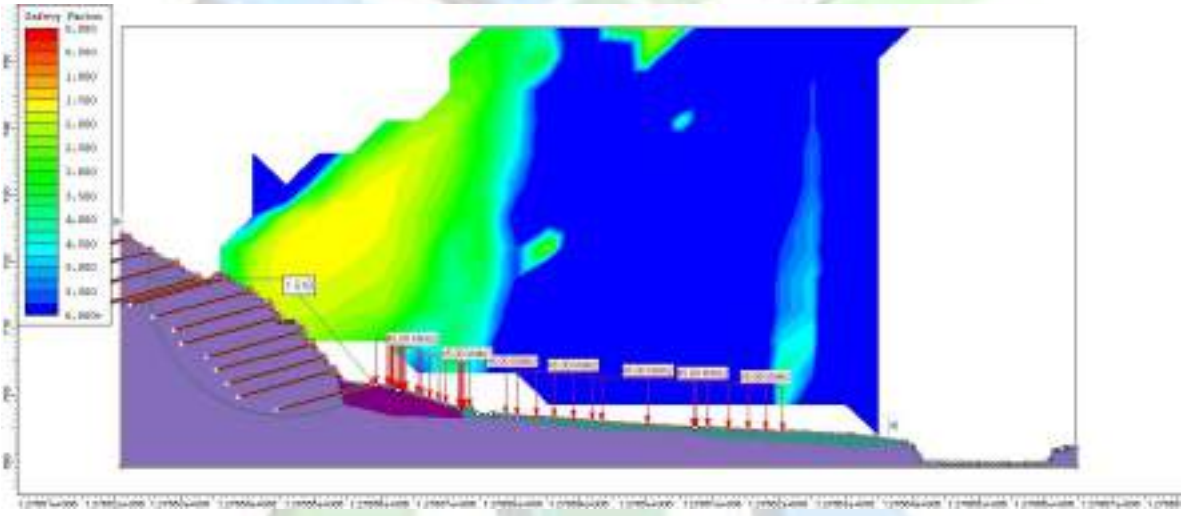


FIGURA 104. Sección C Escenario Estático con Obras de Estabilización tipo Anclaje Activo

Tabla 77. Sección C Escenario Estático con Obras de Estabilización tipo Anclaje Activo

Sección C: Escenario estático con Obras de Estabilización Tipo Anclaje Activo.			
METODO	FS Determinístico	FS Referencia	Categorización de la Amenaza
ORDINARY/FELLENIUS	1.501	1.5	BAJA
BISHOP SIMPLIFIED	1.500	1.5	BAJA
JANBU SIMPLIFIED	1.252	1.5	MEDIA
SPENCER	1.522	1.5	BAJA
GLE/MORGENSTERN-PRICE	1.518	1.5	BAJA

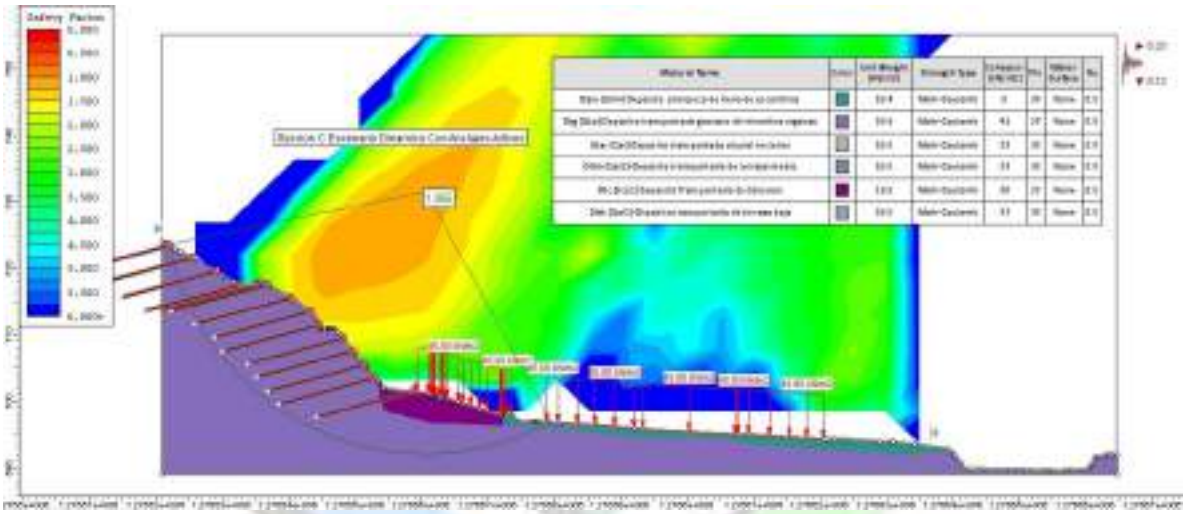


FIGURA 105. Sección C Escenario Dinámico con Obras de Estabilización tipo Anclaje Activo

Tabla 78. Sección C Escenario Dinámico con Obras de Estabilización tipo Anclaje Activo

Sección C: Escenario Dinámico con Obras de Estabilización Tipo Anclaje Activo.			
METODO	FS Determinístico	FS Referencia	Categorización de la Amenaza
ORDINARY/FELLENIUS	1.046	1.2	MEDIA
BISHOP SIMPLIFIED	1.055	1.2	MEDIA
JANBU SIMPLIFIED	1.000	1.2	MEDIA
SPENCER	1.079	1.2	MEDIA
GLE/MORGENSTERN-PRICE	1.075	1.2	MEDIA

Previamente identificados los sectores críticos se establecen medidas para eliminar la amenaza y garantizar la estabilidad de los taludes en el caso de que se presentaran condiciones de lluvias fuertes acompañado de un evento sísmico. Se advierte que las obras planteadas se diseñaron sobre condiciones de extrema lluvia y exposición a eventos sísmicos para un periodo de retorno mayor a 50 años en cada una de las secciones analizadas anteriormente

Se recomienda tener en cuenta las estrategias descritas en el capítulo 16.1 Medidas no Estructurales una vez se construyan las obras y se estabilicen los sectores críticos.

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

16.2.1 Sistema de anclajes activos de 30 ton

Este tipo de obra constituye un medio esencial para garantizar la estabilidad de sectores críticos con pendientes significativas, ubicando anclajes cada 2 metros vertical y horizontalmente los cuales introducen estados de tensiones, esfuerzos y deformaciones adicionales a la masa de suelos mejorando la estabilidad general ya que una vez instalados se pretensan hasta alcanzar una carga

admisible, son lo cual se comprime el terreno entre la zona del anclaje y el apoyo superficial de la pantalla.

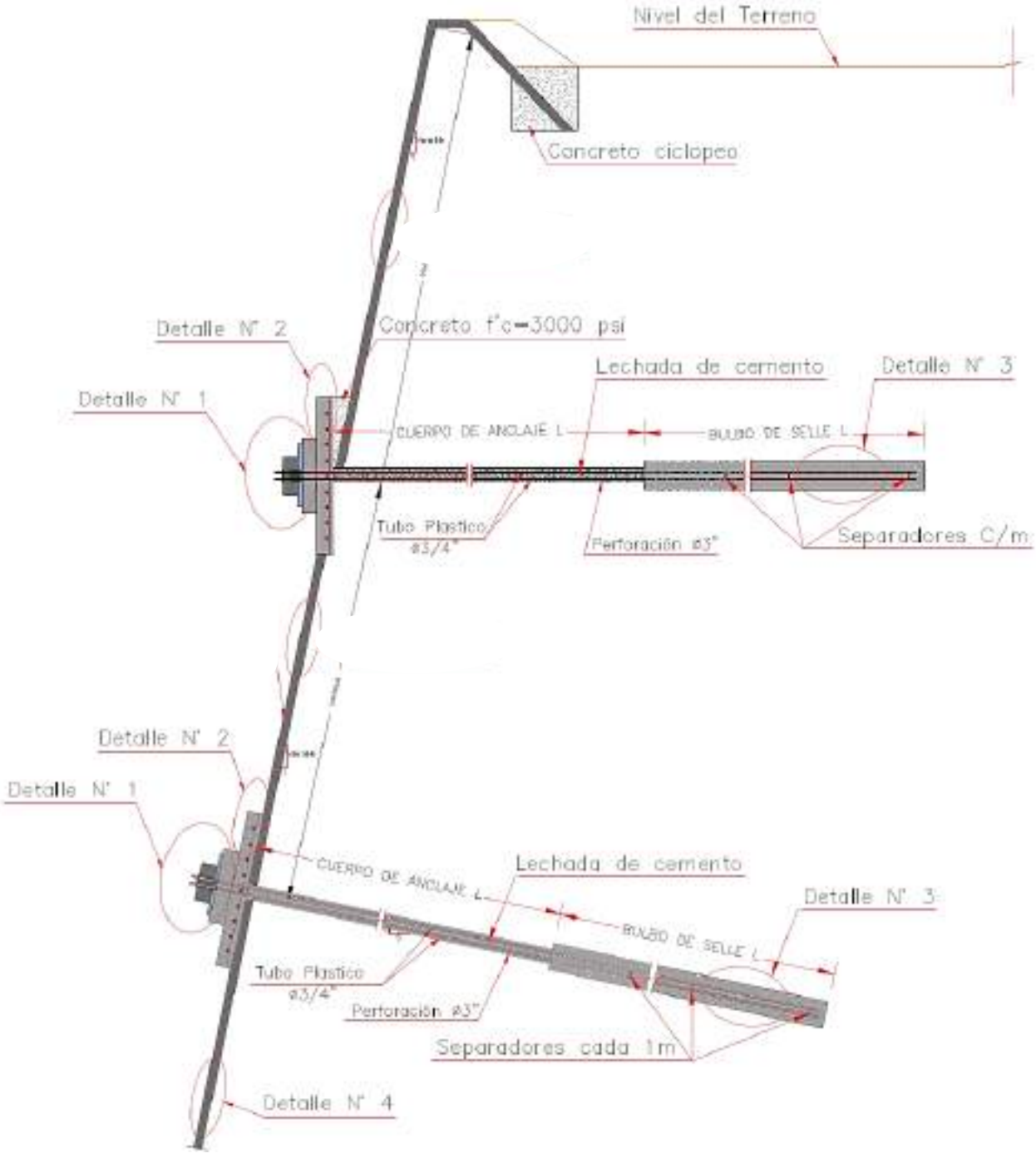


FIGURA 106. Detalles de Anclaje Activo

.

