

**ELABORACIÓN DE LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA LA REALIZACIÓN DE ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA E INUNDACIÓN A NIVEL DE DETALLE EN LA ZONA URBANA DEL AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA.**

**FREDDY YEZID GARCIA DELGADO**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
MAESTRÍA EN GEOTECNIA  
BUCARAMANGA**

**2016**

**ELABORACIÓN DE LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA LA REALIZACIÓN DE ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA E INUNDACIÓN A NIVEL DE DETALLE EN LA ZONA URBANA DEL AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA.**

**FREDDY YEZID GARCIA DELGADO**

**Proyecto de grado como requisito parcial para optar el título de  
Magíster en Geotecnia**

**Director:  
JOSE ALBERTO RONDON  
Magister en Geotecnia**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
MAESTRÍA EN GEOTECNIA  
BUCARAMANGA**

**2016**

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN .....	19
1. RESUMEN EJECUTIVO .....	22
1.1 OBJETIVOS .....	22
1.2 JUSTIFICACIÓN .....	22
1.3 GENERALIDADES .....	23
1.4 ZONIFICACIÓN BÁSICA DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA.....	24
1.5 ZONIFICACIÓN DETALLADA DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA.....	26
1.6 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD .....	27
1.7 CÁLCULO Y EVALUACIÓN DEL RIESGO.....	29
1.8 MAPAS Y ANEXOS .....	31
1.9 ANÁLISIS DE LA AMENAZA POR INUNDACIÓN.....	32
1.10 ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR INUNDACIÓN.....	34
1.11 AISLAMIENTOS MÍNIMOS EN CAUCES Y TALUDES .....	34
2. RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	36
2.1 FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA .....	36
2.2 FENÓMENOS DE INUNDACIÓN .....	43
3. INFORMACIÓN BÁSICA PARA ESTUDIAR MOVIMIENTOS EN MASA.....	46
3.1 ÁREA A CUBRIR EN EL ESTUDIO .....	46
3.2 METODOLOGÍA GENERAL .....	46
3.3 CONDICIONES DEL AREA DE ESTUDIO .....	47
3.3.1 Condiciones Geológicas. ....	47
3.3.2 Litología (Suelo y Roca).....	47
3.3.3 Planos geológicos detallados.....	48

3.3.4 Estratigrafía.....	48
3.3.5 Cortes geológicos representativos.....	49
3.3.6 Geología Estructural. ....	50
3.3.7 Condiciones Geomorfológicas. ....	50
3.3.8 Mapa de dependientes.....	51
3.3.9 Inventario Detallado y Caracterización Geotécnica de los Procesos de Inestabilidad.....	51
3.3.10 Condiciones Hidrogeológicas.....	51
3.3.11 Vegetación.....	52
3.3.12 Sismología. ....	53
3.4 MODELO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO .....	53
3.4.1 Exploración Geotécnica. ....	53
3.4.2 Tipo y número de ensayos.....	55
3.4.3 Tipo de suelo. ....	55
3.7 CONTENIDO DEL INFORME FINAL DEL ESTUDIO .....	56
3.5.1 Plano de limitaciones del lote.....	57
3.5.2 Localización y descripción del proyecto.....	57
3.5.3 Modelo geológico geotécnico.....	59
3.5.4 Evaluación de amenaza por remoción en masa y/o inundación.....	59
3.5.5 Evaluación de vulnerabilidad y riesgo.....	60
3.5.6 Plan de medidas de mitigación del riesgo.....	60
3.5.7 Memorias técnicas de los diseños.....	61
4. ANÁLISIS DE AVR POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA E INNDACIÓN.....	63
4.1 MARCO JURÍDICO Y COMPONENTE TÉCNICO (MOVIMIENTOS EN MASA). .....	63
4.2 ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DE AMENAZA PARA FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA .....	65
4.2.1 Probabilidad de Falla.....	65

4.2.2 Probabilidad de falla con base en el índice de confiabilidad. ....	66
4.2.3 Simulación de Montecarlo.....	67
4.3 CATEGORIZACIÓN DE LA AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA.....	72
4.4 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD.....	74
4.5 EVALUACIÓN DEL RIESGO.....	76
4.6 PENDIENTES MÁXIMAS PERMITIDAS PARA PROYECTOS DE DESARROLLO.....	79
4.7 AISLAMIENTOS MÍNIMOS EN TALUDES.....	80
4.7.1 Aislamientos en taludes con pendiente inferior A 45°.....	80
4.7.2 Aislamientos en taludes con pendiente superior a 45°.....	81
4.7.3 Aislamientos en cortes junto a límites de propiedad.....	82
4.8 ESTUDIOS HIDROLÓGICOS Y AISLAMIENTOS DE CAUCES.....	83
4.8.1 Marco Jurídico Y Componente Técnico.....	83
4.8.2 Evaluación de la amenaza para inundación.....	89
4.8.2.1 Períodos de Retorno.....	91
4.8.2.2 Metodologías investigadas para la zonificación de amenaza por inundación.....	92
4.8.2.3 Categorización y Zonificación de amenaza por inundación.....	100
4.9 AISLAMIENTOS EN CAUCES.....	102
4.9.1 Antecedentes Normativos.....	102
4.9.2 Aislamientos según CDMB y AMB.....	105
4.9.3 POT municipales.....	109
5. EJEMPLO PRÁCTICO.....	115
5.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	115
5.2 GENERALIDADES.....	117
5.3 MODELO GEOLOGICO GEOTECNICO.....	118
5.3.1 Geología regional.....	118
5.3.2 Geología local.....	119
5.3.2.1 Neis Bucaramanga (PEb).....	119

5.3.2.2 Formación Jordán (Jj). .....	120
5.3.2.3 Depósitos de Cono de Deyección o de Flujo de Escombros (Qtf). .....	120
5.3.3 Geología estructural.....	120
5.3.4 Geomorfología. ....	121
5.3.4.1 Marco General. ....	121
5.3.4.2 Indicadores geomorfológicos. ....	121
5.3.4.3 Resultados. ....	121
8.3.5 Hidrología y vegetación.....	126
8.3.5.1 Clima.....	126
5.3.5.2. Vegetación.....	126
5.3.5.3. Drenaje e infiltración. ....	126
5.3.5.4. Nivel freático. ....	127
5.3.5.5 Condiciones hidrológicas. ....	127
5.4 SISMOLOGÍA. ....	128
5.4.1 Amenaza sísmica según la Norma NSR-10.....	128
5.4.2 Movimiento sísmico de diseño. ....	130
5.4.3 Efectos locales.....	130
5.4.4 Tipo de Perfil del suelo. ....	131
5.4.5 Coeficiente de Importancia. ....	132
5.4.6 Espectro Elástico de Diseño. ....	132
5.4.7 Espectro Elástico de Diseño para el proyecto específico. ....	133
5.5 INVENTARIOS Y CARACTERIZACIÓN DE PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA.....	135
5.6 EXPLORACIÓN DE CAMPO Y ENSAYOS DE LABORATORIO.....	135
5.6.1 Pruebas de campo.....	135
5.6.2 Ensayos de Penetración estándar SPT. ....	136
5.6.3 Corrección por n60. ....	138
5.6.4 Ensayos de laboratorio. ....	139
5.6.5 Perfil estratigráfico general .....	140
5.6.6 Perfil estratigráfico. ....	141

5.7 CAPACIDAD ADMISIBLE DE DISEÑO Y ASENTAMIENTOS .....	141
5.8 TIPO DE CIMENTACIÓN.....	142
5.9 ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS .....	142
5.10 EVALUACION DE AMENAZA.....	146
5.10.1 Evaluación por amenaza por fenómenos de remoción en masa. ....	146
5.10.2 Categorización de la estabilidad de la ladera.....	147
5.10.3 Resultados de los análisis de estabilidad ante deslizamiento.....	147
5.10.4 Evaluación de amenaza por inundación. ....	150
5.11 EVALUACIÓN VULNERABILIDAD Y RIESGO.....	151
5.11.1 Evaluación vulnerabilidad física. ....	151
5.11.2 Evaluación del riesgo.....	153
5.12 OBSERVACIONES DEL ESTUDIO .....	155
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	157
BIBLIOGRAFÍA.....	162
ANEXOS.....	167

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Marco de referencia para evaluación de riesgo por movimientos en masa y la toma de decisiones.....	24
Figura 2. Zonificación básica de amenaza por movimientos en masa a escala 1:5000.....	25
Figura 3. Zonificación detallada de amenaza por movimientos en masa a escala 1:2000.....	26
Figura 4. Procedimiento general para análisis de vulnerabilidad por movimientos en masa. Estudios detallados, a escala 1:2000.....	28
Figura 5. Esquema metodológico para la evaluación del Riesgo.....	30
Figura 6. Metodología para análisis de amenaza por inundación .....	33
Figura 7. Enfoque General de la Simulación de Monte Carlo. ....	68
Figura 8. Gráfica de función de Probabilidad de Falla Vs F.S. Probabilístico. ...	71
Figura 9. Aislamientos en taludes con pendiente inferior a 45°. ....	81
Figura 10. Aislamientos en taludes con pendiente superior a 45°. ....	82
Figura 11. Aislamientos en cortes junto a límites de propiedad.....	83
Figura 12. Elementos que conforman las rondas hídricas de protección.....	87
Figura 13. Esquema de zonificación del territorio próximo a una inundación hipotética. ....	90
Figura 14. Impacto de la geomorfología local en la extensión de la inundación. .	91
Figura 15. Interpolación de Niveles de Seguridad para inundación .....	98
Figura 16. Localización regional del sector en estudio. ....	116
Figura 17. Localización local del proyecto en el municipio de Piedecuesta.....	116
Figura 18. Localización del predio objeto de estudio. ....	117
Figura 19. Mapa geológico regional (escala 1:100.000), en el cual se encuentran localizadas todas las unidades geológicas mayores de la región aledaña a Piedecuesta .....	118
Figura 20. Modelo Geológico del Lugar en estudio (ver plano anexo).....	119

Figura 21. Modelo Tectónico y Mapa de sombras generado a partir del modelo digital de terreno, donde se aprecia la expresión morfoestructural de la Falla Bucaramanga y Suárez - Río de Oro. Fuente: (Revista Facies – U.I.S. 1994) y Estudio de Amenaza del Ingeominas, respectivamente. .....	120
Figura 22. Mapa de pendientes. ....	123
Figura 23. Mapa Geomorfológico. Ver Anexos. ....	125
Figura 24. NSR-10 Figura A.2.3-2. ....	129
Figura 25. NSR-10 figura A.2.3-3.....	130
Figura 26. Espectro elástico de diseño. ....	132
Figura 27. Zonificación Sísmica INGEOMINAS 2001. ....	133
Figura 28. Espectro elástico de diseño de la edificación a construir.....	134
Figura 29. Espectro de diseño .....	134
Figura 30. Localización de los sondeos en el predio en estudio (Flores I).....	137
Figura 31. Valores de Cn. ....	139
Figura 32. Deformaciones verticales dentro de un espacio elástico .....	143
Figura 33. Módulo de elasticidad .....	144
Figura 34. Análisis estático con Proyecto Flores 1. Dos Torres.....	149
Figura 35. Análisis Seudo-estático con Proyecto Flores 1. Dos Torres. ....	149
Figura 36. Especialización de la amenaza de acuerdo a la modelación realizada. (Ver plano anexo). ....	150
Figura 37. Evaluación de Vulnerabilidad actual del predio en estudio, ver mapa de anexos. ....	152
Figura 38. Evaluación del Riesgo con proyecto sobre el predio, ver mapa de anexos. ....	154

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Escalas mínimas exigidas para los planos geológicos y geomorfológicos.....	47
Tabla 2. Porcentaje mínimo de ensayos que se recomienda realizar sobre el total de muestras obtenidas.....	55
Tabla 3. Clasificación de los perfiles de suelos, título A de la NSR-10, tabla A.2.4-1. ....	56
Tabla 4. Probabilidad de que se presenten o no cada uno de los eventos detonantes. ....	69
Tabla 5. Niveles de amenaza para remoción en masa, según normas de la CDMB y los municipios de Girón y Piedecuesta (Estudios Básicos).....	72
Tabla 6. Niveles de amenaza para remoción en masa, según la Guía del SGC para Estudios Básicos.....	72
Tabla 7. Niveles de amenaza para taludes en roca (Estudios Básicos). ....	73
Tabla 8. Niveles de amenaza según la probabilidad anual de falla para Estudios Detallados. ....	73
Tabla 9. Clasificación de la vulnerabilidad para edificaciones y obras lineales * ..	74
Tabla 10. Daños esperados para edificaciones y líneas vitales.....	75
Tabla 11. Clasificación de la vulnerabilidad para personas. ....	76
Tabla 12. Categorías del Riesgo Estructural según su porcentaje de daños.....	77
Tabla 13. Categorías de riesgo de bienes físicos y personas.....	77
Tabla 14. Descripción de las categorías del Riesgo Total. ....	78
Tabla 15. Medidas de intervención según las categorías del riesgo.....	78
Tabla 16. Categorías de riesgo.....	79
Tabla 17. Pendientes máximas permitidas .....	80
Tabla 18. Aislamientos en taludes con pendiente inferior a 45°. ....	80
Tabla 19. Aislamientos en taludes con pendiente superior a 45°.....	81
Tabla 20. Aislamientos en cortes junto a límites de propiedad. ....	82

Tabla 21. Periodo de retorno de inundación .....	92
Tabla 22. Categorización de la Amenaza por Inundación a Partir de la frecuencia del evento amenazante.....	94
Tabla 23. Nivel de Severidad de la inundación.....	97
Tabla 24. Nivel de severidad o magnitud del evento de Inundación .....	99
Tabla 25. Determinación del nivel de intensidad de acuerdo con el tipo de inundación.....	99
Tabla 26. Categorización de Amenaza por Inundación. ....	101
Tabla 27. Aislamientos en cauces primarios y secundarios.....	106
Tabla 28. Clasificación de los cauces según el Acuerdo Metropolitano No. 013 de 2011.....	108
Tabla 29. Delimitación de las rondas hídricas de protección. ....	108
Tabla 30. Clasificación de los cauces según el POT de Bucaramanga .....	109
Tabla 31. Delimitación de las rondas hídricas de protección y de las zonas de manejo del espacio público en áreas urbanas de Bucaramanga según el POT.....	109
Tabla 32. Clasificación de los cauces para el municipio de Floridablanca.....	110
Tabla 33. Dimensiones del sistema hídrico y la zona de manejo del espacio público en el área urbana, de expansión y suburbana para Floridablanca. ....	111
Tabla 34. Clasificación de los cauces para el municipio de Girón. ....	112
Tabla 35. Dimensionamiento de rondas hídricas de manejo – sector urbano para Girón. ....	113
Tabla 36. Dimensionamiento de rondas hídricas de manejo – sector urbano para Piedecuesta. ....	113
Tabla 37. Rangos Morfo métricos usados. ....	122
Tabla 38. NSR-10 Tabla A.2.3-1.....	129
Tabla 39. NSR-10 tabla A.2.4-3 Valores del coeficiente Fa, para la zona de periodos cortos del espectro. ....	131

Tabla 40. NSR-10 tabla A.2.4-4 Valores del coeficiente $F_v$ , para la zona de periodos intermedios del espectro. ....	131
Tabla 41. Ensayos de Laboratorio Realizados a las Muestras Obtenidas en Campo. ....	139
Tabla 42. Perfil Estratigráfico General. ....	140
Tabla 43. Cálculo de la carga, zapata más cargada. ....	145
Tabla 44. Cálculo y verificación de asentamiento diferencial. ....	145
Tabla 45. Propiedades geomecánicas del modelo geológico geotécnico. ....	148
Tabla 46. Resultados del análisis estático con Proyecto Flores 1. Dos Torres...	148
Tabla 47. Resultados del análisis Seudo-estático con Proyecto Flores 1. Dos Torres.....	149
Tabla 48. Valores de vulnerabilidad física al impacto de deslizamientos de tierra (Imiriland, 2007). ....	151
Tabla 49. Clasificación de la vulnerabilidad. ....	152
Tabla 50. Calificación del riesgo en condiciones actuales. ....	153
Tabla 51. Calificación del riesgo en condiciones con proyecto. ....	154

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía 1. Localización de las unidades geomorfológicas en la zona de estudio.....	124
Fotografía 2. Localización del caño, donde se recolecta el agua de escorrentía proveniente del drenaje natural localizado en el cerro.....	127
Fotografía 3. Se observa el escarpe de desprendimiento de partículas y deficiente cobertura vegetal y el deterioro del sistema de cunetas. ....	135
Fotografía 4. Ejecución de perforación para el Sondeo 6. ....	137
Fotografía 5. Muestra obtenida de la perforación para el Sondeo 6. ....	138

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA DEL EJEMPLO PRÁCTICO.	167
ANEXO B. PLANOS DE AISLAMIENTOS MINIMOS EN TALUDES, CORTES Y CAUCES.....	184
ANEXO C. PROPUESTA DE LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA LA REALIZACIÓN DE ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA E INUNDACIÓN A NIVEL DE DETALLE EN LA ZONA URBANA DEL AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA.....	190

## RESUMEN

**TÍTULO:** ELABORACIÓN DE LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA LA REALIZACIÓN DE ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA E INUNDACIÓN A NIVEL DE DETALLE EN LA ZONA URBANA DEL AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA, MEDIANTE EL ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE METODOLOGÍAS EXISTENTES<sup>1</sup>

**AUTOR:** FREDDY YEZID GARCÍA DELGADO\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Amenaza, vulnerabilidad, riesgo, remoción en masa, inundación, aislamientos, POT (Plan de Ordenamiento Territorial).

### DESCRIPCIÓN

Los EDARFRI son los estudios detallados de amenaza y/o riesgo, por fenómenos de remoción en masa e inundación en terrenos sobre los cuales se tengan expectativas de desarrollo, localizados en suelos urbanos, de expansión urbana, suburbanos y rurales, que se encuentren con restricciones de uso dentro de los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) de un municipio.

Estos estudios son de una importancia relevante ya que permiten el desarrollo urbanístico de los municipios, especifican cuáles son las zonas de aislamiento geotécnico y los aislamientos mínimos con respecto a taludes y las cabeceras de fuentes de agua.

El Decreto 1807 de 2014 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio establece que todos los municipios del país como mínimo deberán contar con estudios básicos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo (AVR). Además, en las áreas específicas que exista condición de riesgo, se deberán hacer estudios detallados, previo un proceso de urbanización existente.

El Área Metropolitana de Bucaramanga como autoridad ambiental urbana creada desde el 2012, es la entidad encargada de hacer el seguimiento y control de estos estudios y obras en los municipios de su jurisdicción. Debido a que actualmente esta entidad no cuenta con una norma técnica que establezca los lineamientos para realizar este tipo de estudios, se hace necesario elaborar un documento que contenga estos aspectos para su desarrollo, el cual es el objetivo principal de este proyecto de grado.

Este proyecto inició con una recopilación bibliográfica de las normas y estudios vigentes existentes en el país y en la región sobre esta temática, posteriormente se analizaron y compararon resaltando sus ventajas y desventajas, adicionalmente se aplicaron en un sector del área metropolitana que contara con estudios y finalmente se propuso una metodología para su evaluación.

---

<sup>1</sup> Proyecto de Grado.

\*\* Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Director MSc. Ingeniero Jose Alberto Rondón.

## ABSTRACT

**TITLE:** MAKING TECHNICAL GUIDELINES FOR SURVEYS OF THREAT, VULNERABILITY AND LANDSLIDES RISK AND FLOODING IN THE URBAN AREA OF BUCARAMANGA METROPOLITAN AREA THROUGH THE ANALYSIS AND EVALUATION OF EXISTING METHODOLOGIES <sup>2</sup>

**AUTHOR:** FREDDY YEZID GARCÍA DELGADO\*\*

**KEYWORDS:** Threat, vulnerability, risk, landslides, flooding, insulation, POT (Land Use Plan).

### DESCRIPTION

The EDARFRI are detailed studies of threat and / or risk, by phenomena of landslides and flooding on land on which development expectations are held, located in urban soils, urban expansion, suburban and rural, which are with restricted use within the Land Management Plans (POT) of a municipality.

These studies are of significant importance because they allow urban development of municipalities; these specify the areas of geotechnical isolation and the minimum insulation with respect to headers slopes and water sources.

Decree 1807 of 2014 by the Ministry of Housing, City and Territory provides that all municipalities must have at least basic studies of threat, vulnerability and risk (AVR). Moreover, in the specific areas where there are risk conditions, they should make detailed studies, with a pre - existing development process.

The Metropolitan Area of Bucaramanga as urban environmental authority created since 2012, is in charge of tracking and control these studies and works in the municipalities within its jurisdiction. Because this entity currently does not have a technical standard that establishes the guidelines for such studies, it is necessary to develop a document that contains these aspects for its development, which is the main objective of this degree project.

This project began with a literature compilation of existing standards and existing studies in the country and in the region on this subject, subsequently, there were analyzed and compared by highlighting its advantages and disadvantages, additionally, there were applied in a sector of the metropolitan area that will feature studies and finally a methodology for evaluation was proposed.

---

<sup>2</sup> Degree Project.

\*\* Faculty of Physical Mechanical Engineering, School of Civil Engineering, MSc director. Engineer Jose Alberto Rondon.\*\*

## INTRODUCCIÓN

A partir de la expedición de la ley de gestión del riesgo de desastres (Ley 1523 de 2012), todos los municipios del país deben realizar estudios de riesgos naturales como parte esencial de las políticas encaminadas a la planificación del desarrollo seguro y a la gestión ambiental territorial sostenible. Por medio del presente proyecto de grado, se buscan establecer los criterios mínimos que se deben emplear para la realización los estudios detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa e inundación en las zonas urbanas de los municipios del Área Metropolitana de Bucaramanga.

Los EDARFRI son los lineamientos Técnico-Ambientales para la realización de estudios detallados de amenaza y/o riesgo, por fenómenos de remoción en masa e inundación en terrenos sobre los cuales se tengan expectativas de desarrollo, localizados en suelos urbanos, de expansión urbana, suburbanos y rurales, que se encuentren con restricciones de uso dentro de los planes, planes básicos y Esquemas de Ordenamiento Territorial de un municipio, que no hayan sido objeto de estudios detallados de amenazas por parte del Servicio Geológico Colombiano –SGC-.

Mediante este proyecto de grado se propone elaborar los parámetros normativos, para la aplicación de los estudios detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo (AVR), por movimientos en masa e inundación a escala detallada o local, de tal manera que sirvan como una guía de trabajo para los municipios de la jurisdicción del Área Metropolitana de Bucaramanga –AMB-.

Para ello, inicialmente se investigará información existente en entidades y bibliografía relacionadas con normas técnicas vigentes; posteriormente se elaborarán y propondrán los lineamientos técnicos para la realización de estos

estudios; adicionalmente se realizará un ejemplo de aplicación de los lineamientos propuestos en algún proyecto que se tenga planeado desarrollar. Finalmente, se propondrá una metodología aplicable para la evaluación de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo a nivel de detalle en el AMB.

Los estudios detallados están orientados a determinar la categorización del riesgo y establecer las medidas de mitigación correspondientes. Con base en los resultados de los estudios, los alcaldes municipales, podrán realizar la precisión cartográfica y la definición de las normas urbanísticas a que haya lugar en el área objeto de estudio, de conformidad con lo previsto en el Plan de Ordenamiento Territorial y deberá registrarse en todos los planos de la cartografía oficial. En relación al suelo urbano y de expansión urbana, se deberá contemplar por lo menos, con la realización de los Edarfris para adelantar la delimitación de las áreas expuestas a amenazas y riesgos naturales, de conformidad con lo previsto en el componente general del plan de ordenamiento territorial de cada municipio.

Dentro del conocimiento del riesgo ambiental territorial, es una prioridad la elaboración de estudios detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por remoción en masa, erosión e inundación. Actualmente, se cuenta con estudios detallados en algunos sectores, pero es necesario estudiar otras zonas de todos los municipios que conforman el AMB para ampliar el conocimiento del riesgo por este tipo de amenazas.

Debido a lo anterior, es fundamental profundizar en el conocimiento del riesgo ambiental territorial, con especial interés en el fenómeno de precariedad urbana, en la elaboración de estudios detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa, erosión e inundación, y en el diseño de obras de mitigación.

Debido a la complejidad implícita en las condiciones que determinan la estabilidad o inestabilidad de las laderas, donde entran en juego variables como el entorno geológico e hidrogeológico, el tipo de terreno, la pendiente, el agua, los sismos y los usos del terreno, se deben definir los lineamientos de la manera más objetiva posible, de manera que sirvan como un instrumento útil para las autoridades municipales, las cuales podrán generar de manera estandarizada este tipo de estudios en el Área Metropolitana de Bucaramanga.

## 1. RESUMEN EJECUTIVO

### 1.1 OBJETIVOS

**Objetivo General:** Determinar los requisitos técnicos mínimos para la realización de los estudios detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa e inundación en las zonas urbanas de los municipios del Área Metropolitana de Bucaramanga.

**Objetivos Específicos:**

- Investigar información existente en entidades y bibliografía relacionadas con normas técnicas y procedimientos para la elaboración de los estudios detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por remoción en masa e inundación.
- Elaborar los lineamientos técnicos que se deben tener en cuenta en la realización de estudios de AVR por fenómenos de remoción en masa e inundación a nivel de detalle en la zona urbana del Área Metropolitana de Bucaramanga.
- Aplicar los lineamientos desarrollados en algún sector que cuente con estudios geotécnicos para su evaluación.

### 1.2 JUSTIFICACIÓN

El Decreto 1807 de 2014 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio establece que todos los municipios del país como mínimo deberán contar con estudios básicos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo (AVR). Además, en las áreas específicas que exista condición de riesgo, se deberán hacer estudios detallados, previo un proceso de urbanización existente.

Dentro del conocimiento del riesgo ambiental territorial, es una prioridad la elaboración de estudios detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por remoción en masa, erosión e inundación.

### **1.3 GENERALIDADES**

Como se ha presentado en el Decreto 1807 de 2014, la gestión del riesgo es un proceso social que enmarca tres componentes principales: el conocimiento del riesgo, la reducción del riesgo y el manejo de desastres, cuyo fin es contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible. El proceso planteado en esta guía comprende tres grandes etapas: 1) análisis del riesgo, 2) evaluación del riesgo, y 3) mitigación y prevención del riesgo (figura 35). Cada una de ellas consta, a su vez, de una serie de elementos y procesos que, de acuerdo con el tipo de evaluación que se realice, pueden ser de mayor o menor grado de detalle y complejidad.

Figura 1. Marco de referencia para evaluación de riesgo por movimientos en masa y la toma de decisiones.



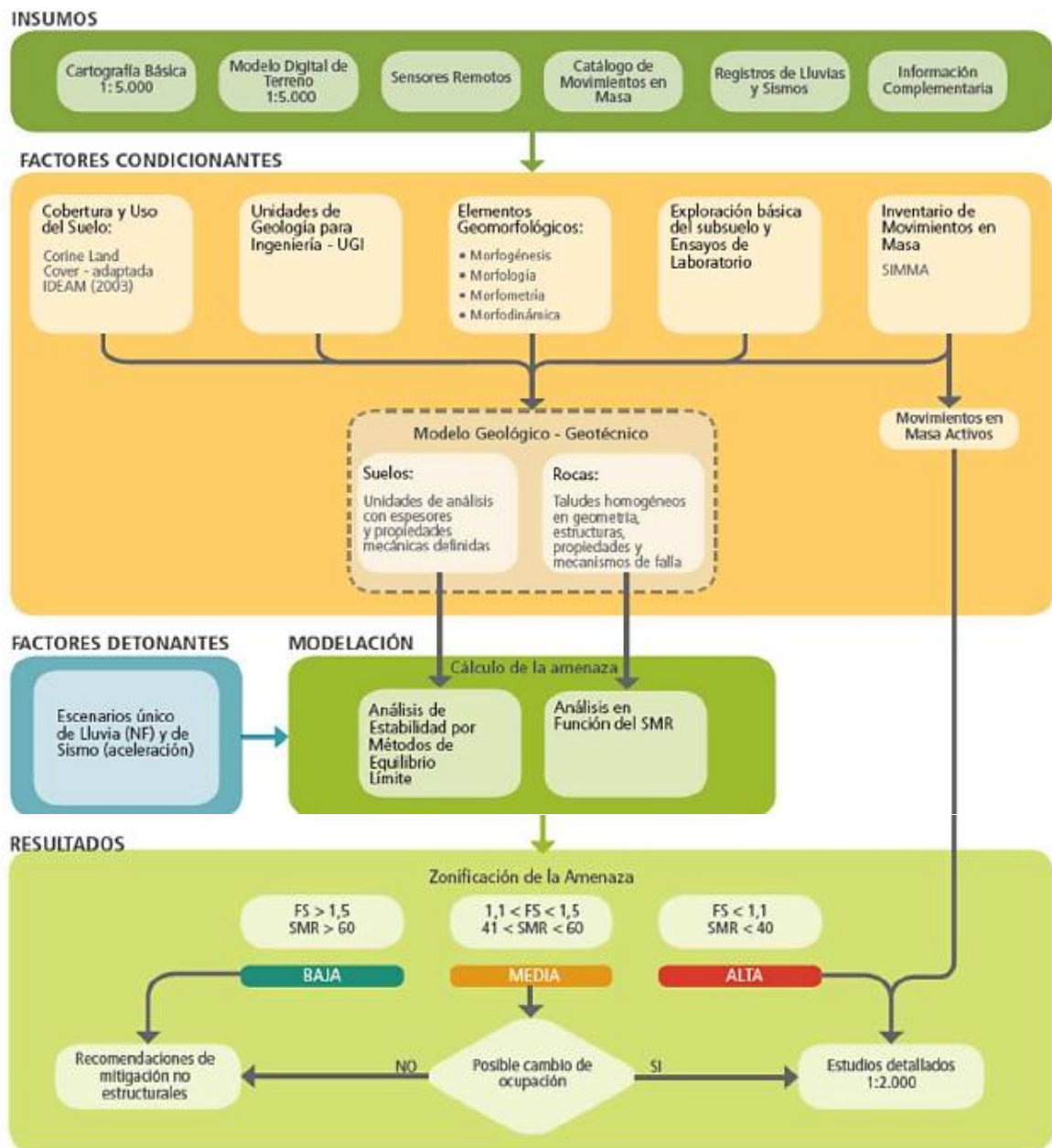
Fuente: Fuente: Guía Metodológica del Servicio Geológico Colombiano.

#### 1.4 ZONIFICACIÓN BÁSICA DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA

Para efectuar los estudios de amenaza se requiere la cartografía básica del área de análisis a escala 1:5000 y a partir de ella se genera la cartografía temática, correspondiente a cartografía geológica en unidades de geología para ingeniería, la cartografía geomorfológica en cuanto a elementos geomorfológicos y la cartografía de cobertura y uso del suelo. Además, se debe hacer un inventario de movimientos en masa y un registro histórico de estos (catálogo).

En la figura 36 se presenta un diagrama conceptual de las actividades que se deben efectuar para la zonificación básica de la amenaza.

Figura 2. Zonificación básica de amenaza por movimientos en masa a escala 1:5000.



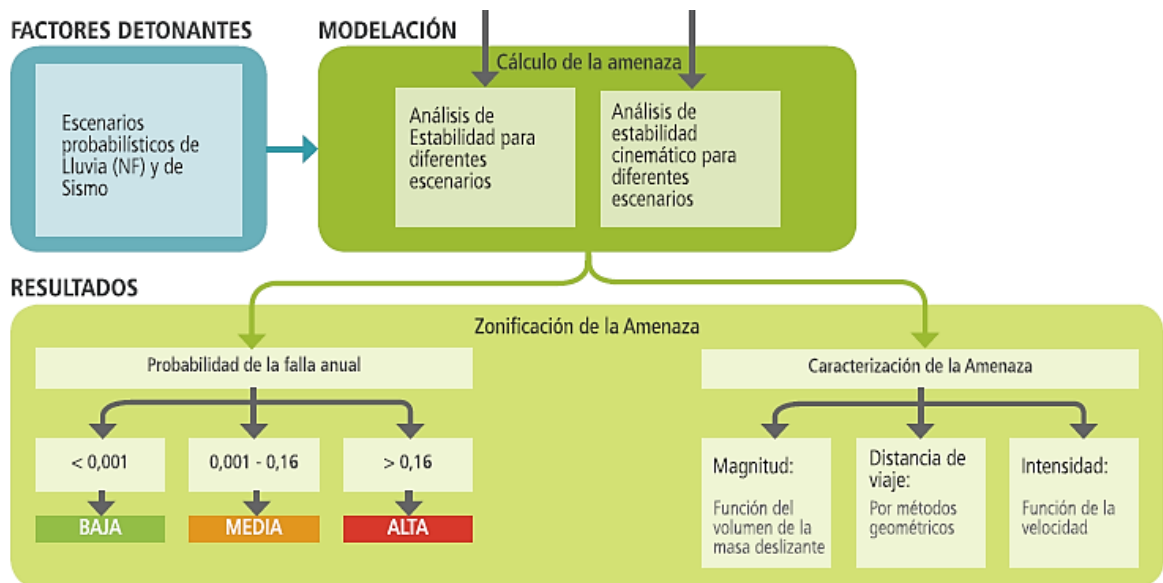
Fuente: Fuente: Guía Metodológica del Servicio Geológico Colombiano.

## 1.5 ZONIFICACIÓN DETALLADA DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA

Las áreas de amenaza alta definidas en los estudios básicos en los que se identifiquen elementos expuestos, áreas urbanizadas ocupadas o edificadas, así como aquellas en las que se encuentren edificaciones indispensables y líneas vitales, se consideran áreas en condición de riesgo y se priorizan para llevar a cabo estudios detallados.

Para la zonificación detallada de la amenaza se propone un modelo probabilístico, escala 1:2000, de acuerdo con las actividades que se presentan en el siguiente esquema metodológico (figura 37).

Figura 3. Zonificación detallada de amenaza por movimientos en masa a escala 1:2000.



Fuente: Fuente: Guía Metodológica del Servicio Geológico Colombiano.

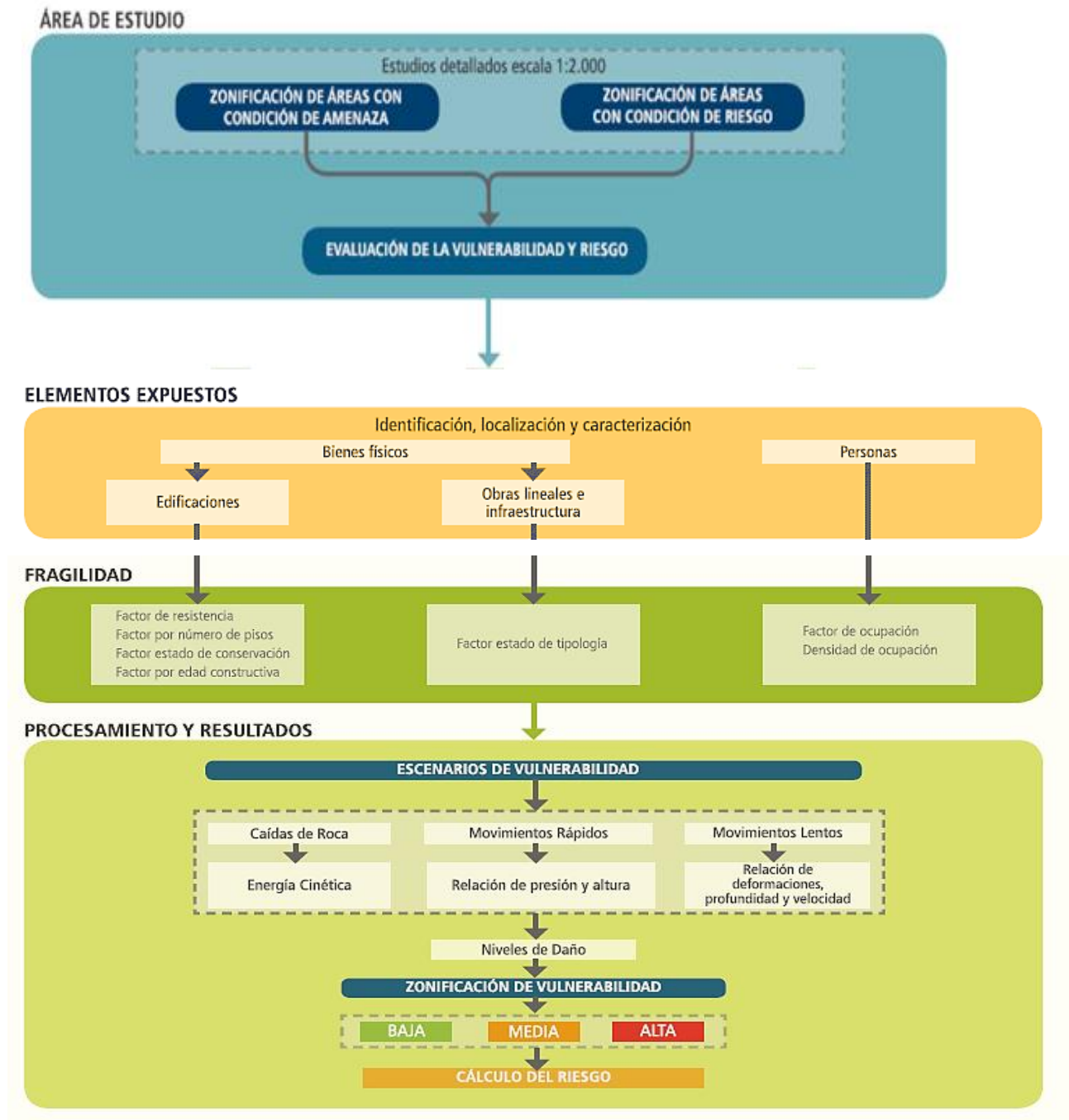
## **1.6 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD**

Los análisis de vulnerabilidad a escala detallada (1:2000) se deben hacer en las zonas de amenaza alta y aquellas identificadas en amenaza media, pero que requieren un cambio de densidad o de uso. 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.

Luego de definidas las áreas de estudio, se debe aplicar el procedimiento general de evaluación de vulnerabilidad (figura 38).

Figura 4. Procedimiento general para análisis de vulnerabilidad por movimientos en masa. Estudios detallados, a escala 1:2000.



Fuente: Guía Metodológica del Servicio Geológico Colombiano.

## 1.7 CÁLCULO Y EVALUACIÓN DEL RIESGO

En razón de que el riesgo está relacionado con la probabilidad de que se causen efectos adversos y consecuencias negativas en los contextos material, social y ambiental, existe una necesidad implícita en la toma de decisiones de desarrollar análisis que permitan su estimación cuantitativa.

Resulta indispensable, por tanto, determinar tanto el riesgo específico debido a un proceso de inestabilidad como el riesgo total a causa de la suma de todos los procesos posibles. Analíticamente, el riesgo específico se puede describir así:

$$R_s = P(H_i) * V * E$$

Donde,  $R_s$  = riesgo específico o grado de pérdidas esperadas

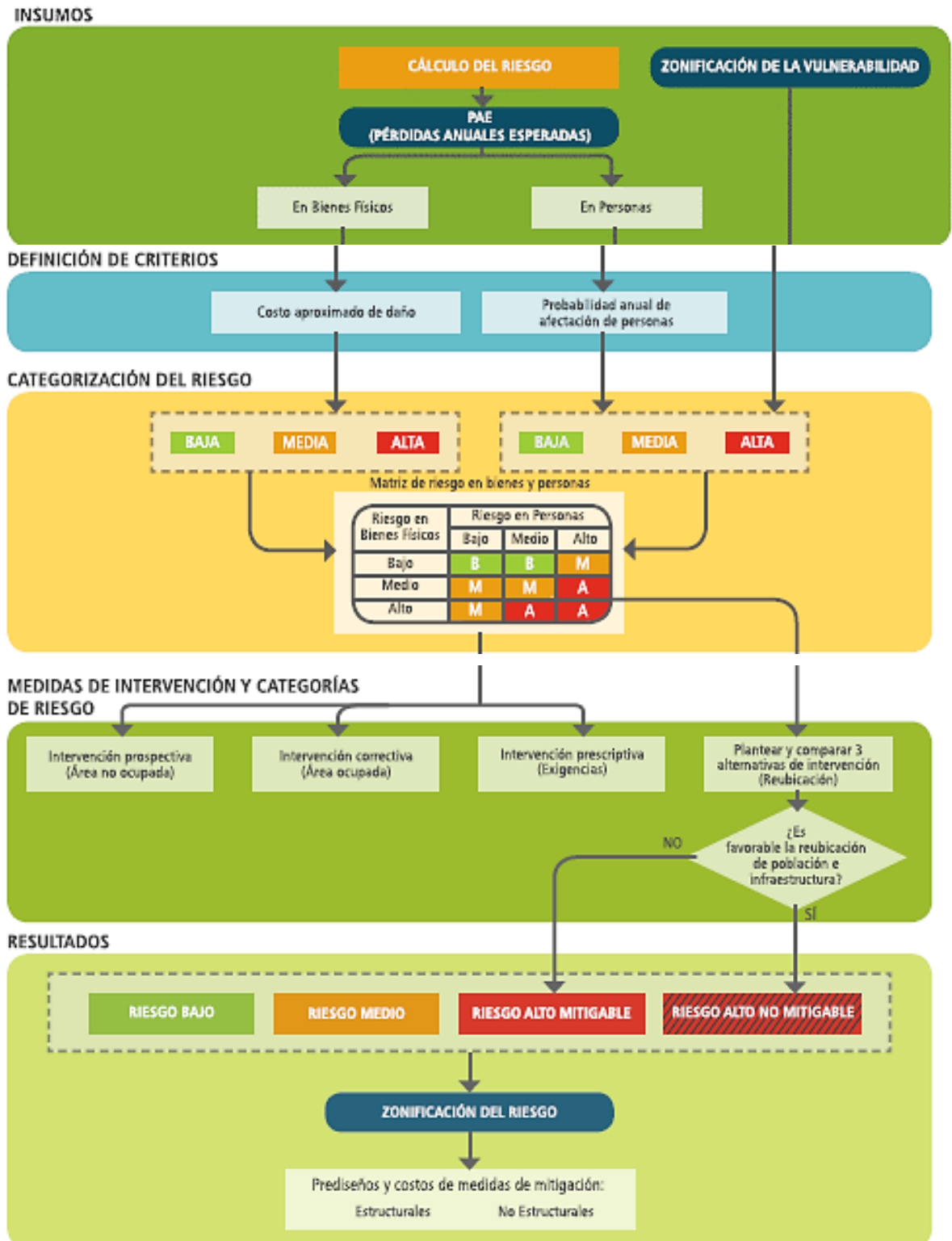
$P(H_i)$  = Amenaza o probabilidad de ocurrencia de un movimiento en masa con una magnitud o intensidad específica en un tiempo y área específicos

$V$  = vulnerabilidad del elemento expuesto

$E$  = valor total o costo de los elementos físicos expuestos ó máximo número de personas expuestas.

Una vez culminada la etapa de análisis del riesgo, cuyo resultado se ha presentado en términos cuantitativos, es posible establecer criterios generales para definir las categorías de riesgo y los tipos de intervención y alcances en su reducción, proceso denominado etapa de evaluación del riesgo en este documento (figura 39).

Figura 5. Esquema metodológico para la evaluación del Riesgo



Fuente: Guía Metodológica del Servicio Geológico Colombiano.

## 1.8 MAPAS Y ANEXOS

El informe final se habrá que complementar con los anexos, en los cuales se incluirán los planos producidos en el estudio, las columnas con la descripción de las perforaciones, los ensayos de laboratorio efectuados, los perfiles geológicos utilizados en los análisis y los formatos de toma de información en campo debidamente diligenciados. Entre los planos, hay que presentar los siguientes:

- Mapa de elementos geomorfológicos a escalas 1:5.000 y 1:2.000
- Mapa de geología para ingeniería a escalas 1:5.000 y 1:2.000
- Mapa de cobertura y uso del suelo a escalas 1:5.000
- Mapa de zonificación geotécnica a escalas 1:5.000 y 1:2000
- Mapa de zonificación de amenaza a escalas 1:5.000 y 1:2000
- Mapa de zonificación de vulnerabilidad a escala 1:2.000
- Zonificación de riesgo a escala 1:2.000

La estructura y el almacenamiento de la información cartográfica se harán de acuerdo con las normas definidas por las entidades oficiales nacionales (Instituto Codazzi, Servicio Geológico Colombiano, ministerios), las autoridades o corporaciones regionales, o las autoridades locales, de acuerdo con los requerimientos de la institución contratante de los estudios.

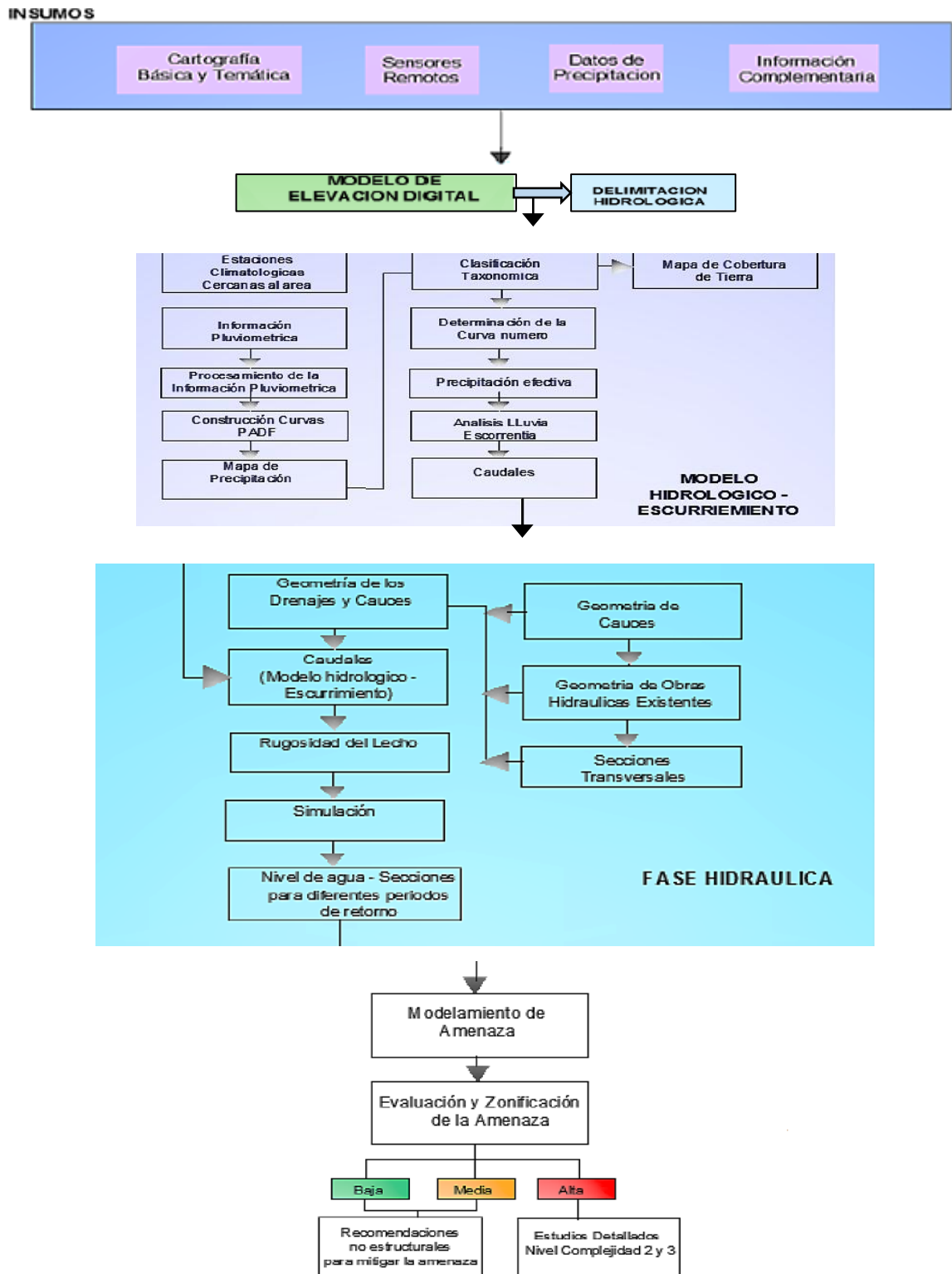
Tanto el informe como cada uno de los planos los deberán firmar los profesionales matriculados y facultados que cumplan con los requisitos indicados en este capítulo, que hayan participado en el estudio, indicando las actividades generales realizadas por cada profesional.

## 1.9 ANÁLISIS DE LA AMENAZA POR INUNDACIÓN

Este análisis corresponderá a un nivel de complejidad intermedio y alto, en el cual se aplican modelos de amenaza con un nivel de información general más refinados, en general se propone la siguiente metodología, específicamente se desarrollará una metodología para inundaciones aluviales.

- Selección del área de estudio (para este caso se seleccionará las zonas definidas con amenaza alta obtenidas a partir del análisis realizado a escala básica)
- Recopilación de la información temática del área de estudio (Información general, cartográfica, hidrológica, hidráulica, sedimentológica, geológica, geomorfológica, socioeconómica, histórica sobre inundaciones y sus consecuencias.
- Delimitación del área de estudio
- Definición de escenarios de Inundación
- Modelo hidrológico
- Modelo hidráulico
- Estudio morfodinámico de cauces
- Verificación del Modelo hidráulico
- Modelo y Mapa de amenaza (resultados del modelo hidráulico, herramienta SIG y criterios para clasificación de amenaza

Figura 6. Metodología para análisis de amenaza por inundación



Fuente: Ingeotek B SAS.

## 1.10 ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR INUNDACIÓN

La categoría o los intervalos de amenaza por inundación resultan de la relación entre la frecuencia de las inundaciones y su intensidad, de esta forma se evalúan ambos aspectos, de relevancia en el grado de daño final que pueda producir una inundación.

- **Inundaciones de alta intensidad:** Son aquellas zonas en donde la inundación de cualquier frecuencia supera 1m o 1.5m<sup>2</sup>/sg.

- **Inundaciones de intensidad media:** Son aquellas zonas donde la inundación de frecuencia alta es menor a 0.5m de lámina de agua, y la inundación de frecuencia moderada es menor a 1m de lámina de agua o a 1.5m<sup>2</sup>/sg.

- **Inundaciones de baja intensidad:** Las inundaciones de baja intensidad corresponden a aquellas con profundidad del flujo superiores a 0.25 m pero inferiores a los 0.5m, o V\*H menor a 0.5 m<sup>2</sup> /s.

## 1.11 AISLAMIENTOS MÍNIMOS EN CAUCES Y TALUDES

Adicionalmente a la zonificación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa e inundación, también se trabajó en los aislamientos mínimos en taludes y cauces, de acuerdo a la normatividad vigente encontrada, donde se plantearon los siguientes temas:

A. Aislamientos en taludes:

- Pendientes máximas permitidas para proyectos de desarrollo.
- Aislamientos en taludes con pendiente inferior a 45°.
- Aislamientos en taludes con pendiente superior a 45°.
- Aislamientos en cortes junto a límites de propiedad.

Los lineamientos propuestos se elaboraron según la norma geotécnica de la CDMB (Resolución 1294 de 2009). Los detalles de cada uno de ellos se pueden observar en el capítulo de aislamientos del documento principal y de igual manera en el manual de lineamientos anexo.

#### B. Aislamientos en cauces:

Debido a la amplitud de normas existentes en el área metropolitana de Bucaramanga para el manejo de aislamientos de fuentes hídricas, se elaboró una recopilación de cada una de ellas las cuales se dividieron en dos grupos:

- Aislamientos planteados en la norma geotécnica de la CDMB (Resolución 1294 de 2009) y la respectiva norma del AMB (Acuerdo Metropolitano No. 013 de 2011).
  
- Aislamientos planteados en los POT municipales: Bucaramanga, Floridablanca, Girón y PBOT de Piedecuesta.

De igual manera se establecieron las diferencias encontradas entre estas normas, sus aspectos positivos y lo que les hace falta. Finalmente se elaboraron los planos normativos para los aislamientos (tanto en taludes como en cauces), los cuales se encuentran dentro de los anexos.

## 2. RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA

A continuación, se hace un breve recuento de la normatividad consultada, relacionada con los parámetros vigentes en los municipios del área metropolitana, además de normas nacionales y de otros países, para el desarrollo de estudios detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo.

### 2.1 FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA

➤ **Resolución 1294 de 2009 - CDMB (Diciembre 29 de 2009).**

Son las normas geotécnicas de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), las cuales conforman un manual técnico para el control de la erosión y para la realización de estudios geológicos, geotécnicos e hidrológicos, la cual ha determinado que existen una serie de limitantes de orden técnico que afectan los proyectos de desarrollo, las cuales deben precisarse mediante la realización de estudios técnicos detallados.

Este libro de Normas Técnicas incluye los estudios mínimos que se deben realizar para identificar las amenazas y mapear las áreas potencialmente afectadas por fenómenos tales como erosión, deslizamientos de tierra, inundación, los problemas relacionados con eventos de origen sísmico u otras amenazas de origen geológico o hidráulico, que se deben tener en cuenta en el diseño y construcción de proyectos de desarrollo.

Teniendo en cuenta que en algunas zonas de la meseta de Bucaramanga presentan características geológicas, geotécnicas y morfológicas, las cuales no permiten garantizar la estabilidad de proyectos de desarrollo urbano, cualquier edificación u obra de infraestructura que se localice en esta área, estaría en grave peligro de ser afectada severamente por procesos de inestabilidad del terreno.

Respecto a la amenaza, vulnerabilidad y riesgo, en esta norma se definen varios temas, como, por ejemplo:

- La clasificación de los niveles de Potencial de Riesgo de los Proyectos.
- Niveles de amenaza de los terrenos.
- Aspectos de Amenazas a tener en cuenta en la cartografía e interpretación geológica.
- Interpretación, descripción y cartografía de las amenazas de origen geológico.
- Caracterización de las amenazas geotécnicas.
- Requisitos para la presentación de los planos de amenaza.
- Requisitos para el manejo de edificaciones sobre laderas.
- Aislamientos mínimos en taludes y en cauces
- Obras mínimas para: Protección de erosión de las riberas, control de inundaciones, control de erosión y sedimentación durante la construcción de un proyecto.

➤ **Guía Metodológica Para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa – Servicio Geológico Colombiano (Mayo 12 de 2015).**

Esta guía fue presentada por el Servicio Geológico Colombiano el 12 de Mayo de 2015, y se elaboró con el fin de planificar el desarrollo del país de manera más segura. El Servicio Geológico Colombiano, consciente de la necesidad que tienen los municipios de contar con herramientas técnicas para la toma de decisiones en relación con el ordenamiento territorial y la gestión del riesgo, generó, la guía metodológica para la elaboración de estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa.

La guía se hizo en armonía con la normativa vigente, en especial con el Decreto 1807 de 2014, expedido por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, y con la Resolución 1907 de 2013, promulgada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, para incorporar la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento

territorial y de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas, respectivamente. Es un instrumento útil para las autoridades municipales y departamentales, las cuales podrán generar de manera estandarizada este tipo de estudios en el país, dado que se establecen las condiciones básicas para la evaluación y zonificación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo físico por movimientos en masa a escalas detalladas.

En la guía se indican los pasos que hay que seguir, así como los resultados que se obtienen para cada una de las etapas definidas. Se empieza por los estudios básicos y detallados de amenaza, se continúa con la evaluación de la fragilidad de los bienes y personas expuestos a los eventos amenazantes o vulnerabilidad, y finalmente se llega a la evaluación del riesgo, donde se definen los criterios de seguridad, aceptabilidad y tolerancia, al igual que la zonificación de las áreas en condición de riesgo que permiten definir, a su vez, los tipos de intervención y el alcance de la reducción del riesgo. Esto se complementa con la manera como se deben interpretar los resultados y la forma de presentarlos, así como los profesionales necesarios para la ejecución o supervisión de esta clase de estudios.

El Servicio Geológico Colombiano realizó este aporte a las regiones con el fin de facilitar el proceso de incorporación del conocimiento en los planes de ordenamiento territorial (POT) y los planes de gestión de riesgo a escala municipal, para que los municipios cuenten con conocimiento que les permita generar acciones de reducción del riesgo y, si es el caso, el manejo de desastres, y para apoyar la toma de decisiones en cuanto al uso y la ocupación del territorio, con el propósito de contribuir a la seguridad, el bienestar y la calidad de vida de los colombianos.

➤ **Decreto 1077 de 2015 - Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (Mayo 26 de 2015).**

Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio. En este decreto se compila las normas que rigen estos sectores, constituyendo un instrumento jurídico único para el mismo. Además, incorpora la gestión del riesgo en los Planes de ordenamiento Territorial. Reglamenta los estudios básicos para la revisión de los contenidos de mediano y largo plazo de los planes de ordenamiento territorial o la expedición de nuevos planes, y en su ejecución se deben realizar los estudios detallados.

Además de lo anterior, el decreto especifica las condiciones técnicas para la elaboración de estudios básicos y detallados. Especifica qué información se debe tener en cuenta para analizar, la delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza, con condición de riesgo, indica los requisitos para el análisis de amenaza por movimientos en masa e inundación. Igualmente, para la evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo, las medidas de intervención y la incorporación de sus resultados a los POT de los municipios.

De igual manera, se reglamenta lo relacionado a las licencias de construcción, de parcelación y de construcción, requiriendo para la documentación de sus trámites, los Edarfris, específicamente cuando el predio esté ubicado en zonas de amenaza y/o riesgo alto y medio de origen geotécnico o hidrológico. Por lo cual, deberán adjuntarse a las solicitudes de licencias de nuevas urbanizaciones los estudios detallados de amenaza y riesgo por fenómenos de remoción en masa e inundaciones, que permitan determinar la viabilidad del futuro desarrollo, siempre y cuando se garantice la mitigación de la amenaza y/o riesgo. En estos estudios deberá incluirse el diseño de las medidas de mitigación.

➤ **Resolución 0395 de 2016 - Municipio de Floridablanca (Febrero 16 de 2016).**

Resolución por medio de la cual se establecen disposiciones normativas para la aplicación de los estudios generales de amenaza, vulnerabilidad y riesgo en zonas urbanas el municipio de Floridablanca. Esta norma está destinada para los estudios requeridos como fase previa para proyectos urbanísticos que se pretendan desarrollar en zonas con limitaciones de origen geotécnico que no se encuentren dentro de áreas protegidas o suelos de protección, de conformidad con el POT y sus instrumentos complementarios.

Es importante mencionar que esta resolución está fundamentada en el estudio de zonificación sismo geotécnica a escala 1:25000 realizado por el Ingeominas en el año 2001; en la Metodología para la evaluación del riesgo debido a amenazas naturales en zonas urbanas a escala 1:5000, realizado por la UIS en el 2006; y en el estudio de zonificación de amenazas por movimientos en masa de algunas laderas del municipio a escala 1:5000, realizado también por la Ingeominas (ahora Servicio Geológico Colombiano) en el 2009.

De igual manera se remite en varios artículos al Decreto Nacional No. 1077 de 2015, donde el Ministerio de Vivienda, establece las condiciones y escalas de detalle para la realización de estudios básicos y detallados de amenaza por fenómenos naturales. La Resolución CDMB No.1294 de 2009, también es tenida en cuenta para lo relativo a aislamientos respecto a taludes y/o cauces naturales, para la determinación del tamaño de los proyectos y los estudios requeridos.

➤ **Decreto 045 de 2012 - Municipio de Piedecuesta (Mayo 02 de 2012).**

Es la norma municipal mediante el cual se adoptan los lineamientos básicos para la elaboración de estudios detallados de amenaza y/o riesgo por fenómenos de remoción en masa e inundación (EDARFRI), que permitan determinar la viabilidad

de los desarrollos urbanísticos, en suelo rural o urbano garantizando la mitigación de esta amenaza y/o riesgo en la jurisdicción del municipio de Piedecuesta.

Considerando que en el Decreto 1469 de 2010, Numeral 4 del Artículo 22 se establece que “Cuando un predio esté ubicado en una zona de amenaza y/o riesgo alto o medio de origen geotécnico o hidrológico, se deberán adjuntar a las solicitudes de licencias de nuevas urbanizaciones los estudios detallados de amenaza y riesgo por fenómenos de remoción en masa e inundaciones que permitan determinar la viabilidad del futuro desarrollo, siempre y cuando se garantice la mitigación de la amenaza y/o riesgo”. Se observa la necesidad de establecer lineamientos básicos para la presentación y elaboración de estudios detallados de amenaza y/o riesgo por fenómenos de remoción en masa e inundación, en terrenos sobre los cuales se tengan expectativas de desarrollo, localizados en suelo urbano, de expansión, suburbanos y rurales, que se encuentren con restricciones dentro del Plan de Ordenamiento Territorial.

Se especifica que los estudios estarán orientados a evaluar problemas geotécnicos, presentado la evidencia si son asentamientos por colapso de rellenos al saturarse; asentamientos por densificación en los eventos sísmicos; susceptibilidad a los deslizamientos y a la erosión acelerada; o amplificación muy fuerte de la onda sísmica.

También se definen varios aspectos de importancia como, por ejemplo: cómo debe realizarse la descripción de las condiciones geológicas para definir el modelo geológico – geotécnico, los aspectos que se deben tener en la investigación geotécnica, además de describir los lineamientos para realizar la evaluación de amenaza tanto por fenómenos de remoción en masa como por inundación. También se dan los lineamientos de la evaluación de la vulnerabilidad física, del riesgo, plan de medidas de reducción de riesgos, entre otros aspectos.

➤ **Resolución 1977 De 2011 - Municipio De Girón (Agosto 17 de 2011).**

Es la norma que adopta los lineamientos básicos para la elaboración de estudios detallados de amenaza y/o riesgos por fenómenos de remoción en masa e inundación (EDARFRI), que permite determinar la viabilidad de los desarrollos urbanísticos, para garantizar la mitigación de la amenaza y/o riesgo en la jurisdicción del municipio de Girón.

Mediante esta resolución se evalúan las condiciones de amenaza, vulnerabilidad y riesgo (AVR), por procesos de remoción en masa y/o inundación en toda el área de interés. Además de ser una herramienta que permite Identificar, planificar y diseñar las medidas de mitigación y control, de manera que los riesgos sobre las nuevas construcciones, las existentes y la infraestructura que pudieran verse afectadas por las intervenciones propuestas, estén en niveles de seguridad aceptables.

De igual manera plantea una metodología que busca soportar con adecuada y suficiente información geológica, geomorfológica, hidrogeológica, hidrológica, sismológica y geotécnica, la cual exige levantarse sobre bases topográficas 1:1000 ó 1:500. A partir de ella se deberá conformar un modelo geológico-geotécnico del área de estudio, así como de los factores ambientales que incidan en su comportamiento.

Inicialmente plantea las condiciones del área de estudio, en cuanto a geología, litología, estratigrafía, hidrogeología, entre otras. Igualmente plantea la formulación del modelo geológico y geotécnico, mediante los requerimientos para las exploraciones geotécnicas. Seguidamente formula los lineamientos para el análisis de estabilidad y la evaluación de la amenaza, brindando los factores de seguridad en condiciones estáticas, en condiciones de sismo y en condiciones de agua extrema, con su respectiva clasificación. También establece algunos requisitos

para la evaluación de amenaza por inundación, de la vulnerabilidad física y del riesgo tanto por remoción en masa como por inundación.

Finalmente propone el plan de medidas de reducción de riesgos, y la evaluación de la amenaza con obras de mitigación para condiciones normales y extremas. Y por último establece el contenido del informe final de los estudios, la lista de planos, las memorias técnicas, cómo se deben presentar los estudios, entre otros aspectos.

➤ **MUNICIPIO DE BUCARAMANGA.**

Es importante mencionar que se realizó el trabajo de investigar cuáles lineamientos se aplican en el municipio de Bucaramanga actualmente. Sin embargo, se observó que, tanto en planeación municipal como en las curadurías urbanas, actualmente no tienen una norma o lineamientos algunos para este tipo de estudios, remitiéndose únicamente a las restricciones del POT de Bucaramanga. Lo que quiere decir, que sí existe una necesidad de crearlos, de tal manera que le sirvan a estas entidades como una guía, o marco normativo para aplicarlos en los proyectos que se vayan a realizar en el municipio de Bucaramanga.

## **2.2 FENÓMENOS DE INUNDACIÓN**

En cuanto a los lineamientos por inundación, se realizó la correspondiente revisión bibliográfica para estudios de AVR, en donde se evidenció que actualmente hay poca normatividad en el país referente a este tema, por lo tanto, falta gestión de las entidades nacionales y regionales. Por lo tanto, se investigaron estudios donde se aplican algunas metodologías, las cuales se analizaron para elaborar los lineamientos de estos fenómenos.

➤ **CONSULTORIA PARA REALIZAR LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR INUNDACION Y REMOCIÓN EN MASA, EN LA CUENCA MEDIA Y BAJA DE LA QUEBRADA MENSULÍ, SUBCUENCA DE LA QUEBRADA LA RONDA DEL MUNICIPIO DE FLORIDABLANCA, Y DE LA SUBCUENCA DE LA QUEBRADA LA PALMIRA EN EL DEPARTAMENTO DE PIEDECUESTA. – CONSORCIO MENSULI 2015.** Los estudios hidrológicos para la determinación de caudales de aporte hacia un punto de interés se han centrado en la implementación de modelos determinísticos o estocásticos; los primeros son modelos que se emplean para la predicción de fenómenos a partir de las condiciones climatológicas en una cuenca (precipitación) y la respuesta de la corriente de agua ante los fenómenos presentados (caudales). Los modelos estocásticos, son de tipo pronóstico y se basan en la información histórica recopilada en una estación hidrométrica, bajo una serie de datos confiables y de larga duración. Para el caso de este estudio hidrológico, no existe una estación hidrométrica que permita conocer directamente los caudales de aporte o al menos que permitan conocer los tipos de respuesta hidrológica de las cuencas, por lo que la hidrología se desarrolla bajo la implementación de modelos determinísticos, como los que se plantean en el software HEC-HMS, bajo la aceptación de los resultados basados en la experiencia del ingeniero y el conocimiento local de las relaciones ambientales de estos fenómenos.

Para estimar los caudales de aporte máximos, se utiliza un modelo de tipo determinístico en el punto de cierre de la subcuenca, donde el área de la misma se define como la zona de influencia hidrológica directa del proyecto y área particular de estudio; los caudales estimados no podrán ser calibrados, dado que no se conocen reportes de aforos o estación hidrométrica alguna que permita conocer los rendimientos de caudal, por tal motivo los caudales modelados corresponden a una apreciación definida por diferentes parámetros sugeridos en el modelo a partir de condiciones biofísicas de la cuenca como es el uso potencial

del suelo, la morfología, el análisis de datos de precipitación, y lo más importante, el criterio del ingeniero.

➤ **RESOLUCIÓN 1294 - CDMB (Diciembre 29 de 2009).**

Son las normas geotécnicas de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), las cuales conforman un manual técnico para el control de la erosión y para la realización de estudios geológicos, geotécnicos e hidrológicos, la cual ha determinado que existen una serie de limitantes de orden técnico que afectan los proyectos de desarrollo, las cuales deben precisarse mediante la realización de estudios técnicos detallados.

Este libro de Normas Técnicas incluye los estudios mínimos que se deben realizar para identificar las amenazas y mapear las áreas potencialmente afectadas por fenómenos tales como erosión, deslizamientos de tierra, inundación, los problemas relacionados con eventos de origen sísmico u otras amenazas de origen geológico o hidráulico, que se deben tener en cuenta en el diseño y construcción de proyectos de desarrollo.

En el Capítulo V, numerales 5.1 a 5.3 se describen los requisitos mínimos que deben cumplir los estudios hidrológicos de inundación., como por ejemplo los análisis el sistema de lluvias, la hidrología e hidráulica de las corrientes y los períodos de recurrencia, los cuales son fundamentales para determinar los niveles de amenaza para este tipo de fenómenos

### **3. INFORMACIÓN BÁSICA PARA ESTUDIAR MOVIMIENTOS EN MASA.**

De acuerdo con la normatividad vigente consultada y presentada, a continuación, se presenta un resumen de los lineamientos existentes para remoción en masa, los cuales se elaboraron teniendo en cuenta las siguientes normas:

- Resolución No. 1977 de 2011 de Girón.
- Decreto No. 045 de 2012 de Piedecuesta.
- Resolución No. 0395 de 2016 de Floridablanca.
- Resolución 1294 de 2009 de la CDMB.
- Guía Metodológica Para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en masa del Servicio Geológico Colombiano (Mayo de 2015).

#### **3.1 ÁREA A CUBRIR EN EL ESTUDIO**

Todos los estudios deben realizarse cubriendo no solo el área del predio en cuestión, sino toda el área de la geoforma o la cuenca hidrográfica que corresponda al contexto de la evaluación detallada de la amenaza y/o riesgo por remoción en masa e inundación.

Los estudios geológicos y geomorfológicos deben incluir un área siempre superior a 10 veces el área del proyecto y en ningún caso inferior a un kilómetro cuadrado.

#### **3.2 METODOLOGÍA GENERAL**

**Localización y descripción del proyecto.** En un mapa georeferenciado se presentarán: el proyecto planteado teniendo en cuenta los aislamientos a la vía, taludes y cauces dentro de la normatividad vigente. Se deben localizar las estructuras existentes como box-culverts de la vía, canalizaciones, etc.

Se deberá presentar el levantamiento topográfico a escala 1:1000 o más detallado, con curvas de nivel cada 1.0 o 2.0 metros.

### 3.3 CONDICIONES DEL AREA DE ESTUDIO

**3.3.1 Condiciones Geológicas.** Se estudiará las propiedades litológicas a través de cartografía geológica (planos a escala 1:1000 o 1:500 con curvas de nivel cada 1 y 0.5 m respectivamente), que presente en mapas y describa en la leyenda la estabilidad relativa de las unidades geológicas agrupadas por litología (roca dura, roca débil, suelo residual, depósitos), describiendo su estratigrafía y teniendo en cuenta la estabilidad observada o medida, mediante el levantamiento detallado de información estructural con el propósito de zonificar detalladamente el terreno de acuerdo a la estabilidad y/o inundabilidad de las laderas, la caracterización de los materiales geológicos mediante ensayos de campo, sondeos, trincheras, toma de muestras para análisis de laboratorio y caracterización de los parámetros de resistencia y demás características geotécnicas.

Los estudios geológicos deben incluir como mínimo un mapa geológico general a la escala mínima indicada en la siguiente tabla:

Tabla 1. Escalas mínimas exigidas para los planos geológicos y geomorfológicos.

Área del lote	Mapas generales	Planos detallados
Más de 1.000 hectáreas, o longitudes superiores a 2 kilómetros	1:10.000	1:2.000
Entre 20 y 1.000 hectáreas, o longitudes entre 500 metros y 2 kilómetros.	1:5.000	1:1.000
Menos de 20 hectáreas, o longitudes menores de 500 metros.	1:2.000	1:500

Fuente: Resolución 1294/09 CDMB – Numeral 3.1, Tabla 1.

**3.3.2 Litología (Suelo y Roca).** La litología debe incluir la cartografía de la extensión, espesor, orientación, distribución de los depósitos superficiales o suelos y masas de roca (roca débil, roca dura); se debe identificar, describir y colocar en

la leyenda del mapa, en los perfiles y esquemas, las propiedades texturales, composicionales y estructurales de cada unidad, color, grado de meteorización, tectónica reciente o pasada, grado de compactación, aptitud de discontinuidades y definición del material contenido dentro de ellas y demás aspectos de suelos o de las rocas que a su vez afectan la estabilidad de las laderas del terreno. En depósitos de grano fino (limos y arcillas) la abundancia relativa de arcilla y la mineralogía de las arcillas el contenido de agua e índices de plasticidad. Otras características de importancia a describir en unidades rocosas son el tamaño partícula, distribución de tamaños, mineralogía de la roca, cantidad y tipo de cemento, resistencia de las partículas y el cemento y grado de compactación.

**3.3.3 Planos geológicos detallados.** Deben acogerse a la nomenclatura geológica, geomorfológica y estratigráfica local utilizada por el Ingeominas y deben tener en cuenta la siguiente información: cartografía de las unidades estratigráficas de materiales geológicos o litología identificada (rocas, depósitos superficiales, fluviales, coluviales, residuales, depósitos de deslizamientos, avalanchas, flujos, depósitos de inundación, llenos antrópicos; incluir detalles de la estructura geológica (aptitud de estratos, foliaciones, diaclasas, fallas, pliegues, zonas de fractura, zonas de falla activas o inactivas, locales y regionales, densidad de diaclasas, y foliaciones); líneas precisas de los contactos geológicos. Los planos geológicos detallados deben complementarse ubicando los afloramientos estudiados, trincheras y apiques realizados y leyenda del contenido del mapa. Los planos deben referenciar la institución que suministra la base cartográfica. Escala numérica e indicada, norte indicado, valores de las curvas de nivel, coordenadas origen Bogotá especificadas, curvas, índice de nivel con sus valores.

**3.3.4 Estratigrafía.** Las columnas estratigráficas detalladas deben levantarse y presentarse a escala 1:50, ya sea de afloramiento, sondeos de recuperación de muestras o trincheras profundas, indicando en el mapa cada sitio donde se levantó y en la leyenda sus coordenadas, e incluir como mínimo la siguiente información:

- Tipos de material geológico, espesor y extensión vertical de cada estrato de material homogéneo, características físicas litológicas (color, textura, composición, fábrica, estructuras, color), grado de fracturamiento, grado de consolidación, o cementación, tipo de estratificación, foliación, esquistosidad, dureza, si el material corresponde a depósitos describir las características geotécnicas y tipos de suelo (granulares, finos, cohesivos, no cohesivos, orgánicos)
- Características especiales físicas o químicas, cementantes calcáreos, silíceos, etc; zonas de meteorización; diferencias entre las zonas de materiales meteorizados y sanos; detalles de la estructura, estratificación, buzamientos, diaclasamiento, evidencia neotectónica, fallas activas. En la columna debe aparecer igualmente la correlación con miembros, niveles o Formación estratigráfica formalmente definida para el área por el Ingeominas.

**3.3.5 Cortes geológicos representativos.** Por lo menos un corte para la situación específica de las laderas en cada predio. Deben mostrar las unidades estratigrafías y estructuras geológicas identificadas.

Los perfiles geológicos deben incluir como mínimo la siguiente información:

- a) Extensión y localización horizontal y vertical de los materiales y los detalles estructurales.
- b) Extensión horizontal y vertical de los procesos de meteorización.
- c) Localización en el perfil de las fallas y contactos geológicos.
- d) Especificación de las pendientes del terreno.
- e) Perfil de los deslizamientos, cárcavas de erosión etc.
- f) localización de los niveles freáticos, acuíferos y corrientes de aguas subterráneas.
- g) ubicación en el mapa geológico.

**3.3.6 Geología Estructural.** Ya que pocos depósitos o rocas son homogéneos o continuos, la estructura geológica debe definir el grado de heterogeneidad y discontinuidad en rocas y suelos a escala de afloramientos, incluyendo la estructura estratigráfica, aptitud de estratos o capas y orientación respecto a la pendiente del terreno identificando las áreas con orientación desfavorable que pueda promover inestabilidad, cambios en la litología, contactos entre estratos o capas, fallas, diaclasas y demás discontinuidades, espaciamiento entre discontinuidades, material de relleno entre discontinuidades, extensión vertical u horizontal, movimiento del agua afuera o hacia adentro de la roca. Es importante representar gráficamente los datos estructurales, por ejemplo, con proyecciones estereográficas, ya que contribuyen eficientemente en el análisis de estabilidad.

El responsable del estudio deberá complementar la información anterior con planos en planta, secciones transversales y elementos geológicos de carácter regional, si éstos son esenciales para la conformación del modelo geológico-geotécnico local.

**3.3.7 Condiciones Geomorfológicas.** A través del estudio y cartografía (planos a escala 1:1000 o 1: 500, curvas de nivel cada 1 o 0.50 m respectivamente), se debe presentar el Plano Geomorfológico con sus respectivos perfiles sobre los cuales se debe identificar los elementos geomorfológicos o geoformas del terreno a nivel detallado, la presencia o ausencia de deslizamientos antiguos, ya que la evidencia de inestabilidad pasada puede ser la mejor guía para determinar la estabilidad futura en la localidad.

Se debe identificar la pendiente de las laderas para lo cual se elaborará el Plano de Pendientes y se relacionará con la resistencia de los materiales existentes sobre estas teniendo en cuenta las propiedades estratigráficas, geológicas, litológicas y estructurales previamente caracterizadas; tipos de fallas en ladera, grado de actividad y las características físicas asociadas con estas tales como

inversión de laderas y otras formas estudiadas por la geomorfología que dan indicios de estabilidad o inestabilidad del terreno al igual que las evidencias mostradas por la vegetación. Se debe identificar, describir y colocar en la leyenda del mapa y en perfiles y esquemas toda la información.

**3.3.8 Mapa de dependientes.** Identificar la pendiente de las laderas y describir los rangos de pendientes encontrados en el lote, relacionando la resistencia de los materiales existentes sobre estas teniendo en cuenta las propiedades estratigráficas, geológicas, litológicas, y estructurales previamente caracterizadas, Utilizar los siguientes rangos de pendientes: (0% - 3%), (3% - 7%), (7% - 12%), (12% - 25%), (25% - 50%), (50% - 75%), (75%-100%) y <100.

En las memorias se deberá especificar el rango utilizado, y describir las diferentes pendientes halladas indicando la elación con los procesos morfo dinámicos. El mapa de dependientes (escala 1:1000) deberá incluirlas delimitaciones del área a utilizar.

Presentar como mínimo perfiles topográficos con las leyendas y escalas pertinentes cada 20 metros.

**3.3.9 Inventario Detallado y Caracterización Geotécnica de los Procesos de Inestabilidad.** Será complementario a los trabajos de geomorfología e implica la descripción y clasificación de todos los procesos de inestabilidad identificados en el área de estudio, clasificándolos en antiguos y recientes, de acuerdo con su estado de actividad, y según los mecanismos de falla y forma de propagación, considerando por ejemplo la retrogresividad del proceso y el área de influencia directa de su actividad.

**3.3.10 Condiciones Hidrogeológicas.** De acuerdo con la mayoría de estudios teóricos, después de la fuerza de la gravedad, el agua es el factor más importante

de la inestabilidad de las laderas de un terreno, por lo tanto, se debe identificar la fuente, movimiento, cantidad de agua o grado de saturación, humedad natural, el flujo de agua hacia el exterior. Determinar la severidad de la inestabilidad por este factor y su relación con las condiciones climáticas de precipitación. Se debe caracterizar las condiciones superficiales en cuanto a afloramientos de agua, datos de precipitación del sector disponibles, registro en los periódicos de eventos de inestabilidad asociados con intensidades de lluvia y en cuanto a aguas subterráneas se debe poder identificar la existencia o no de niveles freáticos, área de recarga, de descarga y fluctuaciones del nivel freático, mediante sondeos o perforaciones.

El estudio deberá determinar y evaluar las condiciones del agua subsuperficial en condiciones normales y extremas más probables en el período de análisis del proyecto, esto es 50 años. Este estudio se hará a partir de un análisis de las características: a. Topográficas del terreno; b. De uso actual; c. De textura de los materiales presentes (depósitos, suelos residuales, rocas) y sus rasgos macroestructurales y/o de fracturamiento. d. Climatológicas y pluviométricas del área. e. De los resultados de las observaciones y mediciones pertinentes (niveles de agua, niveles piezométricos) durante la etapa de investigación y exploración de campo.

**3.3.11 Vegetación.** Estudio de la vegetación existente, y determinar el efecto de la presencia o ausencia de vegetación en la estabilidad del terreno de acuerdo a la propuesta de desarrollo, teniendo en cuenta que en general la vegetación densa reduce la acción de agentes climáticos sobre el suelo de manera favorable al interceptar y protegerlo contra la lluvia, el sol, el viento; retener gran cantidad de agua en hojas, troncos, ramas, epífitas asociadas, eliminar agua por evapotranspiración; prevenir la erosión por escorrentía y finalmente el sistema de raíces incrementa sustancialmente la resistencia al corte de la masa de suelo o

rocosa mediante la creación de presiones de poro negativas que incrementan la cohesión.

Pero por otra parte en algunos casos la vegetación muy alta en laderas empinadas que por acción de corrientes fuertes de viento puede tener efectos negativos al transmitir esfuerzos sobre el suelo al actuar como palanca que abre grietas, fracturas y promover la infiltración o por el mismo peso del material.

Se debe tener en cuenta que en algunos casos la vegetación es indicadora de condiciones de reptación del suelo o de condiciones de humedad del suelo existente y otras condiciones del subsuelo que deben tenerse en cuenta.

**3.3.12 Sismología.** Las condiciones de amenaza sísmica a utilizar serán las obtenidas de la aplicación de los resultados del estudio de Zonificación Sismogeotécnica Indicativa del Área Metropolitana de Bucaramanga 2001 para el sitio de interés, o la que resulte aplicable a la luz de las modificaciones que en la normatividad se introduzcan progresivamente y que estén vigentes al momento de un estudio específico.

Se tomará el valor de aceleración máxima ( $A_m$ ) correspondiente para un período de análisis de 50 años y una probabilidad de excedencia no mayor al 10%.

## **3.4 MODELO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO**

**3.4.1 Exploración Geotécnica.** Para la exploración geotécnica se deberán tener en cuenta los siguientes aspectos:

La ubicación de los sondeos, debe presentarse en el mapa geológico.

Adjuntar los reportes de los sondeos realizados con la siguiente información mínima: (Fuente: Norma CDMB).

- **Número mínimo de sondeos para estudios geotécnicos o de suelos:**

- Mínimo 3 sondeos para un lote de extensión inferior o igual a 500 metros cuadrados.
- Mínimo 4 sondeos para un lote entre 500 y 5.000 metros cuadrados.
- Mínimo 5 sondeos para un lote entre 5.000 y 10.000 metros cuadrados.
- Dos sondeos adicionales mínimo por cada 10.000 metros cuadrados adicionales por encima de los primeros 10.000 metros cuadrados.

- **Profundidades mínimas de los sondeos para estudios geotécnicos o de suelos.** Por lo menos el 50% de los sondeos deberán alcanzar la máxima profundidad de las siguientes alternativas:

A. Dos veces el ancho máximo de la cimentación. La profundidad se mide por debajo de la profundidad de desplante de los cimientos.

B. En el caso de pilotes dos veces el ancho del cabezal de mayor dimensión de un grupo de pilotes. La profundidad se mide por debajo de la punta inferior de los pilotes más profundos.

C. Para losas de cimentación la profundidad mínima de sondeos debe ser una vez el ancho de la losa. La profundidad se mide por debajo de la profundidad de desplante de la losa.

D. En el caso de excavaciones, los sondeos deberán alcanzar una profundidad medida a partir de la superficie del terreno, mayor que 1.5 veces la profundidad de la excavación.

En los casos en que se encuentre la roca firme, aglomerados rocosos o capas de suelo asimilables a rocas a profundidades inferiores a las indicadas, los sondeos deberán penetrar en estos materiales un mínimo de 2.0 metros.

En todos los casos los sondeos deben profundizarse más de 2.0 metros por debajo de la profundidad de desplante de la cimentación, independientemente de que aparezcan o no mantos de roca o materiales muy duros.

### 3.4.2 Tipo y número de ensayos. (Según Guía metodológica del Servicio Geológico Colombiano).

Tabla 2. Porcentaje mínimo de ensayos que se recomienda realizar sobre el total de muestras obtenidas.