ANCLAJE:

Es un elemento estructural utilizado para efectuar cargas de tensión y esfuerzos a la masa del suelo posterior a su instalación. La resistencia para cada uno de los anclajes es de 300 KN con separaciones variables de 1,5 a 2 metros.

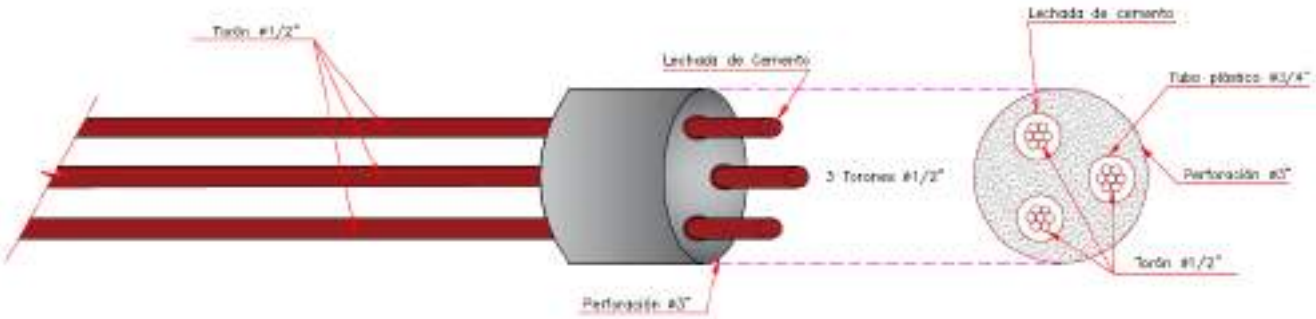


FIGURA 107. Anclaje, detalles.

BULBO:

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

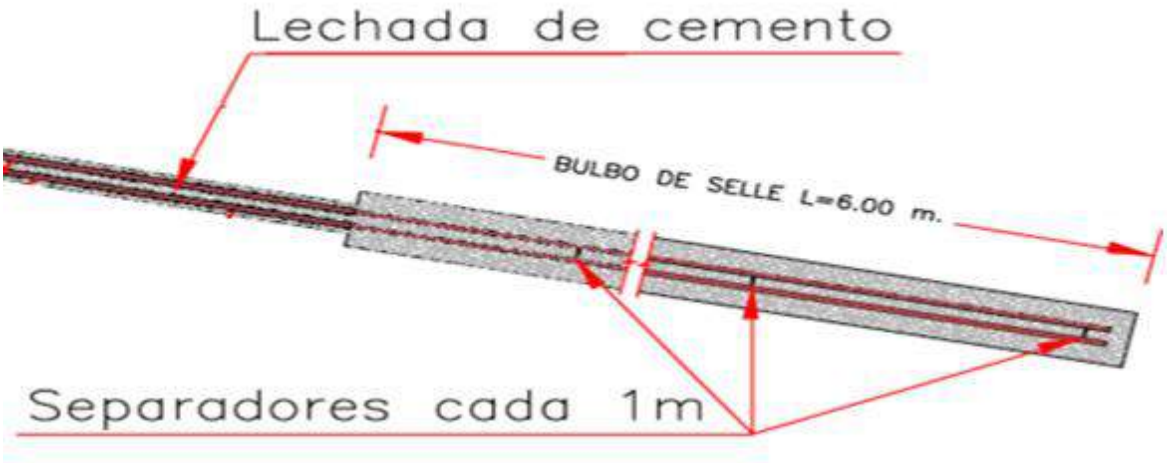


FIGURA 108. Bulbo, lechada de cemento

La resistencia de la zona de anclaje se establece por la adherencia entre la lechada con el acero y la adherencia del bulbo del anclaje con el terreno que lo rodea, la longitud del bulbo se establece entre 6 y 12 metros.

LECHADA DE CEMENTO:

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

TORON:

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

ZAPATA:

Es la estructura de apoyo y sobre la cual se distribuye la acción exterior, su geometría es cuadrada con lados de 1,45 m y espesor de 0,25m.

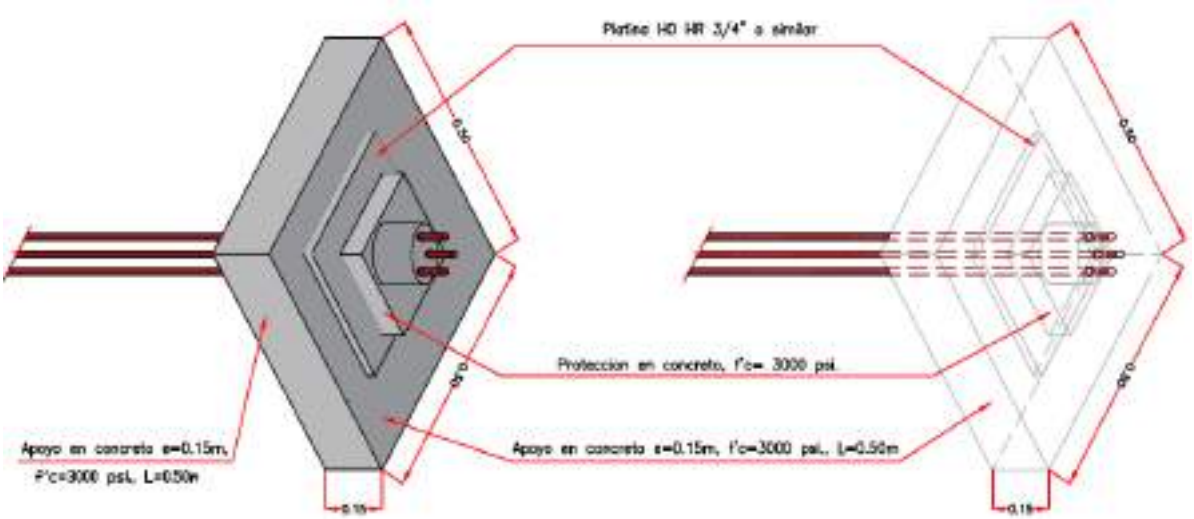


FIGURA 109. Zapata, detalles

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

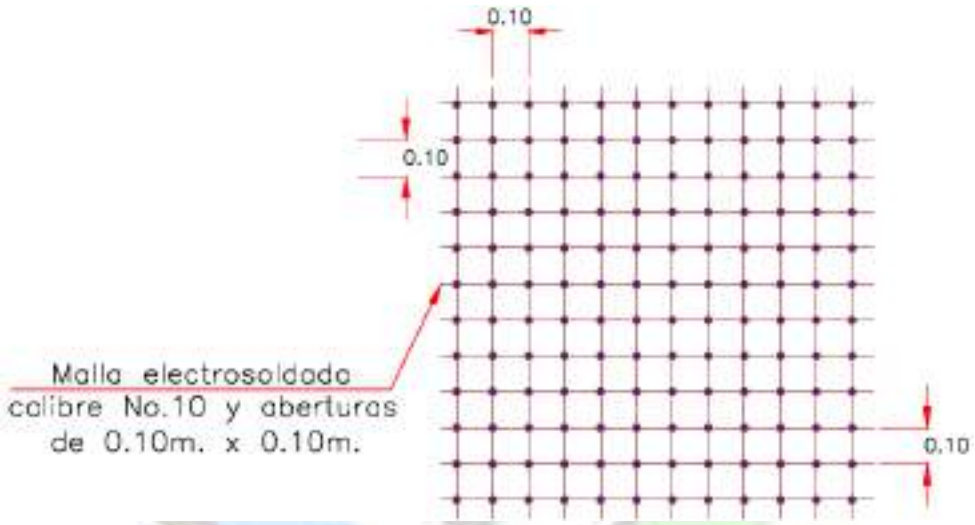


FIGURA 110. Malla de refuerzo, detalles.

Manejo de Aguas Subterráneas.

La precipitación y el agua subterránea constituyen factores trascendentales en la gran mayoría de los procesos de movimientos en masa, son pocos los eventos que ocurren sin la presencia directa del agua. La clase de deslizamiento que se puede generar en un sector específico está controlado por la profundidad del nivel freático, por la manera como circula el agua en el terreno y por las cargas externas (Estáticas o dinámicas), por lo tanto los deslizamientos rotacionales se relacionan con la manera como circula el agua subterránea por el medio.