TIPO DE ENSAYO	MUESTRAS (%)	NORMA	NORMA ASTM
Humedad natural	90	NTC-1495-01	ASTM D2216-11
Límites	40	NTC-4630-99	ASTM D4318-11
Granulometría	30	NTC-152299	ASTM D2487-11
Hidrometría	20	INV E-124-07	ASTM D2487-11
Peso unitario	50	INV E-217-07	ASTM D4254-11
Peso específico	10	INV E-223-07	ASTM D4254-11
Compresión simple	12	NTC-1527-00	
Corte directo	10	NTC-1917-00	ASTM D3080-11
Triaxial	5	INV E-153-07	ASTM D4829-11
Triaxial cíclico	2	INV E-153-07	ASTM D3999-11
Consolidación	5	NTC-1967-00	ASTM D2435-11
Expansión	3	INV E-132-07	ASTM D5311-13
Compresión roca	3		ASTM D7012-13

Fuente: Guía Metodológica del SGC.

**3.4.3 Tipo de 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 3, los cuales se determinan en base a la exploración geotécnica realizada, y no dependen del tipo de cimentación empleado. Para el caso en particular la determinación del tipo de suelo se da gracias al parámetro de golpes promedio  $\bar{N}$ , del ensayo SPT de acuerdo a la clasificación de perfiles contemplado dentro de la **NSR-10** en el Título A.2.4.4.

Tabla 3. 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	$V_s \geq 1500 \text{ m/s}$
B	Perfil de roca de rigidez Media	$1500 \text{ m/s} > V_s \geq 760 \text{ m/s}$
C	Perfil de suelos muy densos o roca blanda	$760 \text{ m/s} > V_s \geq 360 \text{ m/s}$
		$N \geq 50 - Su \geq 100 \text{ Kpa}$
D	Perfil de suelos rígidos	$360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$
		$50 > N \geq 15 - 100 \text{ Kpa} > Su \geq 50 \text{ Kpa}$
E	Suelos que cumplan con el criterio de $V_s$	$180 \text{ m/s} > V_s$
	Espesores H mayores a 3m de arcillas bandas	$IP > 20 - w \geq 40\% - 50 \text{ Kpa} > Su$
F	<p>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:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- F1: Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como Suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados.</li> <li>- F2: Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H&gt; 3m de estos materiales).</li> <li>- F3: Arcillas de muy alta plasticidad (H&gt; 7.50m con IP&gt;75).</li> <li>- F4: Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H&gt;36).</li> </ul>	

Fuente: Norma Sismo Resistente NSR-10.

$\bar{N}$ : Número de golpes promedio

$V_s$ : Velocidad media de onda cortante (m/s)

$S_u$ : Resistencia no drenada (kPa)

IP: Índice de Plasticidad

W: Contenido de agua en porcentaje

### 3.5 CONTENIDO DEL INFORME FINAL DEL ESTUDIO

El informe debe contener al menos los siguientes capítulos, los cuales internamente pueden ser organizados y desarrollados de acuerdo con el criterio del analista:

**3.5.1 Plano de limitaciones del lote.** En el plano de limitaciones del lote se deben indicar todas y cada una de las limitaciones que afectan el desarrollo del lote de acuerdo a:

- Planes de Ordenamiento Territorial, POT.
- Distritos de Manejo Integrado (DMI) u otras resoluciones leyes o decretos ambientales.
- Aislamientos exigidos por las presentes normas con respecto a taludes, cauces y corrientes de agua.
- Áreas que no se pueden desarrollar debido a que exceden las pendientes máximas permitidas en las presentes normas.
- Todas las limitaciones al desarrollo del lote de acuerdo a disposiciones de orden nacional, departamental o municipal.

Todos los planos de los diferentes estudios deben venir georeferenciados al Datum IGAC Bogotá y presentados en ArcView 3.1. Los diseños de obras y demás gráficas de detalles, etc, deben venir en AutoCAD.

**3.5.2 Localización y descripción del proyecto.** Incluirá la ubicación del área de estudio y una descripción somera del proyecto que se planea desarrollar indicando: la ubicación, número y tipo de edificaciones que se proyecta construir, el número de pisos, el tipo y profundidad de cimentación más probable, el tipo y características (alturas o profundidades) de las obras de adecuación del terreno, es decir, excavaciones y/o rellenos que sean necesarias para el emplazamiento de las edificaciones propuestas. El plazo más probable de desarrollo de todo el proyecto y sus principales etapas. Debe incluirse en esta descripción, el número o números prediales del proyecto, la carta catastral y el certificado de libertad y tradición.

Se deben indicar entre otros detalles los siguientes:

- Nivel de potencial de riesgo del proyecto

- Definir zonas de movimiento de tierras (corte o relleno), las cuales modificarán la topografía original del predio.
- Acotar los aislamientos que se conservarán entre el paramento de las edificaciones y el borde de corona y pié de taludes y/o creciente de inundación básica y máxima.
- Redes de alcantarillado existentes y sistemas proyectados para la conducción de las aguas superficiales y/o subterráneas, con la nomenclatura de todos los pozos, el dimensionamiento en tramos de: longitud entre ejes, diámetro, pendiente y cotas, de acuerdo con las Normas Técnicas de EMPAS para diseño de alcantarillado.
- Delimitación de linderos identificando los propietarios de los predios vecinos.
- Delimitación de los bordes de escarpa o cauces, identificación de muros de contención existentes y/o proyectados.
- Delimitación de cortes y secciones transversales del proyecto, sistemas de control de aguas superficiales y/o subterráneas (con dimensiones y niveles de instalación), pendiente de conformación de los taludes, obras de protección superficial (cobertura vegetal u otros), etc., y en general, toda la información que el diseñador considere importante para el proyecto.
- Notas, referencias aclaratorias y convenciones generales del proyecto.
- En proyectos viales se debe presentar una localización general de la misma, incluyendo entre otros: el abscisado, curvas y sus elementos, puntos de identificación de secciones transversales para detalles de obras de control de erosión, bordes de escarpa o cauce, redes de servicios existentes y sistemas

de alcantarillado proyectados para la captación y conducción de aguas lluvias hasta los puntos de entrega definidos por la entidad, así como, el diseño de las obras de control de erosión acorde a los requerimientos especificados en la sección.

**3.5.3 Modelo geológico geotécnico.** Este capítulo deberá presentar y explicar el o los modelos geológico geotécnicos del área de estudio y los factores ambientales que afectan el comportamiento y estabilidad de la misma de manera amplia y suficiente, incluyendo en forma de anexos, todos y cada uno de los aspectos que deben ser estudiados de acuerdo con estos términos de referencia y que son requeridos para su consolidación, a saber:

- Estudio, Plano Geológico, perfiles y columnas.
- Estudio, Plano Geomorfológico, mapa de pendientes, perfiles geomorfológicos
- Plano de Morfodinámica de corrientes.
- Evaluación Hidrogeológica y perfiles; influencia de la vegetación.
- Plano geotécnico, ubicación de sondeos, perfiles geotécnicos modelo geotécnico.
- Evaluación Hidrológica
- Plano de líneas de inundación y secciones transversales.
- Plano de Inventario y Caracterización Detallado de Procesos de remoción actuales.
- Programa de Exploración Geotécnica y resultados del mismo.

**3.5.4 Evaluación de amenaza por remoción en masa y/o inundación.**

- Condición Actual.
- Condición con Proyecto Urbanístico y de Construcciones.
- Con Medidas de Mitigación
- Plano de amenaza: El plano de amenaza debe indicar las áreas del lote o lotes que están sometidas a amenazas de deslizamiento, erosión, inundación,

avenidas torrenciales, y eventos sísmicos. Se deben indicar para todas las amenazas y para todas las áreas del lote, cuáles se encuentran afectadas por niveles de amenaza baja, media y alta.

### **3.5.5 Evaluación de vulnerabilidad y riesgo.**

- Estudio, Metodología para la evaluación de la vulnerabilidad y evaluación del daño, en las edificaciones según la tipología estructural específica.
- Inventario de campo de las características y parámetros estructurales de las edificaciones existentes en la zona de estudio.
- Estudio, Evaluación del índice de vulnerabilidad y del índice de daño de las edificaciones según la tipología estructural específica.
- Mapa de Vulnerabilidad física
- Mapa de Daño físico
- Recomendaciones para mitigación de vulnerabilidad estructural de las edificaciones existentes en la zona de estudio.

### **3.5.6 Plan de medidas de mitigación del riesgo.**

- Diseños de las obras, especificaciones y recomendaciones de construcción, secuencia de ejecución, mantenimiento y monitoreo.
  
- Diseños de las obras: diseño de obras de manejo, control, estabilización y/o protección; se deben presentar los siguientes planos y diseños dependiendo de los resultados del estudio:
  - Planos de diseño de las obras permanentes de control de erosión.
  - Planos de diseño de las obras de control de erosión y sedimentación durante la construcción.
  - Planos de diseño de las obras de estabilización de taludes.
  - Planos de diseño de las obras de control de fondo de cauces.
  - Planos de diseño de las obras de control lateral de cauces.
  - Planos de diseño de las obras de manejo de inundaciones.

- Se deben definir en planos entre otros los siguientes aspectos: Alineamiento de las estructuras proyectadas, especificando el abscisado, curvas y sus elementos, estructuras de manejo de aguas, zonas de corte y /o relleno, pendientes de conformación de los taludes aledaños a las estructuras, obras de captación y conducción de aguas locales de escorrentía, control de aguas subterráneas, identificación de las secciones típicas con las dimensiones de las mismas, etc.

**3.5.7 Memorias técnicas de los diseños.** Se deben presentar memorias técnicas de los diseños, en donde se incorpora toda la documentación que justifica el diseño de las obras. Metodología de cálculo utilizada para cada diseño en particular, así como los criterios de cálculo que el diseñador considere de importancia para la ejecución del proyecto.

- Diseño hidráulico de las estructuras de control de aguas superficiales y subterráneas, así como las conducciones de alcantarillado requeridas para las entregas de estos sistemas.
- Definición de las obras de protección superficial proyectadas (cobertura vegetal y otras).
- Diseño de muros de contención requeridos, como complemento de las obras de estabilización de taludes.
- Diseño hidráulico y estructural de las obras de control de cauce; definir las obras de protección de ribera y control de cauce requeridas para el desarrollo del proyecto; así como, los cálculos estructurales y diseños complementarios que el ingeniero calculista estime conveniente.
- Se debe incluir las especificaciones técnicas de cada uno de los diseños; como también, las recomendaciones generales y procedimientos de construcción de las

obras proyectadas. Esta información deberá ser incorporada en planos (plantas, perfiles, detalles).

## 4. ANÁLISIS DE AVR POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA E INUNDACIÓN

Teniendo en cuenta la amplitud de conceptos que abarcan los lineamientos propuestos en el proyecto, tanto para movimientos de remoción en masa como para inundación, se hace necesario consolidar un marco jurídico agrupado para cada componente, que permita facilitar su análisis y comprensión; a continuación, se describe la normatividad existente al respecto:

### 4.1 MARCO JURÍDICO Y COMPONENTE TÉCNICO (MOVIMIENTOS EN MASA).

- *Guía Metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa – Servicio Geológico Colombiano (2015).*

Es un documento en el cual se describen los lineamientos metodológicos para realizar estudios de riesgo por movimientos en masa a escala detallada o local, que se pueden aplicar en la mayoría de las cabeceras municipales y centros poblados pequeños y medianos de Colombia.

Esta guía está fundamentada en las siguientes normas:

- Ley 1523 de 2012: “Por la 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”.
- Decreto 1807 de 2014: “Por el cual se reglamenta lo relativo a la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial y se dictan otras disposiciones”.

**- Resolución No. 1294 de 2009 – CDMB.**

Por medio de la cual se adopta el Manual de Normas Técnicas para el Control de Erosión y para la realización de estudios geológicos, geotécnicos e hidrológicos en el área de jurisdicción de la CDMB, la cual comprende el AMB y sus municipios vecinos, agrupados en un total de 13 (Bucaramanga, California, Charta, Floridablanca, Girón, Lebrija, Matanza, Piedecuesta, Playón, Río Negro, Suuratá, Tona y Vetas).

**- Resolución No. 0395 de 2016 del municipio de Floridablanca.**

Por medio de la cual se establecen disposiciones normativas para la aplicación de los estudios generales de amenaza, vulnerabilidad y riesgo en zonas urbanas el municipio de Floridablanca.

**- Decreto No. 045 de 2012 del municipio de Piedecuesta.**

Mediante el cual se adoptan lineamientos básicos para la elaboración de estudios detallados de amenaza y/o riesgo por fenómenos de remoción en masa e inundación (EDARFRI), que permitan determinar la viabilidad de los desarrollos urbanísticos, en suelo rural o urbano garantizando la mitigación de esta amenaza y/o riesgo.

**- Resolución No. 1977 de 2011 del municipio de Girón.**

Mediante la cual se adoptan lineamientos básicos para la elaboración de estudios detallados de amenaza y/o riesgos por fenómenos de remoción en masa e inundación (EDARFRI), que permitan determinar la viabilidad de los desarrollos urbanísticos, garantizando la mitigación de esta amenaza y/o riesgo.

A continuación, se describen los aspectos técnicos de cada componente acorde a los documentos enunciados en el marco jurídico:

## 4.2 ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DE AMENAZA PARA FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA

En la actualidad los métodos probabilísticos resultan una herramienta fundamental para la cuantificación del riesgo al deslizamiento y sobre la cual se basan. Los métodos probabilísticos de análisis aplicados a la estabilidad de taludes permiten conocer al ingeniero geotécnico el grado de incertidumbre sobre el cual se encuentran, a diferencia de los clásicos análisis deterministas en el cual se determina un Factor de Seguridad para el talud en estudio.

Los análisis probabilísticos permiten determinar la estabilidad de un talud en términos de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, es decir que el Factor de Seguridad es distribuido en forma probabilística para las condiciones de análisis en estudio.

El análisis probabilístico de la amenaza para fenómenos de remoción en masa se realiza a partir del cálculo de probabilidades de falla, como se explica a continuación. Este tipo de análisis permite considerar la incertidumbre en los parámetros de resistencia del terreno y la probabilidad de ocurrencia de los factores detonantes.

**4.2.1 Probabilidad de Falla.** Para cada escenario de análisis se determina la variación de la posición del nivel freático con base en la respuesta hidrológica de la ladera. Para considerar el efecto de la lluvia en la estabilidad se deben tomar en cuenta lluvias con periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años. Cada una de estas lluvias tiene una probabilidad de ocurrencia en función del periodo de retorno, que se calcula como:

$$P_{ll} = \left( 1 - \left( 1 - \frac{1}{T_R} \right)^L \right)$$

Donde:  $T_R$  es retorno de lluvia en años y  $L$  es periodo de exposición.

Para considerar el efecto de la carga sísmica en la estabilidad, se deben tener en cuenta los periodos de retorno de de 31, 225 y 475 años. La probabilidad de excedencia de un sismo ( $P_s$ ) con un determinado periodo de retorno está dada por:

$$P_s = 1 - e^{-L/Tr}$$

Donde:

Tr es Período retorno del sismo en años y L es intervalo de tiempo – vida útil de diseño (años)

#### 4.2.2 Probabilidad de falla con base en el índice de confiabilidad.

$$IC = 1 - P(f)$$

IC: Índice de confiabilidad

P(f): Probabilidad de falla.

La confiabilidad se puede expresar en forma de índice, y este a su vez se relaciona con la probabilidad de falla, se puede de esta manera entender que la falla no incluye fallas catastróficas sino cualquier diferencia entre el comportamiento esperado y el comportamiento observado.

Hidalgo y Assis 2011, establecen que el índice de confiabilidad  $\beta$  del coeficiente o factor de seguridad FS, se puede calcular mediante la expresión, en función del factor de seguridad crítico del talud:

$$\beta = \frac{E[FS] - 1}{\sigma [FS]}$$

Donde:

[FS]: Valor esperado del factor de seguridad, es decir el valor de seguridad calculado con parámetros medidos de las variables independientes

$\sigma [FS]$ : Desviación estándar del factor de seguridad

El método relaciona el factor de seguridad  $\beta$  con la probabilidad de falla, lo que permite una evaluación consistente del factor de seguridad, la probabilidad de falla está dada por la porción del área bajo la curva unitaria de distribución de frecuencia (función densidad de probabilidad) del FS correspondiente.

**4.2.3 Simulación de Montecarlo.** Para el análisis de estabilidad geotécnica, para el caso probabilístico, se puede asumir el método Monte Carlo para la determinación de probabilidad de falla de la ladera.

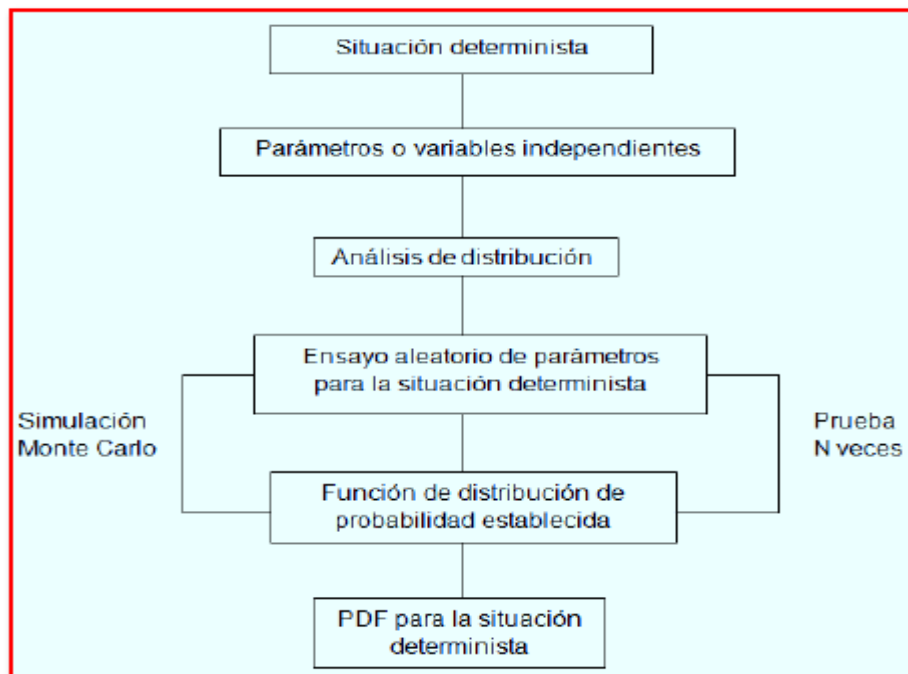
Las incertidumbres en las propiedades del suelo, condiciones ambientales, y los modelos teóricos son la razón de la falta de confianza en los análisis deterministas. En comparación con un análisis determinista, el análisis probabilístico tiene en cuenta la variabilidad inherente y las incertidumbres en los parámetros de análisis. Un análisis probabilístico se cuantifica mediante la producción de una distribución de resultados en lugar de un valor fijo único. Por lo tanto, un análisis probabilístico produce una estimación directa de la distribución de cualquiera de los factores de la seguridad o la altura crítica asociada a un diseño o análisis de la situación.

Hay varias técnicas probabilísticas que se pueden utilizar para evaluar situaciones geotécnicas. Específicamente, para el análisis geotécnico, los investigadores han llevado a cabo análisis probabilísticos utilizando: simulaciones de Monte Carlo y Estimativos puntuales.

El primer paso de una simulación de Monte Carlo es identificar un modelo determinista en el que múltiples variables de entrada se utilizan para estimar un resultado único valor. En el paso dos se requiere que todas las variables o parámetros sean identificados. A continuación, la distribución de probabilidad para cada variable independiente se establece para el modelo de simulación (es decir, normal, beta, Log-normal, etc).

Seguidamente, se inicia un proceso de prueba al azar para establecer una función de distribución de probabilidad de la situación determinista que está siendo modelado. Durante cada paso, un valor aleatorio de la función de distribución para cada parámetro se selecciona y entra en el cálculo. Numerosas soluciones se obtienen al hacer varias iteraciones través del programa para obtener una solución para cada paso. El resultado final de la simulación de Monte Carlo es una distribución de probabilidad del parámetro de salida.

Figura 7. Enfoque General de la Simulación de Monte Carlo.



Fuente. Tomado de Hutchinson & Bandalos, 1997.

Para el cálculo de la probabilidad de falla, se seguirán métodos reconocidos como el de estimativos puntuales (Rosenblueth), series de Taylor (FOSM) o simulación Montecarlo. En cuyo caso se tendrán en cuenta la probabilidad de ocurrencia de los eventos detonantes (lluvia o sismo) para determinar el periodo de retorno se deberá realizar un análisis completo para la zona de estudio. Dichas probabilidades pueden calcularse mediante la siguiente expresión.

$$P^+ = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$$

$$P^- = 1 - P^+$$

Donde:

P+: Probabilidad de que se presente el evento en un periodo de n años.

P-: Probabilidad de que no se presente el evento en un periodo de n años.

La probabilidad de falla del deslizamiento se evalúa entonces como la probabilidad de que se presenten o no cada uno de los eventos detonantes de la siguiente manera:

Tabla 4. Probabilidad de que se presenten o no cada uno de los eventos detonantes.

$P(D) = P(D/LS)P(LS) + P(D/L\bar{S})P(L\bar{S}) + P(D/\bar{L}S)P(\bar{L}S) + P(D/\bar{L}\bar{S})P(\bar{L}\bar{S})$	
A	B
$P(D)$	Probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento
$P(D/LS)$	Probabilidad condicional de que tenga lugar el deslizamiento dado que haya lluvia y sismo
$P(LS)$	Probabilidad de ocurrencia del evento de lluvia y sismo simultáneamente
$P(D/L\bar{S})$	Probabilidad condicional de que se genere el deslizamiento dado que haya lluvia y no se genere sismo
$P(L\bar{S})$	Probabilidad de que haya lluvia pero no sismo
$P(D/\bar{L}S)$	Probabilidad condicional de que ocurra el deslizamiento dado que se presente el sismo y no haya lluvia
$P(\bar{L}S)$	Probabilidad que se presente sismo pero no lluvia
$P(D/\bar{L}\bar{S})$	Probabilidad condicional de que ocurra el deslizamiento dado que no haya lluvia ni sismo
$P(\bar{L}\bar{S})$	Probabilidad de que no se presente lluvia ni sismo

Los parámetros de resistencia geomecánicos empleados en los análisis de estabilidad deben tener un tratamiento estadístico que permitan obtener adecuados valores de las medidas de tendencia central y desviación, y que permitan emplear métodos de confiabilidad para la estimación de la probabilidad de falla.

Para efectuar los análisis de probabilidad de falla para condiciones con lluvia deberá realizar un análisis completo de la lluvia crítica, para lo cual se recopilará la información necesaria en relación a registros pluviométricos o pluviográficos de las estaciones de registro localizadas en la zona de estudio en las entidades en cargadas de esta labor.

En relación a los métodos empleados en los análisis de estabilidad serán correspondientes con los mecanismos de falla planteados así:

- Falla rotacional – Método equilibrio límite.
- Falla traslacional – Método equilibrio límite.
- Flujo de materiales – cualquier modelo de flujo de detritos.
- Caída de Bloques – Cualquier modelo de simulación de caída de bloques.

Para el análisis probabilístico del FS se podrá usar cualquiera de los métodos siguientes: (a) Método de Taylor, también conocido como el método del Primer Orden Segundo Momento – FOSM (sigla en inglés First Order Second Moment), (b) Método de las estimativas puntuales, también conocido como el método de Rosenblueth, (c) Simulación de Montecarlo.

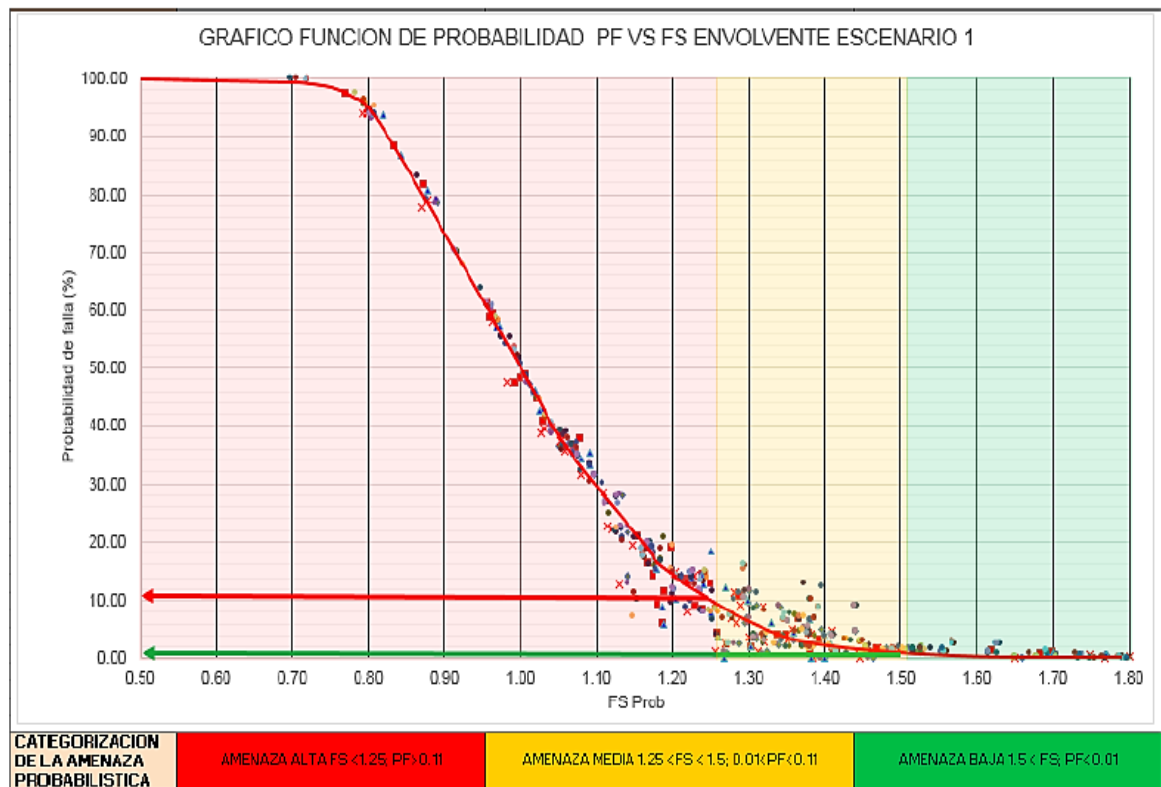
La ejecución de análisis probabilísticos de estabilidad de taludes y laderas no sustituye los análisis determinísticos en los cuales se obtiene el factor de seguridad. Los dos análisis deben realizarse y sus resultados usados conjuntamente para proporcionar un mejor entendimiento del proyecto.

Para el presente modelo, los parámetros aleatorios de entrada son: la cohesión ( $c$ ) y el ángulo de fricción ( $\phi$ ) y fueron tratados como normalmente distribuidos, e independientes. El uso de la simulación de Monte Carlo para evaluar esta zona proporciona una metodología práctica y lógica para evaluar la probabilidad de estabilidad del talud.

Para la determinación de la categorización probabilística de la amenaza, se realizó una función de probabilidad, teniendo como variable independiente los factores de seguridad probabilísticos de la ladera, que para cada modelo presenta una probabilidad de ocurrencia específica. Una vez obtenido el modelo de función de probabilidad, se determinan las probabilidades de falla para los factores de seguridad categorizados para la amenaza que están en función de la condición modelada (actual y crítica).

Con el fin de conocer puntualmente el comportamiento del sector en estudio, se deben realizar las gráficas de función de probabilidad. A manera de ejemplo se presenta a continuación una gráfica de función de probabilidad de un sector y su envolvente que determina el comportamiento general del talud.

Figura 8. Gráfica de función de Probabilidad de Falla Vs F.S. Probabilístico.



Fuente: Edarfri barrios Independencia, Bosque Norte y Nueva Colombia de Bucaramanga. – AMB.

### 4.3 CATEGORIZACIÓN DE LA AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA.

En la Tabla 5 se presentan los Niveles de Amenaza para remoción en masa para estudios básicos y detallados, en donde se tienen las siguientes variables:

Tabla 5. Niveles de amenaza para remoción en masa, según normas de la CDMB y los municipios de Girón y Piedecuesta (Estudios Básicos).

REMOCIÓN EN MASA	AMENAZA BAJA	AMENAZA MEDIA	AMENAZA ALTA
CONDICIONES ESTÁTICAS	FS >1.5	FS [1.25 -1.5]	FS < 1.25
CONDICIONES EXTREMAS	FS >1.2	FS [1.0 – 1.2]	FS < 1.2 (Girón y Piedecuesta) FS < 1.0 (CDMB)

Fuentes: - Norma Geotécnica CDMB (Resolución 1294 de 2009) – Capítulo II, Numeral 2.4.

- Resolución 1977 de 2011 de Girón (Artículo 5).

- Resolución 0045 de 2012 de Piedecuesta (Artículo 3).

- Factor de Seguridad (FS): Relación entre el esfuerzo cortante último resistente a la falla  $\tau_f$  y esfuerzo cortante actuante  $\tau_A$ . ( $FS = \tau_f / \tau_A$ ).

Tabla 6. Niveles de amenaza para remoción en masa, según la Guía del SGC para Estudios Básicos.

NIVEL DE AMENAZA	FACTOR DE SEGURIDAD	COLOR EN EL MAPA
Alta	<1.1	Rojo
Media	1.1-1.5	Amarillo
Baja	>1.5	Verde

Fuente: Guía Metodológica del Servicio Geológico Colombiano - SGC.

(Capítulo 3.1.4.2, Tabla 3-11).

- El municipio de Floridablanca, acoge los lineamientos de la Guía del SGC para la zonificación de AVR por fenómenos de remoción en masa, mediante la Resolución 0395 de 2016 (Artículo 2).

En la Tabla 7 se presentan los Niveles de Amenaza para taludes en roca para Estudios Básicos, como se indica a continuación:

Tabla 7. Niveles de amenaza para taludes en roca (Estudios Básicos).

NIVEL DE AMENAZA	VALOR DE SMR
Alta	<40
Media	41-60
Baja	>60

Fuente: Guía Metodológica del Servicio Geológico Colombiano – SGC

(Capítulo 3.1.4.2 Tabla 3-11).

SMR (Slope Mass Rating): Es un método de caracterización geomecánico de macizos rocosos propuesto por Manuel Romana en 1985, que tiene en cuenta las características geométricas del talud, las características estructurales del macizo y las propiedades mecánicas de las rocas. Modifica el sistema RMR propuesto por Bieniawski (1973), para poder predecir el comportamiento de los taludes en roca con mayor precisión.

En la Tabla 7 se presentan los Niveles de Amenaza según la probabilidad anual de falla, para **ESTUDIOS DETALLADOS**.

Tabla 8. Niveles de amenaza según la probabilidad anual de falla para Estudios Detallados.

NIVEL DE AMENAZA	PROBABILIDAD ANUAL DE FALLA
Alta	< 0.001
Media	0.001 – 0.16
Baja	> 0.16

Fuente: Guía Metodológica del Servicio Geológico Colombiano - SGC

(Capítulo 3.2.6.3 Tabla 3-13).

Esta clasificación está basada en análisis probabilísticos, los cuales permiten considerar la incertidumbre en los parámetros de resistencia del terreno, además de determinar la probabilidad de falla de los taludes.

#### 4.4 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

La Guía Metodológica del SGC, determina tres niveles de daño para edificaciones y líneas vitales con fines de zonificación de la vulnerabilidad, donde 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. Los niveles de daño definidos se presentan a continuación en la Tabla 8.

Tabla 9. Clasificación de la vulnerabilidad para edificaciones y obras lineales\*.

CLASIFICACIÓN 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

Fuente: Guía Metodológica del Servicio Geológico Colombiano (Capítulo 4.6 Tabla 4-26).

\* La Guía Metodológica del Servicio Geológico Colombiano - SGC define como Obras Lineales:

- Redes viales.
- Redes de acueducto
- Redes de alcantarillado
- Redes eléctricas
- Redes de comunicaciones.

Según la Guía Metodológica del Servicio Geológico Colombiano - SGC, este tipo de obras también las llaman Líneas Vitales.

Los valores numéricos de vulnerabilidad presentados en la Tabla anterior (Tabla 8), permiten definir cualitativamente los daños esperados para los elementos expuestos dentro de las obras lineales, presentados en la Tabla 18.

Tabla 10. Daños esperados para edificaciones y líneas vitales.

CLASIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	EDIFICACIONES	RED VIAL	REDES DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO	REDES ELÉCTRICAS Y DE TELECOMUNICACIONES
<b>ALTA</b>	Colapso parcial o total de la estructura. Rotura de muros. Destrucción total de acabados y accesorios.	Bloqueo total de la vía. Se afecta totalmente el tránsito de vehículos.	Rotura inminente de las tuberías. Interrupción del servicio. Es necesario reconstruir el tramo de la red.	Los postes son derribados o fragmentados. Las líneas de tensión se ven afectadas y se interrumpe el servicio.
<b>MEDIA</b>	Grietas anchas y profundas. Plastificación local de los elementos estructurales. Posible colapso de elementos no estructurales	Parte del volumen deslizado reposa sobre la vía. Los vehículos pasan con dificultad.	Las tuberías se afectan e incluso se pueden romper. El servicio se ve disminuido. Es necesario reparar la red luego del evento.	Los postes son alcanzados por la masa deslizada, induciendo desplazamientos o inclinaciones en los postes sin comprometer las líneas de tensión y sin interrumpir el servicio.
<b>BAJA</b>	Quiebre de ventanas. Entrada de material a la edificación. Daños en pisos. Grietas pequeñas, despegues de pequeños pedazos de pañete, despegue de algunos ladrillos.	No existe material sobre la vía o el material que alcanzó la vía es fácilmente evadible por los vehículos.	Las tuberías se desplazan levemente, sin sufrir daños y sin afectar el servicio.	Los postes no son alcanzados por la masa del deslizamiento o son alcanzados con una energía de impacto baja que no les induce desplazamientos o daños.

Fuente: Guía Metodológica del Servicio Geológico Colombiano (Capítulo 4.6 Tabla 4-27).

De otra parte, las categorías de vulnerabilidad para personas en edificaciones, donde 1 significa la pérdida de la vida, y los valores menores que 1 se traducen como la probabilidad de pérdida de la vida, se pueden definir así (Tabla 10).

Tabla 11. Clasificación de la vulnerabilidad para personas.

CLASIFICACIÓN	RANGO DE VULNERABILIDAD	DESCRIPCIÓN
ALTA	0.5 – 1.0	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 – 0.2	Probabilidad de muerte casi nula y lesiones muy leves o inexistentes.

Fuente: Guía Metodológica del Servicio Geológico Colombiano (Capítulo 4.6 Tabla 4-28).

#### 4.5 EVALUACIÓN DEL RIESGO

Dentro del proceso de la evaluación del riesgo, el costo aproximado es un estimado del costo directo de daño, en el cual se pueden considerar, entre otros, el costo de reintegro de la parte afectada (terreno más estructura), trabajos de estabilización requeridos para llevar el riesgo a un nivel tolerable de acuerdo con la amenaza potencial, honorarios de profesionales, diseño de medidas y costos indirectos, tales como honorarios y alojamiento temporal. En las dos primeras columnas de la Tabla 20 se presenta el criterio para la valoración del costo aproximado de daño.

Establecidos los criterios para determinar los costos aproximados de daño, se procede a categorizar el riesgo de los bienes físicos (en alto, medio y bajo), correspondientes a las dos últimas columnas de la Tabla 11.

Tabla 12. Categorías del Riesgo Estructural según su porcentaje de daños.

COSTO APROXIMADO DE DAÑO (%)	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	CATEGORIA DEL RIESGO	DESCRIPCIÓN DEL RIESGO
200	Estructura completamente destruida o con daños a gran escala que requieren trabajos de ingeniería para recuperación. Pueden causarse daños importantes en propiedades adyacentes.	<b>ALTO</b>	Riesgo inaceptable. Es necesaria la ejecución de investigaciones detalladas, planeación e implementación de medidas para reducir el riesgo. Las medidas de intervención estructural pueden ser dispendiosas y poco prácticas; además, pueden ser más costosas que el valor mismo de la propiedad.
60	Daños extensivos en la mayoría de la estructura o se extiende más allá de los límites del sitio que requieren obras significativas de recuperación. Se pueden causar por lo menos consecuencias considerables a estructuras adyacentes.		
20 -60	Daños moderados en alguna parte de la estructura o por parte significativa que requiere grandes trabajos de recuperación. Se puede causar por lo menos consecuencias menores a propiedades adyacentes.	<b>MEDIO</b>	Puede tolerarse en ciertas circunstancias, pero requiere investigación y planeación detallada para evitar que aumente. Las medidas para reducir el riesgo son viables económicamente.
0-20	Daños limitados en parte de la estructura que requieren algún trabajo para restablecer su funcionalidad.	<b>BAJO</b>	Riesgo usualmente aceptable. Se requiere mantenimiento normal de los taludes y laderas.

Fuente: Guía Metodológica del Servicio Geológico Colombiano (Capítulo 6.1 Tablas 6-1 y 6-3).

Para establecer el riesgo total, se deben combinar las categorías de riesgo de bienes físicos y personas, como se observa en la Tabla 12.

Tabla 13. Categorías de riesgo de bienes físicos y personas.

RIESGO EN BIENES FÍSICOS	RIESGO EN PERSONAS		
	ALTO	MEDIO	BAJO
ALTO	A	A	A
MEDIO	A	M	M
BAJO	A	B	B

Fuente: Guía Metodológica del Servicio Geológico Colombiano (Capítulo 6.1 Tablas 6-5).

La descripción de las categorías de riesgo total se presenta a continuación (Tabla 13), luego de haber combinado los riesgos para todos los eventos en personas y bienes físicos.

Tabla 14. Descripción de las categorías del Riesgo Total.

CATEGORIA		DESCRIPCIÓN
<b>A</b>	<b>ALTO</b>	Alta probabilidad de víctimas fatales y lesiones serias en la población. La implementación de medidas de intervención es prácticamente inviable desde el punto de vista técnico. Se debe hacer una evaluación económica detallada para establecer la posibilidad de mitigación y disminución del nivel de riesgo. Las pérdidas por materialización de la amenaza superan en todos los casos los valores económicos de los bienes.
<b>M</b>	<b>MEDIO</b>	Lesiones moderadas muy frecuentes, con alguna probabilidad de víctimas fatales. Se requiere evitar que el nivel de riesgo aumente, pero las medidas de intervención son en todo caso viables técnica y económicamente.
<b>B</b>	<b>BAJO</b>	Probabilidad de víctimas fatales prácticamente nula. Es un riesgo aceptable y requiere tan solo medidas de prevención.

Fuente: Guía Metodológica del Servicio Geológico Colombiano (Capítulo 6.1 Tabla 6-6).

La Guía Metodológica del SGC, plantea algunas medidas de intervención según la categoría del riesgo definida, las cuales pueden ser medidas de intervención prospectivas, correctivas y prescriptivas. Estas pueden adaptarse como un primer panorama de planteamiento de medidas de mitigación del riesgo, como se presenta en la Tabla 14.

Tabla 15. Medidas de intervención según las categorías del riesgo.

CATEGORÍA DE RIESGO	INTERVENCIÓN PROSPECTIVA -ÁREA NO OCUPADA- (A)	INTERVENCIÓN CORRECTIVA -ÁREA OCUPADA- (B)	INTERVENCIÓN PRESCRIPTIVA (EXIGENCIAS)
<b>ALTO</b>	Prohibición de asentamientos e infraestructura	Reubicación de asentamientos e infraestructura, evaluación económica de la reducción del riesgo + sistemas de alerta	Reducir la amenaza y evaluar económicamente las intervenciones.
<b>MEDIO</b>	Controlar el aumento del riesgo + sistemas de alerta	Protección del área + sistemas de alerta	Controlar el aumento de la amenaza (A) y proteger el área (B).
<b>BAJO</b>	Controlar el aumento de la amenaza y prevenir el aumento del riesgo	Sin condicionantes	Controlar el aumento de la amenaza (A).


Fuente: Guía Metodológica del Servicio Geológico Colombiano (Capítulo 6.1 Tabla 6-7).

Cuando los costos de reubicación de asentamientos e infraestructura excedan los costos de las medidas de intervención propuestas, se considera que el riesgo es

mitigable. Si, por el contrario, los beneficios de la reubicación de asentamientos e infraestructura representan la mejor opción económica, se deduce que el riesgo es no mitigable.

Al final del proceso de evaluación es necesario presentar los resultados mediante un mapa de zonificación de riesgo. Las zonas de riesgo bajo y medio se definen conforme a la tabla siguiente. Las zonas de riesgo alto se presentan diferenciadas en riesgo alto mitigable y no mitigable, de acuerdo con los criterios presentados anteriormente. Para este efecto se propone conservar los colores rojo, amarillo y verde para las zonas de riesgo alto, medio y bajo, en ese orden, diferenciando con una simbología de achurado las zonas de riesgo alto mitigable y no mitigable (Ver Tabla 15).

Tabla 16. Categorías de riesgo

COLOR	CATEGORÍA
	Alto no mitigable
	Alto mitigable
	Medio
	Bajo

Fuente: Guía Metodológica del SGC.

#### 4.6 PENDIENTES MÁXIMAS PERMITIDAS PARA PROYECTOS DE DESARROLLO

La construcción de edificaciones sobre ladera está sujeta a las siguientes imitaciones, para el manejo técnico de proyectos de desarrollo:

Tabla 17. Pendientes máximas permitidas

CRITERIO	VALOR	OBSERVACIÓN
Para construcción	57% ó 30° con la horizontal	No se permiten las construcciones sobre pendientes mayores a 30° con la horizontal.
Para cortes	1/2 H : V	No se permiten las construcciones en rellenos sobre ladera.

Fuente: Norma Geotécnica CDMB (Resolución 1294 de 2009) – Capítulo VII, Numeral 7.2

#### 4.7 AISLAMIENTOS MÍNIMOS EN TALUDES

A continuación, se indican cuáles son las zonas donde no es permitido realizar obras o construcciones en cuanto a los bordes y/o pie de los taludes cercanos a los proyectos. Los aislamientos se deben mantener independientemente de que se construyan o no muros de contención.