*Dadas las condiciones hidrológicas mostradas en el Capítulo ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**2 y a lo ocurrido en años anteriores en el sector estudio como lo fue una avalancha o avenida torrencial en el año 2012 que arraso con un número importante de viviendas**, se requiere la construcción de obras de control de aguas de escorrentía directa sobre la parte superior de la ladera en la cual esta recostado el asentamiento rincón de la paz, asi mismo también se recomienda la instalación de drenes horizontales o drenes de penetración horizontal para aliviar los esfuerzos totales al interior del talud debido al agua de infiltración que proviene de la cuenca aportante al sector.*

16.2.2 Dren de penetración horizontal:

Es un sistema de drenaje profundo utilizando tubería perforada de diámetro entre 2 y 3 pulgadas, tipo PVC, metálicas, etc., colocadas a través de una masa de suelo, mediante un alineamiento subhorizontal o ligeramente inclinada (pendiente de 5 a 20%), con la cual se abate el nivel freático hasta una altura que incremente la estabilidad del talud a los valores especificados.

El efecto práctico de un sistema de drenes de penetración horizontales es introducir dentro del terreno una frontera con presión nula. Si la presión del agua en la zona donde se instalan los drenes es superior a la atmosférica, se crea entre la fila de drenes y su zona aledaña un gradiente hidráulico que hace fluir el agua hacia los drenes, los cuales la trasladan luego hacia el exterior por el efecto gravitacional.

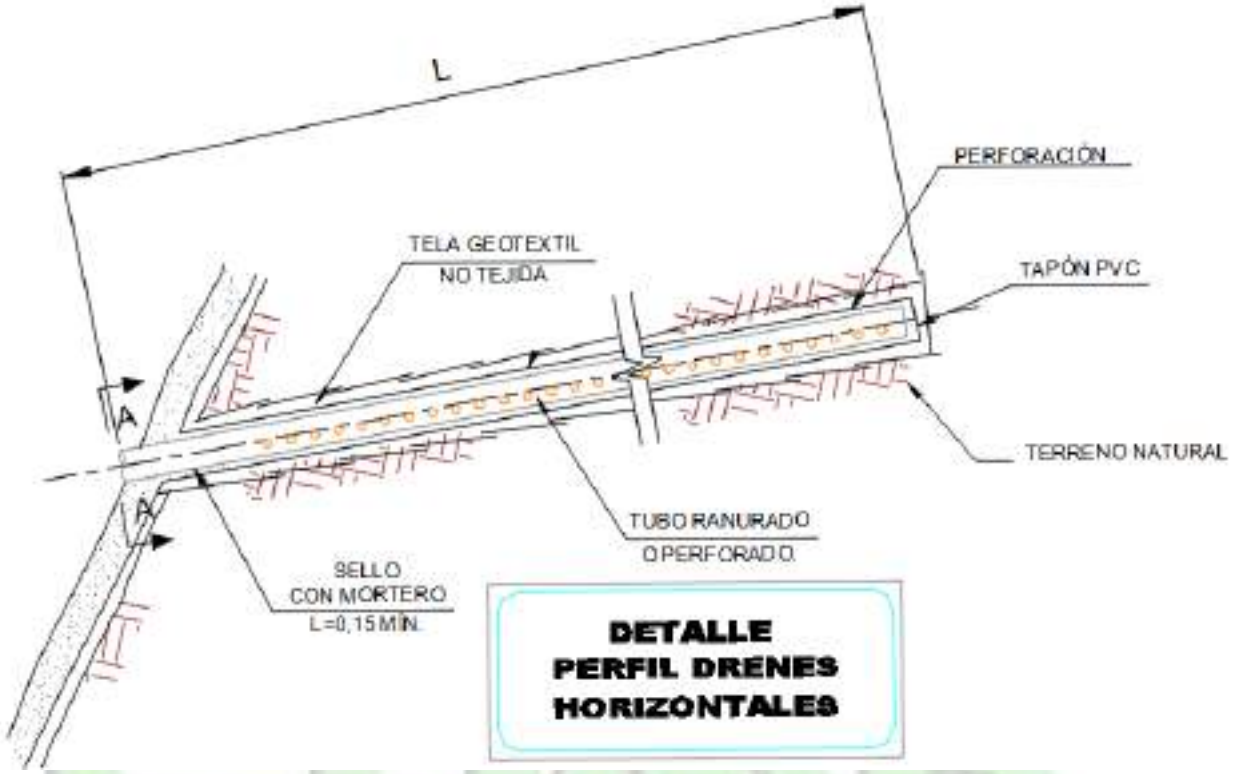


Figura 111: Detalle de un dren de penetración.

La separación, longitud y localización de los subdrenes según el modelamiento geotécnico y de estabilidad se puede observar en los planos de obras.

La longitud del dren se estimó de acuerdo con la altura del talud.

Los drenes de penetración horizontal deben complementarse con un sistema de captación (cajas colectoras para cada subdren) y conducción hasta los puntos de descarga permisibles (cauces o alcantarillados pluviales capacitados). Este tipo de subdren requiere de un mantenimiento periódico,

mediante la inyección de agua a presión para limpiar los orificios de drenaje y remover el material sedimentado alrededor de la tubería.

Los detalles de los drenes horizontales se muestran en el anexo planos.

16.2.3 Canaleta para el Manejo de Aguas Superficiales:

Para el control de aguas superficiales en la parte superior de la ladera sobre la cual esta recostado el asentamiento se plantea la construcción de una canaleta de coronación trapezoidal que bordee el sector estudio y entregue las aguas recolectadas a la quebrada chimita. (Ver anexo Planos)

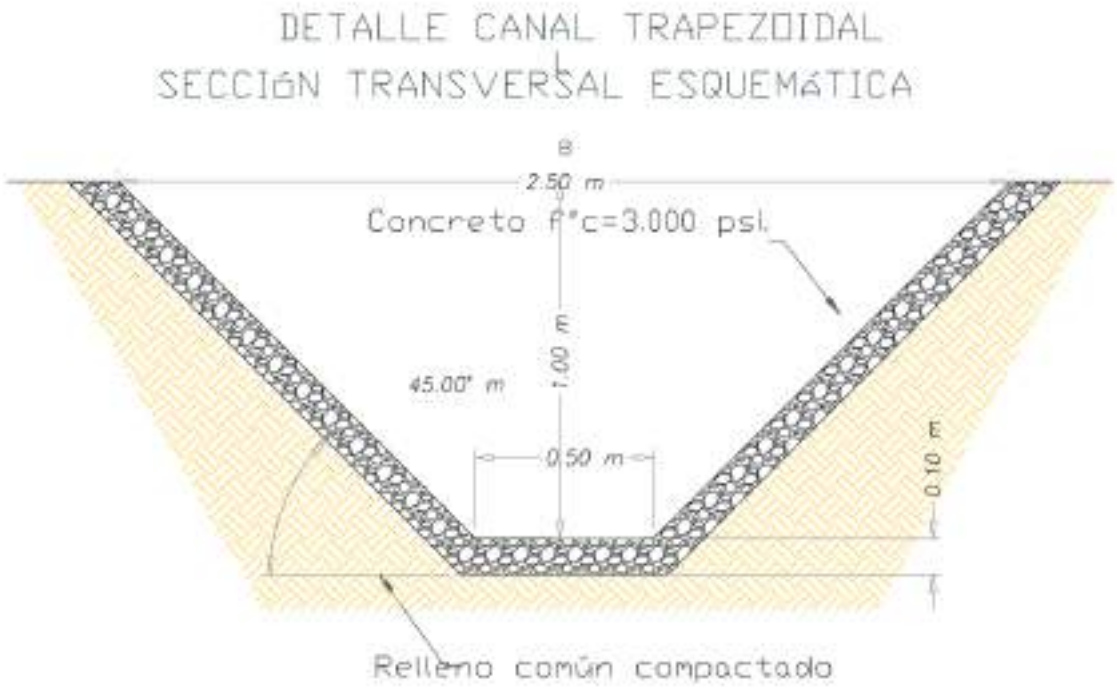


Figura 112: Sección Transversal esquemática canales y escalonadas.

16.2.4 Malla asegurada con Nail o pernos

El proceso consiste en la inclusión de una malla de alta densidad en la cara del talud expuesto, sostenida por nails, los cuales serán un apoyo para el aumento de la resistencia del suelo y de esta manera proteger el talud de los deslizamientos, pero también de la erosión con un concreto lanzado

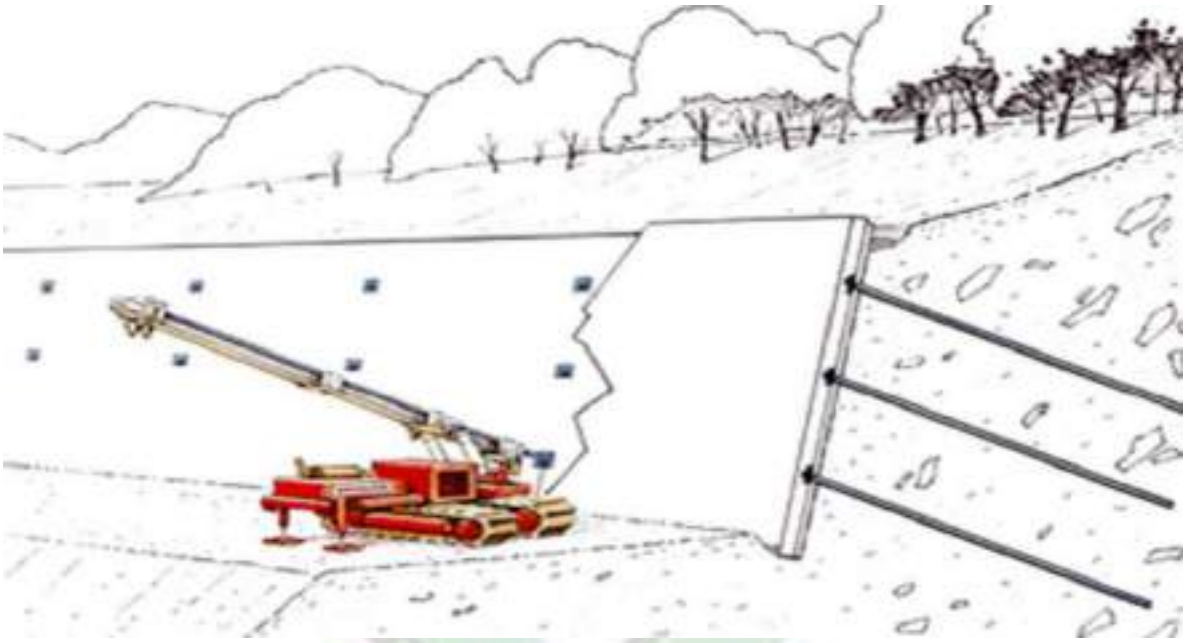


FIGURA 113. Sistema de Estabilización con Soil Nails.

El sistema utiliza procedimientos similares a los de los muros anclados con la diferencia de que los refuerzos no son pretensados, sino que actúan en forma pasiva, ya que las inclusiones pasivas de refuerzo dentro del suelo generan soporte a las estructuras, en este caso a la malla de alta densidad.

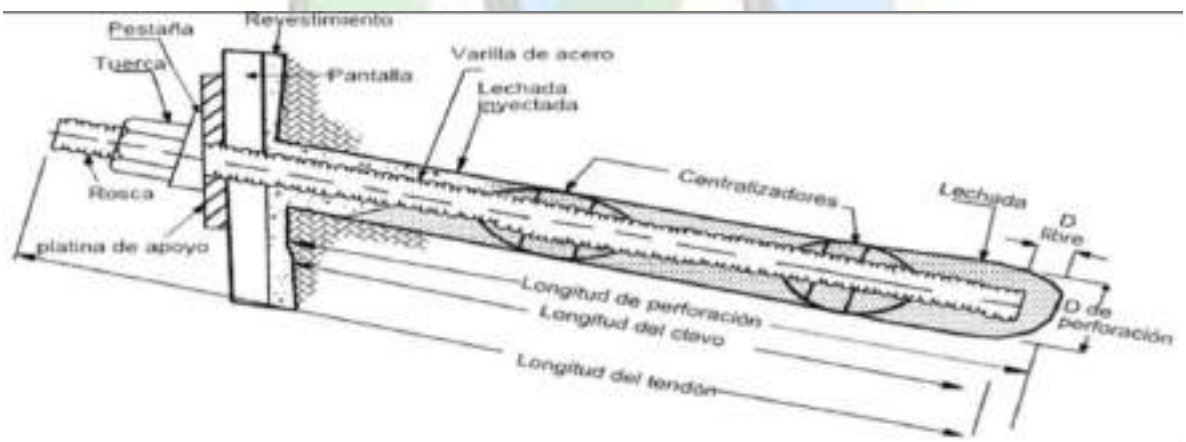


FIGURA 114. Soil Nails.

Se instala un arreglo de clavos, los cuales son inclusiones pasivas colocadas en un sistema de grilla para crear una masa coherente estable.

Los Clavos pueden ser varillas de acero, tubos o cables que se introducen dentro del suelo natural o la roca blanda y son inyectados dentro de huecos pre-perforados. Generalmente son espaciados a distancias relativamente pequeñas.

Los nails no son tensionados, pero deben estar cercanamente espaciados para que trabajen en grupo y para que le den soporte a la malla de recubrimiento del talud expuesto.

16.2.4.1 Diámetros de la perforación

Los diámetros de las perforaciones varían entre 3 y 12 pulgadas y los diámetros más comunes son los de 5 a 8 pulgadas.

16.2.4.2 Inclinación de las perforaciones

La inclinación de las perforaciones varía generalmente de 10° a 20° y la típica es de 15°. Las inclinaciones de menos de 10° no son recomendables por la dificultad para inyectar la lechada

16.2.4.3 Espaciamiento

Los espaciamientos varían generalmente entre 1 y 3 metros. Entre mayor sea el espaciamiento mayor es la carga sobre los nails y menor su efectividad como estructura de contención. El espaciamiento horizontal es comúnmente el mismo vertical.

16.2.4.4 Refuerzos

El componente principal de un clavo es una varilla de acero sólida, la cual se coloca en las perforaciones pre-excavadas y luego se inyecta. Se utilizan generalmente varillas con resistencia a la tensión de 420 a 520 MPa (grado 60 o 75). Se utilizan diámetros entre 19 y 43 milímetros (varillas número 6 a número 14).

16.2.4.5 Lechada

En la mayoría de los casos se utiliza cemento tipo I. La relación agua/cemento típica varía de 0.4 a 0.5, pero en ocasiones se utiliza una lechada más viscosa con un slump de aproximadamente 30 milímetros (1 ½"). La lechada viscosa se utiliza cuando hay suelos muy permeables o roca muy fracturada.

16.2.4.6 Cabeza de la varilla.

La platina puede quedar embebida en el concreto o apoyada sobre la superficie de la pantalla de concreto armado. Con frecuencia se dobla la varilla para que quede unida a la pantalla superficial.

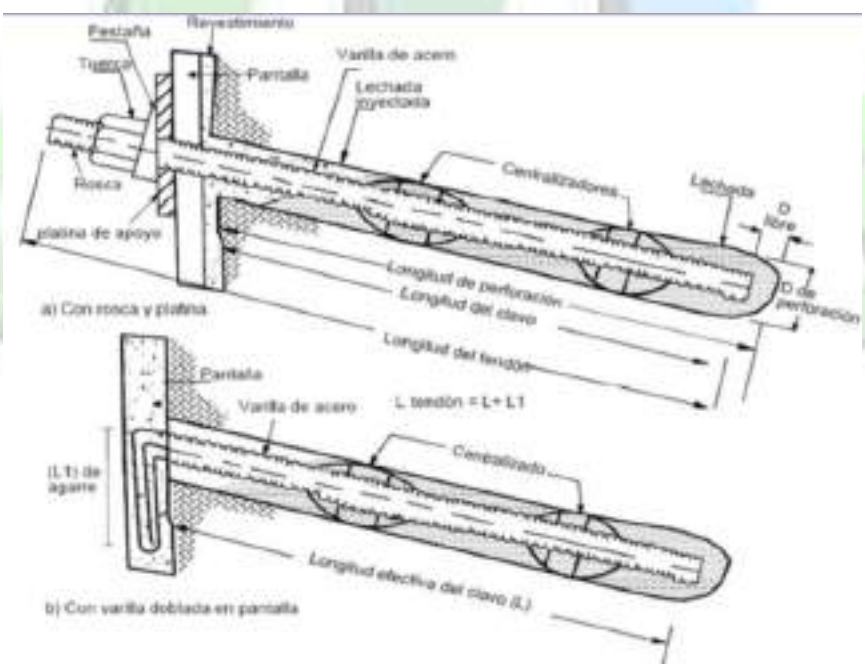


FIGURA 115. Esquema, Tipos de Nails o pernos.

16.2.4.7 Planos de l sistema de malla de alta Densidad con Nails

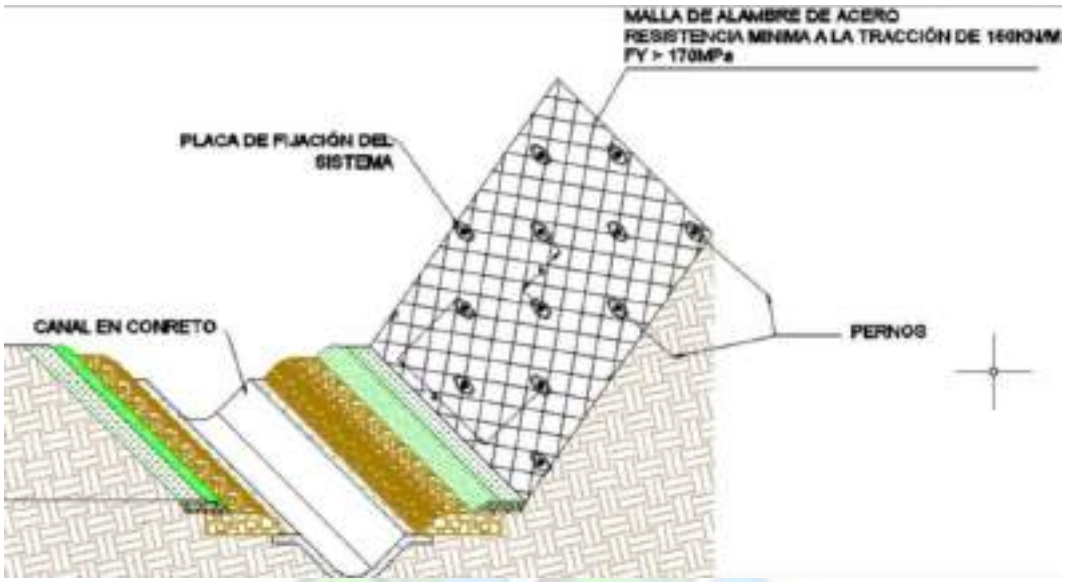


FIGURA 116, Detalle del sistema de malla de alta densidad con Nails.