**4.7.1 Aislamientos en taludes con pendiente inferior a 45°.** El aislamiento es el área en la cual no se permite localizar edificaciones, vías peatonales o vehiculares, andenes obras de urbanismo o estructuras más cercanas al borde y/o pie de los taludes aledaños al proyecto. Para taludes con pendiente inferior a 45°, se puede estimar la distancia de aislamiento de la siguiente forma:

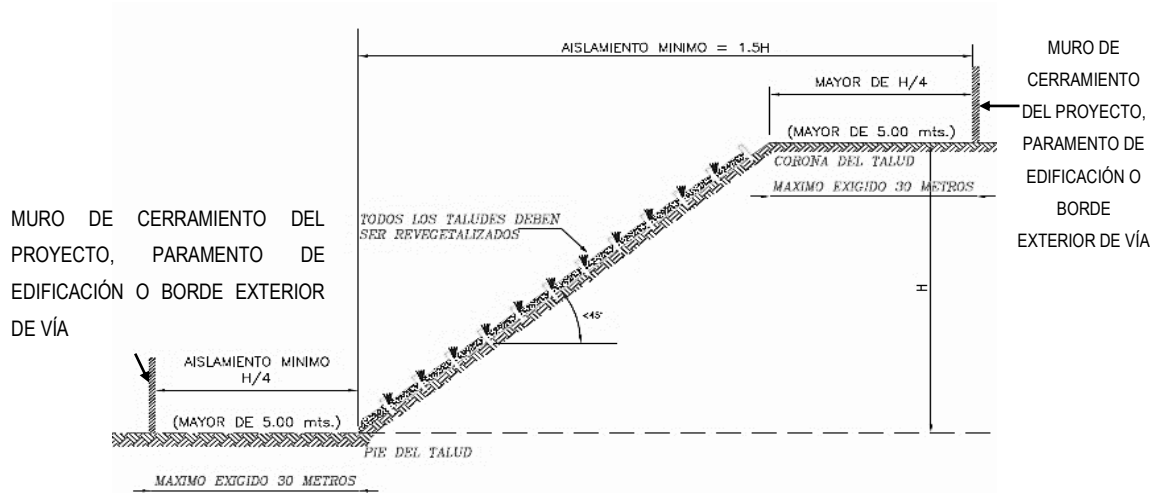
Tabla 18. Aislamientos en taludes con pendiente inferior a 45°.

CRITERIO	VALOR	OBSERVACIONES
Aislamiento mínimo de la corona del talud al muro superior de cerramiento	H/4	En todos los casos el aislamiento de la corona del talud debe ser superior a 5 metros.
Aislamiento mínimo del pie del talud al muro inferior de cerramiento	H/4	En todos los casos el aislamiento del pie del talud debe ser superior a 5 metros.
Aislamiento máximo exigido desde la corona y el pie del talud hasta los muros de cerramiento	20 metros	-----
Aislamiento mínimo medido desde el pie del talud hasta el muro superior del cerramiento del proyecto	1.5H	-----
Factores de seguridad de los muros de cerramiento	>1.5	Factores de seguridad a deslizamiento y al volcamiento

Fuente: Norma Geotécnica CDMB (Resolución 1294 de 2009) – Capítulo VII, Numeral 7.4.1

H = Altura del talud (Ver Figura 7).

Figura 9. Aislamientos en taludes con pendiente inferior a 45°.



Fuente: Norma Geotécnica CDMB (Resolución 1294 de 2009).

**4.7.2 Aislamientos en taludes con pendiente superior a 45°.** El aislamiento mínimo de los proyectos con taludes cuya pendiente del terreno es superior a 45 grados es el siguiente:

Tabla 19. Aislamientos en taludes con pendiente superior a 45°.

CRITERIO	VALOR	OBSERVACIONES
Aislamiento mínimo medido desde el pie del talud hasta el muro superior del cerramiento del proyecto	1.5H	----
Aislamiento máximo medido desde la corona del talud hasta el muro superior del cerramiento del proyecto	30 metros	En todos los casos el aislamiento del pie del talud debe ser superior a 5 metros.
Aislamiento máximo exigido desde el pie del talud hasta el muro inferior del cerramiento del proyecto	20 metros	En todos los casos el aislamiento del pie del talud debe ser superior a 5 metros.
Aislamiento mínimo desde el pie del talud hasta el muro inferior de cerramiento	H/4	En todos los casos el aislamiento del pie del talud debe ser superior a 5 metros.
Pendiente máxima permitida en cortes	1/2H : 1V	----
Pendiente máxima permitida en rellenos	1H : 1V	----
Factor de seguridad del talud y de los muros de cerramiento	>1.5	Factores de seguridad a deslizamiento y al volcamiento

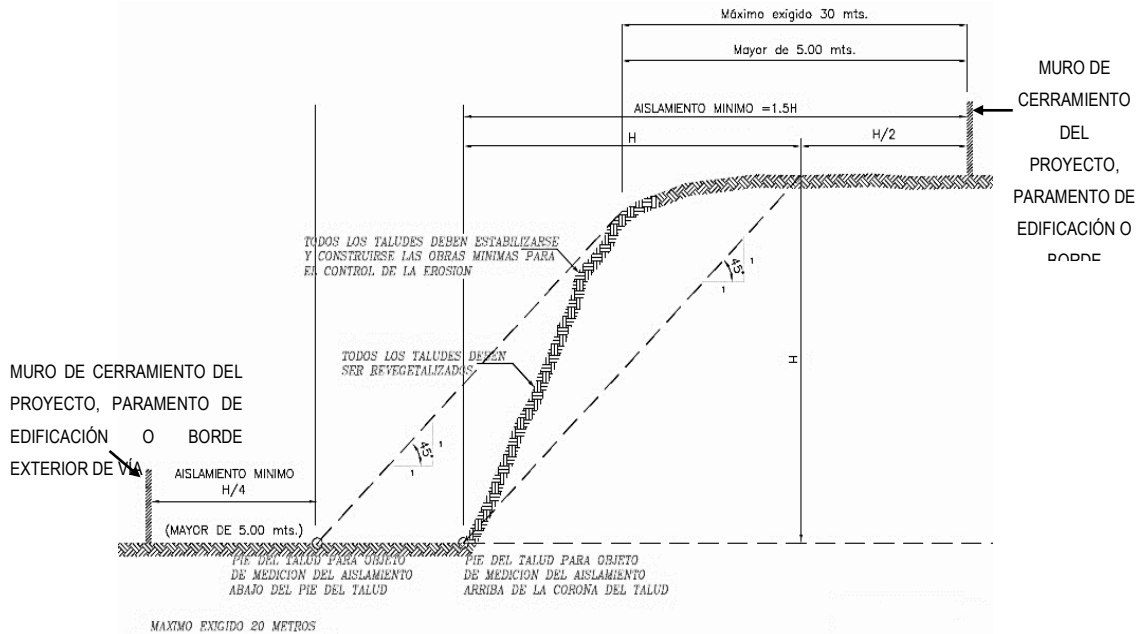
Fuente: Norma Geotécnica CDMB (Resolución 1294 de 2009) – Capítulo VII, Numerales 7.4.1 y 7.4.2.

- **Observaciones:**

- Se considera talud cuando la pendiente es superior a 30° (respecto la horizontal) y su altura sea mayor de 3 metros.

- H = Altura del talud (Ver Figura 8).

Figura 10. Aislamientos en taludes con pendiente superior a 45°.



Fuente: Norma Geotécnica CDMB (Resolución 1294 de 2009).

**4.7.3 Aislamientos en cortes junto a límites de propiedad.** Cuando se realice un corte cerca al límite de propiedad de un predio, el pie de la excavación provisional o definitiva, se deberá separar una distancia mínima del límite de propiedad arriba de la corona del talud. Este anterior aislamiento se debe cumplir independientemente de que se construyan o no estructuras de contención.

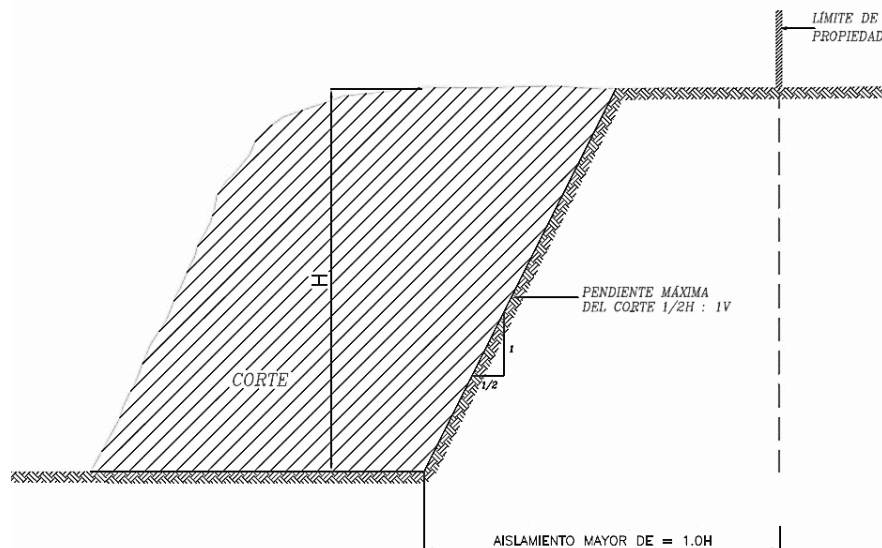
Tabla 20. Aislamientos en cortes junto a límites de propiedad.

CRITERIO	VALOR	OBSERVACIONES
Aislamiento mínimo entre el límite de la propiedad y el pie del corte	1.0H	Este aislamiento no se aplica para la construcción de sótanos de edificios en áreas desarrolladas.
Pendiente máxima del corte	1/2H : 1V	-----

Fuente: Norma Geotécnica CDMB (Resolución 1294 de 2009) – Capítulo VII, Numeral 7.4.3.

H = Altura del talud (Ver Figura 9).

Figura 11. Aislamientos en cortes junto a límites de propiedad.



Fuente: Norma Geotécnica CDMB (Resolución 1294 de 2009).

## 4.8 ESTUDIOS HIDROLÓGICOS Y AISLAMIENTOS DE CAUCES

### 4.8.1 Marco Jurídico Y Componente Técnico.

**Aislamientos mínimos en cauces.** Respecto a la delimitación del sistema hídrico de protección existen varias normas en el Área Metropolitana y a nivel nacional. A continuación, se muestra su desarrollo cronológico en el siguiente marco jurídico:

#### A. Normas nacionales.

- **Decreto Ley 2811 de 1974 (Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente).**

Definió el concepto del acotamiento de la "faja paralela" a los cuerpos de agua, en el literal d) del artículo 83, el cual dice:

- Artículo 83: "Salvo derechos adquiridos por particulares, son bienes inalienables e imprescriptibles del Estado:

...d) *Una faja paralela a la línea de mareas máximas o a la del cauce permanente de ríos y lagos, hasta de **treinta metros** de ancho*”.

También se definió el concepto de “*área forestal protectora*”, en el artículo en el artículo 204 el cual dice:

- Artículo 204: “*Se entiende por área forestal protectora la zona que debe ser conservada permanentemente con bosques naturales o artificiales, para proteger estos mismos recursos u otros naturales renovables*”.

- **Decreto 1449 de 1977**. Definió el alcance de las áreas forestales protectoras, en su artículo 3, literal b:

- Artículo 3: “*En relación con la protección y conservación de los bosques, los propietarios de predios están obligados a: Mantener en cobertura boscosa dentro del predio las áreas forestales protectoras.*”

*Se entiende por áreas forestales protectoras:*

...b) *Una faja no inferior a 30 metros de ancha, paralela a las líneas de mareas máximas, a cada lado de los cauces de los ríos, quebradas y arroyos, sean permanentes o no, y alrededor de los lagos o depósitos de agua*”.

- **Decreto 1541 de 1978**. Definió los conceptos “*Cauce natural*”, “*Lecho*” y “*Playa fluvial*”, en los artículos 11 y 12:

- Artículo 11: “*Se entiende por cauce natural la faja de terreno que ocupan las aguas de una corriente al alcanzar sus niveles máximos por efecto de las crecientes ordinarias; y por lecho de los depósitos naturales de aguas,*

*el suelo que ocupan hasta donde llegan los niveles ordinarios por efectos de lluvias o deshielo.*

- Artículo 12: *“Playa fluvial es la superficie de terreno comprendida entre la línea de las bajas de aguas de los ríos y aquellas a donde llegan éstas, ordinarias y naturalmente en su mayor incremento”.*

- **Ley 79 de 1986.** Reglamentó el concepto *“Áreas de reserva forestal protectora”*, en su artículo 1, literal b:

- Artículo 1: *“Declárense áreas de reserva forestal protectora, para la conservación y preservación del agua, las siguientes:*

*...b) Todos los bosques y la vegetación natural existentes en una franja no inferior a cien (100) metros de ancho, paralela a las líneas de mareas máximas, a cada lado de los cauces de los ríos, quebradas y arroyos”.*

- **Decreto 1504 de 1998.** Reglamentó el manejo del espacio público en los planes de ordenamiento territorial:

- Artículo 5: *“El espacio público está conformado por el conjunto de los siguientes elementos constitutivos y complementarios:*

*1) Elementos constitutivos naturales:*

*Áreas para la conservación y preservación del sistema hídrico conformado por elementos naturales, relacionados con corrientes de agua, tales como:*

*Cuencas y microcuencas, manantiales, ríos, quebradas, arroyos, playas fluviales, rondas hídricas, zonas de manejo, zonas de bajamar y protección*

*ambiental, y relacionados con cuerpos de agua, tales como mares, playas marinas, arenas y corales, ciénagas, lagos, lagunas, pantanos, humedales, rondas hídricas, zonas de manejo y protección ambiental”.*

**- Ley 1450 de 2011 (Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo, 2010-2014).** Definió el concepto de “Ronda Hídrica”, y las competencias para su acotamiento en su artículo 206:

- Artículo 206: *“Corresponde a las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible, los Grandes Centros Urbanos y los Establecimientos Públicos Ambientales efectuar, en el área de su jurisdicción y en el marco de sus competencias, el acotamiento de la faja paralela a los cuerpos de agua a que se refiere el literal d) del artículo 83 del decreto Ley 2811 de 1974 Y el área de protección o conservación aferente, para lo cual deberán realizar los estudios correspondientes, conforme a los criterios que defina el Gobierno Nacional”.*

**- Decreto 1640 de 2012.** Reglamentó los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones.

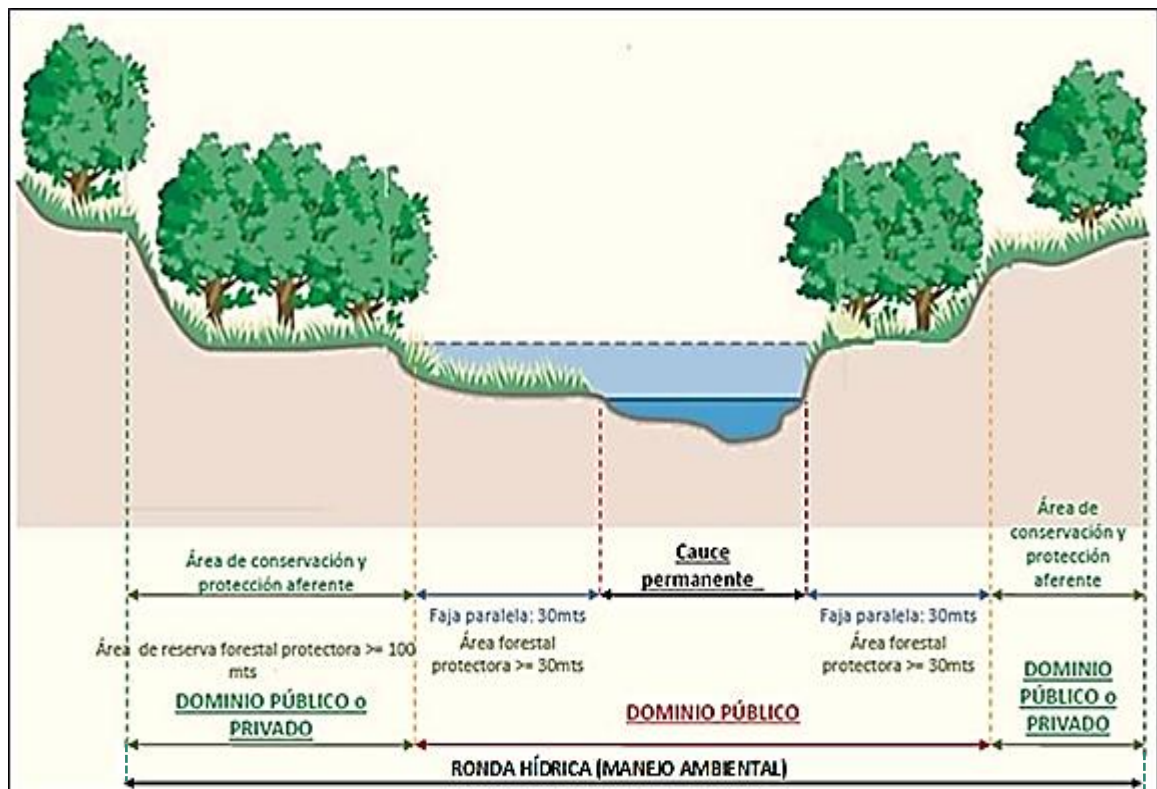
- Artículo 19: *De las Directrices de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas.*

*La ordenación de cuencas se hará teniendo en cuenta: Los ecosistemas y zonas que la legislación Ambiental ha priorizado en su protección, tales como: páramos, subpáramos, nacimientos de aguas, humedales, rondas hídricas, zonas de recarga de acuíferos, zonas costeras, manglares, estuarios, meandros, ciénagas u otros hábitats similares de recursos*

*hidrobiológicos, los criaderos y hábitats de peces, crustáceos u otros hábitats similares de recursos hidrobiológicos.*

Los conceptos definidos en las normas anteriores, que conforman las rondas hídricas de protección, se detallan en la Figura 10.

Figura 12. Elementos que conforman las rondas hídricas de protección.



Fuente: Guía metodológica para el acotamiento de ronda hídrica (MADS-UNAL, 2012).

## B. Normas municipales y regionales.

- **Resolución 1294 de 2009 (Norma geotécnica CDMB).** Por medio de la cual se adopta el Manual de Normas Técnicas para el Control de Erosión y para la realización de estudios geológicos, geotécnicos e hidrológicos en el área de jurisdicción de la CDMB.

- **Acuerdo Metropolitano No. 013 de 2011 (Norma AMB).** Por el cual se adopta la revisión del componente de Ordenamiento Físico – Territorial del Plan Integral de Desarrollo del Área Metropolitana de Bucaramanga; se definen las directrices para la estructura territorial, los lineamientos de ordenamiento metropolitano para los Planes de Ordenamiento Territorial de los municipios, los hechos metropolitanos y se establecen las normas obligatoriamente generales para los municipios que conforman el Área.

- **POT de Bucaramanga (Acuerdo No 011 del 21 de Mayo de 2014).** Por el cual se adopta el Plan de Ordenamiento Territorial de segunda generación del Municipio de Bucaramanga 2014 – 2027.

- **POT de Floridablanca (Decreto No. 0068 de 2016).** Por medio del cual se compendia el contenido de los Acuerdos Municipales No. 036 de Noviembre 09 de 2001, No. 025 de Octubre 16 de 2002, No. 008 de Octubre 12 de 2005, No. 001 de Febrero 25 de 2013 y No. 015 de Noviembre 24 de 2015, que contienen las disposiciones establecidas por el Plan de Ordenamiento Territorial POT del Municipio de Floridablanca”.

- **POT de Girón (Acuerdo No 100 del 30 de Noviembre de 2010).** Por el cual se adopta la revisión excepcional de norma Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del municipio de San Juan Girón, se definen los usos del suelo urbano, de expansión urbana, rural, suburbano y suelo de protección, se establece la reglamentación sobre el uso, ocupación y manejo del suelo, correspondiente y se plantean los programas, proyectos, y planes complementarios para el futuro desarrollo territorial del municipio dentro de la vigencia del POT.

- **PBOT de Piedecuesta (Acuerdo 028 de 2003).** Por medio del cual se adopta el Plan Básico de Ordenamiento Territorial del municipio de Piedecuesta Santander, se definen los usos del suelo urbano, de expansión urbana, rural, suburbano y

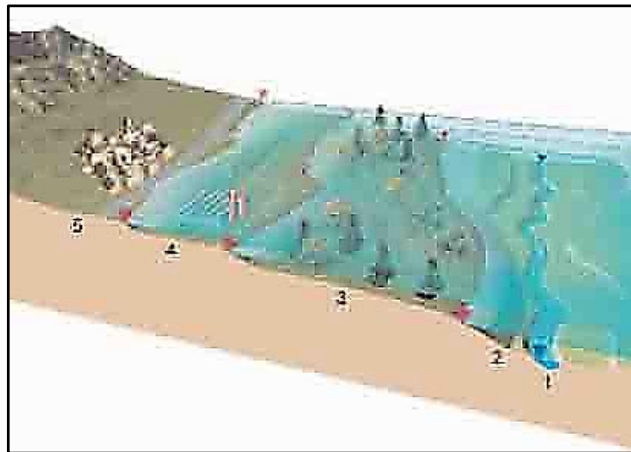
suelo de protección, se reglamenta el uso, ocupación y manejo del suelo y se hacen los planteamientos sobre programas, proyectos y planes complementarios para el futuro desarrollo territorial del municipio dentro de la vigencia del P.B.O.T.

**4.8.2 Evaluación de la amenaza para inundación.** Los niveles de amenaza por inundación están asociados a los períodos de retorno, los cuales están dados por estudios hidrológicos en el que se determinan los caudales máximos correspondientes al período respectivo. La estimación de estos caudales se puede realizar por métodos empíricos, mediante fórmulas y por métodos estadísticos, los cuales se basan en la idea de que las inundaciones se producen con cierta regularidad en el tiempo, por lo que se pueden tratar estadísticamente y requieren una gran cantidad de datos climáticos y de aforo.

Estos métodos llegan a establecer el período de retorno y el intervalo de recurrencia, tiempo transcurrido entre dos eventos consecutivos con un valor de descarga máximo determinado. Los períodos de retorno se miden en años: de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500 y 1.000. A partir de aquí se determina la inundabilidad de las zonas.

Una vez definidos los caudales se realiza un estudio hidráulico para determinar los niveles alcanzados por la lámina de agua y con ellos la extensión del área inundada asociada a esa frecuencia (ver Figura 11).

Figura 13. Esquema de zonificación del territorio próximo a una inundación hipotética.



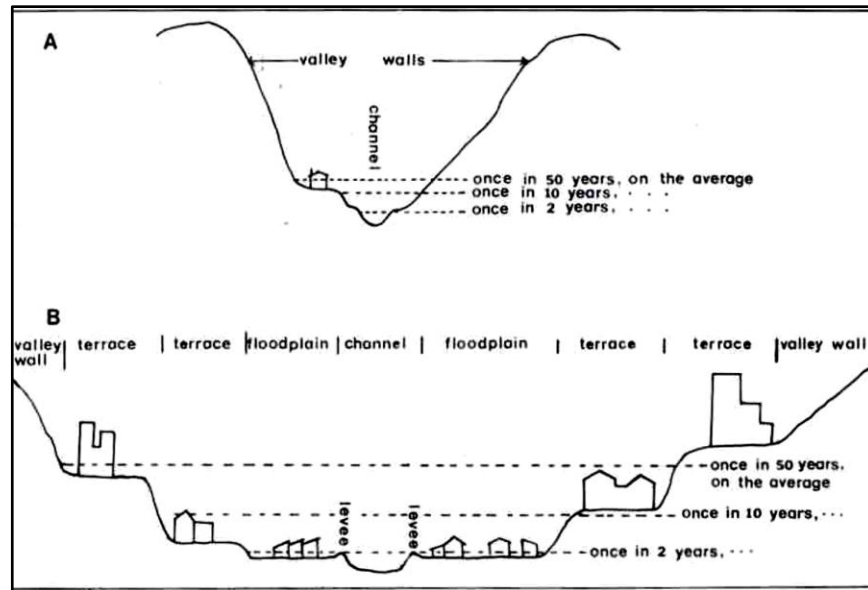
Fuente: Construpedia, enciclopedia de construcción. Amenazas Geológicas por inundaciones.

En la figura 6 se observa una ordenación del territorio en función de los criterios de inundabilidad por diferentes períodos de retorno, en donde se identifican las siguientes zonas:

- Zona 1: Curso fluvial.
- Zona 2: Período de retorno de 5 años, no se permiten actividades.
- Zona 3: Período de retorno de 25 años, zona de protección y control, no se permite la construcción, apto para cultivos, parques y uso lúdico.
- Zona 4: Período de retorno de 50 años, zona con restricciones, apta para la construcción de viviendas con estructuras de protección.
- Zona 5: Período de retorno de 100 años, zona con algunas restricciones, apta para la construcción de viviendas, bajo una regulación adecuada.

En este sentido, la extensión de una inundación y la profundidad de la capa de agua están controladas por la magnitud de la descarga y la configuración de la topografía local, para diferentes escenarios como se puede observar en la Figura 12.

Figura 14. Impacto de la geomorfología local en la extensión de la inundación.



Fuente: Evaluación de la Amenaza por Inundación. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC) – UNESCO RAPCA.

**4.8.2.1 Períodos de Retorno.** El período de retorno es el tiempo promedio entre la ocurrencia de eventos de igual magnitud, también es denominado, intervalo de recurrencia. En términos numéricos, es el equivalente a la probabilidad de que se presente un caudal de magnitud igual o superior en un determinado año, es decir, la probabilidad de que se supere el caudal en un año.

Por ejemplo, un período de retorno de 10 años para una determinada zona, significa que la probabilidad de inundación es igual a:

$$F(x) = 1/T = 1/10 = 0.1 = 10\%$$

Por lo tanto, existe un 10% de probabilidad de que en un año se supere ese valor de caudal y un 90% de probabilidad de que no se supere.

Para un período de retorno de 50 años, esa probabilidad es igual a:

$$F(x) = 1/T = 1/50 = 0.02 = 2\%.$$

Es decir, existe un 2% de probabilidad de que en un año se supere ese valor de caudal y un 98% de probabilidad de que no se supere. Por lo tanto, a mayor período de retorno, es menor la probabilidad de la inundación.

En el caso de que queramos calcular la probabilidad de que se iguale o supere ese valor durante un periodo de N años, se calcularía mediante la siguiente expresión:

$$1 - [1 - (1/T)]^N$$

De forma que, de acuerdo con la tabla siguiente, una zona afectada por la inundación de un periodo de retorno de 50 años tiene una probabilidad del 39,7% de verse inundada en un periodo de 25 años consecutivos y de un 63,6 % de inundarse en 50 años consecutivos.

Tabla 21. Periodo de retorno de inundación

Periodo de retorno (años) 50	Años consecutivos					
	1	2	5	25	50	100
Probabilidad de ocurrencia (%)	2,0	4,0	9,6	39,7	63,6	86,7

**4.8.2.2 Metodologías investigadas para la zonificación de amenaza por inundación.** La metodología desarrollada se basa en varios de los criterios utilizados en la norma geotécnica de Bucaramanga, y sobre todo en las metodologías de las entidades ambientales especialmente el ministerio de ambiente, de igual manera en estudios y literatura aplicada en cuanto amenaza por inundación especialmente el proyecto SUFRI, desarrollado en la comunidad Europea. Por tanto, para realizar la zonificación de amenaza por inundación se utilizarán dos criterios así:

- A. Niveles de Frecuencia de la Amenaza
- B. Magnitud o Intensidad de la Inundación

## **A. NIVELES DE FRECUENCIA DE LA AMENAZA**

Los caudales de los cauces para las diferentes frecuencias de inundación se determinan con base en el estudio hidrológico, en el cual se definen los periodos de retorno o la probabilidad de recurrencia del cauce de esta manera se asigna a cada escenario un nivel de frecuencia en términos cualitativos (ata, media, baja).

### **- FRECUENCIA BAJA**

Son terrenos no afectados por amenaza de inundación o avenidas torrenciales por corrientes de agua, la probabilidad de ocurrencia del fenómeno es inferior al 0.2 %, es decir amenaza por un periodo de retorno de 500 años

Según la Norma Geotécnica de la CDMB se define como: *“Son terrenos no afectados por amenazas de inundación o avenidas torrenciales por corrientes de agua. No existe el riesgo de que área alguna del proyecto sea inundada en la creciente máxima (Período de retorno de 500 años).”*

### **- FRECUENCIA MEDIA**

Son terrenos afectados por amenaza media de inundación por corrientes de agua o avenidas torrenciales, para adelantar la construcción de obras es necesaria la ejecución de un plan de medidas para el control de inundaciones o se establecen condicionantes para el manejo del terreno.

Se considera amenaza media a aquellos terrenos donde el área en la cual se realizará el proyecto no sea inundada durante la creciente máxima de un periodo de retorno de 100 años.

Según la Norma Geotécnica de la CDMB se define como:

*“Son terrenos afectados por amenazas medianas de inundación o avenidas torrenciales por corrientes de agua y para adelantar la construcción de obras es*

*necesaria la ejecución previa de trabajos de control de inundaciones o se establecen condicionantes para el manejo del terreno, orientados a conservar o mejorar su estabilidad natural. No existe el riesgo de que área alguna del proyecto sea inundada en la creciente básica (Período de retorno de 100 años), pero existe el riesgo de que áreas del proyecto sean afectadas por la creciente máxima (período de retorno de 500 años)”.*

**- FRECUENCIA ALTA**

Son terrenos afectados por amenazas graves de inundación o avenidas torrenciales, en estos sitios no debe adelantarse proyectos, debido a que presentan riesgo alto, en estas áreas el terreno se inundara con la creciente básica de un periodo de retorno de 100 años

*“Son terrenos afectados por amenazas graves de inundación o avenidas torrenciales por corrientes de agua en los cuales no se debe adelantar ninguna obra de construcción, debido a que presentan riesgos altos para la vida y bienes de la comunidad, además su recuperación es muy compleja, o demasiado costosa. Se deben destinar a zonas verdes, reforestación o de tratamientos especiales. Existe el riesgo de que algunas áreas del proyecto sean inundadas en la creciente básica (Período de retorno de 100 años)”.*

Tabla 22. Categorización de la Amenaza por Inundación a Partir de la frecuencia del evento amenazante.

Periodo de Retorno	Frecuencia	Categorización
0-100 Años	0-1%	Alta
100-500 Años	1% - 0.2%	Media
>500 Años	< 0.2%	Baja

Fuente: Fuente: Norma Geotécnica CDMB (Resolución 1294 de 2009).

**B. MAGNITUD O INTENSIDAD DE LA INUNDACIÓN (METODOLOGÍA SUFRI).**

La intensidad y los efectos potenciales de las inundaciones dependen de varios aspectos, no solo de aspectos meteorológicos, sino de características del terreno,

como son tipo y uso de suelo, tipo de vegetación, litología, características de drenaje, magnitud y pendiente de la cuenca, etc.

Para establecer el nivel de magnitud o intensidad del evento de inundación se seleccionan los parámetros hidráulicos y sus rangos que definen las características de los flujos en las áreas inundadas (profundidad de inundación, velocidad de flujo, caudal unitario), la clasificación de la amenaza y los rangos de los parámetros hidráulicos se establecen teniendo en cuenta e grado de afectación de personas, viviendas, infraestructura etc.

- **Generalidades de la metodología SUFRI.**

SUFRI = Sustainable Strategies of Urban Flood Risk Management with non-structural measures to cope with the residual risk. (Estrategias sostenibles para la gestión del riesgo de inundación en zonas urbanas con medidas no estructurales frente al riesgo residual).

En los últimos años, las inundaciones tienen lugar de manera más frecuente, con efectos devastadores para el entorno y sus habitantes. Como resultado de la situación actual, en numerosas ciudades europeas la sociedad demanda cada vez más que la seguridad frente a inundaciones pase a ser una prioridad. En el caso particular de zonas urbanas, la protección y retención frente a inundaciones es más problemática que en zonas rurales debido a la limitación de espacio junto con la elevada densidad de población.

Los análisis de inundaciones muestran que las medidas estructurales para su protección tienen una aplicabilidad limitada, de modo que la protección absoluta no es posible.

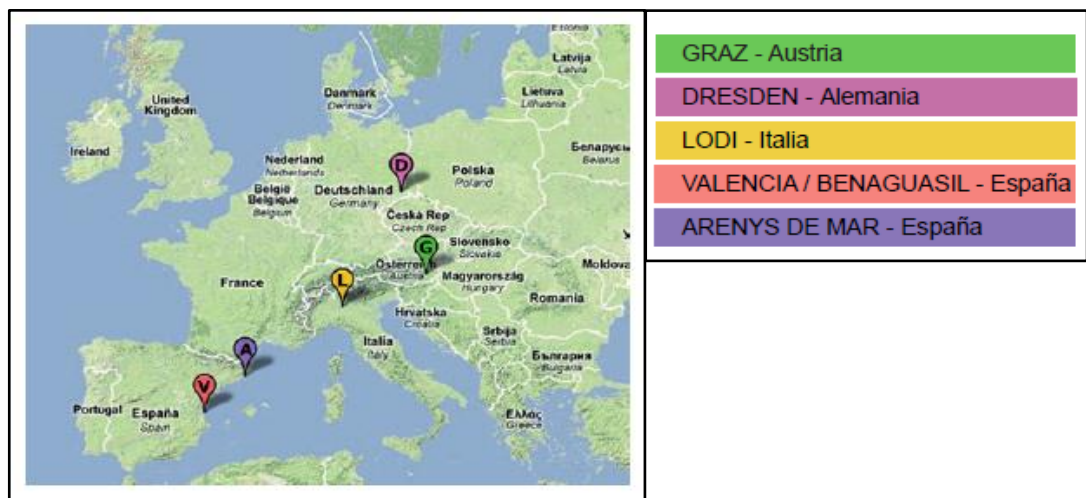
El establecimiento de sistemas de defensa frente a inundaciones contribuye a la reducción del riesgo, sin embargo, el riesgo no puede ser eliminado totalmente.

Por ello, sistemas de predicción, sistemas de alerta, el planeamiento y otras medidas no estructurales pueden ser de gran importancia en la reducción del riesgo existente. Por tanto, surge la necesidad de desarrollar nuevos métodos que permitan la estimación del riesgo (social y económico) y el efecto en riesgo de dichas medidas.

Seis entidades colaboradoras de cuatro países diferentes (Austria, Alemania, Italia y España) participaron dentro de esta iniciativa en el periodo 2009 – 2011, desarrollando el proyecto europeo SUFRI (*Sustainable Strategies of Urban Flood Risk Management with non-structural measures to cope with the residual risk*).

Para alcanzar una gestión constante y efectiva frente a inundaciones, en primer lugar, evaluaron la situación con las medidas estructurales existentes para detectar los puntos débiles del sistema, de la infraestructura de defensa y en la gestión de la crisis. A partir de esta información, evaluaron diferentes escenarios para obtener una estimación de la vulnerabilidad, analizando la interacción en las potenciales consecuencias de la inundación, con el objetivo de mejorar planes y medidas existentes.

Figura 13. Países que desarrollaron la Metodología SUFRI.



Fuente: Folleto Castellano Proyecto SUFRI WP3.

Adicionalmente, se estableció una serie de casos de estudio para analizar procedimientos nacionales, infraestructuras, esfuerzos de rehabilitación, además de la percepción pública del riesgo. El análisis de diversos casos de estudio permitió un enfoque internacional, contrastado y mejorado.

- **Planteamiento de la Metodología.**

La metodología SUFRI propone una clasificación en cinco categorías que se fundamentan en criterios existentes relacionados con las condiciones de exposición de las personas al flujo en términos de estabilidad al deslizamiento, arrastre y vuelco.

Tabla 23. Nivel de Severidad de la inundación.

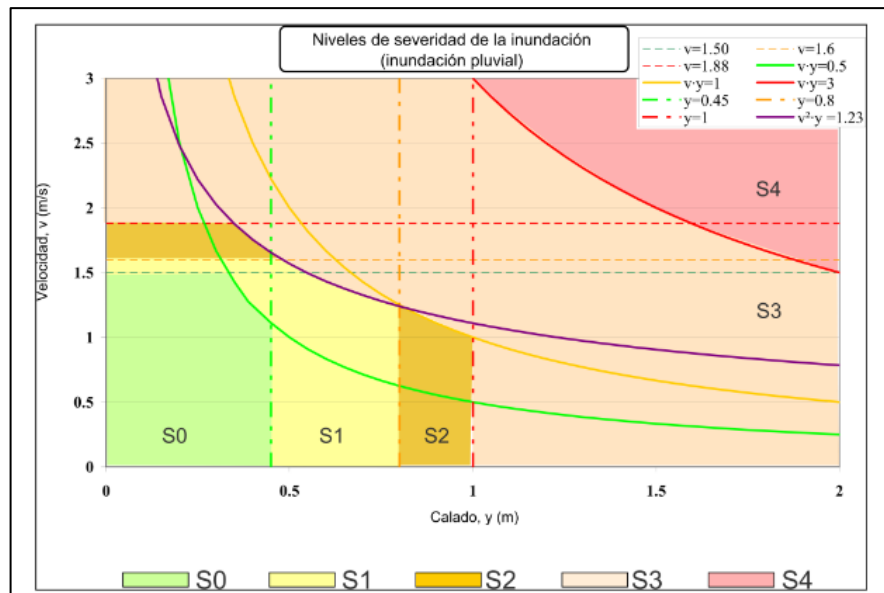
Nomenclatura	Categorización de la Amenaza		Nivel de severidad	Altura lámina de agua y(m)	Velocidad V (m/s)	Vuelco $V^* y$ (m <sup>2</sup> /s)	Desliz $V^2*y$
S0	Muy Baja		No se esperan víctimas	<0.45	<1.50	<0.50	<1.23
S1	Baja		Severidad leve. Peatones pueden sufrir pérdida de estabilidad y dificultades para caminar	<0.80	<1.60	<1.00	<1.23
S2	Media		Severidad media. Significativas pérdidas de estabilidad. Vehículos pierden adherencia	<1.00	<1.88	<1.00	<1.23
S3	Alta		Severidad elevada. Alto riesgo para personas situadas en el exterior. Arrastre	>1.00	>1.88	>1.00	>1.23

Nomenclatura	Categorización de la Amenaza	Nivel de severidad	Altura lámina de agua y(m)	Velocidad V (m/s)	Vuelco $V^* y$ (m <sup>2</sup> /s)	Desliz $V^*2^*y$
		de vehículos				
S4	Muy Alta	Severidad extrema. Daños estructurales a edificios.	>1.00	>1.88	>3.00	>1.23

Fuente: Escuder et all 2010. Proyecto SUFRI

De acuerdo con lo expuesto anteriormente y aplicando la metodología de Escuder et al 2010, la inundación pluvial se caracteriza por poseer cinco niveles de daño a la población en función de la severidad de la amenaza, tomando como variables la profundidad, la lámina de inundación, la velocidad del flujo, y otros criterios.

Figura 15. Interpolación de Niveles de Seguridad para inundación



Fuente: Escuder et all 2010. Proyecto SUFRI.

- **Criterios de severidad aplicados al proyecto en estudio.**

Dependiendo del tipo de inundación existen criterios específicos para determinar la magnitud o severidad de la inundación es así como para inundaciones estáticas se considera la profundidad o altura de flujo mientras que para inundaciones dinámicas se recomienda como criterio tomar el producto de la velocidad por la profundidad del flujo.

Los umbrales de intensidad alta, media y baja se definen con base en la peligrosidad que una determinada columna de agua puede significar para la infraestructura, las viviendas o los pobladores, a continuación, se presentan los rangos de intensidad para cada tipo de inundación.

Tabla 24. Nivel de severidad o magnitud del evento de Inundación

Profundidad Máxima Lámina de agua H (Inundaciones Estáticas)		Profundidad x vol. de flujo (Inundaciones dinámicas.	Categorización de la Intensidad
$H \geq 1.0$		$H * V \geq 1.5$	Alta
$0.50 < H < 1.0$	O	$0.5 < H * V < 1.5$	Media
$0.25 \leq H < 0.5$	y	$H * V < 0.5$	Baja

Fuente Proyecto MET ALARN INTETER/COSUDE 2005

Tabla 25. Determinación del nivel de intensidad de acuerdo con el tipo de inundación

Inundaciones Dinámicas				
Profundidad	1.50 m	0.75	1.50	2.25
	1.00 m	0.50	1.00	1.50
	0.50 m	0.25	0.50	0.75
		0.50	1.00	1.50
		Velocidad (m/s)		
Leyenda de Colores				
		Intensidad Alta		
		Intensidad Media		
		Intensidad Baja		
Inundaciones Estáticas				
Profundidad	$\geq 1.00$ m			
	0.5 – 1.00 m			
	0.25 – 0.50 m			

Fuente Proyecto MET ALARN INTETER/COSUDE 2005

#### - **INUNDACIONES DE ALTA INTENSIDAD**

Por tanto, las inundaciones de alta intensidad corresponden a aquellas que presentan profundidades de flujo mayores a 1m o el producto resultante de la velocidad por altura ( $V \cdot H$ ) es mayor a  $1.5 \text{ m}^2 / \text{s}$ . Los daños causados por una inundación de alta intensidad generalmente son altos en pérdidas de vidas y para la economía.

#### - **INUNDACIONES DE INTENSIDAD MEDIA**

Son aquellas con altura (H) de agua entre 0.5 y 1m o el producto resultante de la velocidad por altura ( $V \cdot H$ ) entre  $0.5$  y  $1.5 \text{ m}^2 / \text{s}$ . Los daños económicos y a la población son menores que en el caso de la inundación intensa, pero no despreciables

#### - **INUNDACIONES DE BAJA INTENSIDAD**

Las inundaciones de baja intensidad corresponden a aquellas con profundidad del flujo superiores a 0.25 m pero inferiores a los 0.5m, o  $V \cdot H$  menor a  $0.5 \text{ m}^2 / \text{s}$ . Los daños asociados son generalmente leves, no se esperan pérdidas en vidas humanas, aunque sí pueden darse pérdidas en áreas de cultivo y animales

**4.8.2.3 Categorización y Zonificación de amenaza por inundación.** La categoría o los intervalos de amenaza por inundación se han obtenido a partir del cruce de los dos criterios expuestos en el presente documento es decir los niveles de amenaza de un área dada, resultan de la relación entre la frecuencia de las inundaciones y su intensidad (es decir de su profundidad o el producto de la profundidad por la velocidad).