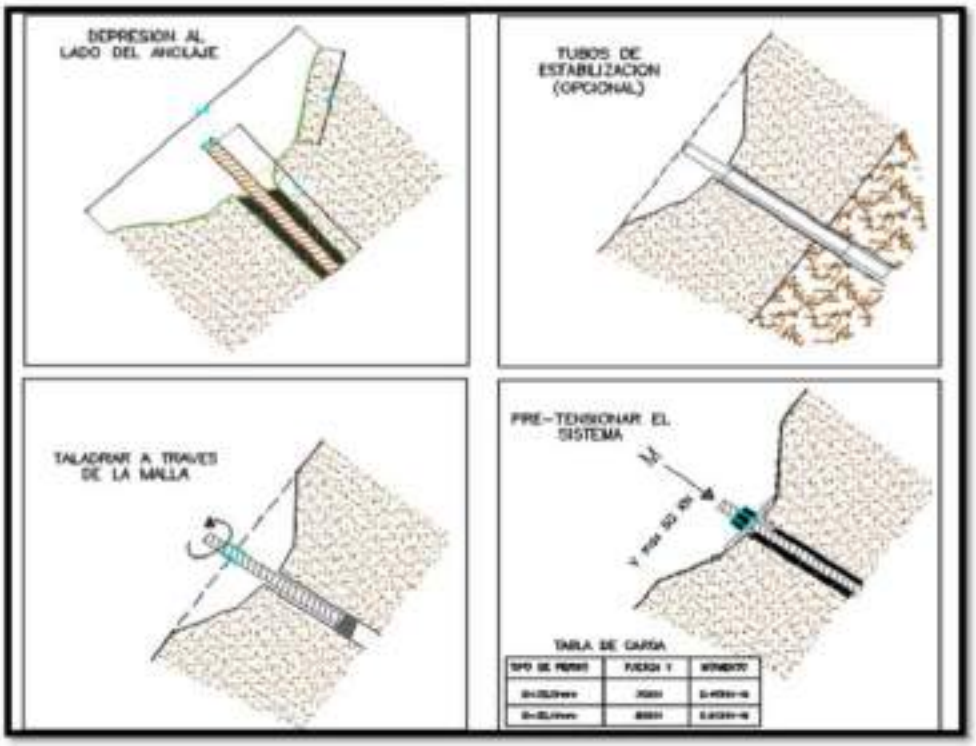


FIGURA 117. Proceso de instalación de los pernos.

16.2.4.8 18.7.9. Biomortero o mortero ecológico para control de erosión (Bioingeniería).

Se define como el reimplante de cobertura vegetal sobre taludes de corte, para protección de áreas expuestas y que presentan procesos erosivos.

16.2.4.9 Precio total alternativa de mitigacion



CORPORACION AUTONOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA - CDMB

CONSTRUCCION DE OBRAS DE MITIGACIÓN DE LA AMENAZA A FENOMENOS DE REMOSION EN MASA EN EL SECTOR ASENTAMIENTO HUMANO RINCON DE LA PAZ MUNICIPIO DE BUCARAMANGA

FORMULARIO DE CANTIDADES APROXIMADAS DE OBRA Y PRECIOS

ITEM	CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
	SECCION PRIMERA				
	Trabajos preliminares				
1.2	Replanteo, control y medición de la obra	1.00	glob	$ 7.273.408.00	$ 7.273.408.00
1.4	Democión y limpieza	5.675.70	m2	$ 5.612.00	$ 34.887.476.40
1.5	Retiro de basuras y escombros	402.80	m3	$ 46.617.00	$ 22.545.784.00
1.6	Perfilado manual descapotado de talud	1.923.80	m3	$ 128.918.00	$ 248.484.574.40
				Subtotal $	$ 303.191.442.80
	SECCION SEGUNDA				
2.1	Excavación a cielo abierto en taludes				
2.1.A	Excavación con acarreo libre				
2.1.A.2	En material granular o cualquier profundidad	1.018.25	m3	$ 33.778.00	$ 34.328.646.40
2.5	Subterráneas para acarreos hábiles; recorrido de 1000.00 m (1Hm)	10.167.54	m3-hm	$ 3.074.00	$ 31.259.644.89
				Subtotal $	$ 65.587.691.37
	SECCION TERCERA				
3.1.a	MALLA DE ALTA RESISTENCIA PARA TALUDES	9.675.50	m2	$ 178.585.00	$ 1.716.576.140.50
3.2	Excavación de hechada para anclajes	107.50	m3	$ 811.796.00	$ 70.100.177.99
3.4	Suministro y colocación de anclajes Pasivos				
3.4.A	D=1 1/4"	154.80	u	$ 303.685.00	$ 47.133.784.00
3.7.A	Suministro e instalación de:				
	Placas de 150mmX150mmX12mm con tuerca	154.80	u	$ 28.278.00	$ 4.378.580.00
3.10.	Excavación de perforaciones horizontales en:				
	taludes con pendientes menores a 1:1 con equipo de perforación descargado				
3.10A	Para anclajes de 0.00 a 15.00 m	154.80	ml	$ 208.192.00	$ 64.535.548.00
3.11	Cunetas				
3.11.A	Suministro y Colocación de concreto de 3000 psi con acero de refuerzo	867.57	m3	$ 474.602.00	$ 307.513.694.17
3.12	Acero				
3.12.A	Suministro y colocación:				
	Acero de refuerzo fy 4.200 kg / cm2	8.743.00	Kg	$ 7.927.00	$ 72.344.661.00
3.13	Suministro y colocación de anclajes				
3.13.A	D roblon D=1 1/8"	167.00	u	$ 427.310.00	$ 242.186.170.00
3.14	Tensionamiento de anclajes	167.00	u	$ 38.144.00	$ 21.380.848.00
3.15.A	Suministro e instalación de:				
	Placas de 150mmX150mmX12mm con tuerca	167.00	u	$ 28.278.00	$ 16.029.690.00
3.15.B	Suministro e instalación de:				
	Pasos de 3 agujeros rectos para cable de 1/2"	167.00	u	$ 88.758.00	$ 31.780.746.00
3.15.C	Suministro e instalación:				
	Cuña de 1/2"	167.00	u	$ 61.428.00	$ 34.820.340.00
3.16	Drenes de penetración con tubería ranurada en PVC 2" de 0 a 30m	15.00	u	$ 149.911.67	$ 2.248.675.01
3.17	Perforación horizontales en:				
	taludes con pendientes menores a 1:1 con equipo de perforación descargado				
3.17A	Para anclajes de 0.00 a 15.00 m	167.00	ml	$ 208.192.00	$ 563.871.884.00
3.18	Descapotado en perforaciones horizontales para anclajes y drenes de penetración horizontal	167.00	m2	$ 118.983.00	$ 66.130.851.00
				Subtotal $	$ 3.757.441.280.77
	SECCION CUARTA				
4.2	PROTECCION DE TALUDES CON PRODUCTO ENROLLADO	9.675.50	m2	$ 63.852.00	$ 814.571.946.00
	PARA CONTROL DE EROSION DE TIPO MANTO PERMANENTE				
				Subtotal $	$ 814.571.946.00
	Presupuesto Costo directo				$ 4.785.774.926.93
	Administración			20%	$ 861.528.247.00
	Imprevistos			1%	$ 57.435.216.47
	Utilidades			8%	$ 324.748.499.77
	A.I.U.			30%	$ 1.123.712.430.00
	Presupuesto total				$ 4.809.187.483.00
	Administracion Fiduciaria				$ 240.459.374.15
	Interventoria				$ 240.845.523.82
	PTO TOTAL PROYECTO E INTERVENTORIA				$ 5.454.848.381.00

Alcalde municipal o Director

V/Bo. Coordinador CMORD

V/Bo. Coordinador CDGRD

17 CONCLUSIONES

En este proyecto se identifican las unidades geológicas para ingeniería en las que sólo se encuentra el Miembro Órganos (Qbo) perteneciente a la Formación Bucaramanga, como un depósito no consolidado, que en el escarpe de terraza de la quebrada Chimita se acuña a medida que esta se acerca a su desembocadura en el río de Oro, las demás unidades son de terrazas medias (Qal2), terrazas bajas (Qal1), coluviones (Ql) o depósitos del cauce actual de la quebrada Chimitá (Qal).

Actualmente la zona de estudio no presenta rasgos estructurales a nivel local y se caracteriza por corresponder a un área relativamente estable tectónicamente, sin embargo, existen fallamientos y lineamientos regionales, tales como la falla de Bucaramanga, la falla del Suarez y la falla de Suratá que han sido participes de la formación y la configuración de la zona a través del tiempo geológico.

El asentamiento humano Rincón de La Paz está fuertemente influenciado por procesos denudacionales los cuales son evidenciados en diferentes geoformas tales como los coluviones encontrados en el pie de la ladera. En estas laderas se suma la influencia del agua escorrentía en épocas de lluvias, lo cual hace que algunas zonas sean propensas a deslizamientos.

Existe en el área de trabajo influencia fluvial, evidenciada en el valle de incisión de la quebrada Chimita, la cual se encuentra canalizada, pero debido a su falta de mantenimiento y la constante erosión del agua las obras se han visto deterioradas.

Las coberturas del suelo identificado en la zona de estudio son zonas urbanizadas, vegetación secundaria, bosques fragmentados y tierras desnudas y degradadas. Las zonas de urbanización han ocasionado un deterioro de los suelos debido a que en los últimos años se ha incrementado la construcción de viviendas, disminuyendo drásticamente la cobertura vegetal y aumentando la susceptibilidad a movimientos de remoción en masa.

Los tipos de movimientos en masa presentes son los caídos por erosión diferencial y los flujos de detritos, que en la mayoría de las ocasiones se ven combinados. La mayoría de los anteriores tipos de deslizamientos han sido generados como consecuencia de los cortes realizados a las laderas de las montañas para la construcción de viviendas, a la quema de la cobertura vegetal, corrientes superficiales sin canalizar y ocupación de zonas de protección ambiental.

Las obras de mitigación son escazas en los alrededores del asentamiento, contando solamente con la canalización de la quebrada Chimita en algunos tramos y la presencia de gaviones construidos en el pie del talud a fin de mitigar el riesgo a deslizamientos.

Las manzanas más susceptibles a remoción en masa son la A, B, C, D, E, F, G, H, I, J y K; debido a que se encuentran en la base del talud de la ladera que ha sido socavada para la construcción de estas viviendas.

Las fotografías obtenidas de Google Earth para generar la línea de tiempo fueron de gran ayuda para el análisis geomorfológico debido a que evidencian la morfodinámica tanto de la quebrada como de las laderas en el sector y a su vez se convierten en un respaldo gráfico del análisis de susceptibilidad a movimientos por remoción en masa.

La implementación de la guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, del Servicio Geológico Colombiano, es la herramienta principal para este estudio, ya que con ella se determinó la Vulnerabilidad Física por Movimientos en Masa de cada vivienda del asentamiento humano Rincón de la Paz, en función de su sistema estructural, intensidad de los eventos amenazantes, tipo de cimentación, vida útil de la edificación, el sistema estructural, entre otros.

Se concluyó que el 86,15% de las viviendas poseen una vulnerabilidad ALTA antefenómenos de remoción en masa, debido a que estas estructuras no poseen una tipología adecuada y un sistema estructural que cumpla con los criterios de la Norma de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), en este caso viviendas con una tipología de mampostería no reforzada y viviendas improvisadas, ya sea con materiales no aptos para la construcción como materiales reciclados, tablas de madera o láminas de aluminio las cuales no tendrán una capacidad optima de respuesta ante un posible deslizamiento y su respuesta será negativa, con probabilidad de colapso total de la estructura.

Otra razón principal por la cual la mayoría de viviendas se clasificaron con vulnerabilidad ALTA, es por su ubicación en las zonas de exposición de las laderas o taludes, esta situación se observó en el 41% de las viviendas ubicadas en la zona 3 de exposición, debido a que los habitantes implantaron sus viviendas sin ninguna restricción o aislamiento, sobre la corona o en el pie de los mismos, lo representando una amenaza para la vivienda.

Según los análisis estadísticos, muestran que el 55% de las viviendas se encuentran ubicadas en la zona 4 de exposición lo cual quiere decir que estas viviendas están fuera del alcance de un deslizamiento, sin embargo la mayoría de viviendas de la zona 4, presentan vulnerabilidad alta debido a que las estructuras no cumplen con la norma de construcción y son vulnerables ante cualquier evento sísmico.

El muro de contención ubicado en el talud de la quebrada chimita cumple una función correcta ya que se realizaron visitas al asentamiento humano Rincón de la Paz y se evidencia que el muro presenta buenas condiciones, lo cual hace que las viviendas que están no muy cerca de la corona del talud, no presenten riesgo de deslizamiento o deformaciones. Este es al caso de las viviendas de las manzanas (M, N, Ñ, Q y R).

Para las viviendas clasificadas en vulnerabilidad MEDIA las cuales representaron el 10,38% y BAJA con un 3,46%, es de recalcar que no solo al estar ubicadas fuera del alance del deslizamiento presentan esta vulnerabilidad, sino también por su sistema constructivo más adecuado que los demás, debido a la supervisión profesional, materiales más resistentes y tipologías estructurales correctas.
Se analizó que la mayoría de viviendas no presentaba daños, sin embargo, la calidad de estas viviendas no garantiza una máxima seguridad y podrían presentar futuros daño.
La causa de que la mayoría de viviendas son de una tipología estructural son de mampostería reforzada y no reforzada (33%), construcciones simples (25%) y ligeras (42%), las cuales son debido a que estas estructuras fueron construidas por los mismos habitantes sin ninguna supervisión profesional, esto se representa en el 98%.

Para las viviendas ubicadas en la manzana K, en la cancha del asentamiento, se recomienda un programa de reubicación de inmediato en una zona fuera del alcance de deslizamiento, ya que su vulnerabilidad es ALTA con un valor de 1,0, por su sistema constructivo improvisado, y por la ubicación en el pie del talud de 90° de inclinación susceptible a la erosión, lo cual representa peligro para las viviendas y los habitantes.

Se recomienda a los habitantes de las demás casas catalogadas con vulnerabilidad ALTA, que se les realicen las respectivas obras complementarias a sus viviendas las cuales no poseen las características suficientes para resistir un fenómeno de remoción en masa, para que así cumplan completamente con la norma sismorresistente NSR-10 para la construcción de viviendas, y su capacidad de respuesta sea optima ante los eventos amenazantes.

Las viviendas ubicadas en la manzana A, B, C, E, F, G, H, I, J, fueron implantadas en el pie de la ladera, así como se han realizado cortes de taludes para la ubicación de las mismas. A raíz de la construcción de estas viviendas se generaron obras para poder ser habitadas; obras como muros de contención y muros de mampostería reforzada o confinada, que tienen como función generar estabilidad para las viviendas, se recomienda que dichas estructuras sean evaluadas por un ingeniero civil especialista en estructuras el cual tendrá que determinar si las obras construidas cumplen con los criterios normativos y a su vez si las mismas se encuentran estabilizando los cortes del pie de la ladera o si por el contrario se deban desarrollar obras complementarias que minimicen la amenaza a fenómenos de remoción en masa.

El asentamiento humano Rincón de la paz ha sido afectado principalmente por deslizamientos y flujos de detritos ocasionados principalmente por la saturación de agua de las laderas ubicadas al sur, pero no hay evidencia de avenidas torrenciales históricamente.

Por medio del análisis multitemporal se puede identificar que, en cuanto a fenómenos naturales, los más frecuentes son los deslizamientos y caídas de rocas en los bordes de los cauces de las cuencas de las quebradas La Rosita, Chimita y la Joya, es decir ellas tienen mayor capacidad erosiva y para tomar evidencias de las posibles avenidas torrenciales de la cuenca se toman esos puntos críticos.

En el trabajo de campo se puede evidenciar el deterioro de las obras de estabilización de la CDMB, en la ladera adyacente al asentamiento humano Rincón de la Paz y los frecuentes deslizamientos y caídas de detritos generados en las laderas de las quebradas, Chimita, la Rosita, y la Joya.

De acuerdo al Índice de compacidad se puede establecer que debido a que la cuenca es alargada el tiempo de viaje del agua es mucho más largo, contribuyendo a que los picos de crecidas sean menos súbitos en caso de lluvias concentradas o tormentas.

El valor de la densidad de drenaje indica que la zona de estudio posee zonas donde los suelos son poco permeables y este es un factor que aporta valor a la generación de avenidas torrenciales.

El suelo del miembro Órganos (Sft3), los suelos de terraza aluviales (Sat1) y los suelos aluviales (Sal) se encuentran relacionados con las avenidas torrenciales debido a su cercanía de pocos metros a los afluentes principales, y la baja compactación y erosionabilidad de los mismos.

La geoforma de las cuencas hidrográficas en las que presentan normalmente avenidas torrenciales en este caso no se cumple, pues los valles no son estrechos y tampoco tienen pendientes abruptas por lo que la geomorfología no se considera como un factor detonante, pero que si tiene la capacidad de aportar un peso considerable a la erosión que contribuye al fenómeno.

El uso del suelo en la zona de estudio no es un factor detonante para las avenidas torrenciales ya que en gran medida la zona se encuentra rodeada de bosque y a pesar de que tiene un porcentaje considerable de suelo denudado, no influye de una manera tan importante como para darle un gran peso en la influencia del fenómeno.

Las características que protegen al asentamiento Humano Rincón de la Paz de las avenidas torrenciales son principalmente el talud escarpado de casi 10 metros de altura que lo separan del cauce aluvial, el bajo porcentaje en la Pendiente media, la pendiente del canal central y la poca capacidad de transportar materiales heterométricos, gracias a ello históricamente no han ocurrido.

Hay factores extrínsecos e intrínsecos que son indispensables a la hora de evaluar si una avenida torrencial se puede generar en una cuenca, estos son los llamados factores detonantes, entre los que se encuentran: gran capacidad de incisión del cauce, abundante material detrítico a ser arrastrado, alta susceptibilidad ante procesos de remoción en masa, alta densidad de drenajes y unas Unidades Geológicas Superficiales poco compactas y erosionables, estas características evidencian que si hay una relación con las avenidas torrenciales y se necesita un estudio a mayor profundidad en donde se tengan en cuenta también los caudales y la precipitación.