En otras palabras, los niveles de amenaza por inundación de un área dada resultan de la relación entre frecuencia de las inundaciones y su intensidad, de esta forma se evalúan ambos aspectos, de relevancia en el grado de daño final que pueda producir una inundación.

Tabla 26. Categorización de Amenaza por Inundación.

			NIVEL DE LA AMENAZA			
			FRECUENCIA DE LA INUNDACION			
			ALTA (TR 1-100)	MEDIA ( TR 100-500)	BAJA ( TR > 500)	
INTENSIDAD	H (M)- V (m/s)	H*V (m2/s)	<b>ALTA</b> H>=1,0 H*V=1,5	ALTA	ALTA	ALTA
			<b>MEDIA</b> 0,5<H<1,0 0,5<H*V<1,5	ALTA	MEDIA	MEDIA
			<b>BAJA</b> 0,25<H<0,5 H*V<0,5	MEDIA	BAJA	BAJA

Fuente Tomada de MET ALARN INTETER y Modificada por Ingeotek B SAS

- **Zonificación de la amenaza por inundación.**

La evaluación final que resultará en el mapa de amenaza del área de estudio, por medio del cual será posible identificar las áreas donde la severidad puede ser mayor, de acuerdo con los efectos pluviales y/o efectos de desbordes, Es decir la categorización de la amenaza tendrá en cuenta dos atributos que son la frecuencia del fenómeno de inundación tomado a partir del periodo de retorno y de otro lado la magnitud o severidad de la misma. Las zonas inundables se clasificarán de la siguiente manera:

- **ZONA DE AMENAZA ALTA**

Son aquellas zonas en donde la inundación de cualquier frecuencia supera 1m o 1.5m<sup>2</sup>/sg. Produciendo graves daños a la población e infraestructura expuesta, también se considera zona de amenaza alta aquella inundación de alta frecuencia con profundidades de agua de 0.5 a 1 m ò 0.5 a 1.5m<sup>2</sup>/sg

#### - **ZONAS DE AMENAZA MEDIA**

Son aquellas zonas donde la inundación de frecuencia alta es menor a 0.5m de lámina de agua, y la inundación de frecuencia moderada es menor a 1m de lámina de agua o a 1.5m<sup>2</sup>/sg y producirá generalmente daños reparables, a viviendas e infraestructura, pero no destrucción total y algunas pérdidas de vida

#### - **ZONA DE AMENAZA BAJA**

Son aquellas zonas donde la inundación de frecuencia moderada no supera los 0.5m de tirante de agua o 0.5m<sup>2</sup>/sg, produciendo daños leves a la población e infraestructura. Las inundaciones de frecuencia baja pueden llegar hasta 1 m pero con condiciones de velocidad bajas.

### **4.9 AISLAMIENTOS EN CAUCES**

#### **4.9.1 Antecedentes Normativos.**

1. Las antiguas Normas Geotécnicas de la CDMB del año 2005, establecía en el artículo 7.5, las siguientes tres categorías en función del caudal de creciente básica:

- a. Cauces principales:  $Q > 100 \text{ m}^3/\text{s}$ . Aislamientos entre 20 y 30 m.
- b. Cauces Secundarios:  $10 < Q < 100 \text{ m}^3/\text{s}$ . Aislamientos entre 10 y 15 m.
- c. Cauces Terciarios:  $Q < 10 \text{ m}^3/\text{s}$ . Aislamientos de 5 m.

2. La última y vigente Norma Geotécnica (Res. 1294 de 2009 de la CDMB), eliminó el cauce terciario y mantuvo las dos primeras categorías y sus respectivos aislamientos; es decir que, para un cauce antiguo Terciario, pasó de 5 m a 10 o 15 m de aislamiento.

3. Dentro del AMB, en el Artículo 18 del Acuerdo Metropolitano No. 013 de 2011, incluye los siguientes aspectos:

- Establece 3 tipos de corrientes, diferenciándolas por su identificación y sector específico, pero no las clasifica en función de caudal.
- Para la identificación de las corrientes de tercer orden, se les otorga 15 m de aislamiento, pero no se define sobre cual caudal se modela para acotar esta franja de protección.
- De acuerdo con lo anterior, falta claridad sobre el periodo de retorno del caudal que sirve de base para establecer el acotamiento del aislamiento.

Estas corrientes de menor caudal, pueden tener un trato especial en lo que respecta a los temas de aislamiento y su potencial canalización y/o rectificación, para que pueda ser incorporada a un proyecto de desarrollo urbano. El objetivo es definir parámetros claros para clasificarla y diferenciarla de las categorías mayores.

#### **Ajuste normativo para casos de aislamiento en corrientes menores.**

En ese orden de ideas, plantemos los siguientes aspectos técnicos para su clasificación y las actividades permitidas y procedimientos a seguir para su implementación o desarrollo dentro de un proyecto urbano:

- a. Corrientes de tránsito de flujo permanente o no permanente, cuyo caudal máximo para periodo de retorno de 100 años, se encuentre entre 1 y 10 m<sup>3</sup>/s.
- b. Se debe conservar un aislamiento mínimo de 5 m, acotados con respecto al nivel del caudal máximo de 100 años, independientemente de las obras de protección marginal o canalización que se proyecten.
- c. Puede tener obras parciales de protección marginal, que mitiguen problemas de la dinámica de la corriente, las cuales no deben afectar la capacidad hidráulica de conducción de la misma y tener estabilidad estructural ante condiciones erosivas de la corriente.

d. La corriente puede ser canalizada en sección abierta, dimensionando la estructura para un periodo de diseño mínimo de 100 años y borde libre del 30%; incorporando sistemas de control de fondo a la entrada y salida del trayecto canalizado. En ningún caso, se reducirá con estas obras, el aislamiento mínimo de 5 m, acotado desde el borde interno de la sección de la estructura.

e. Para los casos justificados en donde se proyecte estructuras sobre la corriente natural o requerimiento particular de canalización en sección cerrada, se debe evaluar y proveer un borde libre adicional de control de obstrucciones o taponamientos del flujo, del 50% de la lámina del agua para el periodo de caudal máximo de 100 años, el cual no debe ser inferior a 0,50 m. En la evaluación de la corriente se debe analizar las condiciones de cobertura vegetal y tipo de suelo y la eventualidad de formación de flujos lodos y transporte de residuos vegetales, los cuales afectan el comportamiento de la corriente, reducen sección hidráulica y conllevan a prever medidas de control hidráulico y de dimensionamiento de la canalización, para que no se presenten problemas en su entorno urbano.

f. Los tramos de canalización integral, pueden ser rectificadas al interior del proyecto urbanístico, incorporando controles hidráulicos a la entrada y salida del tramo canalizado, que permitan la adecuada transición entre la corriente natural y la canalización, mediante estructuras de amortiguación y disipación de energía, así como el respetivo control de fondo para protección de socavación y erosión regresiva, que pueda afectar la estabilidad integral de la canalización.

g. No se debe hacer cruces de redes de servicios públicos o de otros elementos que limiten la sección hidráulica de la corriente; su proyección sobre la zona superior de la corriente, deberá quedar ubicado en forma externa al borde libre, en forma similar a lo establecido para secciones cerradas del literal e.

h. Cualquiera de las actividades y obras que se requieran adelantar deberán cumplir los procedimientos normativos de intervención de cauce, los cuales deben adelantar ante el AMB.

i. Los tramos canalizados deben tener un responsable de la operación y mantenimiento de la infraestructura, el cual deberá quedar establecido durante el trámite del permiso de intervención de cauce.

#### **4.9.2 Aislamientos según CDMB y AMB.**

##### **A. Normas geotécnicas CDMB (Resolución 1294 de 2009).**

La norma geotécnica de la CDMB establece que los cauces principales son los siguientes:

- Río Suratá aguas abajo de la entrega del río Tona.
- Río de Oro aguas abajo de la entrega del río Lato.
- Río Frío aguas abajo de la entrega de la quebrada La Estancia o Aranzoque.
- Todos los ríos con caudal de creciente básica superior a 100 metros cúbicos por segundo.

De igual manera, los cauces secundarios son todos aquellos ríos y corrientes permanentes o no permanentes con caudales máximos para la creciente básica (periodo de retorno de 100 años) inferiores a 100 metros cúbicos por segundo.

Los aislamientos para cauces principales y secundarios deben ser superiores en todos los casos a la mayor de las siguientes distancias.

Tabla 27. Aislamientos en cauces primarios y secundarios

CRITERIO	AISLAMIENTO		OBSERVACIONES
	CAUCE PRIMARIO	CAUCE SECUNDARIO	
Aislamiento mínimo medido desde la corona del talud hasta el muro del cerramiento del proyecto	>30 metros	>15 metros	Este aislamiento debe mantenerse en todos los casos, independientemente de que se construyan diques u obras para el control de erosión y/o de inundaciones.
Aislamiento mínimo medido desde de la línea de avance proyectada de la erosión del río para un periodo de 100 años, hasta el muro del cerramiento del proyecto	>20 metros	>10 metros	Esta restricción no se tendrá en cuenta si previamente a la construcción del proyecto se construyen las obras mínimas para el control de la erosión, a lo largo de la totalidad del borde del cauce frente al proyecto en las dos márgenes de la corriente y las longitudes arriba y abajo del proyecto que se requieran.
Aislamiento mínimo medido desde la línea correspondiente a la cota de inundación de la creciente básica (100 años), hasta el muro del cerramiento del proyecto	>20 metros	>10 metros	---
Proyectos de potencial de riesgo A y B.	El proyecto debe localizarse por arriba de una cota mínima correspondiente a la cota de inundación de la creciente básica (100 años) más una altura correspondiente a un 20% de la altura hidráulica del cauce.		El análisis hidráulico debe contemplar sobre-elevaciones de la lámina de agua por curvatura.

Fuente: Fuente: Norma Geotécnica CDMB (Resolución 1294 de 2009) – Capítulo VII, Numerales 7.5.1 y 7.5.2.

- Observaciones:

- Cauces Primarios: Todos los ríos con caudal de creciente básica superior a 100 metros cúbicos por segundo.

- Cauces Secundarios: Todos los ríos con caudales entre 10 y 100 metros cúbicos por segundo para la creciente básica.

- Cauces Terciarios: Son los demás cauces y corrientes permanentes o no permanentes que no se encuentran en el grupo de los primarios o secundarios, con caudales máximos para la creciente básica inferior a 10 metros cúbicos por segundo.

- Proyectos de potencial de riesgo A:

- Proyectos de uso socialmente sensitivo, tales como escuelas e instituciones de educación, instituciones hospitalarias, estaciones de bomberos o donde se involucren servicios públicos.
- Proyectos de Vivienda con densidad superior a 12 unidades de vivienda por hectárea.
- Proyectos cuyo uso involucre reunión masiva de personas, con presencia ocasional o permanente de más de 60 personas por hectárea.
- Viaductos y proyectos de transporte masivo de personas.

- Proyectos de potencial de riesgo B:

- Proyectos de uso medianamente sensitivos o que no involucran reunión masiva de personas (presencia permanente de menos de 60 personas por hectárea).
- Proyectos de vivienda con densidad inferior a doce unidades de vivienda por hectárea.
- Vías de transporte terrestre.

**B. Norma AMB (Acuerdo Metropolitano No. 013 de 2011).**

Como se mencionó en anteriormente, mediante esta normatividad se definieron los lineamientos de ordenamiento metropolitano para los municipios que conforman el área metropolitana. Y adicionalmente se establecen los criterios para el manejo de suelos de Protección Ambiental.

En el artículo 18 se precisa que forman parte del sistema ambiental metropolitano los corredores forestales de protección, las zonas de manejo especial, las zonas

de protección de ladera y las zonas recreativas privadas. Los cuales conforman el Subsistema Hídrico y el Subsistema de Parque metropolitanos.

La siguiente es la clasificación de los cauces primarios y secundarios según sus sistemas hídricos:

Tabla 28. Clasificación de los cauces según el Acuerdo Metropolitano No. 013 de 2011.

TIPO DE CAUCE	SISTEMAS CONTENIDOS
CAUCES PRIMARIOS	Rio Surata aguas debajo de la entrega de rio Tona Rio de Oro aguas debajo de la entrega del rio Lato Rio Frio debajo de la entrega de la quebrada La Estancia o Aranzoque
CAUCES SECUNDARIOS	Rio Lato Rio Tona Rio Negro Rio Playonero Quebrada la Estancia o Aranzoque Quebrada Zapamanga Quebrada de la Iglesia

Fuente: Acuerdo Metropolitano 013 de 2011 (Artículo 18).

La delimitación de las rondas de protección se realiza de acuerdo con los siguientes criterios como mínimo:

Tabla 29. Delimitación de las rondas hídricas de protección.

TIPO DE CAUCE	RONDA HIDRICA DE PROTECCION A CADA LADO DE CAUCE (M)	ZONA DE MANEJO DEL ESPACIO PÚBLICO (M)	PERFIL TOTAL A CADA LADO DEL CAUCE (M)
CAUCES PRIMARIOS	30	20	50
CAUCES SECUNDARIOS	20	10	30
CAUCES TERCARIOS	15	No Aplica	15

Fuente: Acuerdo Metropolitano 013 de 2011 (Artículo 18).

- Teniendo en cuenta la anterior clasificación de los aislamientos de las rondas de protección, se observa que no se precisa sobre cuál período de retorno se debe

acotar la ronda hídrica, lo cual no permite saber con claridad desde dónde se deben medir los aislamientos.

#### 4.9.3 POT municipales.

##### **A. POT de Bucaramanga (Acuerdo No 011 del 21 de Mayo de 2014).**

El POT de Bucaramanga señala en el Artículo 297, que La clasificación de las corrientes hídricas se acoge a lo determinado en la Resolución 1294 de 2009 expedida por la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), manual de normas geotécnicas o la norma que la modifique, adicione o sustituya, donde se establezcan las clases de cauces.

De igual manera, se indica que los tipos de cauces son los siguientes:

Tabla 30. Clasificación de los cauces según el POT de Bucaramanga

TIPO DE CAUCE	SISTEMAS CONTENIDOS
Cauces Primarios	Río Suratá Río de Oro
Cauces Secundarios	Quebrada La Iglesia

Fuente: POT de Bucaramanga (Acuerdo No. 011 de 2014), Artículo 297.

La siguiente es la delimitación del sistema hídrico de protección del sector urbano de Bucaramanga según el actual Plan de Ordenamiento Territorial (POT).

Tabla 31. Delimitación de las rondas hídricas de protección y de las zonas de manejo del espacio público en áreas urbanas de Bucaramanga según el POT.

TIPO DE CAUCE	RONDA HÍDRICA DE PROTECCIÓN A CADA LADO DEL CAUCE (m)	ZONA DE MANEJO DEL ESPACIO PÚBLICO (m)	PERFIL TOTAL A CADA LADO DEL CAUCE (m)
Cauces Primarios	30	20	50
Cauces Secundarios	20	10	30
Cauces Terciarios	15	No aplica	15

Fuente: POT de Bucaramanga (Acuerdo No. 011 de 2014), Artículos 297 y 298.

Las zonas de manejo de espacio público pueden contener lugares de estancia, recreación, senderos peatonales, ciclorrutas y vías vehiculares.

• **Observaciones:**

- Distancia medida desde la cota máxima de inundación.
- Para el caso del Río Suratá se deben realizar los estudios para la determinación de la cota máxima de inundación.
- Es importante mencionar que dentro del POT de Bucaramanga no se precisa el período de retorno de la cota máxima de inundación; el cual podría ser de 100 o 500 años.

**B. POT de Floridablanca (Decreto No. 0068 de 2016).**

Esta norma establece que las rondas de protección son bienes de uso público destinadas a la conservación y preservación de los recursos naturales. El uso que deben tener estas áreas es el de atender el bien colectivo, estar destinadas al beneficio común y su fin principal es el de garantizar la permanencia de las fuentes hídricas naturales, debidamente integradas a la estructura urbana como elementos paisajísticos y recreativos de uso público.

A continuación, se presenta la clasificación de los sistemas hídricos para el municipio de Floridablanca.

Tabla 32. Clasificación de los cauces para el municipio de Floridablanca.

TIPO DE CAUCE	DEFINICIÓN	SISTEMAS CONTENIDOS	
Cauce Primario	Corresponde a los ríos determinados como principales por su caudal y longitud.	Río Frío Quebrada Aranzoque-Mensulí	
Cauce Secundario	Corresponde a las quebradas principales afluentes de los sistemas primarios.	Quebrada Zapamanga Quebrada Suratoque Quebrada Agua Blanca Quebrada Judía Grande Quebrada Guayanas	Quebrada La Cuellar Quebrada Ruitoque Quebrada Judía Chica Quebrada Carbona
Cauce	Corresponde a las quebradas	Quebrada La Calavera	Quebrada Mojarras

Terciario	secundarias o escorrentías menores afluentes de los sistemas primarios y secundarios que deben ser reductos ambientales con uso restringido por su fragilidad.	Quebrada Penitente Quebrada Pilas Quebrada Palmichal Cascada Sector no canalizado quebrada La Ronda Otras corrientes menores que no se encuentren canalizadas	Quebrada Batatas Quebrada Las Viñas Quebrada La
-----------	--	--	---

Fuente: POT de Floridablanca (Decreto No. 0068 de 2016), Artículo 27.

Las rondas de protección deberán ser ratificadas por la Autoridad Ambiental con base en estudios realizados en forma conjunta por el Municipio con las demás entidades del sistema ambiental. Además, es prioritaria la intervención en aquellos puntos en donde se presentan conflictos, debido a la ocupación por construcciones o al encerramiento ejecutado por particulares. También es esencial la demarcación en zonas de alto riesgo por inundación para ser incorporadas a la ronda de manejo.

Las siguientes son las dimensiones del sistema hídrico, a partir de cada una de las tres categorías asignadas a las corrientes hídricas:

Tabla 33. Dimensiones del sistema hídrico y la zona de manejo del espacio público en el área urbana, de expansión y suburbana para Floridablanca.

TIPO DE CAUCE	RONDA HÍDRICA DE PROTECCIÓN	ZONA DE MANEJO DEL ESPACIO PÚBLICO COMPLEMENTARIA	PERFIL TOTAL
Cauce Primario	30 m a cada lado del cauce medido desde la cota de inundación determinada por el estudio.	20 m a un lado de la ronda hídrica según lo defina el Plan Maestro.	50 m a cada lado del cauce
Cauce Secundario	20 m a cada lado del cauce medido desde la cota de inundación determinada por el estudio.	10 m a un lado de la ronda hídrica según lo defina el Plan Maestro	30 m a cada lado del cauce
Cauce Terciario	15 m a cada lado del cauce medido desde la cota de inundación determinada por el estudio.	No Aplica	15 m a cada lado del cauce

Fuente: POT de Floridablanca (Decreto No. 0068 de 2016), Artículo 30.

- En el POT de Floridablanca tampoco se precisa el período de retorno de la cota máxima de inundación.

**C. POT de Girón (Acuerdo No 100 del 30 de Noviembre de 2010).**

En el POT de Girón se resalta la importancia de las rondas hídricas de protección, indicando que gracias a la masa vegetal localizada en estas áreas, les permite actuar como reguladoras del sistema hídrico de los municipios, permitiendo mantener niveles aceptables en épocas de verano disminuyendo la evapotranspiración de la corriente producida por la radiación solar; y en épocas de aguas altas permiten preservar los taludes de la erosión lateral del cauce, convirtiéndose en barrera de protección contra las naturales y periódicas avenidas de ríos y quebradas regulando las inundaciones.

A continuación, se presentan los sistemas hídricos contenidos dentro de los tipos de cauces para el municipio de Girón.

Tabla 34. Clasificación de los cauces para el municipio de Girón.

TIPO DE CAUCE	DEFINICIÓN	SISTEMAS CONTENIDOS
Cauce Primario	Corresponde a los ríos determinados como principales por su caudal y longitud.	Río de Oro Río Frío Río Sogamoso Río Sucio
Cauce Secundario	Corresponde a las quebradas principales afluentes de los sistemas primarios.	Quebrada La Iglesia
Cauce Terciario	Corresponde a las quebradas secundarias o escorrentías menores afluentes de los sistemas primarios y secundarios que deben ser protegidos por su fragilidad.	Las Corrientes restantes del sistema hídrico municipal.

Fuente: POT de Girón (Acuerdo No 100 de 2010), Artículo 66.

El sistema hídrico de protección para Girón queda dimensionado para el sector urbano de la siguiente manera:

Tabla 35. Dimensionamiento de rondas hídricas de manejo – sector urbano para Girón.

TIPO DE CAUCE	RONDA HÍDRICA DE PROTECCIÓN A CADA LADO DEL CAUCE (m)	ZONA DE MANEJO DEL ESPACIO PÚBLICO (m)	PERFIL TOTAL A CADA LADO DEL CAUCE (M)
Cauce Primario	30	20	50
Cauce Secundario	20	10	30
Cauce Terciario	15	No Aplica	15

Fuente: POT de Girón (Acuerdo No 100 de 2010), Artículo 69.

- No se precisa sobre cuál período de retorno se debe acotar la ronda hídrica.

#### ***D. PBOT de Piedecuesta (Acuerdo 028 de 2003).***

El PBOT de Piedecuesta señala que el sistema hídrico del suelo urbano de Piedecuesta está conformado por ríos y quebradas que cruzan en dirección oriente – occidente, ayudando a conformar de forma estructural e imponente la malla ambiental, y el espacio público municipal, lo que conforma una malla de afectaciones ambientales.

Por lo tanto, las Afectaciones Ambientales son los sectores determinados como elementos constitutivos del sistema de protección ambiental del Municipio (naturales o artificiales). Esta afectación será determinada de acuerdo al tipo de elemento constitutivo que tenga influencia sobre el suelo que se desarrolla, de la siguiente manera:

Tabla 36. Dimensionamiento de rondas hídricas de manejo – sector urbano para Piedecuesta.

ELEMENTO	ANCHO DE RONDA A CADA LADO DE LA COTA MÁXIMA DE INUNDACION
Quebradas: La Palmira, Villa Concha, Villanueva, Mata Guadua, Barroblanco. Cuenta dentro del perímetro urbano.	15 mts a cada lado del cauce, como mínimo, incluyendo su cauce dentro de límite urbano.
Río Lato, y río de Oro todo el trayecto desde su nacimiento en el macizo Santandereano hasta	30 mts a cada lado del cauce, como mínimo y 20 mts más para manejo de espacio público

los límites dentro de la circunscripción del territorio de Piedecuesta.	urbano dentro del límite de circunscripción del perímetro urbano.
Las Quebradas Suratoque y El Diamante. Dentro del perímetro urbano.	15 mts a cada lado del cauce, como mínimo y 20 mts más para manejo de espacio público urbano dentro del límite de circunscripción del perímetro urbano.
Demás quebradas dentro del trayecto urbano canalizadas actualmente y no canalizadas: Parte de la Suratoque.	Lo define la autoridad ambiental.
Humedales, ríos y lagunas.	100 mts en radio.
Nacimientos de agua.	100 mts de radio.

Fuente: PBOT de Piedecuesta (Acuerdo No 028 de 2003), Artículo 92 - literal B.

## **5. EJEMPLO PRÁCTICO**

En este capítulo se aplicarán los lineamientos elaborados en los capítulos anteriores a un sector que cuente con estudios geotécnicos, de tal manera que se puedan evaluar los niveles de amenaza, vulnerabilidad y riesgo.

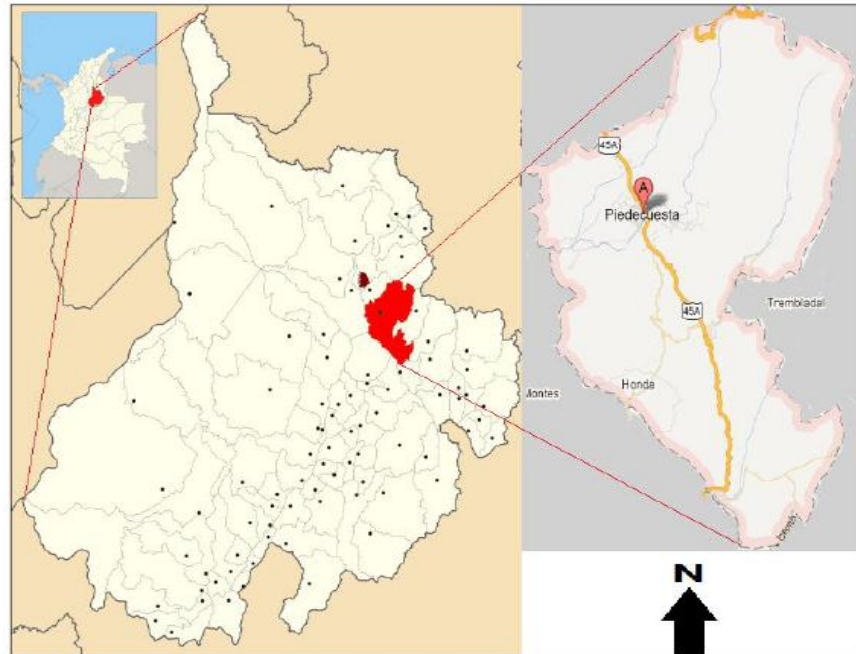
Para lograr este objetivo se tomó como ejemplo el Estudio Detallado de Amenaza y Riesgo por Fenómenos de Remoción en Masa o Inundación para la construcción del proyecto de vivienda Flores 1, 2 y 3 Condominio, ubicado en el municipio de Piedecuesta, Santander, perteneciente a la jurisdicción del Área Metropolitana de Bucaramanga.

El estudio fue desarrollado en Noviembre de 2014 por JC Laboratorios y Geotecnia SAS y revisado por el ingeniero Geotecnista Jorge Alfredo Camargo Amado. El Área Metropolitana realizó el seguimiento y expidió los lineamientos ambientales del proyecto.

### **5.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO**

El predio objeto de estudio se encuentra localizado en la carrera 2ª entre calles 11,12, 13 y 14, dentro del perímetro urbano del Municipio de Piedecuesta en el departamento de Santander.

Figura 16. Localización regional del sector en estudio.



Fuente: EDARFRI Proyecto de Vivienda Las Flores.

Figura 17. Localización local del proyecto en el municipio de Piedecuesta.



Fuente: EDARFRI Proyecto de Vivienda Las Flores – Piedecuesta.

Figura 18. Localización del predio objeto de estudio.



Fuente: EDARFRI Proyecto de Vivienda Las Flores – Piedecuesta.

## 5.2 GENERALIDADES

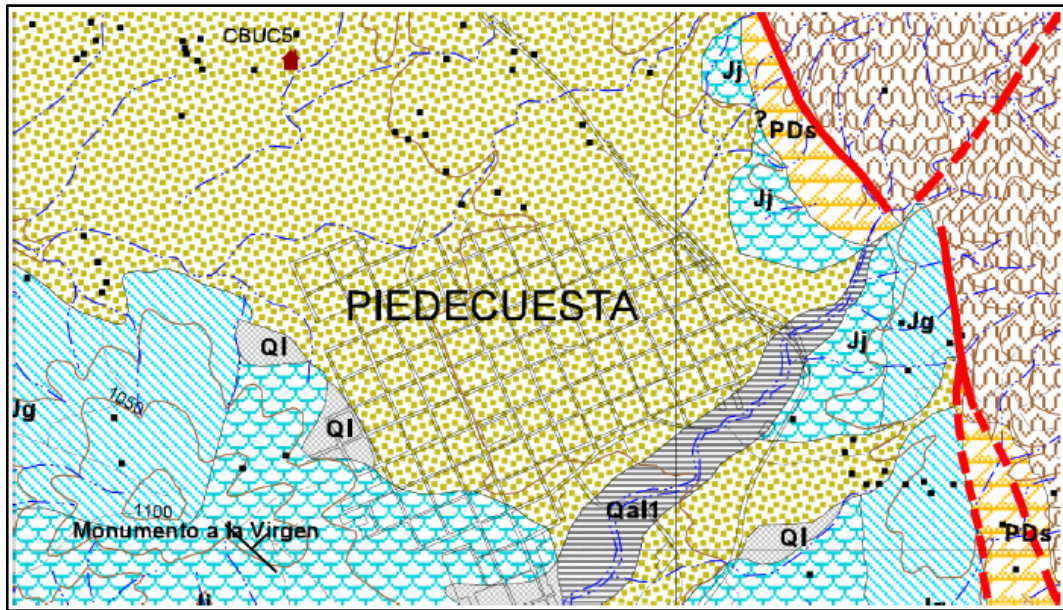
Las características urbanísticas del proyecto, de acuerdo al PBOT Municipal, clasifican esta área como suelo URBANO, el lote se encuentra cercano a una zona de elevación mayor y prominente asociada a las estribaciones del cerro conocido como la cantera, el cual está cubierta por zonas urbanizadas, algunos rastrojos altos, bosques y pastos, con proyección de obras de construcción, drenaje y vías para disminuir la susceptibilidad a problemas de erosión superficial, como también drenajes superficiales a escala de micro cuenca; por lo que es procedente la realización del estudio detallado de amenaza y riesgo por fenómenos de remoción en masa e inundación (EDAFRI), de acuerdo a lo establecido en el decreto N° 0045 del 02 de Mayo de 2012.

La realización del estudio y la planificación del proyecto tuvo en cuenta la reglamentación existente para su óptimo desarrollo, dentro de las cuales cabe mencionar las normas Geotécnicas de la CDMB (2009), la reglamentación pertinente establecida por el Plan de Ordenamiento Territorial y los requisitos exigidos por el Decreto 926 de 2010 (Norma Sismo Resistente NSR-10, Título H).

### 5.3 MODELO GEOLOGICO GEOTECNICO

**5.3.1 Geología regional.** La presente geología regional se basa en el estudio de la Zonificación Sismogeotécnica Indicativa del Área Metropolitana de Bucaramanga del 2001 y la Memoria Geológica de los Cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona del Boletín geológico de INGEOMINAS del año 1973 (Figura 18).

Figura 19. Mapa geológico regional (escala 1:100.000), en el cual se encuentran localizadas todas las unidades geológicas mayores de la región aledaña a Piedecuesta



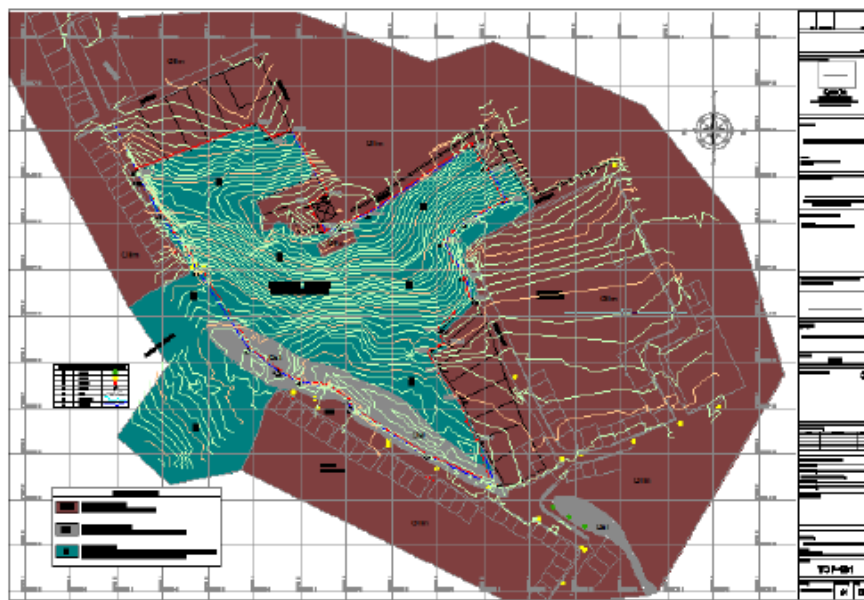
Fuente INGEOMINAS

En la Figura 18, están representadas todas las unidades litoestratigráficas mayores, que ordenadas geocronológicamente del más antiguo al más reciente, son las siguientes: Neis Bucaramanga (PCab), Formación Silgará (PDs), Formación Bocas (TRb), Granito de Pescadero (JTRgp), Cuarzo-monzonita La Corcova (JTRcl), Formación Jordán (Jj), Formación Girón (Jg), Formación Los Santos (Kita), Terrazas y cono de deyección (Qtf) y Aluvión (Qal).

**5.3.2 Geología local.** Las siguientes descripciones y observaciones son el producto de la identificación en campo de aspectos necesarios para el desarrollo de este proyecto generados por la comisión de campo de JC Laboratorios y Geotecnia, basados en las revisiones bibliográficas realizadas en la fase de pre-campo en el área de influencia del presente estudio.

Con la información de la geología regional ya descrita, en la presente geología local solo se describirán las unidades geológicas con solo lo visto y determinado en campo.

Figura 20. Modelo Geológico del Lugar en estudio (ver plano anexo).



Fuente: EDARFRI Proyecto de Vivienda Las Flores – Piedecuesta.

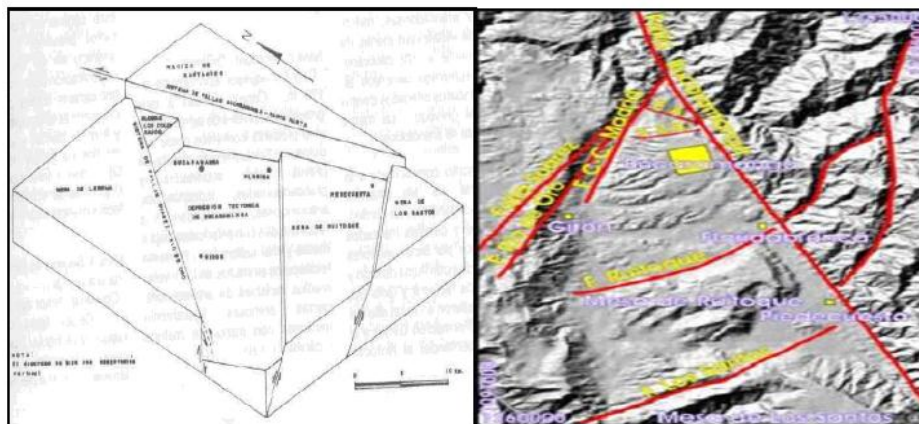
**5.3.2.1 Neis Bucaramanga (PEb).** En la zona del piedemonte del macizo de Santander la unidad del Neis Bucaramanga presenta un grado de fracturamiento natural alto producido por la zona de cizallamiento de falla Bucaramanga, con la presencia de espejos de falla bien marcados.

**5.3.2.2 Formación Jordán (J).** Capas potentes (del orden de metros) de limolitas pardo rojizas con presencia de abundante muscovita de tamaño fino, masiva, lodosoportada, dura, oxidada, muy fracturada, con buzamiento hacia el occidente.

**5.3.2.3 Depósitos de Cono de Deyección o de Flujo de Escombros (Qtf).** Son los depósitos de piedemonte de origen fluvio-torrencial y gravitacional, provenientes principalmente de la denudación de los materiales alterados que componen el Neis de Bucaramanga,

**5.3.3 Geología estructural.** El área estudiada para el predio ubicado en la carrera 2ª entre calles 11,12, 13, Municipio de Piedecuesta y se encuentra estructuralmente influenciada por la Falla Bucaramanga ubicada al oriente del predio. (Ver Figura 20).

Figura 21. Modelo Tectónico y Mapa de sombras generado a partir del modelo digital de terreno, donde se aprecia la expresión morfoestructural de la Falla Bucaramanga y Suárez - Río de Oro. Fuente: (Revista Facies – U.I.S. 1994) y Estudio de Amenaza del Ingeominas, respectivamente.



Fuente: EDARFRI Proyecto de Vivienda Las Flores – Piedecuesta.

Los rasgos estructurales más importantes identificados fotogeológicamente y en campo son los microplegamientos del Neis Bucaramanga en el área cercana a la

Falla Bucaramanga junto con alto grado de fracturamiento producido por la cizalla anteriormente mencionada y rocas totalmente frescas (meteorización grado I).

#### **5.3.4 Geomorfología.**

**5.3.4.1 Marco General.** Se clasifico geomorfológicamente el área en estudio la cual pertenece al sector en la carrera 2ª entre calles 11,12, 13, Municipio de Piedecuesta y es aledaño a los barrios Villas del Rosario, Proyecto Zafiro, Barrio Bellavista y Cementerio de Piedecuesta de la zona urbana del municipio de Piedecuesta.

**5.3.4.2 Indicadores geomorfológicos.** Los indicadores geomorfológicos son aquellos aspectos relacionados con la forma y morfometría del paisaje que permiten deducir su origen, evolución y posibles amenazas que lo modifiquen. Formas del paisaje tales como depresiones, abertura de grietas y escarpes prominentes, son en muchas ocasiones indicadores de fallas locales y regionales. Otro caso son las Colinas residuales, Escarpes denudacionales, Deslizamientos, cárcavas, Tierras Malas, Terracetas, entre otras geoformas, representan ciclo de denudación del paisaje. Mientras, los Cauces actuales, Llanuras de inundación, Terrazas aluviales, Barras de arena, meandros y otras geoformas relacionadas con la actividad aluvial, demuestran el poder erosivo y de depositación de las corrientes fluviales.

**5.3.4.3 Resultados.** A partir del análisis e interpretación de la información indirecta (imágenes satelitales y fotografías) y de las observaciones de campo, se distinguieron las siguientes unidades geomorfológicas homogéneas. El relieve y las litologías están bien definidos para el área de estudio por medio de mapas topográficos de detalle por ser un área urbana y mapas geológicos completos publicados por el Servicio Geológico y corroborados en campo con mayor detalle. Mientras que los procesos erosivos y deposicionales se determinaron por medio

de las imágenes, las fotografías y las observaciones detalladas de campo. El resultado final es el presente informe y al mapa geomorfológico anexo.

- **Morfometría.** El análisis de pendiente es la parte de la geomorfología que representa la descripción cuantitativa de características del terreno como longitud, inclinación y altura de laderas dentro del cual se puede dar a conocer aspectos generales sobre la Morfometría en la zona de estudio, los rangos de análisis se muestran en la tabla 40 los cuales son tomados del Decreto municipal 0045 de 2012.

Tabla 37. Rangos Morfo métricos usados.

<b>TABLA DE PENDIENTES</b>			
<b>COLOR</b>	<b>RANGO</b>	<b>Area (m<sup>2</sup>)</b>	<b>% Area</b>
<b>1</b>	<b>0.00% - 3.00%</b>	<b>1838.58</b>	<b>2.84%</b>
<b>2</b>	<b>3.00% - 7.00%</b>	<b>1220.66</b>	<b>1.88%</b>
<b>3</b>	<b>7.00% - 12.00%</b>	<b>5408.22</b>	<b>8.35%</b>
<b>4</b>	<b>12.00% - 25.00%</b>	<b>12873.32</b>	<b>19.86%</b>
<b>5</b>	<b>25.00% - 50.00%</b>	<b>14924.36</b>	<b>23.03%</b>
<b>6</b>	<b>50.00% - 75.00%</b>	<b>12405.90</b>	<b>19.14%</b>
<b>7</b>	<b>&gt; 75.00%</b>	<b>16135.30</b>	<b>24.90%</b>
	<b>TOTALES</b>	<b>64806.34</b>	<b>100%</b>

Fuente: EDARFRI Proyecto de Vivienda Las Flores – Piedecuesta.

Este mapa fue desarrollado a partir de la topografía preexistente de escala 1:500. A su vez, este se realizó a partir de la asignación de valores en porcentaje, donde se establecieron las clases temáticas respectivas. Principalmente el terreno es inclinado (0-3%) y fuertemente inclinado (7-12%) para la zona donde se encuentra planteado el diseño y la construcción de la edificación de uso residencial, de acuerdo a lo mostrado en el plano morfométrico (ver Anexos).

Figura 22. Mapa de pendientes.



Fuente: EDARFRI Proyecto de Vivienda Las Flores – Piedecuesta.

- **Morfogénesis.** La geomorfología es el estudio de la forma de la tierra relacionado a transformaciones litológicas, suelo, drenaje y tectónica, aunque dichos procesos se agrupan en dos, exógenos y endógenos que son los que se relacionan en la zona de estudio.

Para la zona de estudio, el origen principal de las geoformas se debe principalmente a la cercanía con la falla de Bucaramanga – Santa Marta al oriente por lo cual predominan formas de origen fluvial, origen estructural, denudacional (Cerro de La Cantera) y de origen Neotectónico (Zona de La Cantera). Para la presente morfogénesis se toma en cuenta los parámetros presentados en la zonificación del Ingeominas.

- **Descripción de las unidades.** Se distinguió cuatro tipos de formas del relieve de origen fluvial, estructural denudacional y neotectónico, aunque ha tenido cierta intervención antrópica por el desarrollo urbanístico.

Fotografía 1. Localización de las unidades geomorfológicas en la zona de estudio.



Fuente: EDARFRI Proyecto de Vivienda Las Flores – Piedecuesta.

- **Unidades de Origen Aluvial.** Son aquellas geoformas diseñadas y hechas por la acción de flujos torrenciales, inundación de ríos en zonas planas y valles.

**a) Cauce o lecho actual del Río (F1).**

Conforman el dominio del cauce actual de las corrientes de agua, incluyendo las vegas más recientes y barras torrenciales.

- **Unidades de Origen Denudacional.** Se localiza al suroriente del predio en estudio y tiene una relación intrínseca con el sistema de fallamiento y características asociadas.

**a) Laderas subhorizontales (D6).** Superficie natural suavemente inclinada del terreno con pendientes menores a  $10^\circ$ , ligeramente disectada, donde se desarrollan suelos residuales.