Aunque hay factores de gran peso que influyen a que se produzcan avenidas torrenciales en la zona, hay otros factores también de gran peso que protegen al asentamiento humano Rincón de la Paz de verse afectado por el fenómeno. Con los datos obtenidos (Ver tabla 8) no se puede descartar la posibilidad de que dentro de la cuenca en las planicies de inundación este fenómeno se presente y que, aunque el asentamiento humano Rincón de la Paz no se vea afectado directamente con las llegadas de estos flujos torrenciales, se pueden producir socavaciones laterales de las laderas escarpadas que los afecten.

Se estableció como representativa la Estación Palonegro por su relativa cercanía al sector estudio y registros de precipitación disponible de esta estación.

Se establecieron los periodos de retorno necesarios para estimación de caudales, acordes a las posibles obras hidráulicas, que se proyectarán como complemento a las obras de estabilización geotécnica.

Se estimaron las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia IDF, para la estación representativa.

Acorde a las características de las áreas aferentes, se determinó que el método racional es la metodología más confiable para establecer la relación lluvia – escorrentía.

Se establecieron los parámetros de relación lluvia – escorrentía para la metodología de cálculo de caudales utilizada.

Se calcularon los tiempos de concentración Tc para cada una de las áreas aportantes de escorrentía delimitadas. Debido a su poca área, los tiempos de concentración Tc fueron mínimos, por lo cual se utilizaron las intensidades de precipitación máximas, en los cálculos de caudales de escorrentía.

Se calcularon los caudales correspondientes a los periodos de retorno establecidos, para cada una de las áreas aferentes delimitadas.

Es indispensable plasmar que los resultados de este estudio son un insumo base para las autoridades ambientales, entes territoriales de orden regional y nacional quienes son las entidades pertinentes para implementar estrategias de mitigación y reducción del riesgo, amenazas y desastres, con ayuda claramente de compañías privadas y públicas que deseen aportar en cuanto a formación, logística y financiera.

Las variables seleccionadas y estudiadas dentro de este proyecto son características elementales que planifican y ejercen acciones óptimas para la población y que a su vez, son objeto de análisis tanto social como económico y ambiental.

Por su parte, se estableció que el Índice de Riesgo Social del área de estudio es alto, por lo que las medidas de mitigación y prevención social, económica y ambiental deben ser responsables, estrictas, equilibradas, reiteradas y enfocadas al bienestar de esta colectividad para que este índice no se incremente y a su vez se intente abolir algún tipo de riesgo existente.

Se enfatiza en la implementación de la educación ambiental en el territorio, es la herramienta más significativa para prevenir y mitigar los desastres, amenazas y riesgos en el área de estudio.

De otro lado, dentro del entorno espacial se evidencia que la ocupación del territorio en forma desordenada y sin estructuras claras y seguras, no garantiza el espacio suficiente para la movilidad de la población residente, por lo que esto aumenta la vulnerabilidad en el área.

Las Juntas de Acción Comunal, que son una representación clara de la comunidad y que se encuentra en una posición de liderazgo, deberán interactuar entre ellas mismas, para mejorar, reforzar y crear mecanismos que permitan el beneficio de la propia comunidad. Unidas incrementan la participación y la sensibilización con el medio ambiente.

La inversión en proyectos productivos y de forestación y reforestación debe ser fundamentales en esta zona para incrementar y fomentar el trabajo, la educación y la seguridad.

El espacio para el depósito de los residuos deberá ser en una zona despejada, con la estructura idónea para albergar los desechos de la población.

Se deberá considerar la implementación de programas y proyectos en beneficio de la población en condición de discapacidad.

BIBLIOGRAFIA

CAMVHIL, Consultoría ambiental y obras civiles. (2014). ESTUDIOS DETALLADOS AVR POR FENOMENOS DE REMOCION EN MASA, INUNDACION Y SISMOLOGICO, DISEÑOS DE PLANIFICACION URBANA Y ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SOCIAL BARRIO RINCON DE LA PAZ. Bucaramanga.

Corredor, J. (2018). ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD POR MOVIMIENTOS DE REMOCIÓN EN MASA EN EL ASENTAMIENTO HUMANO RINCÓN DE LA PAZ Y APOYO GEOTÉCNICO BAJO LA SUPERVISIÓN DE LA SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN DEL RIESGO Y SEGURIDAD TERRITORIAL SURYT DE LA CDMB. (Trabajo de Grado). CDMB, Bucaramanga, Santander.

Guerra, C. (2018). Cartografía y Caracterización Geológica del Asentamiento Humano Rincón de la Paz, Comuna 5 del Municipio de Bucaramanga, Santander. Sector Localizado dentro de la Jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga. (Trabajo de grado). CDMB, Bucaramanga, Santander.

INGEOMINAS. (2001). ESTUDIO DE ZONIFICACION SISMOGEOTECNICA INDICATIVA DEL AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA. Bogotá.

Servicio Geologico Colombiano (SGC). (2015). Guia metodologica para estudios de amenza,vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. Bogota.DC, Colombia.

Servicio Geológico Colombiano. (2016). Guia Metodologica para estudios de Amenaza, Vulneabilidad y Riesgo por movimientos en masa. Bogota.

Du J., Yin K, Nadim F., Lacasse S. (s.f.). Quantitative vulnerability estimation for individual landslides.

Luis Eduardo Yamin, Francis Ghesquiere, Omar Darío Cardona, Mario Gustavo Ordaz. (2013). Modelación probabilista para la gestión del riesgo de desastre, El caso de Bogotá, Colombia. Bogota: Banco Mundial.

Thomas Glade, Malcolm Anderson, Michael J. Croizer . (2005). Landslide Hazard and Risk. Sussex Occidental.

Bucaramanga, Á. M. (2018). ESTUDIO DETALLADO DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA EN LOS BARRIOS LA INDEPENDENCIA, BOSQUE NORTE Y NUEVA COLOMBIA EN EL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA. Bucaramanga.

Elorza, M. G. (2008). Geomorfología. En M. G. Elorza, Geomorfología. Madrid: PRENTICE HALL.

Guillermo Eduardo Ávila Álvarez, C. E. (27 de Junio de 2016). Servicio Geológico Colombiano

INGEOMINAS. (2011). Zonificación Área Metropolitana de Bucaramanga. Bucaramanga.

Zaldúa, D. L. (2011). Modelación de vulnerabilidad física de estructuras de uno y dos pisos, asociada a deslizamientos. Bogotá.

CONGRESO DE LA REPUBLICA. (24 de ABRIL de 2012). LEY 1523. Obtenido de http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=47141

PLAN MUNICIPAL DE GESTION DEL RIESGO DE DESASTRE, PMGRD DE BUCARAMANGA (Diciembre de 2013). Obtenido de http://www.bucaramanga.gov.co/la-ruta/download/pmgrd/PMGRD-BGA_V1.pdf.

NORMAS GEOTECNICAS CDMB (Marzo de 2005). http://www.cdmb.gov.co/web/ciudadano/centro-de-descargas/7-normas-geotecnicas-control-erosion-1/file

GLOSARIO DE TERMINOS CDMB. http://www.cdmb.gov.co/web/ciudadano/glosario-terminos

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Sistema de gestión de calidad, fundamentos y vocabulario. NTC-ISO 9001:2008. Bogotá D.C NTC02, NTC 396, NTC 454, NTC 1500, NTC 2310.

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

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.

Cediel, F., Shaw, R, y Cáceres, C. 2003. Tectonic assembly of the Northern Andean Block. The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation and plate tectonics: AAPG Memoir 79, p. 815-848.

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

Cortes, M., Angelier, J. y Colleta, B. 2005. Paleostress evolution of the northern Andes (Eastern Cordillera of Colombia): Implications on plate kinematics of the South Caribbean region. Tectonics 24.

Cruden, D. y Varnes, D. 1996. Landslides types and processes. In Special Report 247: Landslides, investigation and mitigation. Turner and Schuster Eds. Transportation Research Board. National Academy Press. Washintong D.C.

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

Diederix, H., Torres, E., Hernández, C. y Botero, P. 2008. Modelo de evolución morfotectónica cuaternaria basado en evidencias estructurales, neotectónicas, y paleosismológicas de los principales sistemas de falla en la región de Bucaramanga. INGEOMINAS, 84 p.

Dickey, P. A., 1941. Pre-Cretaceous sediments in the Cordillera Oriental of Colombia: Am. Assoc. Petroleum Geologist Bull., v. 25, p. 1789 -1795

Etayo,. *et al.*, 1983. Mapa de terrenos geológicos de Colombia. Publicaciones geológicas especiales INGEOMINAS, (14-I): 235 p.

Goldsmith, R., Marvin, R. and Mehnert, H. 1971. Radiometric ages in the Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombian Andes. U.S. Geological Survey Professional Paper, 750-D, pp. D44-D49.

Hettner A., 1892. Die Kordillere von Bogotá: Gotha, Patermans Mitteil., Bd. 22, Erganzungsheft 104, 131 p.

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

HUBACH, E. 1951. Mina de Carbón de "Chía" en el Páramo del Almorzadero (Santander). Servicio Geológico Nacional. Informe 809. Bogotá. 3 p.

INGEOMINAS, 1997. Microzonificación Sísmica del Área Metropolitana de Bucaramanga. Fase I. Bucaramanga.

INGEOMINAS. 1999. Geología del departamento de Santander.

INGEOMINAS. 2001. Zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga.

INGEOMINAS. 2007. Mapa geológico de Colombia. Escala 1:1'000.000. Bogotá.

INGEOMINAS. 2009. Zonificación de amenaza por movimientos en masa de algunas laderas de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta.

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

Jiménez, G., Speranza, F., Faccena, C., Bayona, G. y Mora, A. 2014. Magnetic stratigraphy of the Bucaramanga alluvial Fan: Evidence for a < 3mm/yr slip rate for the Bucaramanga-Santa Marta Fault, Colombia. Journal of South American Sciences, In Press.

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

JULIVERT, M. 1963. Nuevas observaciones sobre la estratigrafía y tectónica del cuaternario de los alrededores de Bucaramanga. Boletín de Geología Nº 15. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga

Londsdale, P. 2005. Creation of the Cocos and Nazca plates by fission of the Farallon plate. Tectonophysisc, 404. p. 237-264.

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

Meschede, M. y Frisch, W. 1998. A plate-tectonic model for the Mesozoicand Early Cenozoic history of the Caribbean plate. Tectonophysic 296, p. 269-291.

Paris, G., Machette, M., Dart, R. y Haller, K. 2000. Map and Database of Quaternary faults and folds in Colombia and its Offshore Regions. U. S. Geological Survey.

Pérez, O., Bilham, R., Bendick, R., Velandia, J., Hernández, N., Moncayo, C., Hoyer, M. y Kozuch, M. 2001. Velocity field across the southern Caribbean plate boundary and estimates of Caribbean/South America plate motion using GPS geodesy 1994-2000. Geophysical research letter, Vol. 28, N° 15, p.2987-2990.

Pindell, J., Cande, S., Pitman, W., Browley, D., Dewey, J., Labreque, J. y Haxby, W. 1988. A plate-kinematic framework for models of Caribbean evolution. Tectonophysics 155, 121-138.

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

Rhea, S., Hayes, G., Villaseñor, A., Furlong, K., Tarr, A. y Benz, H. 2010. Seismicity or the earth 1900-2007, Nazca Plate and South America. U. S. Geological Survey.

Royero, J. y Clavijo, J. 2001. Mapa geológico generalizado, Departamento de Santander: Memoria explicativa. Escala 1:400.000. INGEOMINAS. p. 91.

Taboada, A., Rivera, L., Fuenzalida, A., Cisternas, A., Philip, H., Bijwaard, H., Olaya J. y Rivera, C. 2000. Geodynamics of the northern Andes: Subductions and intracontinental deformation (Colombia). Tectonics, Vol. 19, p. 787-813.

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

Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC), 2014. Coberturas de la tierra. Concepto.

https://www.siac.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=471&conID=1447

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

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

Verstappen, H. 1983. Applied geomorphology. Elservier, Amsterdam, 437 p.

Van Zuidam, R. 1986. Terrain classification, Amsterdam: ITC.

Varnes, D. 1978. Slope movement types and processes. In Special Report 176, Landslides: Analysis and Control.

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

Zafiri, Z., Havsok, J. y Hanyga, A. 2007. An insight into the Bucaramanga nest. Tectonophysics 443, p. 93-105.

Chow, V., T., Mays, L., W., Maidment, D., R., (1994). "Hidrología Aplicada", McGraw-Hill, Santafé de Bogotá.

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

U. S. Army Corps Engineers, (2000). "Hydrologic Modeling System HEC-HMS" Technical Reference Manual, Hydrologic Engineering Center, Massachuusetts.

Vargas, R., M. Díaz-Granados, (1998). "Curvas Sintéticas Regionalizadas de Intensidad-Duración-Frecuencia para Colombia," XIII Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología, Cali.

Suarez, Jaime (2009 a). Deslizamientos, Análisis geotécnico, Volumen 1. División de Publicaciones UIS, Bucaramanga, 588 pag.

Suarez, Jaime (2009 b). Deslizamientos, Técnicas de remediación, Volumen 2. División de Publicaciones UIS, Bucaramanga, 417 pag.

Bonachea, Jaime (2006). Desarrollo, aplicación y validación de procedimientos y modelos para la evaluación de amenazas, vulnerabilidad y riesgo debidos a procesos geomorfológicos, PhD, tesis.

Gomez, I. Maldonado, E. Chio, G. (2008). "Simulación de funciones de vulnerabilidad y matrices de probabilidad de daño sísmico para edificaciones de hormigón armado en sistema pórtico".

Finlay, P.J., Mostyn, G.R. y Fell, R. (1997). Vulnerability to landsliding, Quarterly Journal of Engineering Geology, Geotechnical Society, Toronto, Canada, Vol. 1, pp. 307-324.

Finlay, P.J., 1996. The risk assessment of slopes. School of Civil Engineering, University of New South Wales, Australia, PhD, thesis.

Ragozin, A.L. y Tikhvinsky, I.O. (2000), Landslide hazard, vulnerability and risk assessment. 8th International Symposium on Landslides, Cardiff, pp. 1257-1262.

Mendoza, M.J. y Domínguez, L. (2005). Estimación del a amenaza y el riesgo de deslizamientos en laderas, México.

Castro, E., Valencia, A., Ojeda, J., Muñoz, F. y Foncesa, S. (2001). Evaluación de riesgos por fenómenos de remoción en masa, Guía metodológica, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Colombia.

Leone, F. (1996). Concept de velnerabilite applique a l'evaluation des resques generes para les phenomenes de mouvements de terrain. These de doctorat, IGA, Grenoble I, Université Joseph Fourier, 286 pp.

González-Díez, A., Cardenal, J., Delgado, J., Remondo, J., Felicísimo, A., Chung, C.J., Fabbri, A., Soares, A., Díaz de Terán, J.R., Francés, E., Salas, L., Fernández- Maroto, G., García, S., Olague, I., Mata, E., Bonachea, J., Sánchez-Espeso, J., 2004. The Fodispil project: an improvement of the landslide usceptibility maps. Abstracts 32 International Geological Congress, Florencia. Fell, R., Hartford, D., 1997. Landslide risk management. En: Cruden, D., Fell, R. (Eds.), Landslide risk assessment, Balkema, rotterdam, pp. 51-109.

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

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

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

Wong, H.N., Ho, K.K.S., Chan, Y.C., 1997. Assessment of consequence of landslides. In: Cruden, R., Fell, R. (Eds.), Landslide Risk Assessment. Balkema, Rotterdam, pp. 111 – 149.

Blaikie, P., Cannon T., Davis, I, Wisner, B. (1996). Vulnerabilidad, *El Entorno Social, Político y Económico de los Desastres*.

Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental (s.f.), Disponible en: http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd29/riesgo-apuntes.pdf

Birkmann, Jörn, (2006).Medición de la vulnerabilidad a los peligros naturales. Hacia las sociedades resilientes a los desastres. Universidad de las Naciones Unidas. Hong Kong

Carreño, M.L., Cardona, O.D., y Barbat, A.H. (2004). Metodología para evaluación del desempeño de la gestión del riesgo. Monografías de Ingeniería Sísmica. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, CIMNE, Barcelona.

Cartografía social (2009), disponible en: http://www.mincultura.gov.co/?idcategoria=26043.

Constitución Política de Colombia, 1991.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe 2002, disponible en: http://www.cepal.org/es/estimaciones-proyecciones-poblacion-largo-plazo-1950-2100

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

Departamento Nacional de Estadística (DANE), Censo general 2005, disponible en: http://www.dane.gov.co/censo/files/libroCenso2005nacional.pdf

Departamento Nacional de Estadística (DANE), Censo general 2005, Metadatos-geoportal.

Mansilla Elizabeth, (1996). Desastre Modelo para armar, Colección de piezas de un rompecabezas social publicado por la Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.

Metodología para la investigación (2006), Roberto Hernández Sampieri, Carlos Fernández-Collado y Pilar Baptista Lucio.

Localización de Bucaramanga (s.f), Alcaldía de Bucaramanga. Disponible en:http://www.bucaramanga.gov.co/Contenido.aspx?Param=9

Guía para la construcción de indicadores de gestión (2012), Departamento Administrativo de la Función Pública.

Guía Metodológica para la elaboración de Planes Departamentales para la Gestión del Riesgo.

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

Guía Metodológica para la formulación de indicadores (2009), Departamento Nacional de Planeación.

Plan de Ordenamiento y Manejo Ambiental Sub-Cuencarío Suratá, 2007.

Plan de Ordenamiento Territorial municipio de Bucaramanga. 2013-2027, disponible en: http://www.bucaramanga.gov.co/Contenido.aspx?Param=56

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

Rodríguez Ernesto, (2005), Metodología de la investigación, la creatividad, el rigor del estudio y la integridad son factores que transforman al estudiante en un profesionista de éxito.

18 ANEXO DOCUMENTOS TOPOGRAFICOS

19 ANEXO ANALISIS DE AMENAZA POR FENOMENOS DE ROMOCION EM MASA

20 PLANOS

21 ANEXO ANALISIS HIDROLOGICO E HIDRAULICO

22 ANEXO ANALISIS DE VULNERABILIDAD

23 ANEXO ESPECIFICACIONES TECNICAS

24 ANEXO PRESUPUESTO