**b) Laderas muy inclinadas (D10).** Superficie natural del terreno, cuyas laderas son muy empinadas con inclinaciones entre 40° y 70°, alargadas y rectilíneas, parcialmente cubiertas por depósitos de ladera.

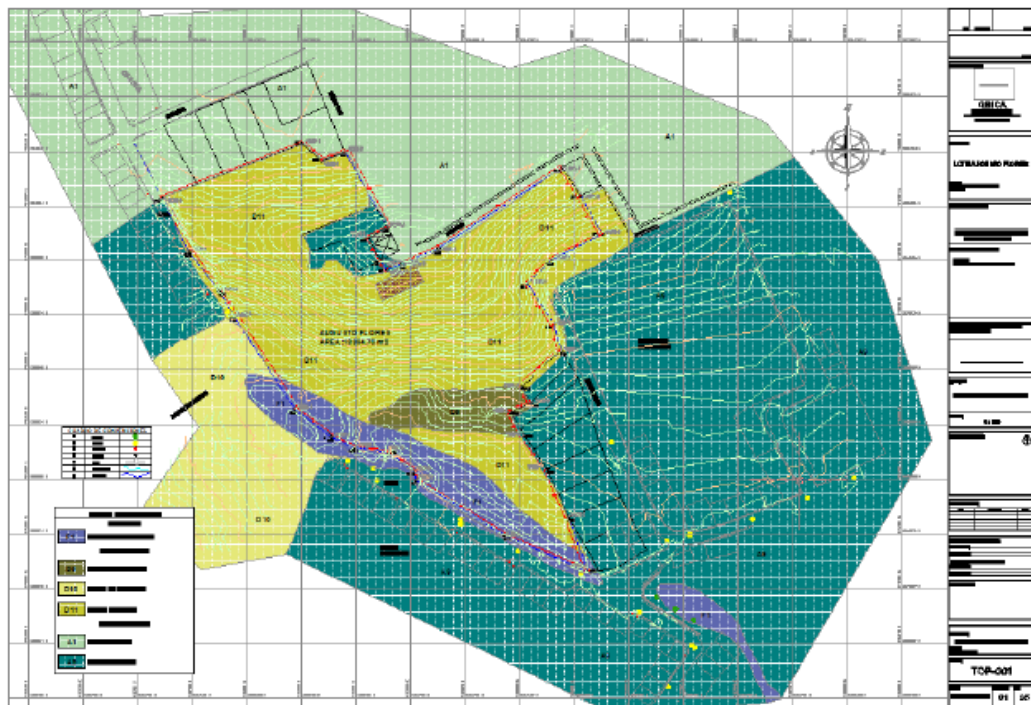
**c) Laderas moderadas (D11).** Laderas onduladas con pendientes inclinadas entre 10° y 40°. Por lo general presentan buena cobertura vegetal.

**- Unidades de Origen Antrópico.**

**a) Cimas explanadas (A1).** Superficies resultantes de explanaciones realizadas mecánicamente sobre lomos o colinas confines urbanísticos o de infraestructura.

**b) Laderas explanadas (A9).** Cortes en laderas para disminuir su pendiente, con el fin de adecuar el terreno para la construcción de vivienda u obras de infraestructura.

Figura 23. Mapa Geomorfológico. Ver Anexos.



Fuente: EDARFRI Proyecto de Vivienda Las Flores – Piedecuesta.

**5.3.5 Hidrología y vegetación.** Las características hidrológicas y de vegetación presentadas en el área correspondiente al predio de interés está determinadas por la geomorfología del terreno y la composición litológica del mismo, las cuales determinan las propiedades mecánicas, físicas e hidráulicas de los suelos y unidades litológicas, y estas a su vez las respectivas características geotécnicas de interés.

**5.3.5.1 Clima.** Piedecuesta se localiza ecológicamente en el bosque seco tropical con transición al fresco húmedo pre-montano. El piso térmico sobre el cual se encuentra la ciudad es templado con variaciones importantes de temperatura. La temperatura media de la ciudad es de 22°C.

**5.3.5.2. Vegetación.** La vegetación es abundante hacia el oriente del predio de estudio en las laderas e estribaciones del macizo de Santander, con algunas zonas de cultivo y pastos, hacia el occidente donde se ubica el municipio predominan las construcciones de uno y dos niveles, por lo cual es escasa la vegetación, aunque cabe indicar que las atribuciones arquitectónicas de los sectores aledaños contemplan jardines al frente de cada vivienda lo que hace que exista dentro de los predios construidos ciertas zonas verdes y arboles ornamentales y frutales no superiores al 30% del total de área en uso.

**5.3.5.3. Drenaje e infiltración.** Los suelos sub-superficiales presentan una capacidad de infiltración media a alta. Sin embargo, en el lugar de estudio predominan zonas duras, por ello la mayor parte de la escorrentía es captada por el sistema de alcantarillado de la zona. Por otro lado, la infiltración puede ser generada por pequeños escapes de los diferentes sistemas de alcantarillado y acueducto, además de la infiltración propia que ocurre en los pocos lugares de vegetación tales como jardines y patios internos, pero esta tiende a no ser tan significativa ya que como se vio en las perforaciones, los estratos de suelo están secos y con humedades relativamente bajas.

Fotografía 2. Localización del caño, donde se recolecta el agua de escorrentía proveniente del drenaje natural localizado en el cerro.



Fuente: EDARFRI Proyecto de Vivienda Las Flores – Piedecuesta.

**5.3.5.4. Nivel freático.** De acuerdo a las perforaciones geotécnicas del presente estudio únicamente se halló nivel freático en la zona donde se realizó el sondeo número diez (10), ya que se encuentra bastante cerca de una fuente hídrica, dicha perforación se realizó hasta una profundidad de investigación de 10.0m.

Las humedades naturales que se midieron en el área estudiada a partir de las muestras extraídas en las perforaciones fueron las siguientes: La mínima humedad hallada fue del 7.26% y una máxima del 22.52%.

**5.3.5.5 Condiciones hidrológicas.** En el Municipio de Piedecuesta se presenta dos periodos lluviosos y dos secos: el lluvioso comprende los meses de marzo, abril y mayo, para la primera época, y septiembre, octubre y noviembre para la segunda. Las épocas secas están determinadas por los meses de diciembre, enero y febrero y los meses de junio, julio y agosto.

Las precipitaciones máximas mensuales para el Municipio son de 175.1 milímetros (mm) y se registran en el mes de abril, en tanto que los meses de menor precipitación son agosto y diciembre cuando alcanza sólo los 86.7 mm. En resumen, el promedio anual de precipitación para el Municipio es de 1.568 mm.

Las precipitaciones varían con la altura: pasan de convectivas, en el piedemonte, a orográficas en los climas medios, y posteriormente pasan a precipitaciones horizontales en la zona más alta (3.000 msnm), con un decaimiento sustancial del volumen.

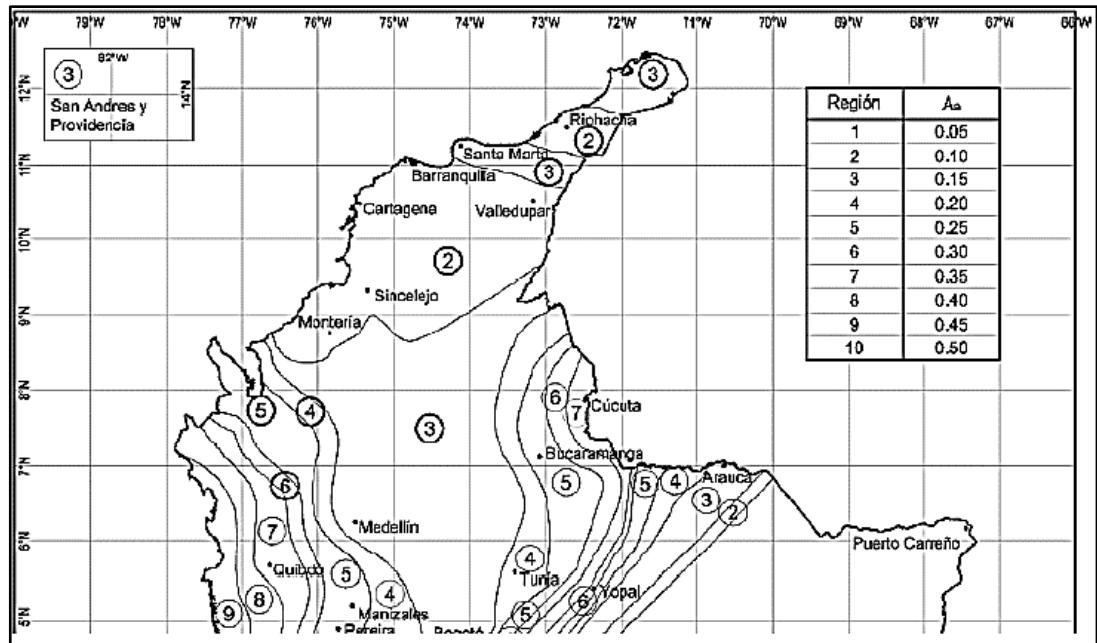
#### **5.4 SISMOLOGÍA.**

En el desarrollo del presente estudio, se analizaron condiciones especiales del subsuelo, entre los que se encuentran parámetros base para el Diseño Estructural.

**5.4.1 Amenaza sísmica según la Norma NSR-10.** Según las normas Colombianas de Diseño y Construcciones Sismo Resistente, NSR-10 el Municipio de Piedecuesta se encuentra en la región 5. (Ver Figura A.2.3-2 — Mapa de valores de  $A_a$ , Figura A.2.3-3 - Mapa de valores de  $A_v$  y Tabla A.2.3-1 Nivel de amenaza sísmica según valores de  $A_a$  y de  $A_v$ ). 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  $A_a$  y  $A_v$ ).  $A_a$  = coeficiente que representa la aceleración horizontal pico efectiva, para diseño, dado en A.2.2.

$A_v$  = coeficiente que representa la velocidad horizontal pico efectiva, para diseño, dado en A.2.2.  $A_d$  = coeficiente de umbral de daño.

Figura 24. NSR-10 Figura A.2.3-2.

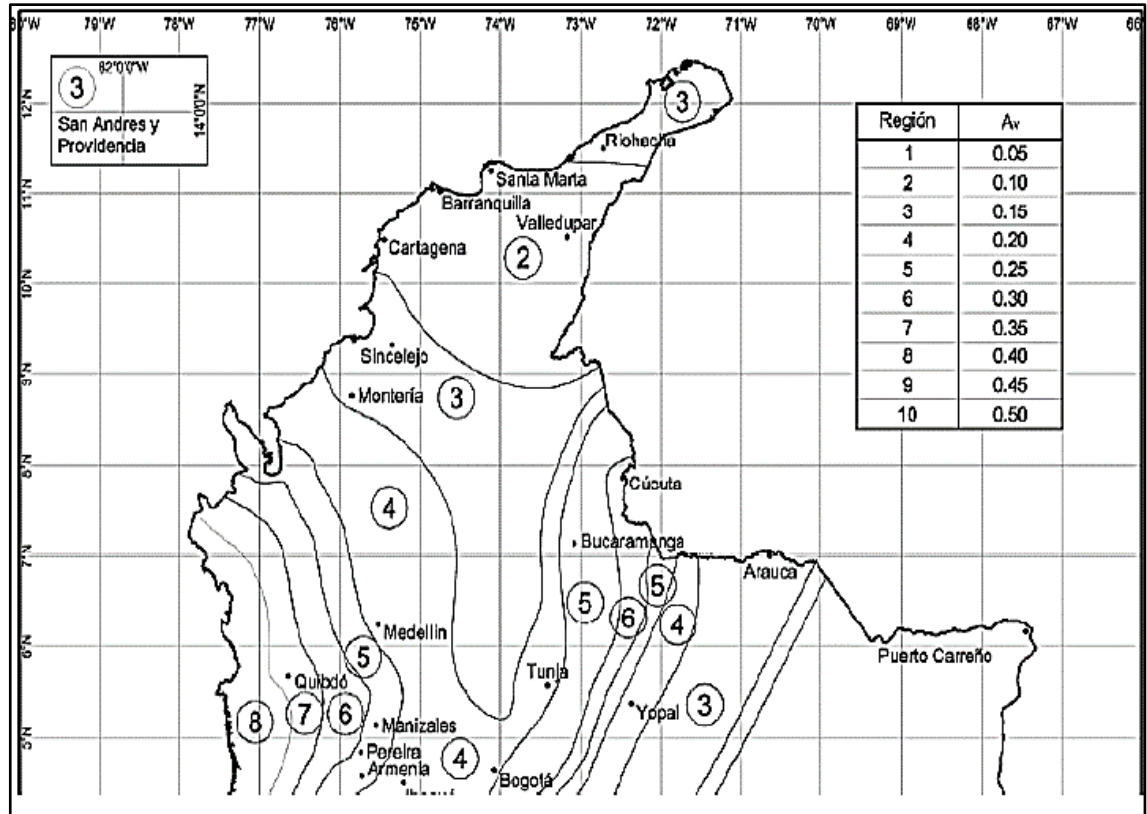


Fuente: EDARFRI Proyecto de Vivienda Las Flores – Piedecuesta.

Tabla 38. NSR-10 Tabla A.2.3-1.

Mayor valor entre $A_n$ y $A_v$	Asociado en mapas de las figuras A.2.3-2 y A.2.3-3 a Región N°	Amenaza Sísmica
0.50	10	Alta
0.45	9	Alta
0.40	8	Alta
0.35	7	Alta
0.30	6	Alta
0.25	5	Alta
0.20	4	Intermedia
0.15	3	Intermedia
0.10	2	Baja
0.05	1	Baja

Figura 25. NSR-10 figura A.2.3-3.



Fuente: EDARFRI Proyecto de Vivienda Las Flores – Piedecuesta.

**5.4.2 Movimiento sísmico de diseño.** Los movimientos sísmicos de diseño se definen en función de la aceleración pico efectiva, representada por el parámetro  $A_a$ , y de la velocidad pico efectiva, representada por el parámetro  $A_v$ , 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 Piedecuesta son:  $A_a=0.25$ ,  $A_v=0.25$ ,  $A_e=0.11$  y  $A_d=0.07$  (Ver A.2.2.2 y A.2.2.3. NSR-10 - Apéndice A-4 - Valores de  $A_a$ ,  $A_v$ ,  $A_e$  y  $A_d$  y definición de la zona de amenaza sísmica de municipios).

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

**5.4.4 Tipo de Perfil del suelo.** Se determinan dos factores de amplificación del espectro por efectos de sitio,  $F_a$  y  $F_v$ ;  $F_a$  = coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de períodos cortos, debida a los efectos de sitio, adimensional.  $F_v$  = coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de períodos intermedios, debida a los efectos de sitio, adimensional.

Los efectos locales de la respuesta sísmica de la edificación deben evaluarse con base en los perfiles de suelo dados a en el presente estudio independientemente del tipo de cimentación empleado. El tipo de Suelo es **C**. de acuerdo a la Tabla A.2.4-1 de la NSR-10.

Tabla 39. NSR-10 tabla A.2.4-3 Valores del coeficiente  $F_a$ , para la zona de periodos cortos del espectro.

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

Tabla 40. NSR-10 tabla A.2.4-4 Valores del coeficiente  $F_v$ , para la zona de periodos intermedios del espectro.

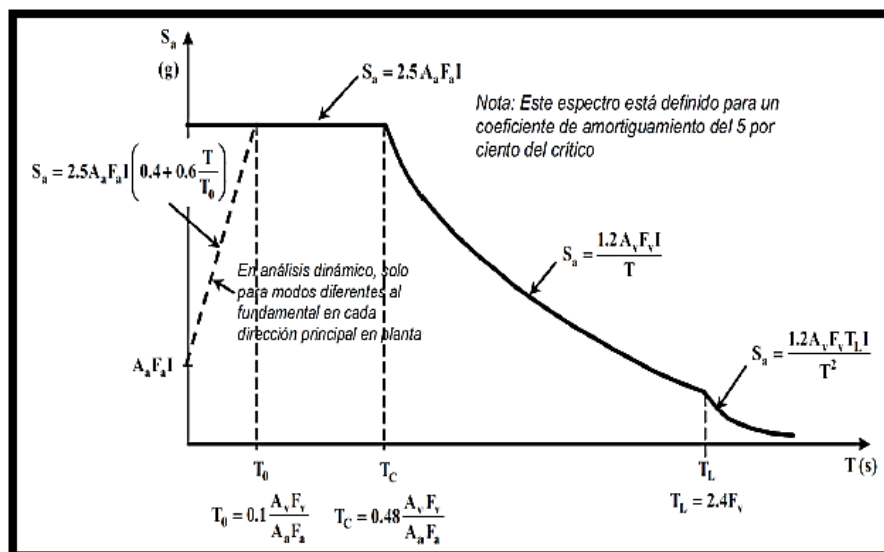
Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_v \leq 0.1$	$A_v = 0.2$	$A_v = 0.3$	$A_v = 0.4$	$A_v \geq 0.5$
<b>A</b>	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
<b>B</b>	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
<b>C</b>	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
<b>D</b>	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
<b>E</b>	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
<b>F</b>	véase nota	véase nota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

Los valores de los coeficientes **Fa= 1.15** y **Fv= 1.55** se obtienen de las tablas A.2.4-3 y A.2.4-4, encontradas en el código NSR-10. Para el valor intermedio de **Aa= 0.25** se permite interpolar linealmente entre valores del tipo de **perfil C**.

**5.4.5 Coeficiente de Importancia.** Se define el grupo de tipo de uso de la edificación como Grupo I con un coeficiente de importancia, **I**, igual a **1.0**. Tabla A.2.5-1 (Edificaciones de ocupación normal).

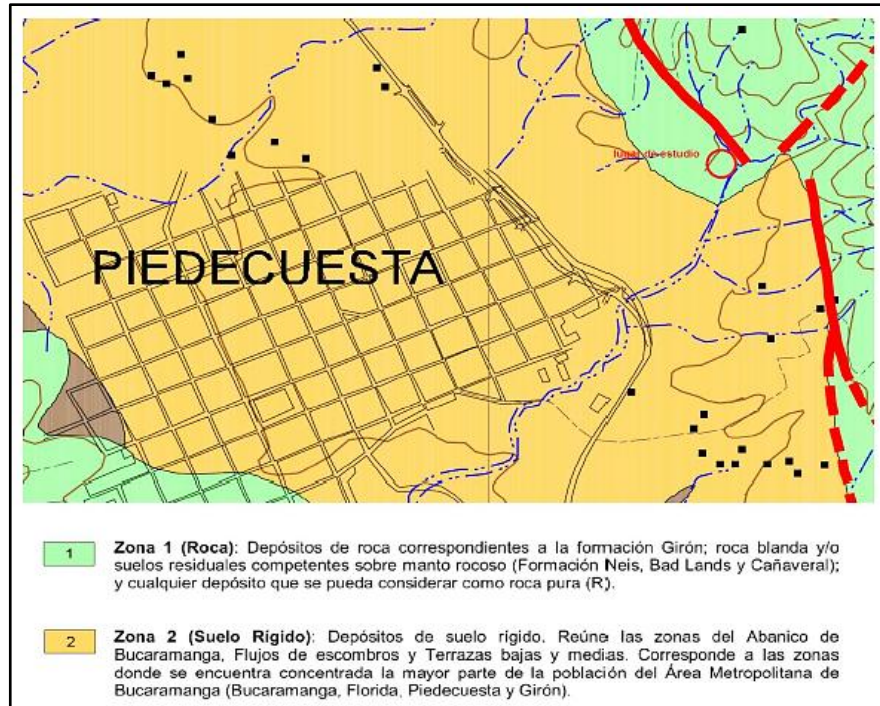
**5.4.6 Espectro Elástico de Diseño.** La forma del espectro elástico de aceleraciones, para un coeficiente de amortiguamiento crítico de cinco por ciento (5%), que se debe utilizar en el diseño, se da en la figura 25.

Figura 26. Espectro elástico de diseño.



Fuente: EDARFRI Proyecto de Vivienda Las Flores – Piedecuesta.

Figura 27. Zonificación Sísmica INGEOMINAS 2001.

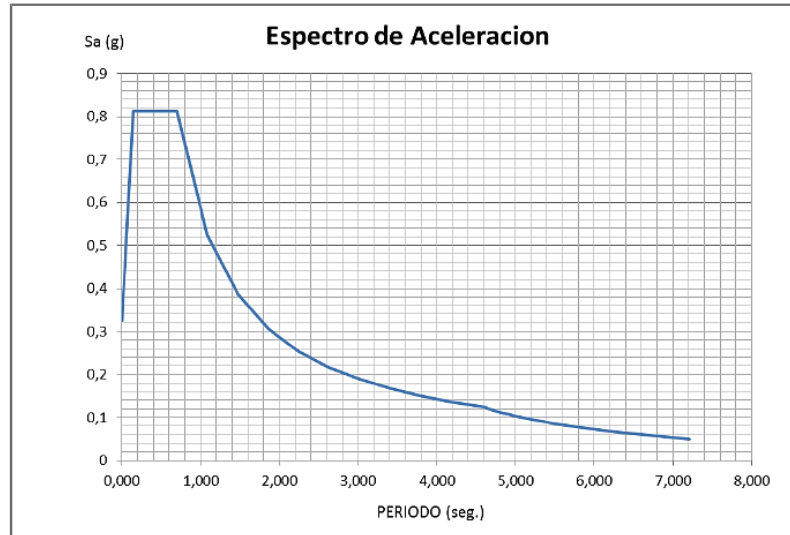


Fuente: EDARFRI Proyecto de Vivienda Las Flores – Piedecuesta.

De acuerdo al INGEOMINAS y al modelo geológico-geotécnico del presente estudio, el predio se encuentra ocupado en su mayor parte por materiales de la Zona 2. Los cuales fueron verificados durante la perforación con espesores que van desde 1.5m a 25.0m.

**5.4.7 Espectro Elástico de Diseño para el proyecto específico.** De acuerdo al análisis encontrado anteriormente, a continuación, se desarrolla el espectro de diseño de la construcción a realizar el cual tiene una amortiguación de 5% y se desarrolla para un sismo de diseño de 50 años de acuerdo a lo establecido por la NSR-10 en su título A.

Figura 28. Espectro elástico de diseño de la edificación a construir.



Fuente: EDARFRI Proyecto de Vivienda Las Flores – Piedecuesta.

Los cálculos para la obtención de este espectro se muestran a continuación:

Figura 29. Espectro de diseño

#### ESPECTRO DE DISEÑO

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## 5.5 INVENTARIOS Y CARACTERIZACIÓN DE PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA

En el lugar de estudio al ubicarse en la parte baja del cerro la cantera, solo presenta el riesgo de desprendimiento de partículas de suelo de las áreas intervenidas por los proyectos, los cuales alcanzan buenas capacidades de carga y son fáciles de devolverles la cobertura vegetal existente.

Fotografía 3. Se observa el escarpe de desprendimiento de partículas y deficiente cobertura vegetal y el deterioro del sistema de cunetas.



Fuente: EDARFRI Proyecto de Vivienda Las Flores – Piedecuesta.

## 5.6 EXPLORACIÓN DE CAMPO Y ENSAYOS DE LABORATORIO

**5.6.1 Pruebas de campo.** La exploración del subsuelo con el objeto de conocer las características geo mecánicas se llevó a cabo por medio de la ejecución de once (11) perforaciones a SPT y ha roto-percusión, los cuales fueron distribuidos en el área utilizada por el proyecto, teniendo en cuenta las zonas homogéneas Geológica y Geomorfológicamente a profundidades hasta de 25 metros aproximadamente desde la superficie del terreno. Se sacaron muestras alteradas

de las perforaciones y muestra inalteradas esculpidas en forma de panela y protegidas en un guacal, haciendo la descripción e identificación de los materiales en las muestras; al laboratorio se enviaron las muestras para realizar ensayos de granulometría, límites de consistencia, corte directo, peso unitario y humedad natural. En los alrededores se hace descripción e identificación de los materiales superficiales en muestras alteradas, Análisis de Geología regional, local y características geomorfológicas.

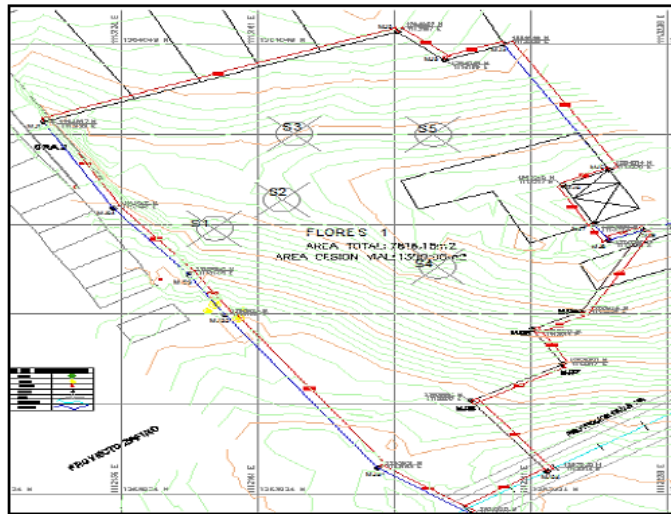
**5.6.2 Ensayos de Penetración estándar SPT.** Se realizaron ensayos de penetración estándar utilizando la norma ASTM D1586, equivalente a la norma INVE 111.

- Peso del martillo: 140 libras
- Altura de caída: 76 centímetros
- Penetración: 3 intervalos de 15 centímetros cada uno (6")
- N de diseño: Sumatoria de los golpes de los últimos 30 centímetros (12")
- Diámetro exterior del tubo: 50.8 mm
- Diámetro interior del muestreador en la punta: 34.93 mm
- Longitud del tubo: 75 centímetros
- Sistema de hincado: Manual
- Rechazo: más de 50 golpes para 15 centímetros (6").

En el anexo 1, se presenta una de las tablas de los resultados recogidos en campo de los ensayos de penetración estándar SPT a manera de ejemplo.

Las perforaciones realizadas se observan a continuación:

Figura 30. Localización de los sondeos en el predio en estudio (Flores I).



Fuente: EDARFRI Proyecto de Vivienda Las Flores – Piedecuesta.

Fotografía 4. Ejecución de perforación para el Sondeo 6.



Fuente: EDARFRI Proyecto de Vivienda Las Flores – Piedecuesta.

Fotografía 5. Muestra obtenida de la perforación para el Sondeo 6.



Fuente: EDARFRI Proyecto de Vivienda Las Flores – Piedecuesta.

**5.6.3 Corrección por n60.** Este ensayo ofrece los N golpes de campo efectuado con un martillo tipo Donut con una eficacia de energía para Colombia del 50%, que deben corregirse por ni factores bajo un sistema bajo condiciones de energía y eficiencia estandarizado  $E_{rs} = 60\%$ , se obtiene el N60 corregido para propósitos de diseño geotécnico. Para tener en cuenta todos estos factores se aplicó la siguiente fórmula de corrección (Bowles J. E, Principles of Foundation Engineering, 4th edition McGraw Hill, 1988) al número de golpes N medido en el terreno:

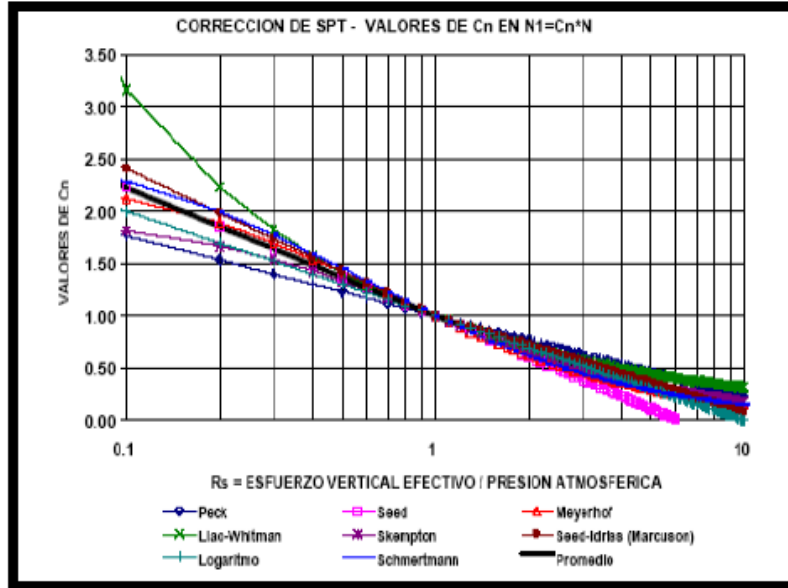
$$N_{60} = C_n \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \cdot n_4 \cdot n_5 \cdot N$$

Esto da el valor estándar corregido para una energía de referencia del 60%.

Los diferentes factores son:

- **Corrección por confinamiento  $C_n$ :** Este factor ha sido identificado desde hace tiempo por (Gibbs y Holtz, 1957) y se estima a partir de la siguiente relación de  $C_n$  con  $R_s$ .

Figura 31. Valores de Cn.



Fuente: EDARFRI Proyecto de Vivienda Las Flores – Piedecuesta.

Donde  $R_s = \frac{\sigma'_v}{p_a}$ .  $p_a$  = Presión atmosférica igual a 95,76 kPa (1Kg/cm<sup>2</sup>)  $\sigma'_v$  = Esfuerzo efectivo vertical en el punto de referencia.

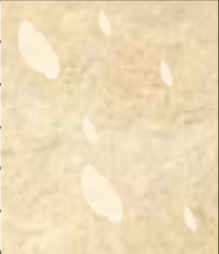



**5.6.4 Ensayos de laboratorio.** Las muestras obtenidas se seleccionaron las más representativas para enviar al laboratorio solicitando realizar ensayos de granulometría, límites de consistencia, humedad natural y corte directo.

Tabla 41. Ensayos de Laboratorio Realizados a las Muestras Obtenidas en Campo.

ENSAYO	NORMA	No DE ENSAYOS
Granulometría.	NTC 77 ASTM D421 -58	31
Contenido de Humedad.	NTC 1495 ASTM D 2216	31
Límite Plástico e Índice de Plasticidad.	NTC 1493 ASTM D 4318	31
Límite Líquido.	NTC 1494 ASTM D 4318	31
Clasificación.	NTC 1504 ASTM D 2487	31
Corte Directo	ASTM D3080-72	4

### 5.6.5 Perfil estratigráfico general

Tabla 42. Perfil Estratigráfico General.

PROFUNDIDAD (m)	ESQUEMA ESTRATIGRAFICO	DESCRIPCION
0,00		Suelo transportado constituido por un armazón de arena que varia de fina a media, embebida en una matriz limo-arcillosa de igual concentracion con algunas gravas subangulares y guijos de color pardo amarillo claro de mediana plasticidad con consistenmcia media a densa que puede clasificar de acuerdo al SUCS entre ML-SC-SM
0,50		
1,00		
1,50		
2,00		
2,50		
3,00		Suelo transportado constituido por amazones de arena fina a gruesa sin ningun material angular com precencia considerable de finos (Limos y Arcillas), la matriz es mas arcillosa que limosa, de baja a mediana plasticidad, el suelo varia de estado sueloto a denso, que gana consistencia al aumentrar la profundidad, la coloracion del estrato es pardo amarillo con algunas interclaciones blancas, clasifica de acuerdo al SUCS como Arena Arcillosa y limosa SC-SM y ML,
3,50		
4,00		
4,50		
5,00		
5,50		
6,00		
6,50		
7,00		concentracion embebida en una matriz arcillosa de mediana plasticidad y humedad, presenta una coloracion parda, debido a la consolidacion presenta un estado de suelo denso, pobremente se encuentra material granular compuesto por gravas y algunos guijos, la coloracion del estrato es parda oscura y clasifica de acuerdo al SUCS como una arcilla de mediana plasticidad CL
7,50		
9,50		
10,00		
10,50		
11,00		
11,50		
12,00		
12,50		Suelo Transportado, compuesto por arenas de mala gradacion, cullos tamanos varian de fina a gruesa en igual proporcion, y compuesta por algunas gravas, guijos y guijjarros, estos materiales se embeben en una matriz arcillos - limosa de baja concentracion, inferior al 10%, el estroto presenta baja plasticidad, siendo un estrato muy denso, su coloracion es parda oscura.
13,00		
13,50		
14,00		
14,50		
15,00		

**5.6.6 Perfil estratigráfico.** El perfil del subsuelo observado de acuerdo con las perforaciones en las que investigó hasta una profundidad de 25.0 m desde la superficie actual del terreno, se concluye que su composición es un poco variada a lo largo del terreno presentando en los metros iniciales (0.50m-5.50m) de los sondeos una capa de limos y arenas gruesas color rojizos, y en algunos casos se observó material arcilloso. A niveles de exploración entre los 5.50m y los 12.0m aproximadamente se halló un estrato de arenas gruesas con gravas medianas color gris oscuro y se presentó rechazo en roca color rojiza, también hallándose bolos redondeados de río, en los metros finales de los sondeos realizados a más de 12.50m se encontró rechazo en roca rojiza y grava gruesa; cabe mencionar que las especificaciones mencionadas anteriormente no aplican a todos los sondeos sino que es una descripción general de lo observado en campo y laboratorio.

En el Anexo 1, se presenta a manera de ejemplo la descripción del perfil estratigráfico correspondiente al sondeo geotécnico No. 1.

## 5.7 CAPACIDAD ADMISIBLE DE DISEÑO Y ASENTAMIENTOS

**Conceptualización de la solución.** La capacidad de carga para suelos granulares se ha establecido mediante la utilización de la ecuación de Meyerhoff (1956) modificada por Bowles (1977):

El cálculo de la carga admisible del suelo se hizo para la zona de estudio de los sondeos 1 y 2, siguiendo los siguientes criterios.

$$q(adm) = 11.98N \left( \frac{3.28B + 1}{3.28B} \right)^2 Fd * \left( \frac{Se}{25.4} \right) \quad KN / m^2 \quad para B \geq 1.22 m$$

$$Fd = 1 + 0.33 \left( \frac{Df}{B} \right) \leq 1.33$$

En la cual:

- N= penetración estándar
- B= ancho del cimiento o ancho de soporte de carga
- Fd= factor de profundidad
- Se= asentamiento inmediato admisible o esperado

## 5.8 TIPO DE CIMENTACIÓN

**Características y definición de la cimentación.** Teniendo en cuenta las características geomecánicas de los suelos encontrados, el perfil estratigráfico y la construcción que se desea realizar (El diseño de la edificación tiene máximo 18 pisos); por lo que las condiciones halladas para la capacidad de carga para los suelos encontrados en el área son de calidad intermedia a alta, se puede llegar a soportar toda la estructura en condiciones altamente favorables con una capacidad de 50 Ton/m<sup>2</sup>, a una profundidad de 1.5 m a partir de los niveles de explanación del proyecto.

La cimentación recomendada es tipo **zapata aislada** rígida unida por **viga de amarre**, apoyado directamente en el estrato resistente, sobre la cual se fundirá la zapata en concreto reforzado.

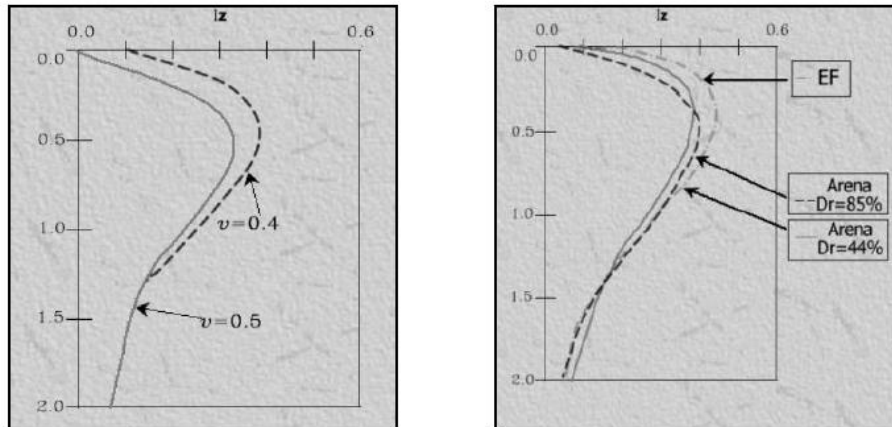
## 5.9 ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS

### Suelos granulares

**Método de Schmertmann Y Hartman (1978).** Las deformaciones verticales dentro de un espacio elástico pueden ser determinadas por:

Figura 32. Deformaciones verticales dentro de un espacio elástico

$$\varepsilon = \frac{\Delta P}{E} I_z$$



Fuente: EDARFRI Proyecto de Vivienda Las Flores - JC Laboratorios y Geotecnia SAS

\$I\_z\$ es variable con la profundidad y \$E\$ puede ser también variable con la profundidad o con la resistencia a la penetración del suelo, bien por SPT o por CPT.

Proponen la siguiente ecuación:

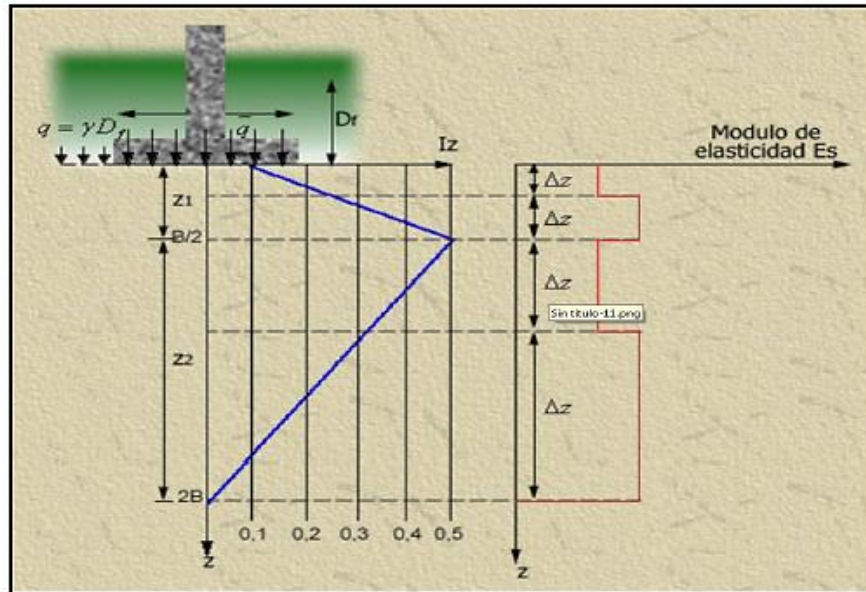
$$\rho = C_1 \cdot C_2 \cdot q_c \cdot \sum_l^n \left( \frac{I_z}{E} \right) \cdot \Delta z$$

\$C\_1\$ y \$C\_2\$ son factores de corrección y \$q\_c\$ = presión de contacto neta.

$$C_1 = 1 - 0.5 \left( \frac{\sigma_o}{q_c} \right) \geq 0.5$$

$$C_2 = 1 + 0.2 \text{Log} \left( \frac{t}{0.1} \right) \quad t = \text{años}$$

Figura 33. Módulo de elasticidad



Fuente: EDARFRI Proyecto de Vivienda Las Flores - JC Laboratorios y Geotecnia SAS

Las capas se determinan de acuerdo con la variación de  $I_z$  con la penetración, ósea con  $E$ , El valor de  $E$  se determina a partir de la penetración de acuerdo con las siguientes relaciones:

$E = k \cdot q_c$	k=1.5 para limos arenosos k=2.0 para arena compacta k=3.0 para arena densa k=4.0 para arena con gravas
-------------------	---

Para Schmartman y Hartman:  $k=2.5$  para cimientos cuadrados y  $3.5$  para largos.

$N$  y  $q_c$  se relacionan de la siguiente manera:

TIPO DE SUELOS	$q_c / N$	OBSERVACIONES
Limo, limo arenoso, mezclas de limo y arena ligeramente cohesivos.	2	$q_c$ en $\text{Kg/cm}^2$
Arena fina a media limpia o algo limosa.	3.5	$q$ en $\text{Ton/pie}^2$
Arena gruesa, arenas con grava pequeña.	5	
Grava arenosa o gravas.	6	$N$ =golpes por pie

Distribución de columnas y áreas para buscar la zapata más cargada y menos cargadas.

Las luces que se estiman en la torre más alta son de 8m.x8m y 5m.x5m de donde salen áreas aferentes de 64m<sup>2</sup> y 25m<sup>2</sup> y con dimensionamiento de 4mx4m y 3x3m para las zapatas más cargadas y menos cargadas respectivamente.

Tabla 43. Cálculo de la carga, zapata más cargada.

calculo numerico		
Area aferente	64	[m <sup>2</sup> ]
carga	1.2	[ton/m <sup>2</sup> ]
Nº de pisos	18	
<b>CARGA TOTAL</b>	<b>1382.4</b>	<b>[ton]</b>

Tabla 44. Cálculo y verificación de asentamiento diferencial.

Asentamiento de zapata mas cargada	Asentamiento de zapata menos cargada	
0.045770977	0.031562155	
Asentamiento diferencial permitido	$\frac{l}{300}$	0.016666667
Asentamiento diferencial presente	0.01420882	Cumple

Fuente: EDARFRI Proyecto de Vivienda Las Flores - JC Laboratorios y Geotecnia SAS

Teniendo en cuenta los ensayos realizados en el presente estudio y las modelaciones realizadas en oficina se garantiza que para la edificación que se tiene proyectada en el lote en estudio y para las cargas provenientes de la

edificación proyectada los asentamientos totales y diferenciales cumple con lo dispuesto en la norma sismo resistente NSR – 10.

## **5.10 EVALUACION DE AMENAZA**

**5.10.1 Evaluación por amenaza por fenómenos de remoción en masa.** En este capítulo se presentan los análisis realizados para determinar la amenaza de inestabilidad de la ladera y taludes generados sobre el proyecto Flores en el municipio de Piedecuesta Santander. Para tal efecto se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Calculo de factores de seguridad determinísticos, con su respectiva probabilidad de falla, utilizando el software Slide de la firma Rocscience; para diferentes escenarios.

- Para los análisis de estabilidad, se utilizó el método de talud infinito que analiza la superficie de falla. Para esto se tendrá en cuenta la teoría de Bishop, Jambu y Spencer que se ajustan a superficies de falla de cualquier forma.

- Para la determinación de los modelos, se asumen dos escenarios críticos, que contemplan la carga sísmica y peso de la estructura en un escenario pseudo estática que se encuentra definida por la Norma sismo Resistente Colombiana NSR-10, los escenarios se definen a continuación:

**Escenario Estático:** Terreno en condición natural con nivel freático normal “el encontrado en los sondeos” cargas de la edificación proyectada.

**Escenario Dinámico:** Terreno en condición natural con nivel freático normal “el encontrado en los sondeos” y aceleración Pseudoestática KST y cargas de la edificación proyectada.

Amax según el estudio de microzonificación sísmica para este sector no se presenta un análisis sísmico detallado, por lo cual se tomará como valor el encontrado en la NSR-10 en su título A en la cual:

$A_a=0.25$ , Título A. Apéndice A.4, NSR-10

Tipo de Suelo: C

$F_a= 1.15$ , Tabla A.2.4-3, Título A, NSR-10

Clase de uso: I, Artículo A.2.5.1 Grupos de Uso, Título A, NSR-10

Coefficiente de importancia I: 1.00, Tabla A.2.5-1, Título A, NSR-10

$a_{max}= A_a \cdot I \cdot F_a=0.2875$ , Tomado del Espectro de Diseño Figura A.2.6-1, de la NSR-10

$K_{st}= (K_{st}/a_{max}) \cdot a_{max}$ , Artículo H.5.2.5 Sismo de Diseño, NSR-10

$K_{st}/a_{max}=0.80$  de acuerdo a la tabla H.5.2-1 de la NSR-10

$K_{st}=0.23$ , Valor tomado para el análisis pseudoestático.

$K_{st_y}=0.5 \cdot K_{st} = 0.115$ , Valor tomado para el análisis pseudoestático.

**5.10.2 Categorización de la estabilidad de la ladera.** De acuerdo a la Norma Sismo Resistente Colombiana NSR-10, se define en el Capítulo H los factores de seguridad mínimos para garantizar la estabilidad de laderas, que son función del tipo de modelamiento y las cargas asumidas. En el presente documento se puede observar que se asume diferentes escenarios. Con este escenario crítico modelado y según el capítulo H.2. Se considera estable los factores de seguridad superiores a 1.2 en un escenario dinámico y 1.5 para un escenario estático, cumpliendo con el decreto municipal 0045 de 2012.

**5.10.3 Resultados de los análisis de estabilidad ante deslizamiento.** Para la determinación de estos factores de seguridad se asumió el método de equilibrio límite y la teoría de Bishop, Jambu. Fellenius, Mongenstern - price y Spencer, ya que esta teoría es adecuada para el análisis de fallas circulares, esta falla es representativa de este talud ya que se encuentra un suelo superficial de gran

espesor, las propiedades geotécnicas para el modelo geológico – geotécnico se muestran en la tabla 59.

Para el análisis de estabilidad se emplea el software Slide V. 6 de Rocscience el cual emplea análisis determinísticos, y da como resultado factores de seguridad debido al análisis de equilibrio de fuerzas estabilizantes e inestabilizantes que afectan las dovelas de acuerdo a los métodos anteriormente nombrados, la modelación se hace en escenarios estáticos y dinámicos como se expresó anteriormente al inicio del presente capítulo.

Tabla 45. Propiedades geomecánicas del modelo geológico geotécnico.

	LLENOS ANTROPICOS Sla W=10% GAMA=1.8	SUELO RESIDUAL FORMACION JORDAN Srs3	ROCA INTERMEDIA FORMACION JORDAN Ri3	ROCA FORMACION JORDAN Jj
PESO ESPECIFICO (KN/m <sup>3</sup> ):	18	18.8	18.8	20
COHESION (Kpa):	15	23.59	23.59	100
ANG. FRICCION (°):	30	34.7	34.7	35.27

Fuente: EDARFRI Proyecto de Vivienda Las Flores - JC Laboratorios y Geotecnia SAS

**Escenario Estático con Proyecto Flores 1. Dos Torres:** Resultados de la modelación en Slide de acuerdo a las características halladas en el terreno:

Tabla 46. Resultados del análisis estático con Proyecto Flores 1. Dos Torres.

PERFIL 1: ANALISIS ESTATICO SIN Y CON PROYECTO			
METODO	FS Determinístico	FS Referencia	Categorización de la Amenaza
ORDINARY / FELLENIUS	2.122	1.50	BAJA
BISHOP SIMPLIFIED	2.177	1.50	BAJA
JANBU CORRECTED	2.173	1.50	BAJA
SPENCER	2.165	1.50	BAJA
GLE/ MORGENSTERN-PRICE	2.165	1.50	BAJA

Fuente: EDARFRI Proyecto de Vivienda Las Flores - JC Laboratorios y Geotecnia SAS.

Tabla 47. Resultados del análisis Seudo-estático con Proyecto Flores 1. Dos Torres.

PERFIL 1: ANALISIS SEUDOESTATICO SIN Y CON PROYECTO			
METODO	FS Determinístico	FS Referencia	Categorización de la Amenaza
ORDINARY / FELLENIOUS	1.806	1.20	BAJA
BISHOP SIMPLIFIED	1.834	1.20	MEDIA
JANBU CORRECTED	1.836	1.20	BAJA
SPENCER	1.828	1.20	BAJA
GLE/ MORGENSTERN-PRICE	1.827	1.20	BAJA

Fuente: EDARFRI Proyecto de Vivienda Las Flores - JC Laboratorios y Geotecnia SAS.

Figura 34. Análisis estático con Proyecto Flores 1. Dos Torres.

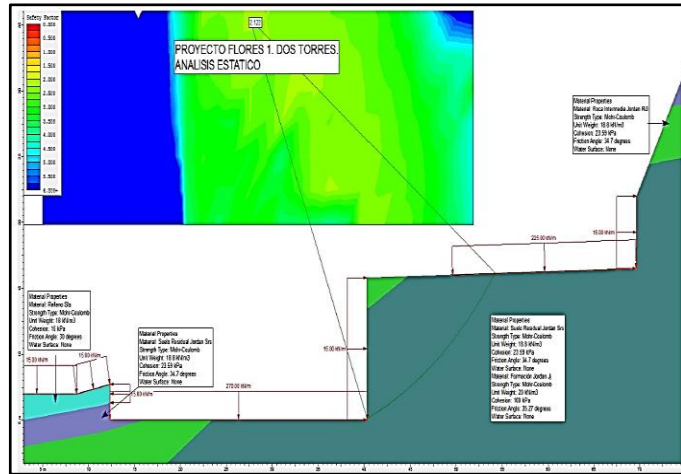
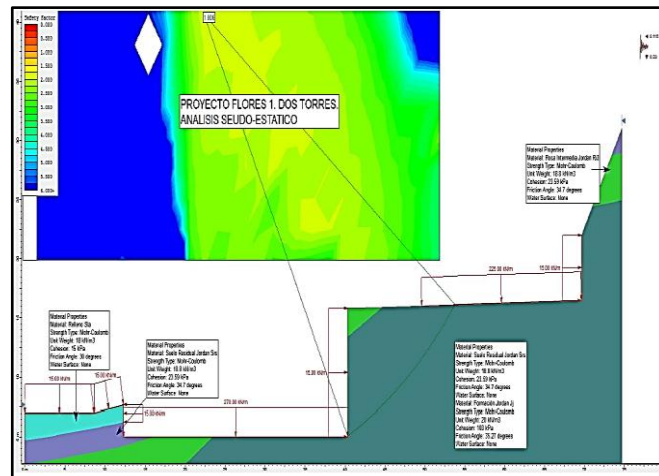
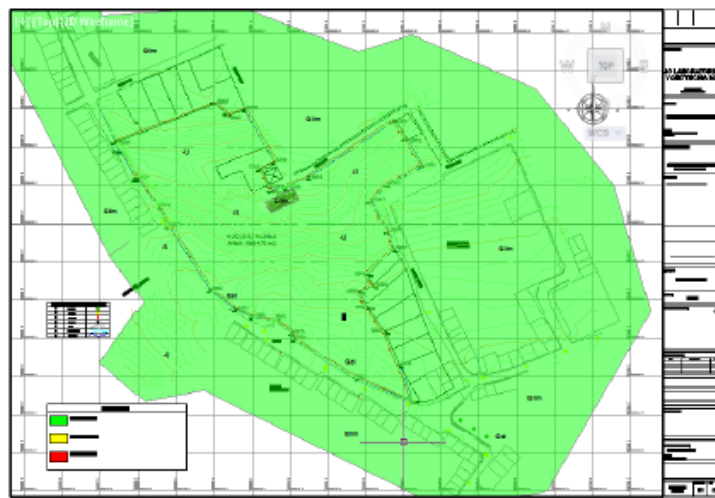


Figura 35. Análisis Seudo-estático con Proyecto Flores 1. Dos Torres.



De acuerdo a la modelación realizada se puede determinar que el predio no presenta amenaza por fenómenos de remoción en masa ya que para condiciones estáticas los factores de seguridad son superiores a 1.50 y para condiciones Seudo – estáticas. Los factores de seguridad son superiores a 1.20, el resultado se muestra en el plano anexo y en la figura 32.

Figura 36. Especialización de la amenaza de acuerdo a la modelación realizada. (Ver plano anexo).



Fuente: EDARFRI Proyecto de Vivienda Las Flores - JC Laboratorios y Geotecnia SAS

**5.10.4 Evaluación de amenaza por inundación.** Los fenómenos de inundación se consideran como amenazas naturales potencialmente destructivas, caracterizados por una cierta probabilidad de ocurrencia dentro de un periodo de tiempo específico, en una localidad determinada (UNESCO & RAPCA, sin fecha). En este apartado se deben de precisar todas las eventualidades y análisis relacionados a las medidas de mitigación para la amenaza por inundación; como también todas las características observadas en el campo que puedan ser correlacionadas con este punto.

Para el área de trabajo se determina, a partir de observaciones dadas por el grupo de trabajo de Campo de JC Laboratorios y Geotecnia SAS; que la amenaza frente

a inundación no se hace altamente evidente debido a que el drenaje principal que se encuentra dentro de la microcuenca hidrográfica cerca del predio, sobre la cual se ubica el área de trabajo; se encuentra intervenida antrópicamente, dicho drenaje se encuentra canalizado hacia el sistema de alcantarillado del municipio y se va a complementar con una obra hidráulica que se diseñará y construirá como parte del proyecto. Esto es una obra de mitigación y prevención de desastre, la cual favorece a la comunidad en general y disminuye así la amenaza frente a este riesgo natural.

Debido a esto, se determina que la evaluación en cuanto a la amenaza de inundación no se hace necesaria para este estudio.

## 5.11 EVALUACIÓN VULNERABILIDAD Y RIESGO

**5.11.1 Evaluación vulnerabilidad física.** La vulnerabilidad es el grado de pérdida o destrucción de un determinado elemento o grupo de elementos en riesgo, como resultado de la ocurrencia de un fenómeno natural de una magnitud determinada. (Varnes, 1984). La valoración de la vulnerabilidad puede definirse como el nivel potencial de daño o grado de pérdida de un determinado elemento expresado en una escala de 0 a 1, representada en porcentaje como se ilustra en la Tabla 64.

Tabla 48. Valores de vulnerabilidad física al impacto de deslizamientos de tierra (Imiriland, 2007).

Descripción de Vulnerabilidad	Rango de Pérdidas	Índice
<b>Estructuras intactas</b>	0	0.00
<b>Daños locales</b>	1 – 25%	0.25
<b>Daños serios pero posibles de reparar</b>	26 – 50%	0.50
<b>Destruído en su mayoría y difícil de reparar</b>	51 – 75%	0.75
<b>Destrucción total</b>	76 – 100%	1.00

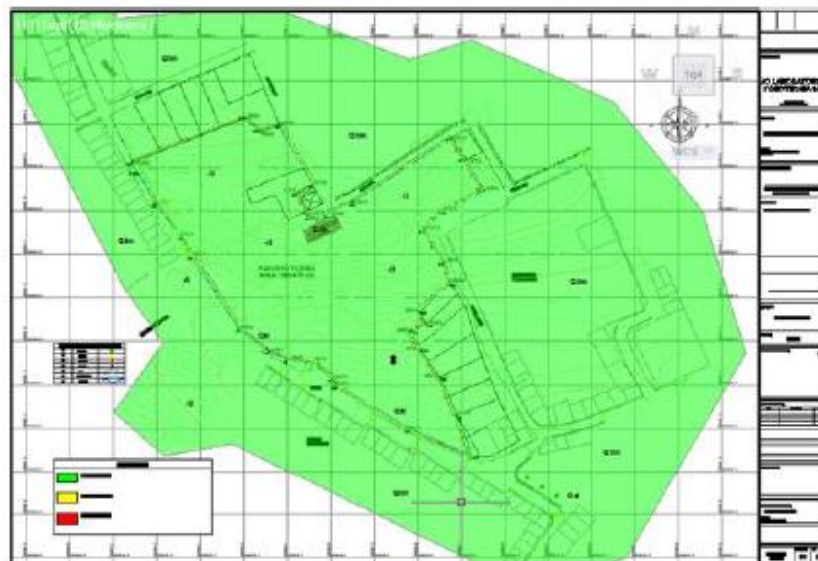
Fuente: EDARFRI Proyecto de Vivienda Las Flores - JC Laboratorios y Geotecnia SAS

De acuerdo con los lineamientos técnico-ambientales la vulnerabilidad se debe expresar en términos cualitativos así: vulnerabilidad alta, media y baja. Esta clasificación permite realizar una espacialización (mapa) cuando se evalúen diversos elementos debidamente cartografiados; sin embargo, para el caso de evaluación de un proyecto no resulta conveniente. Para la evaluación del proyecto planteado en el predio analizado se realizó la clasificación y descripción de la vulnerabilidad de acuerdo a lo presentado en la Tabla 65.

Tabla 49. Clasificación de la vulnerabilidad.

Clasificación de Vulnerabilidad	Descripción	Rango de Pérdidas	Índice
<b>Baja</b>	Estructuras intactas a daños locales leves	0 – 25%	0 – 0.25
<b>Media</b>	Daños serios pero posibles de reparar	25 – 60%	0.25 – 0.60
<b>Alta</b>	Destruído en su mayoría, difícil de reparar a destrucción total	60 – 100%	0.60 – 1.00

Figura 37. Evaluación de Vulnerabilidad actual del predio en estudio, ver mapa de anexos.



Fuente: EDARFRI Proyecto de Vivienda Las Flores - JC Laboratorios y Geotecnia SAS

El índice de vulnerabilidad física para el proyecto se estableció como cero (0.0), ya que no se esperan daños en las estructuras por deslizamientos.

Los índices de vulnerabilidad económica y social es igual a cero (0.0), ya que no se esperan interrupciones en las actividades económicas y por tratarse de amenaza baja a fenómenos de remoción en masa, no se esperan personas afectadas, lesionadas o muertas.

En el sitio no existe ningún tipo de construcción actualmente, por lo cual la vulnerabilidad actual es **Baja** ya que no hay estructuras y elementos que les causen daño o pérdidas a los propietarios del predio, por lo cual la cuantificación de esta categoría se expresa en el plano de la sección de anexos.

**5.11.2 Evaluación del riesgo.** Para evaluar el riesgo de remoción en masa se toma en cuenta el grado de amenaza y vulnerabilidad física que presenta el proyecto; tanto la amenaza como la vulnerabilidad son de categoría baja lo que permite concluir que el nuevo proyecto no presenta riesgos por remoción en masa.

$$R = A \times V$$

La valoración del riesgo se puede obtener de forma matricial de acuerdo a la siguientes Tablas 66 y 67.

**Riesgo en condiciones actuales:**

Amenaza: **Baja**

Vulnerabilidad Actual: **Baja**

Tabla 50. Calificación del riesgo en condiciones actuales.

VULNERABILIDAD	AMENAZA		Baja Medio Medio <b>Bajo</b>
	Alta	Media	
Alta	Alto	Alto	
Media	Alto	Medio	
<b>Baja</b>	Medio	Medio	

De conformidad para con la tabla el proyecto inicialmente presenta un Nivel de riesgo **Bajo**, el cual se observa a continuación:

Figura 38. Evaluación del Riesgo con proyecto sobre el predio, ver mapa de anexos.



Fuente: EDARFRI Proyecto de Vivienda Las Flores - JC Laboratorios y Geotecnia SAS

**Riesgo en condiciones con Proyecto:**

Amenaza: **Baja**

Vulnerabilidad con Proyecto: **Baja**

Tabla 51. Calificación del riesgo en condiciones con proyecto.

VULNERABILIDAD	AMENAZA		Baja Medio Medio <b>Bajo</b>
	Alta	Media	
Alta	Alto	Alto	
Media	Alto	Medio	
<b>Baja</b>	Medio	Medio	

De conformidad para con la tabla y como se tiene contemplada la construcción de una edificación nueva cumpliendo la NSR-10 su clasificación de riesgo es de categoría baja (Ver planos anexos).

## 5.12 OBSERVACIONES DEL ESTUDIO

Se analizaron los resultados presentados en el estudio, y se compararon con los lineamientos presentados en los capítulos anteriores, donde se observó que hizo falta complementar los siguientes aspectos:

- En el estudio presentado se aplicaron únicamente estudios determinísticos (equilibrio límite) para el cálculo de la amenaza. No se tuvieron en cuenta los análisis probabilísticos.
- En cuanto la evaluación de la vulnerabilidad, sólo se determinó la vulnerabilidad física. No se analizó la vulnerabilidad social, económica y ambiental.
- Analizar los aislamientos en taludes y/o cauces, los cuales son factores importantes para categorizar la vulnerabilidad.
- Establecer un inventario de deslizamientos y de obras existentes en el área de estudio y su respectivo mapa, como por ejemplo muros de contención, obras de canalización de desagües, etc. Las cuales ayudan a controlar los procesos de remoción en masa.
- De igual manera se observó que dentro del Plan de medidas de mitigación del Riesgo, se propuso construir muros de contención, sin embargo, no se adjuntó su diseño.
- Realizar la evaluación hidrológica e hidrogeológica del área de estudio donde se evalúen las precipitaciones y los caudales de los flujos de escorrentía que representen alto riesgo a las edificaciones, además de las condiciones de los niveles freáticos en la zona de estudio.

- Implementar la etapa de investigación geotécnica con métodos de exploración indirectos (Geofísicos), que brindan información más precisa de las características del subsuelo.

- Se evidenció que de igual manera faltó caracterizar las Unidades Geológicas para Ingeniería con su respectivo mapa, siendo uno de los insumos más importante para realizar una homogeneización de la información de los sitios de estudio teniendo en cuenta la distribución, propiedades físicas y mecánicas de la roca y los suelos, además de las características del relieve y los procesos geodinámicos.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En el desarrollo de este proyecto, se determinaron los lineamientos técnicos vigentes (año 2016), para los estudios detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa e inundación para los municipios de la jurisdicción del Área Metropolitana de Bucaramanga, mediante la investigación de la siguiente normatividad vigente de alcance nacional, regional y local:

REMOCIÓN EN MASA
<p>1) <b>DECRETO 1807 DE 2014</b>, del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. 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.</p> <p>Este decreto se recopiló posteriormente en el <b>DECRETO 1077 de 2015</b>, que corresponde al Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio.</p>
<p>2) <b>GUÍA METODOLÓGICA PARA ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA</b>. La cual fue elaborada por el Servicio Geológico Colombiano (SGC) en el año 2015.</p>
<p>3) <b>RESOLUCION 1294 DE 2009 (CDMB)</b>. Por medio de la cual se adopta el Manual de Normas Técnicas para el Control de Erosión y para la realización de estudios geológicos, geotécnicos e hidrológicos en el área de jurisdicción de la CDMB.</p>
<p>4) <b>RESOLUCIÓN 0395 DE 2016 (Municipio de Floridablanca)</b>. Por medio de la cual se establecen disposiciones normativas para la aplicación de los estudios generales de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo realizados en el municipio de Floridablanca.</p>
<p>5) <b>RESOLUCIÓN 1977 DE 2011 (Municipio de Girón)</b>. Mediante la cual se adoptan lineamientos básicos para la elaboración de estudios detallados de amenaza y/o riesgos por fenómenos de remoción en masa e inundación (EDARFRI), que permitan determinar la viabilidad de los desarrollos urbanísticos, garantizando la mitigación de esta amenaza y/o riesgo.</p>
<p>6) <b>DECRETO 045 DE 2012 (Municipio de Piedecuesta)</b>. Mediante el cual se adoptan lineamientos básicos para la elaboración de estudios detallados de amenaza y/o riesgo por fenómenos de remoción en masa e inundación (EDARFRI), que permitan determinar la viabilidad de los desarrollos urbanísticos, en suelo rural o urbano garantizando la mitigación de esta amenaza y/o riesgo.</p>

<b>INUNDACIÓN Y AISLAMIENTOS EN CAUCES</b>
1) <b>DECRETO LEY 2811 DE 1974.</b> Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
2) <b>RESOLUCION 1294 DE 2009 (CDBM).</b> Por medio de la cual se adopta el Manual de Normas Técnicas para el Control de Erosión y para la realización de estudios geológicos, geotécnicos e hidrológicos en el área de jurisdicción de la CDBM.
3) <b>ACUERDO METROPOLITANO No. 013 DE 2011 (AMB).</b> Por el cual se adopta la revisión del componente de Ordenamiento Físico-Territorial del Plan Integral de Desarrollo del Área Metropolitana de Bucaramanga; se definen las directrices para la estructura territorial, los lineamientos de ordenamiento metropolitano para los Planes de Ordenamiento Territorial de los municipios, los hechos metropolitanos y se establecen las normas obligatoriamente generales para los municipios que conforman el Área.
4) <b>POT DE BUCARAMANGA</b> (Acuerdo No 011 del 21 de Mayo de 2014). Por el cual se adopta el Plan de Ordenamiento Territorial de segunda generación del Municipio de Bucaramanga 2014 – 2027.
5) <b>POT DE FLORIDABLANCA</b> (Decreto No. 068 de 2016). Por medio del cual se compendia el contenido de los Acuerdos Municipales No. 036 de Noviembre 09 de 2001, No. 025 de Octubre 16 de 2002, No. 008 de Octubre 12 de 2005, No. 001 de Febrero 25 de 2013 y No. 015 de Noviembre 24 de 2015, que contienen las disposiciones establecidas por el Plan de Ordenamiento Territorial POT del Municipio de Floridablanca
6) <b>POT DE GIRÓN</b> (Acuerdo No 100 del 30 de Noviembre de 2010). Por el cual se adopta la Revisión Excepcional de Norma PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL (POT) DEL MUNICIPIO DE SAN JUAN GIRÓN, se definen los usos del suelo urbano, de expansión urbana, rural, suburbano y suelo de protección, se establece la reglamentación sobre el uso, ocupación y manejo del suelo, correspondiente y se plantea los programas, proyectos y planes complementarios para el futuro desarrollo territorial del Municipio dentro de la vigencia del POT.
7) <b>PBOT DE PIEDECUESTA</b> (Acuerdo 028 de 2003). Por medio del cual se adopta el Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de Piedecuesta Santander, se definen los usos del suelo urbano, de expansión urbana, rural, suburbano y suelo de protección, se reglamenta el uso, ocupación y manejo del suelo y se hacen los planteamientos sobre programas, proyectos y planes complementarios para el futuro desarrollo territorial del municipio dentro de la vigencia del P.B.O.T.

- **MOVIMIENTOS EN MASA**

- Se recomienda emplear como metodología oficial para la zonificación de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa en el Área Metropolitana de Bucaramanga, los requisitos y parámetros establecidos en la Guía Metodológica del SGC. Ya que es el documento más completo actualmente que permite evaluar, prevenir y generar acciones claras y contundentes con la implementación de medidas para la reducción del riesgo.

- Por medio de la metodología establecida en esta Guía técnica, se van a poder incluir áreas de amenaza y la determinación de áreas que presenten condiciones de riesgo por movimientos en masa. Como lo establece el Decreto 1807 de 2014 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.
- Se recomienda que la cartografía para estudios básicos debe ser a escala 1:5000 y para estudios detallados 1:2000. Debido a que la norma de la CDMB y las normas municipales consideran otras escalas.
- Se observó que, en la categorización de la amenaza alta, por factores de seguridad con condiciones extremas, existen diferencias de criterios los cuales son los siguientes:

MUNICIPIO/ENTIDAD	AMENAZA ALTA CON CONDICIONES EXTREMAS
Girón y Piedecuesta	F.S.<1.2
CDMB	F.S.<1.0
SGC y Floridablanca	F.S.<1.1

De acuerdo a lo anterior, se recomienda emplear los factores de seguridad descritos en la Guía del SGC para condiciones extremas, los cuales son los siguientes:

NIVEL DE AMENAZA	FACTOR DE SEGURIDAD
Alta	<1.1
Media	1.1-1.5
Baja	>1.5

- Para los análisis de estabilidad de taludes en condiciones de sismo, se recomienda emplear un factor de carga sísmica horizontal o aceleración pico (Aa) de 0.15g, según lo establecido por la norma geotécnica de la CDMB en su numeral 4.2.3.

- Se recomienda emplear los métodos probabilísticos para el cálculo de la amenaza de movimientos en masa, porque permiten conocer el grado de incertidumbre de la estabilidad de taludes, a diferencia de los análisis deterministas, además de ser la metodología más empleada actualmente.

- Los municipios dentro de sus Planes de Gestión del Riesgo, deben tener en cuenta no sólo el riesgo físico (daños en vías, infraestructuras y personas), sino también tener en cuenta los factores sociales, económicos, financieros y demás aspectos que incluye el riesgo, que aporten a la estabilidad del territorio y logren realizar una gestión integral del mismo.

#### • **INUNDACIÓN**

- Se evidenció en cuanto a metodologías para estudios detallados de AVR por inundación que hay poca normatividad en el país. Posiblemente debido a falta de gestión de entidades nacionales y regionales para implementar una norma o documento referente a este tema.

- De acuerdo a la revisión bibliográfica consultada, se encontró que actualmente existen nuevas metodologías para evaluar la zonificación de amenazas por inundación desarrolladas por países Europeos (Metodología SUFRI), las cuales son herramientas más seguras que los métodos tradicionales y que permiten un mejor análisis y comunicación del riesgo además de mejorar la gestión del riesgo por inundación en zonas urbanas.

- Mediante la metodología descrita en el punto anterior, se efectúa la zonificación de las áreas inundables que a su vez, permiten identificar los sectores donde la severidad de este fenómeno puede ser mayor, de acuerdo con los efectos pluviales y/o efectos de desbordes de los cauces.

- Se recomienda realizar una revisión de la clasificación actual de las corrientes hídricas del área metropolitana y determinar si se requiere hacer algún ajuste en alguna de ellas, por medio de los lineamientos propuestos para esta temática. Esta precisión en las clasificaciones de los cauces permitiría mejorar las condiciones de riesgo por inundación en futuros proyectos urbanísticos que se desarrollen en los municipios.

## BIBLIOGRAFÍA

Acuerdo Metropolitano No. 013 DE 2011 (AMB). Por el cual se adopta la revisión del componente de Ordenamiento Físico-Territorial del Plan Integral de Desarrollo del Área Metropolitana de Bucaramanga; se definen las directrices para la estructura territorial, los lineamientos de ordenamiento metropolitano para los Planes de Ordenamiento Territorial de los municipios, los hechos metropolitanos y se establecen las normas obligatoriamente generales para los municipios que conforman el Área.

Consultoría para realizar la zonificación de amenazas por inundación y remoción en masa, en la cuenca media y baja de la quebrada Mensulí, subcuenca de la quebrada La Ronda del Municipio de Floridablanca, y de la subcuenca de la quebrada La Palmira en el Municipio de Piedecuesta Departamento de Santander. Consorcio Mensulí, 31 Julio de 2015.

Decreto 045 DE 2012 – Municipio de Piedecuesta. Mediante el cual se adoptan lineamientos básicos para la elaboración de estudios detallados de amenaza y/o riesgo por fenómenos de remoción en masa e inundación (EDARFRI), que permitan determinar la viabilidad de los desarrollos urbanísticos, en suelo rural o urbano garantizando la mitigación de esta amenaza y/o riesgo.

Decreto 1077 de 2015. Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio, Mayo de 2015.

Decreto 926 de 2010. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NRS-10. Comisión Asesora Permanente Para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes – Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Marzo de 2010.

Decreto Ley 2811 de 1974. Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.

Directrices De Ordenamiento Territorial Metropolitano. Área Metropolitana de Bucaramanga, 2011.

Estudio Detallado de Amenaza y Riesgo Por Fenómenos de Remoción en Masa o Inundación Para la Construcción del Proyecto de Vivienda Flores 1, 2 y 3 Condominio, Ubicado en el Municipio de Piedecuesta, Santander. JC Laboratorios y Geotecnia SAS. Noviembre de 2014.

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. Consorcio Zona Norte. Diciembre de 2015.

Guía Metodológica Para Estudios De Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo Por Movimientos en Masa Servicio Geológico Colombiano (SGC) 2015. Mayo de 2015.

[http://www.construmatica.com/construpedia/Amenazas\\_Geol%C3%B3gicas\\_por\\_Inundaciones](http://www.construmatica.com/construpedia/Amenazas_Geol%C3%B3gicas_por_Inundaciones)

[http://www.ipresas.upv.es/docs/2010\\_10\\_15\\_Folleto\\_SUFRI\\_castellano.pdf](http://www.ipresas.upv.es/docs/2010_10_15_Folleto_SUFRI_castellano.pdf)

[http://www.ipresas.upv.es/docs/2010\\_12\\_15\\_Memoria\\_SUFRI\\_WP3\\_borrador.pdf](http://www.ipresas.upv.es/docs/2010_12_15_Memoria_SUFRI_WP3_borrador.pdf)

Kingma Nanette, van Westen Cees, Vargas Rubén. Evaluación de la Amenaza por Inundación. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), Enschede, The Netherlands.

Mapa de Peligrosidad de Inundación de Origen Fluvial. Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables Mapas de Peligrosidad y Riesgo de Las Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación Demarcación Hidrográfica del Segura. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España. 2010.

PBOT de Piedecuesta (Acuerdo 028 de 2003). Por medio del cual se adopta el Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de Piedecuesta Santander, se definen los usos del suelo urbano, de expansión urbana, rural, suburbano y suelo de protección, se reglamenta el uso, ocupación y manejo del suelo y se hacen los planteamientos sobre programas, proyectos y planes complementarios para el futuro desarrollo territorial del municipio dentro de la vigencia del P.B.O.T.

POT de Bucaramanga (Acuerdo No 011 del 21 de Mayo de 2014). Por el cual se adopta el Plan de Ordenamiento Territorial de segunda generación del Municipio de Bucaramanga 2014 – 2027.

POT de Floridablanca (Decreto No. 068 de 2016). Por medio del cual se compendia el contenido de los Acuerdos Municipales No. 036 de Noviembre 09 de 2001, No. 025 de Octubre 16 de 2002, No. 008 de Octubre 12 de 2005, No. 001 de Febrero 25 de 2013 y No. 015 de Noviembre 24 de 2015, que contienen las disposiciones establecidas por el Plan de Ordenamiento Territorial POT del Municipio de Floridablanca

POT de Girón (Acuerdo No 100 del 30 de Noviembre de 2010). Por el cual se adopta la Revisión Excepcional de Norma Plan De Ordenamiento Territorial (POT) del Municipio De San Juan Girón, se definen los usos del suelo urbano, de expansión urbana, rural, suburbano y suelo de protección, se establece la reglamentación sobre el uso, ocupación y manejo del suelo, correspondiente y se

plantea los programas, proyectos y planes complementarios para el futuro desarrollo territorial del Municipio dentro de la vigencia del POT.

Propuesta De Incorporación De Las Funciones Ambientales De Los Grandes Centros Urbanos En La Estructura Organizacional Del Área Metropolitana De Bucaramanga. Área Metropolitana de Bucaramanga, 2012.

Resolución 0356 de 2005 – CDMB. Manual de Normas Técnicas Para el Control de Erosión, Para la Realización de Estudios Geológicos, Geotécnicos e Hidrológicos y Para la Ejecución de Proyectos de Desarrollo. Marzo de 2005.

Resolución 0395 de 2016 – Municipio de Floridablanca. Por medio de la cual se establecen disposiciones normativas para la aplicación de los estudios generales de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo realizados en el municipio de Floridablanca.

Resolución 1294 de 2009 – CDMB. Manual de Normas Técnicas para el Control de Erosión y para la realización de estudios geológicos, geotécnicos e hidrológicos en el área de jurisdicción de la CDMB. Diciembre de 2009.

Resolución 1977 de 2011 – Municipio de Girón. Mediante la cual se adoptan lineamientos básicos para la elaboración de estudios detallados de amenaza y/o riesgos por fenómenos de remoción en masa e inundación (EDARFRI), que permitan determinar la viabilidad de los desarrollos urbanísticos, garantizando la mitigación de esta amenaza y/o riesgo.

Taller Regional de Socialización de Criterios Para el Acotamiento de Las Rondas Hídricas de los Cuerpos Agua de Colombia. Dirección de Gestión Integral del Recurso Hídrico – Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Bogotá, Septiembre 21 y 22 de 2015.

Zonificación De Amenaza Por Movimientos En Masa De Algunas Laderas De Los Municipios De Bucaramanga, Floridablanca, Girón Y Piedecuesta. INGEOMINAS, 2007.

Zonificación De Amenaza Por Movimientos En Masa De Algunas Laderas De Los Municipios De Bucaramanga, Floridablanca, Girón – Revisión. INGEOMINAS, Octubre de 2009.

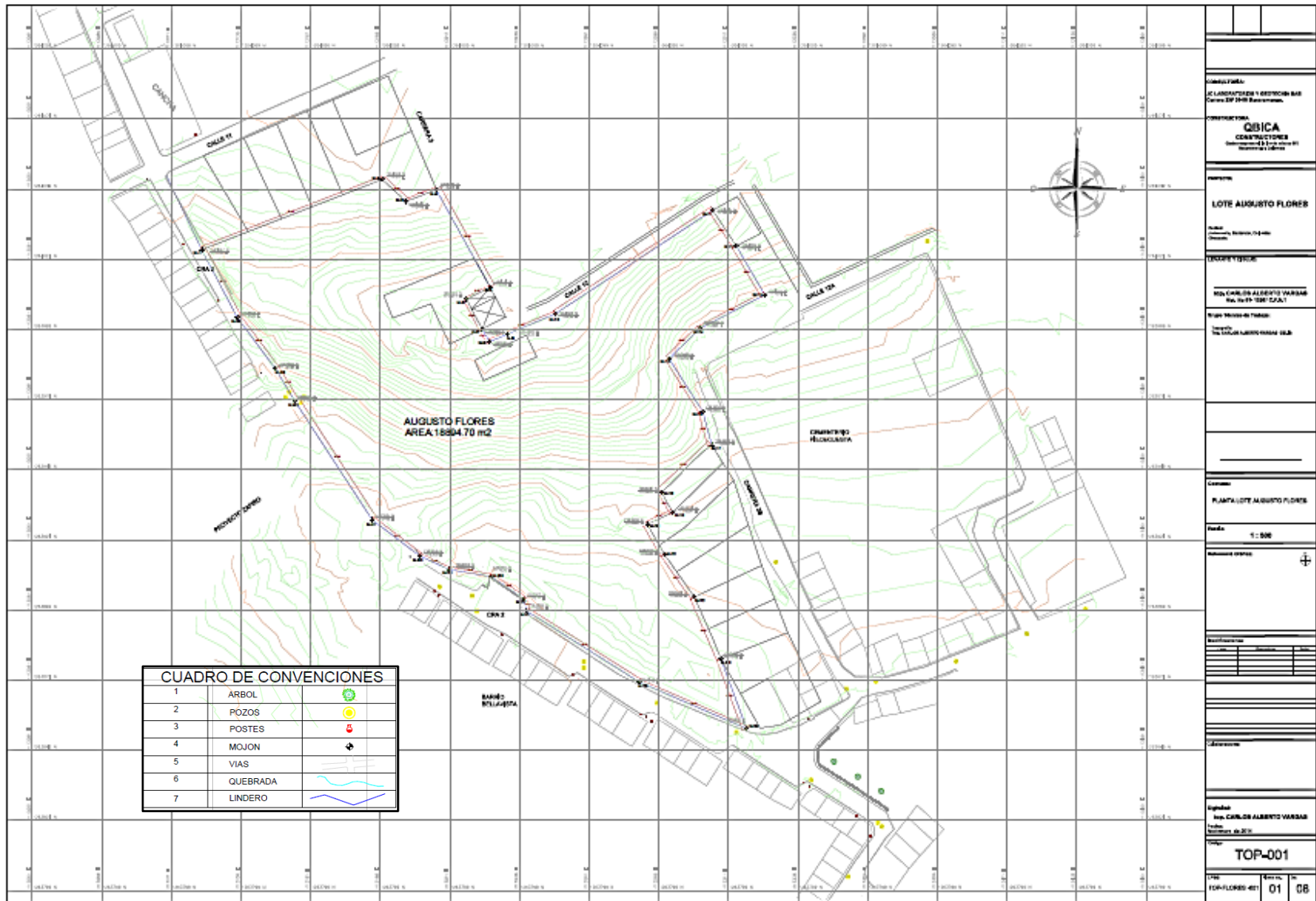
Zonificación Sismogeotécnica Indicativa Del Área Metropolitana De Bucaramanga. INGEOMINAS, Junio de 2001.

## ANEXOS

### ANEXO A. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA DEL EJEMPLO PRÁCTICO.

#### 1. PLANOS EDARFRI.

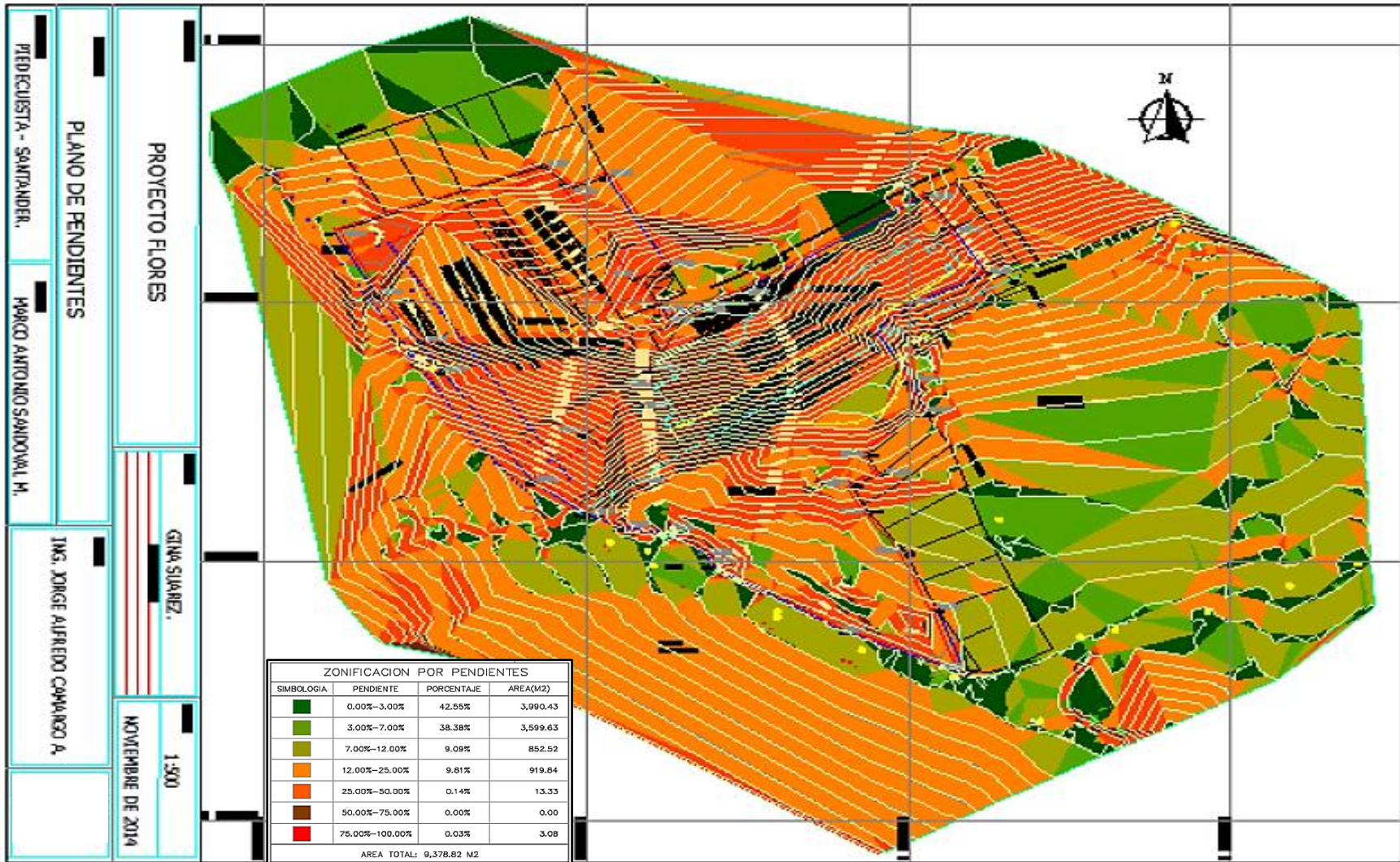
PLANO	CONTIENE
PL - 1	PLANO TOPOGRAFICO
PL - 2	PLANO GEOLOGICO
PL - 3	PLANO DE PERFILES GEOLOGICOS
PL - 4	PLANO GEOMORFOLOGICO
PL - 5	PLANO MORFOMETRICO
PL - 6	PLANO DE AMENAZA
PL - 7	PLANO DE VULNERABILIDAD CON PROYECTO
PL - 8	PLANO DE RIESGO CON PROYECTO

















## 2. PERFORACIÓN Y ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR EN EL SONDEO 1.

Ensayo De Perforación Estandar (SPT)					
PROYECTO		ESTUDIO DETALLADO DE AMENAZA Y RIESGO POR FENÓMENOS DE REMOCION EN MASA O INUNDACIÓN PARA LA CONSTRUCCION DEL PROYECTO DE VIVIENDA FLORES 1, 2 Y 3 CONDOMINIO, UBICADO EN EL MUNICIPIO DE PIEDECUESTA, SANTANDER.			
PROFUNDIDAD (M)		GOLPES CON DIAMETRO DE 6"			Perforación y Sondeo #:1
Inicio	Final	Nº de golpes / 6 pulgadas			DESCRIPCIÓN
		#1	#2	#3	
0,0	0,5	10	22	18	CAPA ORGANICA
0,5	1,0	18	19	23	GRAVAS CON ARENA GRUESA DE COLOR AMARILLA Y VISOS ROJIZOS
1,0	1,5	27	35	38	
1,5	2,0	32	31	32	
2,0	2,5	35	R	R	
2,5	3,0	B	B	B	
3,0	3,5	B	B	B	PENETRACIÓN CON BARRENA, NO SE RECUPERÓ MUESTRA.
3,5	4,0	B	B	B	LIMO ARCILLOSO CON GRAVA GRUESA.
4,0	4,5	29	32	34	
4,5	5,0	24	28	37	
5,0	5,5	33	35	34	
5,5	6,0	38	R	R	

Fuente: EDARFRI Proyecto de Vivienda Las Flores – Piedecuesta.

## 3. CORRECCIÓN POR EFICIENCIAS DE MARTILLOS DE LA PRUEBA SPT.

PAIS	TIPO DE MARTILLO	MARTILLO, MECANISMO DE PRENSA	EFICIENCIA DEL MARTILLO - Em
ARGENTINA	DONUT	CATHEAD	0.45
BRASIL	PIN WEIGHT	HAND DROPPED	0.72
	AUTOMATIC	TRIP	0.6
CHINA	DONUT	HAND DROPPED	0.55
COLOMBIA	DONUT	CATHEAD	0.5
	DONUT}	TOMBI TRIGGER	0.78 - 0.85
JAPON	DONUT	CATHEAD 2 TURNS + SPECIAL RELEASE	0.65 - 0.67
UCRANEA	AUTOMATIC	TRIP	0.73
ESTADOS UNIDOS	SAFETY	2 TURNS ON CATHEAD	0.55 - 0.60
	DONUT	2 TURNS ON CATHEAD	0.45
VENEZUELA	DONUT	CATHEAD	0.43

Fuente: EDARFRI Proyecto de Vivienda Las Flores – Piedecuesta.

#### 4. CORRECCIÓN POR DIÁMETRO, LONGITUD Y MÉTODO DE MUESTREO.

FACTOR	VARIABLES DE EQUIPO	VALOR
LONGITUD DE LAS BARRAS "n2"	>10 m	1
	6 - 10 m	0.95
	4 - 6 m	0.85
	0 - 4 m	0.75
MÉTODO DE MUESTREO "n4"	SIN REVESTIMIENTO	1
	CON REVESTIMIENTO, ARENA DENSA-ARCILLA	0.8
	CON REVESTIMIENTO, ARENA SUELTA	0.9
DIÁMETRO DE LA PERFORACION "n3"	60 - 120 mm	1
	150 mm	1.05
	200 mm	1.15

Fuente: EDARFRI Proyecto de Vivienda Las Flores – Piedecuesta.

#### 5. NÚMERO DE GOLPES CORREGIDO (N<sub>60</sub>), PARA LOS SONDEOS 1 a 4.

Datos N y N <sub>60</sub> Ensayo De Perforación Estandar (SPT)									
Lugar o Sitio:		ESTUDIO DETALLADO DE AMENAZA Y RIESGO POR FENÓMENOS DE REMOCION EN MASA O INUNDACION PARA LA CONSTRUCCION DEL PROYECTO DE VIVIENDA FLORES 1, 2 Y 3 CONDOMINIO, UBICADO EN EL MUNICIPIO DE PIEDECUESTA, SANTANDER.							
PROFUNDIDAD (m)		No. DE GOLPES/PIE							
Inicio	Final	SONDEO #1		SONDEO #2		SONDEO #3		SONDEO #4	
		N	N <sub>60</sub>	N	N <sub>60</sub>	N	N <sub>60</sub>	N	N <sub>60</sub>
0,0	0,5	40	45	7	8	16	18	16	18
0,5	1,0	42	41	13	13	21	21	22	22
1,0	1,5	73	65	10	9	28	25	28	25
1,5	2,0	63	53	23	19	31	26	30	25
2,0	2,5	RECHAZO	RECHAZO	17	13	35	28	33	26
2,5	3,0	BARRENA	BARRENA	17	13	39	29	40	30
3,0	3,5	BARRENA	BARRENA	7	5	32	23	32	23
3,5	4,0	BARRENA	BARRENA	7	5	42	29	39	27
4,0	4,5	66	50	10	8	36	27	35	26
4,5	5,0	65	48	8	6	43	31	44	32
5,0	5,5	69	49	14	10	45	32	48	34
5,5	6,0	RECHAZO	RECHAZO	26	18	54	37	52	36
6,0	6,5			27	20	RECHAZO	RECHAZO	RECHAZO	RECHAZO
6,5	7,0			29	20	BARRENA	BARRENA	BARRENA	BARRENA
7,0	7,5			31	22	BARRENA	BARRENA	BARRENA	BARRENA
7,5	8,0			40	28	BARRENA	BARRENA	BARRENA	BARRENA
8,0	8,5			39	26	BARRENA	BARRENA	BARRENA	BARRENA
8,5	9,0			49	32	BARRENA	BARRENA	BARRENA	BARRENA
9,0	9,5			51	33	BARRENA	BARRENA	69	45
9,5	10,0			62	39	66	42	69	44
10,0	10,5			RECHAZO	RECHAZO	61	40	RECHAZO	RECHAZO
10,5	11,0			BARRENA	BARRENA	RECHAZO	RECHAZO	BARRENA	BARRENA
11,0	11,5			BARRENA	BARRENA	BARRENA	BARRENA	BARRENA	BARRENA
11,5	12,0			BARRENA	BARRENA	BARRENA	BARRENA	BARRENA	BARRENA
12,0	12,5			BARRENA	BARRENA	BARRENA	BARRENA	BARRENA	BARRENA
12,5	13,0			BARRENA	BARRENA	BARRENA	BARRENA	BARRENA	BARRENA
13,0	13,5			BARRENA	BARRENA	BARRENA	BARRENA	BARRENA	BARRENA
13,5	14,0			61	35	87	50	58	33
14,0	14,5			66	37	85	48	73	41
14,5	15,0			63	35	RECHAZO	RECHAZO	RECHAZO	RECHAZO
15,0	15,5			RECHAZO	RECHAZO	BARRENA	BARRENA	BARRENA	BARRENA
15,5	16,0			BARRENA	BARRENA	BARRENA	BARRENA	BARRENA	BARRENA
16,0	16,5			BARRENA	BARRENA	BARRENA	BARRENA	BARRENA	BARRENA
16,5	17,0			BARRENA	BARRENA	BARRENA	BARRENA	BARRENA	BARRENA
17,0	17,5			76	39	77	40	BARRENA	BARRENA
17,5	18,0			79	40	77	39	72	36
18,0	18,5			RECHAZO	RECHAZO	RECHAZO	RECHAZO	RECHAZO	RECHAZO
18,5	19,0			BARRENA	BARRENA	BARRENA	BARRENA		
19,0	19,5			BARRENA	BARRENA	BARRENA	BARRENA		
19,5	20,0			BARRENA	BARRENA	RECHAZO	RECHAZO		
20,0	20,5			BARRENA	BARRENA				
20,5	21,0			BARRENA	BARRENA				
21,0	21,5			RECHAZO	RECHAZO				
21,5	22,0			BARRENA	BARRENA				
22,0	22,5			BARRENA	BARRENA				
22,5	23,0			BARRENA	BARRENA				
23,0	23,5			82	35				
23,5	24,0			RECHAZO	RECHAZO				
24,0	24,5			BARRENA	BARRENA				
24,5	25,0			RECHAZO	RECHAZO				


## 6. ENSAYO DE LÍMITES REALIZADO PARA LA MUESTRA 1 DEL SONDEO 1 (S1M1).

ENSAYOS DE LIMITES DE ATTERBERG NORMA I.N.V.E 125 Y 126				
PROYECTO	ESTUDIO DETALLADO DE AMENAZA Y RIESGO POR FENÓMENOS DE REMOCION EN MASA O INUNDACIÓN PARA LA CONSTRUCCION DEL PROYECTO DE VIVIENDA LOMITAS 1, 2 Y 3 CONDOMINIO, UBICADO EN EL MUNICIPIO DE PIEDECUESTA, SANTANDER.			
LOCALIZACION	S1M1. Proyección Torre Flores 1. Muro Pantalla.			
FECHA DE LOS ENSAYOS	OCTUBRE DE 2014			
CLASIFICACION S.U.C.S	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA SC			
<b>Determinación del Límite Plástico</b>				
Tara	41	45	29	
Wtara	8,4	8,6	8,5	
Wt +Wh	23,9	23,2	28,1	
Wt +Wd	21,6	21,2	24,8	
Wagua	2,3	2	3,3	
Humedad%	17,42	15,87	20,25	17,85
<b>Determinación del Límite Líquido</b>				
Tara	34	84	50	66
Wtara	8,2	8,1	8,3	8,9
Wt +Wh	27	23,5	24,9	24,2
Wt +Wd	22,6	20,1	20,2	20,4
Wagua	4,4	3,4	4,7	3,8
Humedad%	30,56	28,33	39,50	33,04
NºGolpes	35	25	20	15
$y = -6,115\ln(x) + 51,934$				
			LIMITE LIQUIDO :	32,30
			LIMITE PLASTICO:	17,85
			INDICE PLASTICO:	14,45
OBSERVACIONES: _____				

REALIZÓ	SOCORRO MONTOYA LABORATORISTA.
SUPERVISÓ	JORGE A. CAMARGO A. GEOTECNISTA.

Fuente: EDARFRI Proyecto de Vivienda Las Flores – Piedecuesta.

## 7. ENSAYOS DE HUMEDAD REALIZADOS PARA LOS SONDEOS 1, 2 Y 3.

Humedades, NTC 1495 ASTM D 2216				
PROYECTO	ESTUDIO DETALLADO DE AMENAZA Y RIESGO POR FENÓMENOS DE REMOCION EN MASA O INUNDACIÓN PARA LA CONSTRUCCION DEL PROYECTO DE VIVIENDA FLORES 1, 2 Y 3 CONDOMINIO, UBICADO EN EL MUNICIPIO DE PIEDECUESTA, SANTANDER.			
LOCALIZACION	Sondeo N°1, Sondeo N°2 y Sondeo N°3			
REALIZADO POR	Socorro Montoya			
FECHA	OCTUBRE DE 2014			
HUMEDADES				
LOCALIZACION	S1M1P3,0m	S1M2P6,0m	S2M1P6,5m	S2M2P12,5m
TARA	73	71	39	48
W. TARA	8,5	8,4	8,3	8,6
W. MUESTRA HUMEDA + TARA	111,1	108,4	101,5	105,2
W. MUESTRA SECA + TARA	101,3	97,9	91,2	97,2
W. MUESTRA SECA	92,80	89,50	82,90	88,60
w. AGUA	9,80	10,50	10,30	8,00
HUMEDAD	10,56	11,73	12,42	9,03
LOCALIZACION	S2M3P18,0m	S2M4P24,5m	S3M1P6,0m	S3M2P12,5m
TARA	14	22	53	11
W. TARA	8,2	8,6	8,4	8,2
W. MUESTRA HUMEDA + TARA	98,9	98,1	112,7	128,4
W. MUESTRA SECA + TARA	89,6	89,9	99,87	115,6
W. MUESTRA SECA	81,40	81,30	91,47	107,40
w. AGUA	9,30	8,20	12,83	12,80
HUMEDAD	11,43	10,09	14,03	11,92
REALIZÓ	SOCORRO MONTOYA LABORATORISTA.			
SUPERVISÓ	JORGE A. CAMARGO A. GEOTECNISTA.			

Fuente: EDARFRI Proyecto de Vivienda Las Flores – Piedecuesta.

## 8. ENSAYO DE GRANULOMETRÍA REALIZADO PARA LA MUESTRA 1 DEL SONDEO 1 (S1M1).

ENSAYO DE GRANULOMETRIA Normas ASTM D421 - 58 y D422-63																																																								
PROYECTO	ESTUDIO DETALLADO DE AMENAZA Y RIESGO POR FENÓMENOS DE REMOCION EN MASA O INUNDACION PARA LA CONSTRUCCION DEL PROYECTO DE VIVIENDA FLORES 1, 2 Y 3 CONDOMINIO, UBICADO EN EL MUNICIPIO DE PIEDECUESTA, SANTANDER.																																																							
LOCALIZACION	S1M1. Proyección Torre Flores 1. Muro Pantalla.																																																							
FECHA DE LOS ENSAYOS	OCTUBRE DE 2014																																																							
CLASIFICACION S.U.C.S	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA SC																																																							
W Suelo Seco: <input style="width: 50px;" type="text" value="525,87"/>																																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Tamiz</th> <th>Peso Retenido</th> <th>%</th> <th>% que pasa</th> </tr> <tr> <th>No.</th> <th>m.m</th> <th>grs</th> <th>Retenido</th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>25,40</td><td>44,5</td><td>8,46</td><td>91,54</td></tr> <tr><td>3/4</td><td>19,05</td><td>42,6</td><td>8,10</td><td>83,44</td></tr> <tr><td>1/2</td><td>12,70</td><td>35,7</td><td>6,79</td><td>76,65</td></tr> <tr><td>3/8</td><td>9,51</td><td>14,5</td><td>2,76</td><td>73,89</td></tr> <tr><td>4</td><td>4,76</td><td>16,8</td><td>3,19</td><td>70,70</td></tr> <tr><td>10</td><td>2,00</td><td>12,4</td><td>2,36</td><td>68,34</td></tr> <tr><td>40</td><td>0,43</td><td>28,8</td><td>5,48</td><td>62,86</td></tr> <tr><td>100</td><td>0,149</td><td>43,9</td><td>8,35</td><td>54,51</td></tr> <tr><td>200</td><td>0,074</td><td>59,8</td><td>11,37</td><td>43,14</td></tr> </tbody> </table>		Tamiz		Peso Retenido	%	% que pasa	No.	m.m	grs	Retenido	%	1	25,40	44,5	8,46	91,54	3/4	19,05	42,6	8,10	83,44	1/2	12,70	35,7	6,79	76,65	3/8	9,51	14,5	2,76	73,89	4	4,76	16,8	3,19	70,70	10	2,00	12,4	2,36	68,34	40	0,43	28,8	5,48	62,86	100	0,149	43,9	8,35	54,51	200	0,074	59,8	11,37	43,14
Tamiz		Peso Retenido	%	% que pasa																																																				
No.	m.m	grs	Retenido	%																																																				
1	25,40	44,5	8,46	91,54																																																				
3/4	19,05	42,6	8,10	83,44																																																				
1/2	12,70	35,7	6,79	76,65																																																				
3/8	9,51	14,5	2,76	73,89																																																				
4	4,76	16,8	3,19	70,70																																																				
10	2,00	12,4	2,36	68,34																																																				
40	0,43	28,8	5,48	62,86																																																				
100	0,149	43,9	8,35	54,51																																																				
200	0,074	59,8	11,37	43,14																																																				
GRAVA <input style="width: 50px;" type="text" value="29,30"/>	ARENA <input style="width: 50px;" type="text" value="27,55"/>	FINOS <input style="width: 50px;" type="text" value="43,14"/>																																																						
OBSERVACIONES: _____																																																								

REALIZÓ	SOCORRO MONTOYA LABORATORISTA.	
SUPERVISÓ	JORGE A. CAMARGO A. GEOTECNISTA.	

Fuente: EDARFRI Proyecto de Vivienda Las Flores – Piedecuesta.

## 9. CAPACIDAD DE CARGA PARA EL SONDEO NO 1 Y NO 2.

PROFUNDIDAD (m)		SONDEO 1				SONDEO 2			
		N CORR	Fd	Qa		N CORR	Fd	Qa	
				kN/m <sup>2</sup>	Kgr/cm <sup>2</sup>			kN/m <sup>2</sup>	Kgr/cm <sup>2</sup>
Initial	Final								
0,00	0,50	46	1,165	505,2	5,05	8	1,165	88,4	0,88
0,50	1,00	41	1,330	527,9	5,28	13	1,330	163,4	1,63
1,00	1,50	66	1,330	838,5	8,39	9	1,330	114,9	1,15
1,50	2,00	53	1,330	675,3	6,75	19	1,330	246,5	2,47
2,00	2,50	RECHAZO	1,330	RECHAZO	RECHAZO	13	1,330	172,1	1,72
2,50	3,00	BARRENA	1,330	BARRENA	BARRENA	13	1,330	163,8	1,64
3,00	3,50	BARRENA	1,330	BARRENA	BARRENA	5	1,330	64,6	0,65
3,50	4,00	BARRENA	1,330	BARRENA	BARRENA	5	1,330	62,1	0,62
4,00	4,50	50	1,330	639,9	6,40	8	1,330	97,0	0,97
4,50	5,00	48	1,330	609,5	6,10	6	1,330	75,0	0,75
5,00	5,50	49	1,330	627,2	6,27	10	1,330	127,2	1,27
5,50	6,00	RECHAZO	1,330	RECHAZO	RECHAZO	18	1,330	229,5	2,29
6,00	6,50					20	1,330	259,0	2,59
6,50	7,00					20	1,330	261,6	2,62
7,00	7,50					22	1,330	282,4	2,82
7,50	8,00					28	1,330	355,7	3,56
8,00	8,50					26	1,330	338,8	3,39
8,50	9,00					32	1,330	416,2	4,16
9,00	9,50					33	1,330	423,9	4,24
9,50	10,00					39	1,330	504,6	5,05
10,00	10,50					RECHAZO	1,330	RECHAZO	RECHAZO
10,50	11,00					BARRENA	1,330	BARRENA	BARRENA
11,00	11,50					BARRENA	1,330	BARRENA	BARRENA
11,50	12,00					BARRENA	1,330	BARRENA	BARRENA
12,00	12,50					BARRENA	1,330	BARRENA	BARRENA
12,50	13,00					BARRENA	1,330	BARRENA	BARRENA
13,00	13,50					BARRENA	1,330	BARRENA	BARRENA
13,50	14,00					35	1,330	449,5	4,50
14,00	14,50					37	1,330	478,1	4,78
14,50	15,00					35	1,330	448,8	4,49
15,00	15,50					RECHAZO	1,330	RECHAZO	RECHAZO
15,50	16,00					BARRENA	1,330	BARRENA	BARRENA
16,00	16,50					BARRENA	1,330	BARRENA	BARRENA
16,50	17,00					BARRENA	1,330	BARRENA	BARRENA
17,00	17,50					39	1,330	499,7	5,00
17,50	18,00					40	1,330	511,5	5,12
18,00	18,50					RECHAZO	1,330	RECHAZO	RECHAZO
18,50	19,00					BARRENA	1,330	BARRENA	BARRENA
19,00	19,50					BARRENA	1,330	BARRENA	BARRENA
19,50	20,00					BARRENA	1,330	BARRENA	BARRENA
20,00	20,50					BARRENA	1,330	BARRENA	BARRENA
20,50	21,00					BARRENA	1,330	BARRENA	BARRENA
21,00	21,50					RECHAZO	1,330	RECHAZO	RECHAZO
21,50	22,00					BARRENA	1,330	BARRENA	BARRENA
22,00	22,50					BARRENA	1,330	BARRENA	BARRENA
22,50	23,00					BARRENA	1,330	BARRENA	BARRENA
23,00	23,50					35	1,330	453,2	4,53
23,50	24,00					RECHAZO	1,330	RECHAZO	RECHAZO
24,00	24,50					BARRENA	1,330	BARRENA	BARRENA
24,50	25,00					RECHAZO	1,330	RECHAZO	RECHAZO

Fuente: EDARFRI Proyecto de Vivienda Las Flores – Piedecuesta.

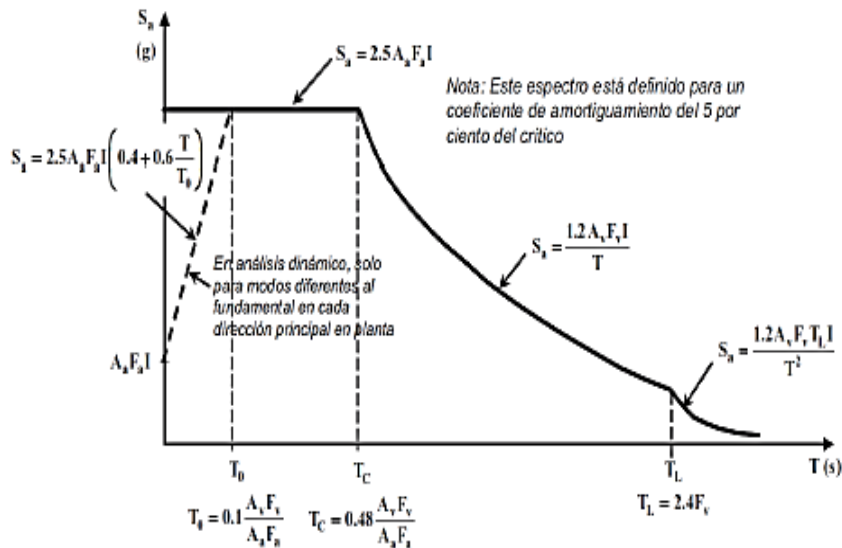
## 10. ESPECTRO DE ACELERACIONES

Aa=	0,25
Av=	0,25
Tipo de perfil	D
Fa=	1,3
Fv=	1,9
l=	1

0	0
To=	0,14615385
Tc=	0,70153846
TL=	4,56

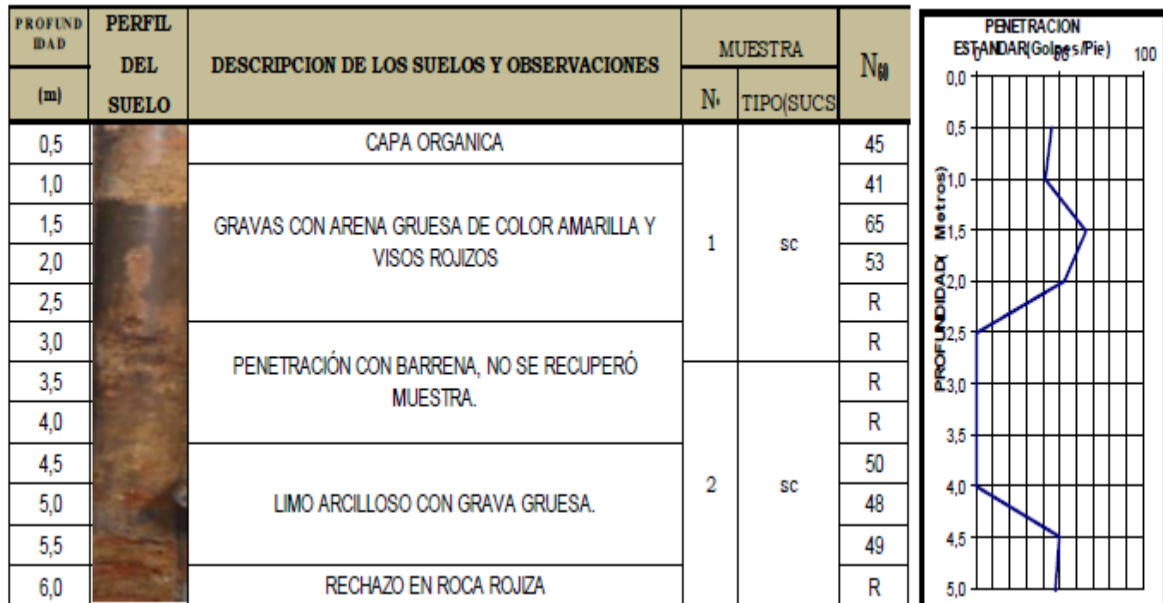
Sa(0)=	0,325
Sa(To)=	0,8125
Sa(Tc)=	0,8125
Sa(TL)=	0,125

T	Sa(T)
0,000	0,325
0,029	0,4225
0,058	0,52
0,088	0,6175
0,117	0,715
To= 0,146	0,8125
0,424	0,8125
Tc= 0,702	0,8125
1,087	0,5241935
1,473	0,3869048
1,859	0,3066038
2,245	0,2539063
2,631	0,2166667
3,017	0,1889535
3,402	0,1675258
3,788	0,150463
4,174	0,1365546



TL=	4,560	0,125
4,610	0,1236443	
4,660	0,1196928	
4,710	0,117165	
4,810	0,1123439	
4,910	0,1078144	
5,010	0,1035534	
5,110	0,0995401	
5,210	0,0957556	
5,310	0,092183	
5,510	0,0856124	
5,710	0,07972	
6,210	0,0673995	
7,210	0,0499999	

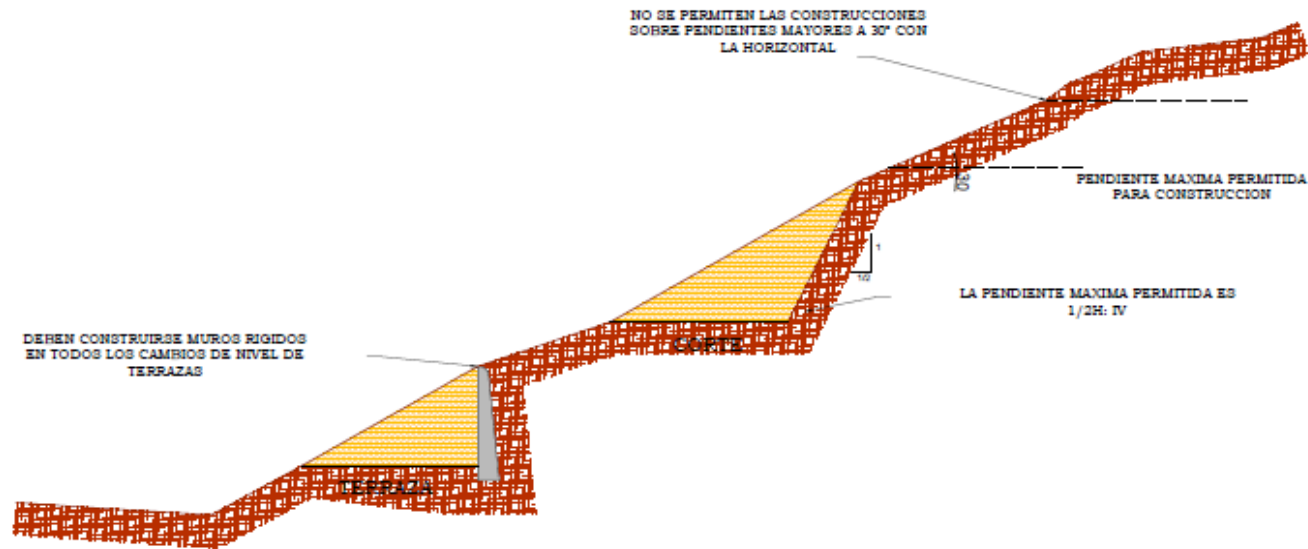
### 11. PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL SONDEO GEOTÉCNICO NO 1.



**ANEXO B. PLANOS DE AISLAMIENTOS MINIMOS EN TALUDES, CORTES Y CAUCES.**

<b>PLANO</b>	<b>CONTIENE</b>
PL-1	PLANO DE EDIFICACIONES SOBRE LADERA
PL-2	PLANO DE AISLAMIENTOS EN TALUDES CON PENDIENTE INFERIOR A 45°
PL-3	PLANO DE AISLAMIENTOS EN TALUDES CON PENDIENTE SUPERIOR A 45°
PL-4	PLANO DE AISLAMIENTOS EN CORTES JUNTO LÍMITES DE PROPIEDAD
PL-5	PLANO DE AISLAMIENTOS EN CAUCES PRINCIPALES

## EDIFICACIONES SOBRE LADERA



### Notas

1. No se permite la construcción de rellenos sobre ladera

REQUISITOS PARA EL MANEJO DE PROYECTOS DE DESARROLLO

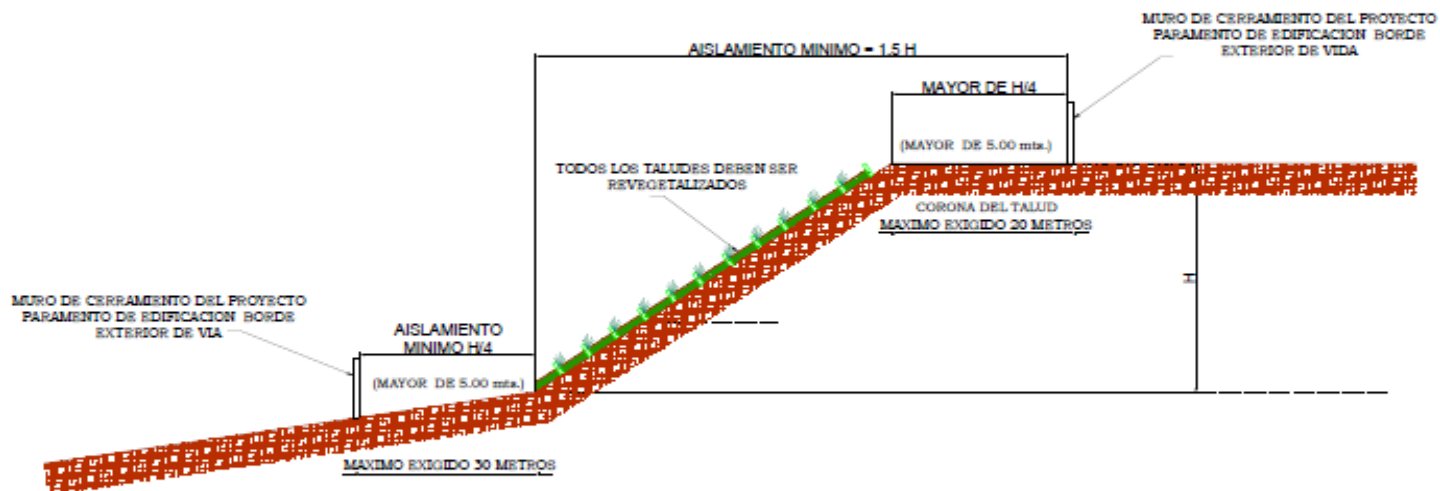
### CONTIENE

EDIFICACIONES SOBRE LADERAS

Plano N°  
1

de  
5

**AISLAMIENTOS EN TALUDES**



Notas

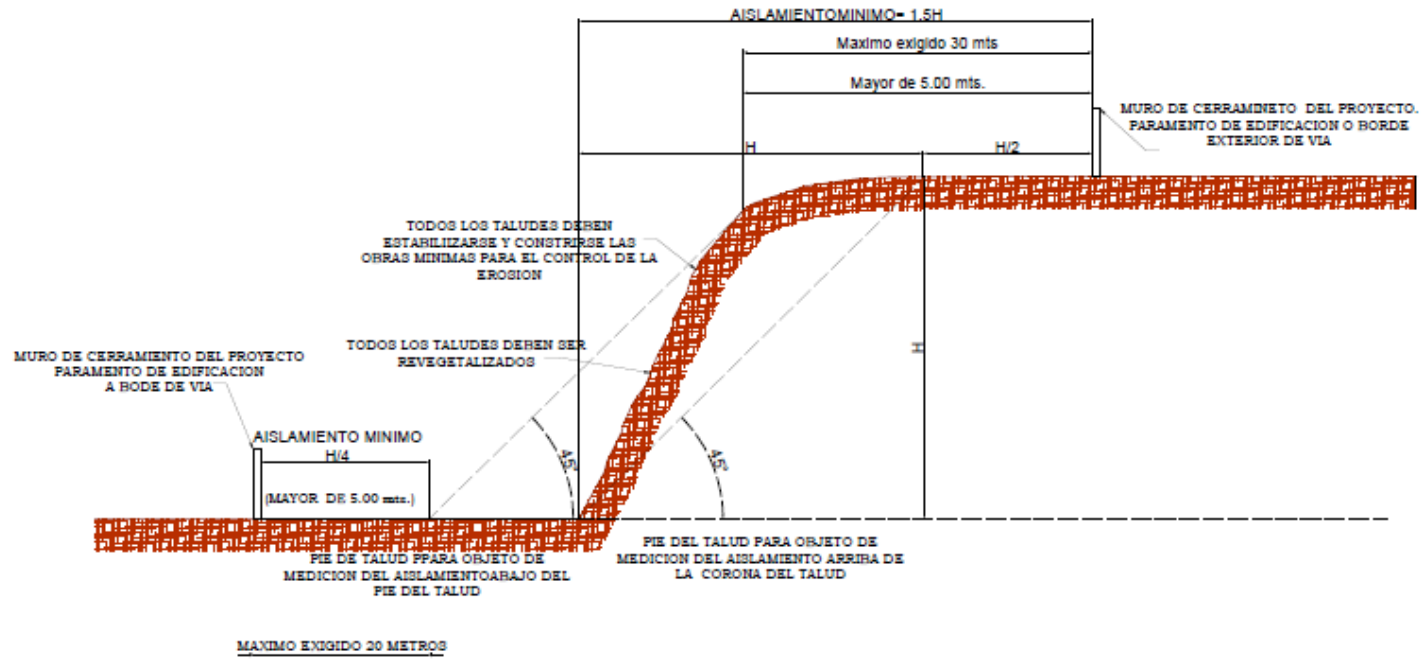
REQUISITOS PARA EL MANEJO DE PROYECTOS DE DESARROLLO

CONTIENE AISLAMIENTOS MINIMOS EN TALUDES CON PENDIENTE INFERIOR A 45°

Plano N° 2

de 5

**AISLAMIENTOS EN TALUDES CON  
PENDIENTES SUPERIOR A 45°**



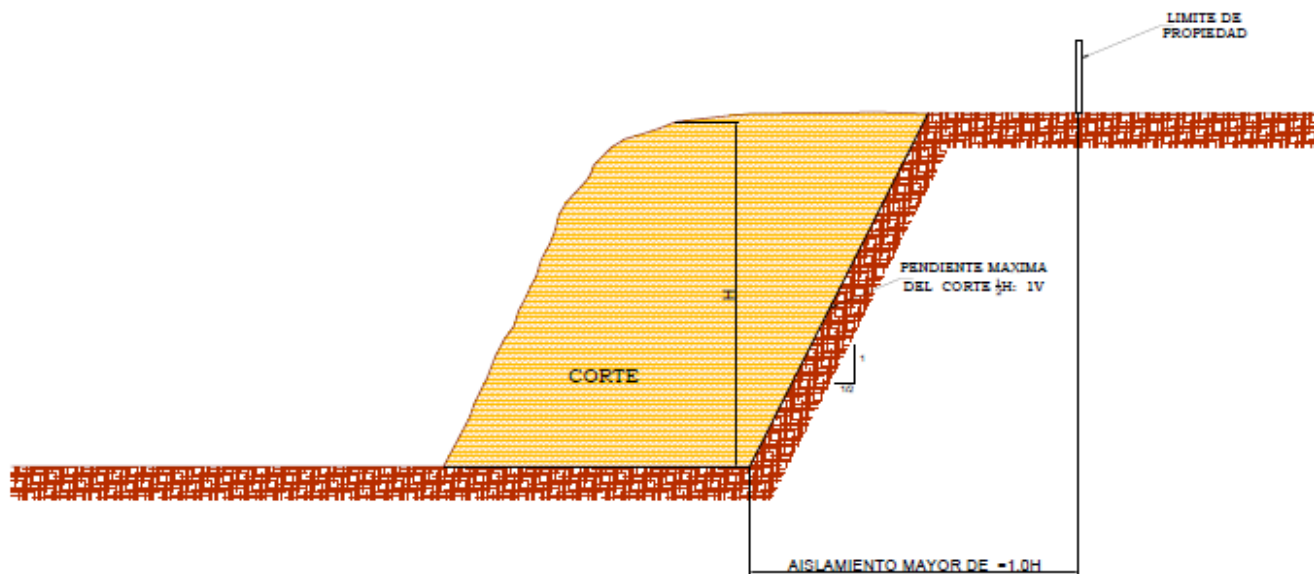
**Notas**  
 -En todos los casos se exige que el talud posea factor seguridad mayor de 1.5  
 -Se considera talud cuando la pendiente es superior a 30°  
 -La pendiente máxima permitida en corte es de 1/2H:1V, y en rellenos 1H:1V

**REQUISITOS PARA EL MANEJO DE PROYECTOS DE DESARROLLO**

**CONTIENE AISLAMIENTOS MINIMOS EN TALUDES CON PENDIENTE SUPERIOR A 45°**

Plano Nº **3** de **5**

AISLAMIENTOS EN CORTES JUNTO A  
LIMITE DE PROPIEDAD



NOTAS

- Aislamiento mínimo entre el límite de la propiedad y el pie del corte : 1.0H
- Este aislamiento no se aplica para la construcción de sótanos de edificios en áreas desarrolladas.

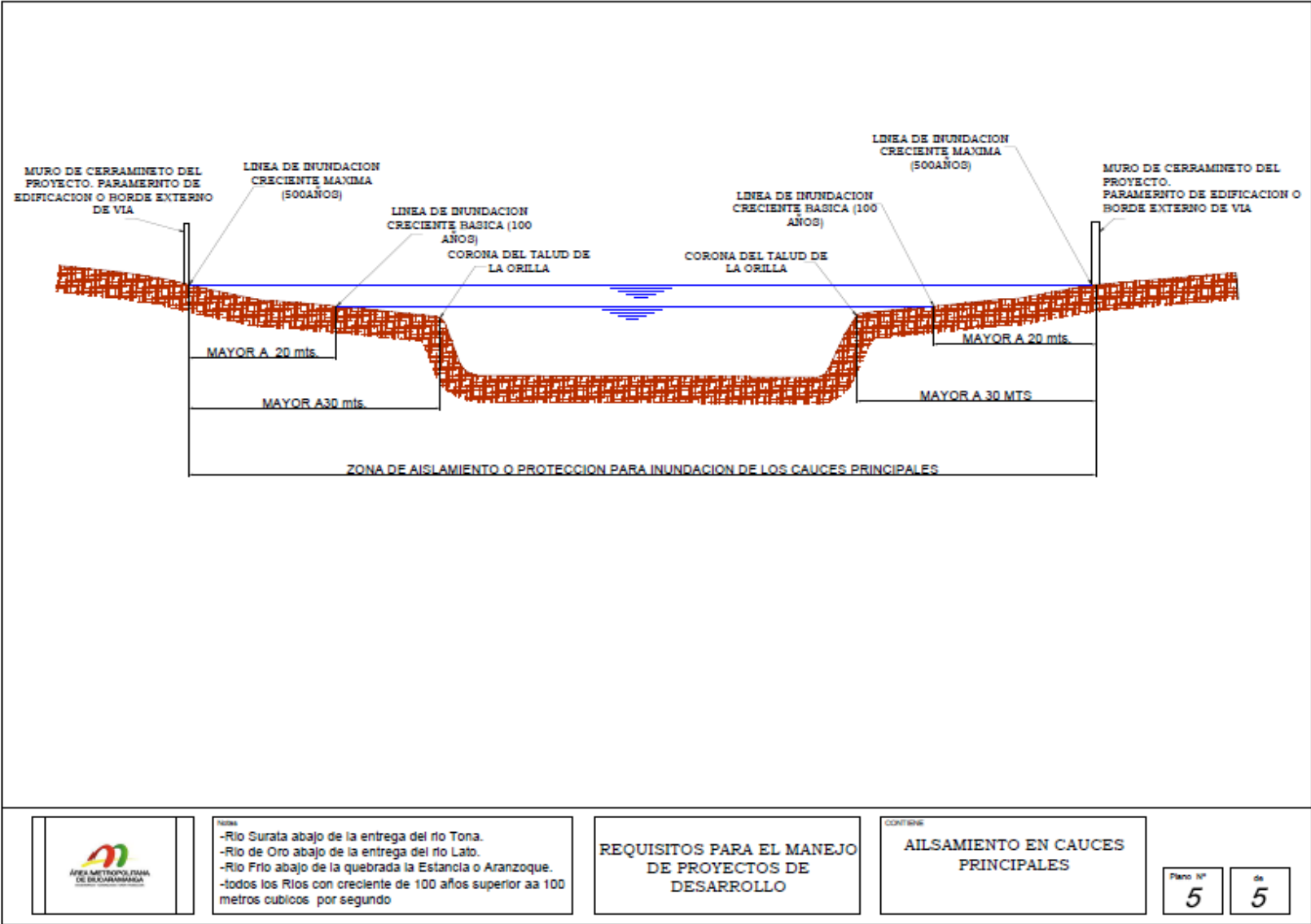
REQUISITOS PARA EL MANEJO  
DE PROYECTOS DE  
DESARROLLO

CONTIENE

AISLAMIENTOS EN CORTES  
JUNTO A LIMITE DE  
PROPIEDAD

Folio N°  
4

de  
5



Notas  
 -Río Surata abajo de la entrega del río Tona.  
 -Río de Oro abajo de la entrega del río Lato.  
 -Río Frio abajo de la quebrada la Estancia o Aranzoque.  
 -todos los Rios con creciento de 100 años superior aa 100 metros cubicos por segundo

REQUISITOS PARA EL MANEJO DE PROYECTOS DE DESARROLLO

CONTINUA  
 AISLAMIENTO EN CAUCES PRINCIPALES

Plano N° 5 de 5

**ANEXO C. PROPUESTA DE LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA LA  
REALIZACIÓN DE ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO  
POR REMOCIÓN EN MASA E INUNDACIÓN A NIVEL DE DETALLE EN LA  
ZONA URBANA DEL AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA**