

29

Uptc

Universidad Pedagógica y
Tecnológica de Colombia



Corpoboyacá

Región estratégica para la sostenibilidad

INFORME FINAL

ZONIFICACION DE AREAS DE AMENAZA DE ORIGEN NATURAL Y POBLACION EN RIESGO EN EL AREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SOCOTA



SOGAMOSO, DICIEMBRE DE 2013

Sogamoso, 26 de diciembre del 2013

Ingeniero

RAÚL TORRES

(Supervisor convenio 028 del 2013)

CORPOBOYACA, Tunja

Estimado ingeniero:

Se adjunta a la presente una copia del Informe final del Convenio interadministrativo 028; celebrado entre la Corporación Autónoma Regional de Boyacá - CORPOBOYACÁ y la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia U.P.T.C. El cual comprende los siguientes tópicos:

Durante el desarrollo del proyecto "ESTUDIO GEOTÉCNICO, ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS DE ORIGEN NATURAL Y EVALUACIÓN DE ESCENARIOS DE RIESGO EN EL AREA URBANA DE SOCOTÁ- BOYACÁ" hasta la fecha se han realizado las siguientes actividades:

1. RECOLECCION DE INFORMACION: Se obtuvo información secundaria suministrada por la Secretaria de Planeación del Municipio de Socotá, la Corporación Autónoma Regional de Boyacá "CORPOBOYACA" el Instituto Geográfico Agustín Codazzi "IGAC" y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales "IDEAM" que comprenden aspectos geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, cartográficos y de sensores remotos, junto con información encontrada dentro del EOT del municipio y los mapas producto de este estudio, los cuales se tomaron como referencia para la contextualización del sector.

2. TOPOGRAFIA: Se realizó el levantamiento topográfico del área de estudio a escala detallada, finalmente se obtuvo el mapa topográfico a escala 1:1250, escala utilizada para la generación de los mapas a nivel local.

3. TRABAJO DE CAMPO: Durante esta fase se realizaron las visitas a campo donde se verificó la información existente y se obtuvo información detallada del área de estudio en cuanto a:
 - GEOLOGIA: Durante la visita a campo se determinó las formaciones existentes en el área de estudio realizando su descripción en los sectores aflorantes; además se hizo una generalización de las formaciones aledañas para tener una perspectiva local y regional. Se realizó una caracterización petrográfica de la Fm Ermitaño. Hasta la fecha se tiene el mapa geológico local, escala 1:5000

 - HIDROLOGIA: Se realizó un inventario de puntos de agua, y el uso que actualmente se le da, para verificar su incidencia en las condiciones del área. Se realizó el análisis hidrológico para la estimación de caudales y realización de histogramas de precipitación.

 - GEOMORFOLOGIA: Se hizo un análisis de la Morfogénesis, Morfoestructura, Morfodinámica y Morfología, reconociendo las principales geoformas en el área de estudio y sector aledaño, también se

identificaron los principales procesos que intervienen en la configuración del relieve y se tiene el mapa geomorfológico local a escala 1:5000

- EXPLORACION: En este capítulo se realizó exploración directa e indirecta, realizando 7 perforaciones a diferentes profundidades, 8 sondeos manuales y en la parte indirecta 8 líneas de tomografía, el cual se encuentra en el procesamiento y análisis de la información, en el informe se muestra la ubicación de las perforaciones, sondeos manuales y líneas de tomografía en el plano topográfico con los resultados de los análisis. se anexa los perfiles estratigráficos que se realizaron durante los sondeos.
4. ANALISIS DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL: Se realizó el inventario de las viviendas del sector Urbano del municipio, donde se muestra el tipo de construcción y el análisis estadístico. En el informe se anexa el inventario realizado.
 5. ESTRUCTURACION DEL SIG: En esta etapa se han realizado mapas temáticos, y se obtuvo la susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa, Se generó el mapa geológico y el mapa geomorfológico.

Atentamente



JOSE JAIRO ESPITIA NIÑO
Coordinador del Proyecto UPTC



Anexamos

Informe ~~187~~¹⁶³ paginas

Anexos de planos 12

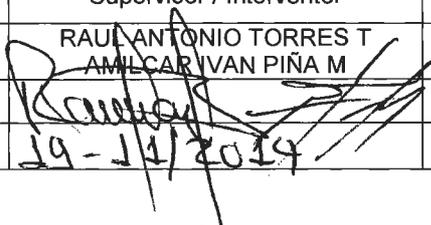
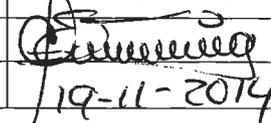
 Corpoboyacá	CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE BOYACÁ	GESTIÓN PROYECTOS AMBIENTALES	
		FORMATO DE REGISTRO	
	SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN DE LA CALIDAD	FGP- 03	Página 1 de 1
Versión 1		20-03-2012	
ENTREGA DE DOCUMENTOS ORIGINALES PRODUCTO DE CONTRATOS Y CONVENIOS			

Por medio de la presente, se formaliza la entrega de los documentos producto del Convenio Interadministrativo No 2013028; en soporte original con destino al Centro Documental.

ÁREA TEMÁTICA / RUBRO DE PROYECTO	SUBDIRECCION DE PLANEACION Y SISTEMAS - GESTIÓN DEL RIESGO PARA LA PLANIFICACIÓN TERRITORIAL
NÚMERO CONTRATO / CONVENIO	CNV 2013 - 028
CONTRATISTA:	UNIVERSIDAD PEDAGOGICA Y TECNOLOGICA DE COLOMBIA
INTERVENTOR / SUPERVISOR	RAUL ANTONIO TORRES TORRES – AMILCAR IVAN PIÑA MONTAÑEZ
NOMBRE DEL DOCUMENTO	ESTUDIO GEOTECNICO, ZONIFICACION DE AMENAZAS DE ORIGEN NATURAL Y EVALUACION DE ESCENARIOS DE RIESGO EN EL AREA URBANA DE SOCOTA – BOYACA.
NÚMERO DE FOLIOS	CIENTO SETENTA Y SEIS FOLIOS (176) FOLIOS
NÚMERO DE UNIDADES DE CONSERVACION (libro, tomo, legajo, etc.)	UN (1) TOMO CORRESPONDIENTE A INFORME FINAL CON RADICADO 110 – 17981 DEL 27 DE DICIEMBRE DE 2013.
SOPORTES ANEXOS. (Describe numero de CDS, planos, fotografías, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> • 1 Carpeta AZ contiene los siguientes Anexos <p>Anexo A. Cartera topográfica Anexo B. Mapas:</p> <p style="padding-left: 40px;">Anexo B1. Mapa Geológico Anexo B2. Mapa Geomorfológico Anexo B3. Mapas temáticos: Parámetro de Material Parámetro de Erosión Parámetro de Drenaje Parámetro de Clima Parámetro de Relieve Parámetro de Vegetación Parámetro de Relieve Parámetro de evidencias de Inestabilidad</p> <p>Anexo B4. Mapa de Susceptibilidad por FRM</p> <p>Anexo C. Registro Fotográfico de Vulnerabilidad de viviendas</p> <p>Anexo D. Ensayos de Laboratorio</p> <p>Anexo F. Inventario de Alcantarillado</p> <p>Anexo G. Resultados de las Tomografías</p>

 Corpoboyacá	CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE BOYACÁ		GESTIÓN PROYECTOS AMBIENTALES		
			FORMATO DE REGISTRO		
	SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN DE LA CALIDAD		FGP- 03	Página 2 de 1	
			Versión 1	20-03-2012	
ENTREGA DE DOCUMENTOS ORIGINALES PRODUCTO DE CONTRATOS Y CONVENIOS					

OBSERVACIONES: (cuando aplique) N.A

	Entregó	Recibió (Gestión Contratación)	Recibió (Centro Documental)
Cargo / desempeño:	Supervisor / Interventor	Asistencial Contratación	Asistencial Centro Docume
Nombre:	RAUL ANTONIO TORRES T AMILCAR IVAN PIÑA M	NO APLICA	CLAUDIA EUGENIA VACCA
Firma:			
Fecha:	19-11-2014		19-11-2014

Elaboró: Raúl Antonio Torres Torres – Amilcar Ivna Piña Montañez
 Revisó: Claudia Eugenia Vacca
 Archivo: 110 – 17 CNV 2013 - 028

**ZONIFICACIÓN DE AREAS DE AMENAZA DE ORIGEN NATURAL Y
POBLACION EN RIESGO EN EL AREA URBANA DEL MUNICIPIO DE
SOCOTA**

**CONVENIO INTERADMINISTRATIVO CORPORACION AUTONOMA
REGIONAL DE BOYACA-CORPOBOYACÁ- Y UNIVERSIDAD PEDAGOGICA Y
TECNOLOGICA DE COLOMBIA-UPTC-**

INFORME FINAL

SOGAMOSO, DICIEMBRE DE 2013

**ZONIFICACIÓN DE AREAS DE AMENAZA DE ORIGEN NATURAL Y
POBLACION EN RIESGO EN EL AREA URBANA DEL MUNICIPIO DE
SOCOTA**

CONVENIO INTERADIMINISTRATIVO

N° 028 DE 2013

INFORME FINAL

SOGAMOSO, DICIEMBRE DE 2013

CONTENIDO

1. GENERALIDADES	14
1.1. PRESENTACION.....	14
1.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	15
1.2.1. Objetivo General.....	15
1.2.2. Objetivos Específicos	15
1.3. LOCALIZACIÓN	16
1.4. VIAS DE ACCESO.....	18
1.5. METODOLOGIA DEL TRABAJO	19
1.5.1. Trabajos preliminares	19
1.5.2. Trabajos de Campo.....	20
1.5.3. Trabajos de Oficina	21
2. HIDROGRAFIA Y CLIMA	22
2.1. CLIMA	22
2.2. HIDROGRAFÍA.....	22
2.2.1. Precipitacion.....	23
2.2.2. Inventario de nacaderos.....	23
3. GEOLOGIA	29
3.1. ESTRATIGRAFIA.....	30
3.1.1. Formación Ermitaño (kse).....	30
3.1.2. Formación Guaduas (ksg).....	38
3.1.3. Formación Socha inferior (Tpsi):.....	40
3.1.4. Formación Socha superior (Tpss):.....	43
3.1.5. Formación picacho (Tep):.....	44
3.1.6. Deposito Coluvial (Qc):	45
3.2. FALLAS.....	51
3.3. PLIEGUES.....	52
4. GEOMORFOLOGIA	54

4.1.	MORFOGENESIS	54
4.2.	MORFODINAMICA	55
4.2.1.	Procesos Endógenos.....	55
4.2.2.	Procesos Exógenos	55
4.3.	MORFOESTRUCTURA	59
4.4.	MORFOLOGIA	60
4.5.	INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA.....	65
5.	GEOTECNIA.....	71
5.1.	EXPLORACION DEL SUBSUELO	71
5.1.1.	Exploración directa.....	71
5.1.2.	Exploración Indirecta	74
5.1.3.	Ensayos de laboratorio.....	82
5.2.	EVALUACION DE ESTABILIDAD SECTOR LA LOMA	83
5.2.1.	Modelo Geotécnico	83
5.2.2.	Análisis de Estabilidad.....	87
5.2.3.	Evaluación de Resultados	93
5.3.	EVALUACION DE ESTABILIDAD DEL SECTOR LA RECEBERA	95
5.3.1.	Modelo Geotécnico	95
5.3.2.	Análisis de estabilidad.....	97
5.3.3.	Evaluación de resultados.....	99
5.4.	RECOMENDACIONES	100
6.	ZONIFICACION DE SUSCEPTIBILIDAD DE FENOMENOS DE REMOCION EN MASA.....	102
6.1.	METODOLOGIA.....	102
6.2.	GENERACIÓN DE MAPAS TEMÁTICOS.....	106
6.2.1.	Evaluación y generación de los parámetros	107
6.3.	Resultados de la Zonificación	139
6.4.	EVALUACIÓN DE RESULTADOS	146
7.	ESTUDIO DE VULNERABILIDAD URBANA	147
7.1.	MARCO CONTEXTUAL.....	147

7.2.	METODOLOGÍA.....	149
7.3.	RESULTADO DEL INVENTARIO DE VIVIENDA	150
7.4.	RESULTADO DEL INVENTARIO DEL ALCANTARILLADO	153
7.5.	EVALUACIÓN DE RESULTADOS	155
8.	AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES.....	156
8.1.	INFORMACION BASICA	156
8.1.2.	Información cartográfica.....	157
8.2.	PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION	157
8.2.1.	Análisis temporal de precipitación	158
8.2.2.	Valores máximos de Precipitación	159
8.2.3.	Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia.....	161
8.3.	CARACTERIZACION MORFOMETRICA DE LA CUENCA	164
8.4.	CAUDALES MAXIMOS SEGÚN PERIODOS DE RETORNO	167
9.	CONCLUSIONES	171
10.	RECOMENDACIONES	173
11.	BIBLIOGRAFIA.....	175

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.	Localización del área de estudio.	17
FIGURA 2 .	Vía principal para el acceso al área de estudio.	18
FIGURA 3.	Quebrada el Salitre.	22
FIGURA 4.	Sector San Pedro, Zona de recarga.	24
FIGURA 5.	Nacimiento natural. Cerca Quebrada el Salitre.	24
FIGURA 6.	Pozo, Al Sur del casco urbano de Socotá	25
FIGURA 7.	Nacimiento natural. Parte sur del casco Urbano.	25
FIGURA 8.	Nacimiento natural. Sector urbano.....	26
FIGURA 9.	Nacimiento natural. Sector Urbano	26
FIGURA 10.	Ubicación de manantiales y nacederos	28
FIGURA 11.	Puntos de recorrido en diferentes visitas de campo	29
FIGURA 12.	Panorámica del Municipio de Socotá Formación Ermitaño (Kse) en contacto con el Deposito Coluvial (Qc).....	30
FIGURA 13.	Areniscas cuarzosas y arcillolitas de la Formación Ermitaño (Kse).....	31
FIGURA 14.	Descripción de un afloramiento de la formación Ermitaño	32
FIGURA 15.	Roca Fosfórica del nivel I, descripción de la Formación Ermitaño (Kse).....	32
FIGURA 16.	Lidita asociada a roca Fosfórica	33
FIGURA 17.	Roca Fosfórica	33
FIGURA 18.	Intercalación de calizas Lumaquelicas nivel II, descripción de la Formación Ermitaño.....	34
Figura 19.	Caliza Lumaquelica	34
FIGURA 20.	Capa de lutitas fisible nivel III, descripción de la Formación Ermitaño.	35
FIGURA 21.	Lutitas Fisibles.....	35
FIGURA 22.	Formación Ermitaño (Kse).	36
FIGURA 23.	Sucesión de capas de limolitas calcáreas con lutitas fisibles.	37
FIGURA 24.	Capas de limolitas, descripción de la Formación Ermitaño.	37
FIGURA 25.	Intercalaciones de arcillas grises Formación Guaduas.	38
FIGURA 26.	Arcillolitas grisáceas fisibles con areniscas cuarzosas, descripción de la Formación Guaduas Nivel I.	39
FIGURA 27.	Lutitas fisibles, descripción de la Formación Guaduas Nivel II.	39
FIGURA 28.	Nivel de carbón, Formación Guaduas.....	40
FIGURA 29.	Areniscas cuarzosas de la Formación Socha Inferior (Tpsi).	41
FIGURA 30.	Contacto Formación Guaduas con Formación Socha Inferior.	41
FIGURA 31.	Niveles de la Formación Socha Inferior (Tpsi).	42
FIGURA 32.	Areniscas cuarzosas de la Formación Socha Inferior.....	42

FIGURA 33.	Arcillolitas Grises con Niveles de arenisca, descripción de la formación Socha Inferior Nivel II.	43
FIGURA 34.	Arcillolitas de la Formación Socha Superior (Tpss).	44
FIGURA 35.	Areniscas de grano fino a medio de la Formación Picacho (Tep)	45
FIGURA 36.	Panorámica de las unidades estratigráficas. . Tep. Formación Picacho, Tpss. Formación Socha Superior. Tpsi. Formación Socha Inferior.....	45
FIGURA 37.	Bloques del depósito Coluvial y su irregularidad y angulosidad.....	46
FIGURA 38.	Deposito Coluvial	46
FIGURA 39.	Contacto Discordante Inferido Fm Ermitaño Depósito Coluvial.....	47
FIGURA 40.	Contacto Formación Ermitaño con el deposito Coluvial.....	48
FIGURA 41.	Columna estratigráfica Sector Cerro de Rucu.....	49
FIGURA 42.	Mapa Geológico área de estudio	50
FIGURA 43.	Estrías de falla sobre la Fm Ermitaño.....	52
FIGURA 44.	Estructuras de plegamiento, área de estudio.....	52
FIGURA 45.	Propuesta Jerarquización Geomorfológica Servicio Geológico.	54
FIGURA 46.	Erosión laminar	56
FIGURA 47.	Erosión diferencial	56
FIGURA 48.	Extracción Material. Parte Este del municipio de Socotá.	57
FIGURA 49.	Actividad Minera.....	58
FIGURA 50.	Actividad Agrícola. Sector San Pedro.....	58
FIGURA 51.	Geomorfología del área de estudio	60
FIGURA 52.	Ladera Estructural Sobre la Formación Socha Inferior	61
FIGURA 53.	Ladera Coluvial.....	62
FIGURA 54.	Deslizamiento.....	63
FIGURA 55.	Ladera Denudacional.	64
FIGURA 56.	Nivel areniscas Formación Ermitaño ladera de Erosión Moderada.....	64
FIGURA 57.	Afectación a muro de gaviones.....	65
FIGURA 58.	Afectaciones a la vía.....	66
FIGURA 59.	Afectaciones a la vía.....	66
FIGURA 60.	Movimiento de reptación.	67
FIGURA 61.	Flujo de material	67
FIGURA 62.	Movimiento de Reptación	68
FIGURA 63.	Movimiento de reptación.	68
FIGURA 64.	Movimiento de reptación.	69
FIGURA 65.	Movimiento complejo.....	69
FIGURA 66.	Movimiento complejo.....	70
FIGURA 67.	Caída de Roca.....	70
FIGURA 68.	Equipos de perforación utilizados. A. Petty B. Sprague.....	72
FIGURA 69.	Localización de los sondeos mecánicos y sondajes.	73

FIGURA 70.	Principio teórico de operación de las TER's.....	75
FIGURA 71.	Rangos de resistividad para diferentes materiales.....	75
FIGURA 72.	Dispositivo Wenner.....	77
FIGURA 73.	Equipo Utilizado Terrameter ABEM.....	78
FIGURA 74.	Localización líneas de tomografía.....	79
FIGURA 75.	Registro fotográfico Línea 1, Área cercana a la Estación de Servicio BRIO.....	80
FIGURA 76.	Perfil tomografía Línea 1.....	81
FIGURA 77.	Perfil litológico Línea 1.....	81
FIGURA 78.	Sector La Loma con la localización de los sondeos y los cortes.....	84
FIGURA 79.	Modelo Geotécnico corte B-B.....	85
FIGURA 80.	Modelo Geotécnico corte C-C.....	86
FIGURA 81.	Resultados del análisis al talud original corte B-B sin sismo.....	88
FIGURA 82.	Resultados del análisis al talud original corte B-B con sismo.....	89
FIGURA 83.	Resultados del análisis talud corte B-B con sismo y anclajes activos,.....	90
FIGURA 84.	Resultados del análisis al talud original corte C-C sin sismo.....	91
FIGURA 85.	Resultados del análisis al talud original corte C-C con sismo.....	92
FIGURA 86.	Resultados del análisis talud corte C-C con sismo y anclajes activos.....	93
FIGURA 87.	Sector La Recebera con la localización de la sección D-D y los sondeos.....	95
FIGURA 88.	Modelo Geotécnico corte D-D.....	96
FIGURA 89.	Resultado de modelación del talud original con muro gavión en equilibrio estático.....	97
FIGURA 90.	Resultado de modelación del talud original con muro gavión en condición de equilibrio Pseudo estático.....	98
FIGURA 91.	Resultado de modelación del talud con muro gavión y terraceo, en condición de equilibrio Pseudo estático.....	99
FIGURA 92.	Estructuración gráfica de SIG.....	104
FIGURA 93.	Base Cartográfica a escala 1:5000 exportada de ArcGis.....	106
FIGURA 94.	Imagen Mapa Geológico.....	110
FIGURA 95.	Imagen Parámetro Material.....	111
FIGURA 96.	Fracturamiento Intenso Formación Ermitaño.....	112
FIGURA 97.	Fracturamiento Formación Guaduas (Ktg).....	112
FIGURA 98.	Fracturamiento Moderado Socha Inferior (Tpsi).....	113
FIGURA 99.	Suelo Granular Origen Sedimentario.....	113
FIGURA 100.	Mapa Pendientes.....	115
FIGURA 101.	Mapa subzonas.....	116
FIGURA 102.	Perfil hipotético de una ladera de Darymple.....	117
FIGURA 103.	Ladera Coluvial.....	117
FIGURA 104.	Ladera Media de Transporte.....	118
FIGURA 105.	Ladera Recta.....	119

FIGURA 106.	Imagen mapa Curvatura	119
FIGURA 107.	Imagen Parámetro Relieve.....	121
FIGURA 108.	Subcuencas presentes en el área de estudio.....	122
FIGURA 109.	Parámetro Drenaje.....	124
FIGURA 110.	Imagen mapa erosión.	125
FIGURA 111 .	Erosión Laminar	126
FIGURA 112.	Erosión Diferencial	127
FIGURA 113.	Imagen Parámetro Clima	128
FIGURA 114.	Pendientes clasificado.....	130
FIGURA 115.	Tipos de Cobertura.....	131
FIGURA 116.	Panorámica, Cobertura Vegetal.....	132
FIGURA 117.	Parámetro Vegetación	133
FIGURA 118.	Distribución del parámetro Aa en el territorio nacional.....	134
FIGURA 119.	Parámetro Sismicidad	135
FIGURA 120.	Imagen Satelital Acompañada de puntos de control.....	136
FIGURA 121.	Caída de Bloque	137
FIGURA 122.	Reptación	138
FIGURA 123.	Movimiento Rotacional.....	138
FIGURA 124.	Parámetro de Inestabilidad	139
FIGURA 125.	Susceptibilidad por Fenómeno de Remoción en Masa, aplicando la metodología d de Ramírez y González, 1989	140
FIGURA 126.	Distribución porcentual del grado de susceptibilidad	141
FIGURA 127.	Representación geográfica de depósitos y roca aflorante con su correspondiente dirección de movimiento	141
FIGURA 128.	Modelo de reforestación	143
FIGURA 129.	Parámetro de Vegetación ideal.	144
FIGURA 130.	Modelo de susceptibilidad por FRM	145
FIGURA 131.	FRM basados en el área afectada	145
FIGURA 132.	Área urbana municipio de Socotá.....	148
FIGURA 133.	Porcentajes de tipo de construcción de vivienda. A. Tipo de cimiento. B. Tipo de cubierta. C. Tipo de mampostería.....	153
FIGURA 134.	Imagen de diámetro de una tubería del alcantarillado	153
FIGURA 135.	Localización de las estaciones.....	157
FIGURA 136.	Precipitación media mensual Estación Curital.....	158
FIGURA 137.	Variación anual de la precipitación media anual	159
FIGURA 138.	Valores máximos mensuales de precipitación en 24 horas estación	161
FIGURA 139.	Curva IDF estación Curital.....	163
FIGURA 140.	Áreas De drenaje.....	166

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Coordenadas aproximadas área de estudio.....	16
Tabla 2.	Tipo de información recopilada	19
Tabla 3.	Resumen de los puntos de agua registrados en campo.....	27
Tabla 4.	Descripción Macroscópica de la Fm Ermitaño	33
Tabla 5.	Descripción de la Fm Ermitaño.....	34
Tabla 6.	Descripción del nivel III de la Fm Ermitaño	35
Tabla 7.	Factores geomorfológicos	59
Tabla 8.	Relación de Sondeos Mecánicos o perforaciones	72
Tabla 9.	Relación de sondeos manuales.	73
Tabla 10.	Resistividades de los materiales presentes en el área de estudio.....	80
Tabla 11.	Relación ensayos de laboratorio	82
Tabla 12.	Parámetros correspondientes con el modelo geotécnico del corte B-B	85
Tabla 13.	Parámetros correspondientes con el modelo geotécnico del corte C-C	86
Tabla 14.	Resumen de Resultados	94
Tabla 15.	Parámetros correspondientes con el modelo geotécnico del corte D-D.....	96
Tabla 16.	Resumen de Resultados	99
Tabla 17.	Parámetro de evaluación de zonas homogéneas inestables.....	103
Tabla 18.	Calificaciones definidas para estos tipos de rocas según diferentes grados de fracturamiento.....	107
Tabla 19.	Valores de estabilidad para el factor suelo residual	108
Tabla 20.	Valores de estabilidad para en factor suelo transportado	108
Tabla 21.	Puntaje para el parámetro M.....	109
Tabla 22.	Asignación de puntajes para el parámetro material.....	110
Tabla 23.	Valores de Reclasificación de las pendientes.....	114
Tabla 24.	Valores de estabilidad para para el factor inclinación de la pendiente.....	115
Tabla 25.	Valores de estabilidad para el factor forma de la pendiente.	116
Tabla 26.	Valores de densidad de drenajes.....	122
Tabla 27.	Valores de estabilidad para el factor drenaje.	123
Tabla 28.	Valores de estabilidad para el factor drenaje.....	123
Tabla 29.	Tipos de erosión	124
Tabla 30.	Valores de estabilidad para el factor precipitación	127
Tabla 31.	Valores de estabilidad o susceptibilidad para el factor vegetación.....	129

Tabla 32. Valores de estabilidad o susceptibilidad para el factor sismicidad.....	134
Tabla 33. Valores de susceptibilidad por FRM.....	139
Tabla 34. Calificación del parámetro de cobertura vegetal.....	142
Tabla 35. Datos estación Curital	156
Tabla 36. Precipitación máxima en 24 horas estación Curital	160
Tabla 37. Coeficientes para la ecuación IDF en la región Andina	162
Tabla 38. Datos de Intensidad Duración Frecuencia Estación Curital	163
Tabla 39. Parámetros morfométricos de las cuencas.....	165
Tabla 40. Caudales pico para la subcuenca Área 1.....	169
Tabla 41. Caudales pico para la subcuenca Área 2.....	170
Tabla 42. Caudales pico para la subcuenca Área 3.....	170

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Cartera topográfica

ANEXO B. Mapas

Mapa Geológico escala 1:5000

Mapa Geomorfológico escala 1:5000

Mapas temáticos

Mapa de susceptibilidad por FRM

ANEXO C. Anexo fotográfico de viviendas

Encuesta consolidado de viviendas

ANEXO D. Ensayos de laboratorio

ANEXO E. Sondeos manuales y mecánicos.

ANEXO F. Inventario de alcantarillado

ANEXO G. Resultados líneas de tomografía

RESUMEN

El municipio de Socotá se encuentra localizado al Noreste del departamento de Boyacá. En los últimos años se han presentado Fenómenos de Remoción en masa asociados principalmente a las altas precipitaciones en algunos periodos y a la litología presente, los cuales han afectado al casco urbano y zonas aledañas. Por esta razón La Corporación Autónoma Regional de Boyacá (CORPOBOYACA) sostiene el convenio N° 028 de 2013 con la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) con el fin de zonificar las áreas de amenaza de origen natural y población en riesgo en el área urbana de dicho municipio. Para dar cumplimiento a los objetivos planteados la universidad determina el desarrollo de modelos basados en información de campo (geología, geomorfología), ensayos de laboratorio y pruebas de muestreo (sondeo manuales, mecánicos y tomografía) sobre los materiales para conocer el comportamiento del suelo en el área; los cuales son modelados mediante software especializado en sistemas de información geográfica (ArcGis, y AutoCAD) y caracterización geotécnica (Slope).

Dentro del estudio propuesto se hace un análisis hidrológico y un estudio del alcantarillado para determinar el grado de afectación que pueda tener tanto por infiltración o colmatación de sedimentos en este; que puedan contribuir al desarrollo de los fenómenos debido a su influencia sobre las propiedades geomecánicas de los materiales.

Por último se realiza un análisis de vulnerabilidad estructural de las viviendas mediante encuestas y observación por parte del personal calificado.

Con los resultados adquiridos de los diferentes estudios se busca conocer el grado de susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa y caída de bloques para conocer las razones del origen y evolución de estos fenómenos y proponer medidas correctivas para evitar un suceso mayor en un futuro que afecte la infraestructura y primordialmente la integridad de los habitantes del municipio.

1. GENERALIDADES

1.1. PRESENTACION

Con el objeto de aunar esfuerzos técnicos y financieros para la evaluación de amenazas naturales en el municipio de Socotá, departamento de Boyacá, la Corporación Autónoma Regional de Boyacá “CORPOBOYACA” y la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia-UPTC, firmaron el convenio interinstitucional de Investigación conjunta CNV 2013028, de Septiembre 30 de 2013.

A consecuencia de las fuertes precipitaciones ocurridas en los años 2010 y 2011, se produjeron fenómenos de remoción en masa en algunos sectores del área urbana de Socotá y sus alrededores. En el sector conocido como La Loma el movimiento del terreno afectó siete viviendas, algunas de ellas en grado tal que tuvieron que ser abandonadas.

Estos hechos, sumados a los eventos ocurridos en 1821 y 1913, cuando el poblado fue semidestruido por fenómenos, llamados entonces derrumbes, han sembrado la desconfianza en los moradores, quienes no saben a ciencia cierta en que condición de riesgo se encuentran.

Este documento corresponde al informe final del estudio, cuyo objetivo principal es establecer la amenaza por fenómenos naturales, que aplica al área urbana de Socotá, para las condiciones actuales y para la eventualidad de presentarse procesos ambientales, climáticos o sísmicos, desfavorables.

1.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.2.1. Objetivo General

Realizar el estudio geotécnico, la zonificación de amenazas de origen natural y los escenarios de riesgo en el casco urbano del municipio de Socotá -Boyacá.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Recopilar y analizar la información bibliográfica existente del área de estudio.
- Realizar el levantamiento topográfico de la zona de estudio a escala 1:5000
- Realizar el inventario de vulnerabilidad estructural de viviendas y otras estructuras.
- Realizar la exploración directa mediante perforaciones, con sus respectivos análisis.
- Realizar exploración geofísica del terreno por medio de métodos geoelectricos como la tomografía.
- Realizar un inventarió de las zonas inestables con su descripción.
- Realizar la caracterización geotécnica del área de estudio.
- Generar los mapas para la zonificación por amenazas naturales.
- Establecer los puntos críticos dentro del área urbana y sus posibles obras de control.

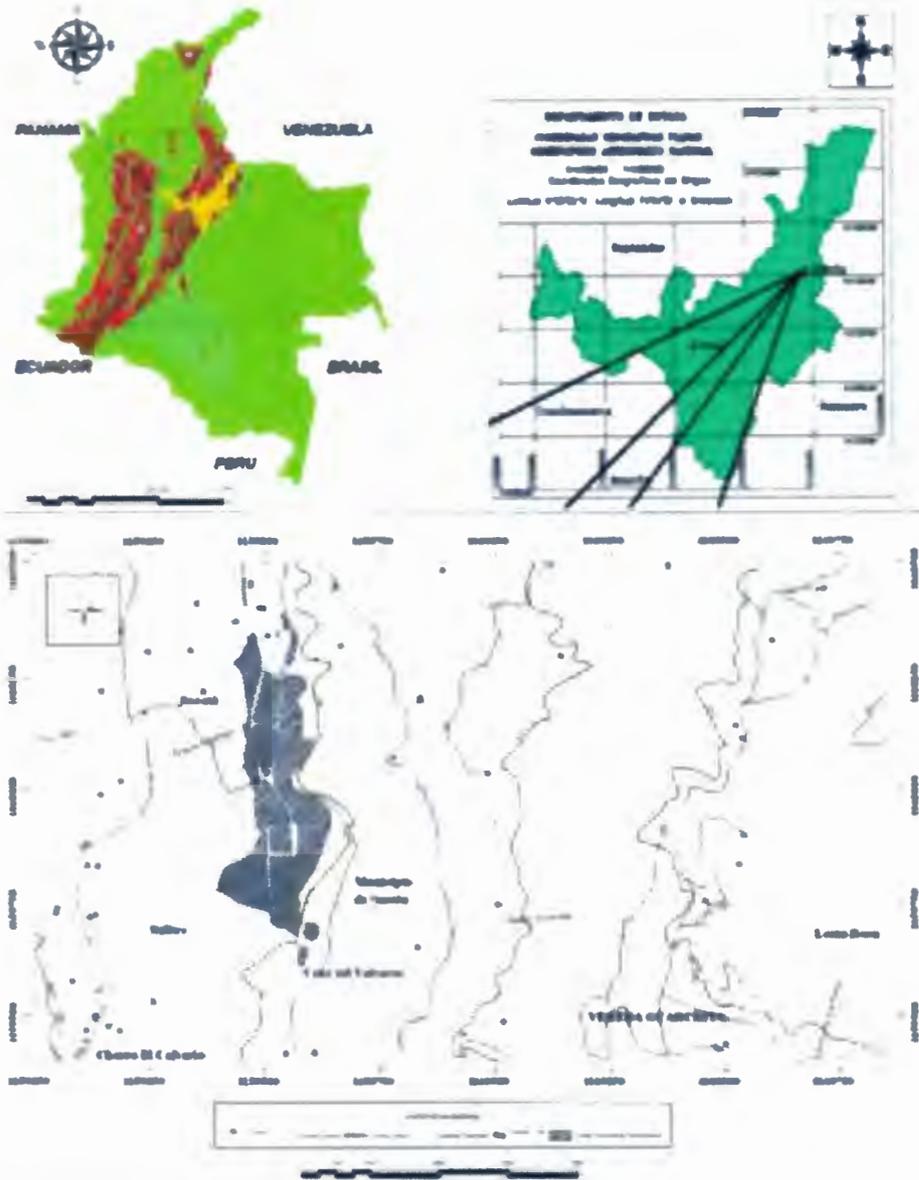
1.3. LOCALIZACIÓN

El área de estudio se localiza en la parte oriental del departamento de Boyacá, sobre la Cordillera Oriental de los Andes, comprende el casco urbano y su expansión; incluida dentro de las planchas 152- IV- C-4 y 172 II-A-2 a escala 1:10000 del IGAC. Comprendida entre las siguientes coordenadas aproximadas.

Tabla 1. Coordenadas aproximadas área de estudio.

PUNTO	NORTE	ESTE
Esquina NW	1.159.000	1.160.500
Esquina NE	1.160750	1.160.500
Esquina SE	1.159.500	1.160.750
Esquina SW	1.159.000	1.159.500

Fuente. Proyecto



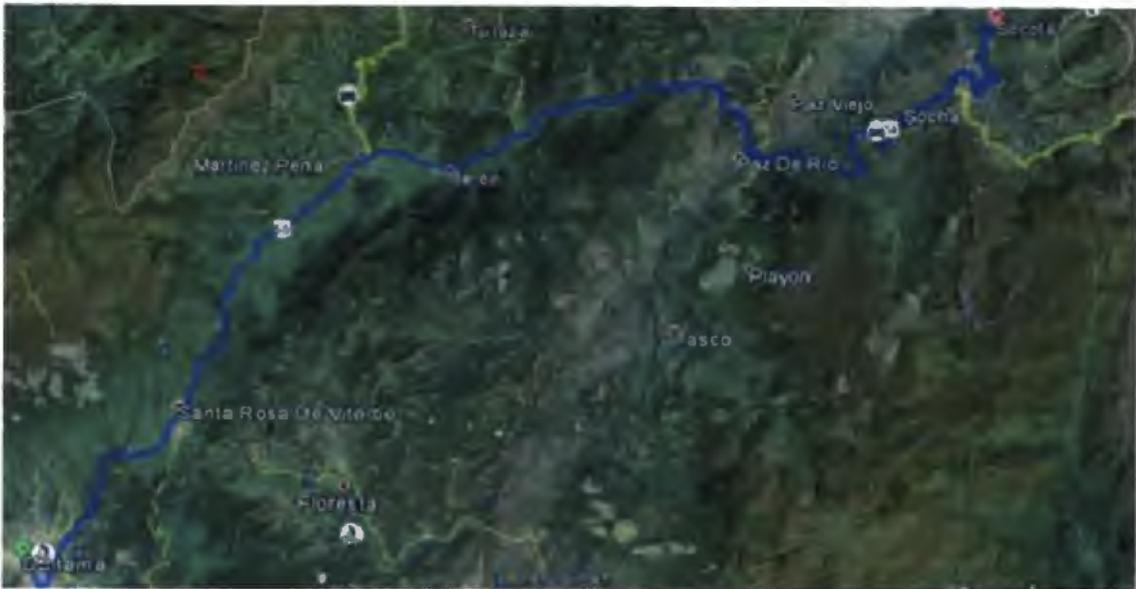
Fuente. Proyecto

FIGURA 1. Localización del área de estudio.

1.4. VIAS DE ACCESO

Socotá se comunica con la ciudad de Tunja, capital de departamento por una vía de 113 km de longitud, de los cuales 7 km no se encuentran pavimentados. En este recorrido se pasa por los municipios de Socha, Paz de Rio, Belén, Cerinza, Santa Rosa de Viterbo, Duitama y Paipa.

Las vías veredales con que cuenta el municipio carecen de pavimento y se mantienen en regular estado de mantenimiento, dado que la vocación minera de la región implica un considerable tránsito de vehículos de carga.



Fuente. Imagen tomada de Google Earth

FIGURA 2 . Vía principal para el acceso al área de estudio.

1.5. METODOLOGIA DEL TRABAJO

1.5.1. Trabajos preliminares

No se han reportado considerables estudios en el municipio en cuanto a la problemática, dentro de los encontrados se tienen:

- Mario Fernando Carreño Rodríguez, Juan Guillermo Delgado Noguera. Carbones de Colombia S.A. CARBOCOL. “Evaluación geológica de los carbones en el área comprendida entre Socha y Socotá”. Sogamoso, Julio de 1991.
- Héctor Eduardo Alda Trujillo, Edgar Gil Estévez. “Evaluación de riesgo geológico en el municipio de Socota”.1995.

1.5.1.1. Visita a campo

Se realizan varias visitas a campo inicialmente con el objetivo de verificar la información secundaria y los insumos que se tienen, se realizan recorridos a lo largo de la vía y hacia la parte oeste del municipio.

1.5.1.2. Recopilación de información secundaria

En esta fase se recopila la información secundaria el cual se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2. Tipo de información recopilada

TIPO DE INFORMACIÓN	ENTIDAD	DESCRIPCIÓN
Información Geológica	<i>Servicio Geológico Colombiano</i>	<i>Se adquirieron dos planchas geológicas, la 152-Soata - Málaga y la plancha 172 - Paz de Rio, a escala 1:100000.</i>
Información Hidrológica	<i>Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales IDEAM</i>	<i>Información de las estaciones meteorológicas del municipio de Socotá alrededores.</i>

Información Cartográfica	<i>Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC</i>	<i>Se obtuvieron dos planchas topográficas a escala 1:10000 la 152-IV-C-4 y la 172-II-A-2, donde se encuentra el área de estudio. Se compraron dos fotografías aéreas en esta entidad, con líneas de vuelo C-2558-52 C-2558-53.</i>
Información Geomorfológica	<i>La Corporación Autónoma Regional de Boyacá – CORPOBOYACÁ</i>	<i>Fueron suministradas imágenes satelitales RapideEye del municipio de Socotá.</i>
Información EOT	CORPOBOYACÁ	<i>La corporación suministro toda la información del EOT, junto con los mapas generados, a escala 1:50000 y el de la zona urbana a escala 1:1500.</i>

Fuente. Proyecto

1.5.2. Trabajos de Campo

1.5.2.1. Levantamiento topográfico

El trabajo de topografía se inicia con un reconocimiento general del terreno, con apoyo de planos existentes, mapas, fotografías aéreas y visita de campo se identifica la zona donde se desarrollara el levantamiento. Para este proceso se hace una poligonal ubicando el delta Nro. 1 en la parte alta de la montaña al sur oeste del pueblo el cual nos da una visual suficiente para la toma información externa adyacente al casco urbano.

1.5.2.2. Levantamiento geológico

Para la elaboración de la geología en el municipio de Socotá se adquieren las planchas topográficas del IGAC y fotografías aéreas, se realiza una visita de campo en el que se hizo un reconocimiento de cada una de la unidades estratigráficas y toma de datos estructurales, toma de muestras para realizar un análisis petrográfico y finalmente se elaboró el mapa geológico 1:5.000 del área de estudio.

1.5.2.3. Exploración geotécnica

Los trabajos de exploración del terreno, fueron de tres tipos, a saber: siete sondeos mediante equipo mecánico, con recuperación continua de muestras y ejecución de SPT, en longitud total de 120 m, nueve sondeos manuales o sondajes con muestreo continuo y SPT, en longitud total de 33.5 m y ejecución de ocho líneas tomográficas. En el capítulo 5 se ilustra el desarrollo de estas actividades.

1.5.2.4. Inventario de viviendas

Se realizó, una verificación del estado estructural de las viviendas, casa por casa, en total se visitó 340 construcciones incluyendo entidades oficiales. Además se realizó una encuesta en cada una de ellas con el fin de valorar y poder dar un diagnóstico de acuerdo a lo observado y a la información brindada por los habitantes.

1.5.2.5. Inventario de sistema de alcantarillado

Este trabajo consistió en inspeccionar uno a uno los pozos del sistema de alcantarillado, tomando los datos correspondientes al diámetro de las tuberías, sus cotas clave y la cota batea.

1.5.3. Trabajos de Oficina

En los distintos aspectos que contemplan este estudio se procedió a aplicar las metodologías correspondientes a partir de la información recopilada.

2. HIDROGRAFIA Y CLIMA

2.1. CLIMA

El área de estudio se encuentra en piso térmico frío a templado con temperaturas medias oscilando entre 5 °C y 22°C respectivamente.

2.2. HIDROGRAFÍA

De la confluencia del río Arzobispo y la quebrada Los Barzales, nace el río Cómeza que fluye de Sur a Norte, marca el límite con el municipio de Socha y desemboca en el río Chicamocha, afluente del Magdalena. Al río Cómeza desembocan las quebradas que surcan la población en sentido de Oriente a Occidente y son la quebrada El Salitre, la quebrada Guarrús y la quebrada La Playa.

La Quebrada el Salitre ubicada en el área urbana, discurre por la parte sur, se caracteriza por su caudal constante; además lleva un pequeño caudal de algunos nacederos, aguas negras de las casas cercanas y el caudal de aguas lluvias del área aferente.

N 1.159.505 E 1.159.687



Fuente. Proyecto

FIGURA 3. Quebrada el Salitre.

La Quebrada Guarrús que atraviesa la parte central del casco urbano nace en la zona oriental con agua producto de nacederos, pero su mayor caudal corriente se debe a las aguas negras de alrededor del 70% de la población; en época invernal su caudal se incrementa en gran medida, llegando a representar un problema que merece especial atención.

La quebrada la playa que se encuentra en la parte norte del casco urbano, recoge todas las aguas lluvias y aguas negras del sector.

2.2.1. Precipitación

La precipitación en la zona es bimodal con dos periodos de lluvias intensas y dos periodos de verano. Los mayores valores registrados corresponden a 129.9 mm en el mes de Abril y de 129.5 mm en el mes de Octubre.

Los registros históricos anuales presentan valores extremos de 1550 mm en 1979 y de 1500 mm en el año 2011.

2.2.2. Inventario de nacederos

La Formación Picacho que aflora en el alto el Rucu genera una serie de manantiales que son aprovechados por la población para su abastecimiento. Según los estudios de calidad del recurso hídrico esta es solo contaminada por la tubería, y solo requiere la aplicación de hipoclorito en la planta de tratamiento municipal.



Fuente. Proyecto

FIGURA 4. Sector San Pedro, Zona de recarga.

En el afloramiento de la Formación Picacho se evidencian manantiales que son aprovechados para el abastecimiento de agua potable del municipio casco urbano y rural. Para conocer las características del recurso hídrico que cuenta el municipio se realizó un conteo de puntos de agua descritos a continuación.

A continuación se hace una descripción de los nacederos que circundan el casco urbano de Socotá. De manera general se menciona la calidad del recurso hídrico.

El nacimiento es cercano a la Quebrada el Salitre en la margen derecha aguas abajo. Se caracteriza por presentar un flujo constante de agua (Figura 5).

N 1.159.459 E 1.159.683



Fuente. Proyecto

FIGURA 5. Nacimiento natural. Cerca Quebrada el Salitre.

Al sur del casco urbano del municipio se encuentra en funcionamiento un pozo a través de una motobomba (Figura 6), el agua no es apta para el consumo humano por su contenido de azufre pero esta es aprovechada en labores domésticas.

N 1.159.505 E 1.159.687



Fuente. Proyecto

FIGURA 6. Pozo, Al Sur del casco urbano de Socotá

El nacimiento (Figura 7) está canalizado por una serie de filtros que lo comunican con la red de alcantarillado, ya que este se encuentra cercano a la infraestructura del coliseo deportivo municipal.

N 1.159.607 E 1.159.662



Fuente. Proyecto

FIGURA 7. Nacimiento natural. Parte sur del casco Urbano.

El nacimiento (Figura 8) es captado en un tanque de almacenamiento ya que estas aguas son utilizadas para la agricultura y alimento de ganado.

N 1.159.696 E 1.159.875



Fuente. Proyecto

FIGURA 8. Nacimiento natural. Sector urbano.

El recurso hídrico de estos nacimientos (Figura 9) es utilizado para uso agrícola y ganadería.

N 1.159.618 E 1.159.876

N 1.159.667 E 1.160.272



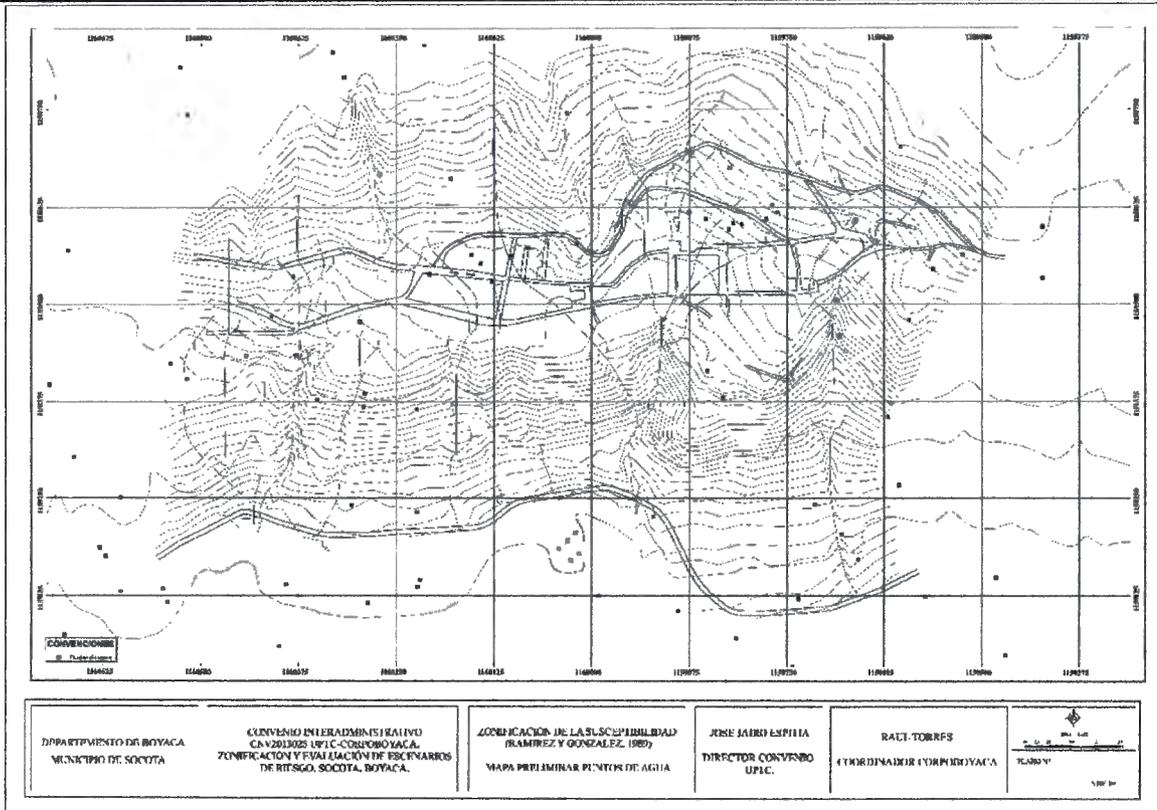
Fuente. Proyecto

FIGURA 9. Nacimiento natural. Sector Urbano

Tabla 3. Resumen de los puntos de agua registrados en campo

PUNTO	TIPO	SECTOR	COORDENADAS		USO
			Este	Norte	
1	<i>Nacimiento natural</i>	<i>Aledaño a la Quebrada El Salitre</i>	1.159.683,	1.159.459	<i>Uso agrícola</i>
2	<i>Pozo</i>	<i>Al sur del casco urbano</i>	1.159.687	1.159.505	<i>Uso domestico</i>
3	<i>Nacimiento natural</i>	<i>Parte Sur del casco Urbano</i>	1.159.662,	1.159.607	<i>Uso domestico</i>
4	<i>Nacimiento natural</i>	<i>Urbano</i>	1.159.875	1.159.696	<i>Uso agrícola</i>
5	<i>Nacimiento natural</i>	<i>Urbano</i>	1.159.876	1.159.618	<i>Uso doméstico.</i>
6	<i>Nacimiento natural</i>	<i>Urbano</i>	1.160.272	1.159.667	<i>Uso agrícola</i>

Fuente. Proyecto



Fuente. Proyecto

FIGURA 10. Ubicación de manantiales y nacederos

3. GEOLOGIA

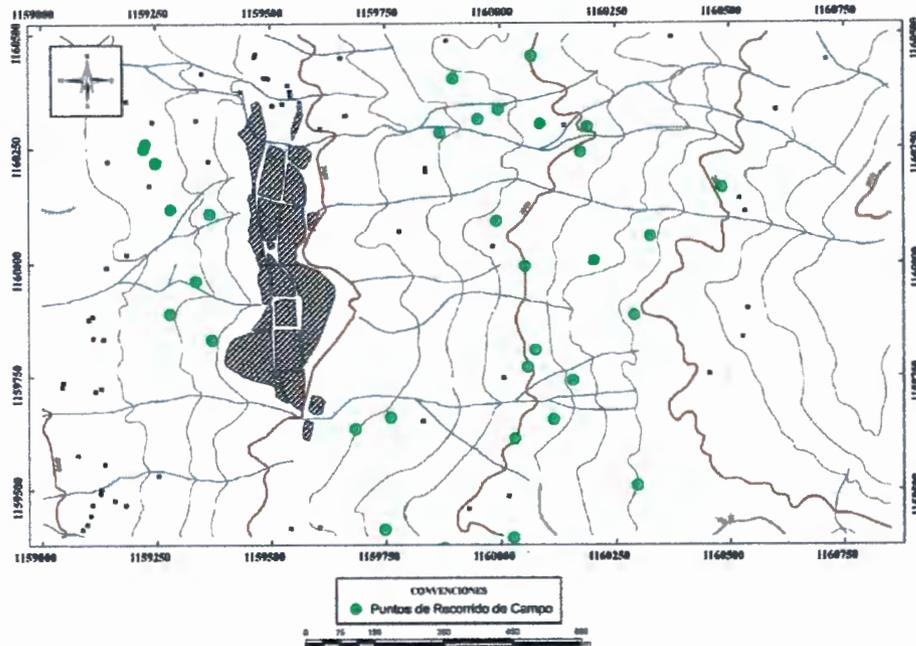


FIGURA 11. Puntos de recorrido en diferentes visitas de campo

A nivel regional el municipio de Socotá se encuentra localizado en la Cordillera Oriental la cual se formó a partir de diversos procesos como esfuerzos compresionales y tensionales de los cuales se deriva el actual paisaje, se encuentran depósitos sedimentarios de las Formaciones Ermitaño, Guaduas, Socha Inferior, Socha Superior, Picacho y Depósitos recientes. El área de estudio comprende una zona de pendientes de tipo escarpe y de ladera media de transporte los cuales han sido apoyados por fallas existentes.



FIGURA 12. Panorámica del Municipio de Socotá Formación Ermitaño (Kse) en contacto con el Depósito Coluvial (Qc).

3.1. ESTRATIGRAFIA

Las unidades litológicas forman parte de una secuencia sedimentaria de edad Cretácea Superior a Terciaria inferior, los Depósitos Recientes o Coluviales son el conjunto de bloques inconsolidados los cuales son propensos a sufrir problemas por movimientos en masa actualmente. Se mantuvo la nomenclatura establecida por Reyes, I. (1984).

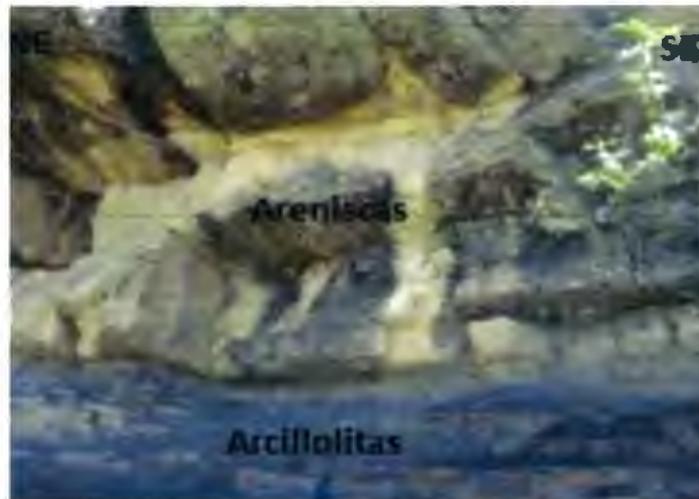
3.1.1. Formación Ermitaño (kse)

Se encuentra aflorante al Este del casco Urbano del municipio de Socotá y en las veredas, los Pinos, los Mortiños y en Mause,

Está constituida por dos conjuntos, el inferior constituido por arcillolitas fisibles grisáceas con erosión laminar con delgadas intercalaciones de limolitas grises y algunos bancos de arenisca. El conjunto superior está conformado por areniscas de color blanco grisáceo de grano fino a grueso, bien cementadas, cuarzosas, con algunos paquetes de liditas, Shales arcillosos y calizas Lumaquéllicas las cuales presentan alta exposición a los procesos erosivos. El espesor aflorante de esta formación medido desde el sector de Rucu es de aproximadamente 183 m. la

suprayace la Formación Guaduas en sucesión discordante, se encuentra en contacto con el deposito Coluvial en contacto discordante

En el sector Alto las Cruces, Se identificó el afloramiento de la Formación Ermitaño (Kse), en el cual se observan niveles de arenisca cuarzosa de grano fino a medio, de color pardo a grisácea, con buena selección y compactas. A su vez se identificaron niveles de arcillolitas de color pardo, con limolitas. En el sector se evidencia el contacto de la Formación Ermitaño (Kse), con la Formación Guaduas (Ksg) (Figura 13).



Fuente. Proyecto

FIGURA 13 .Areniscas cuarzosas y arcillolitas de la Formación Ermitaño (Kse)

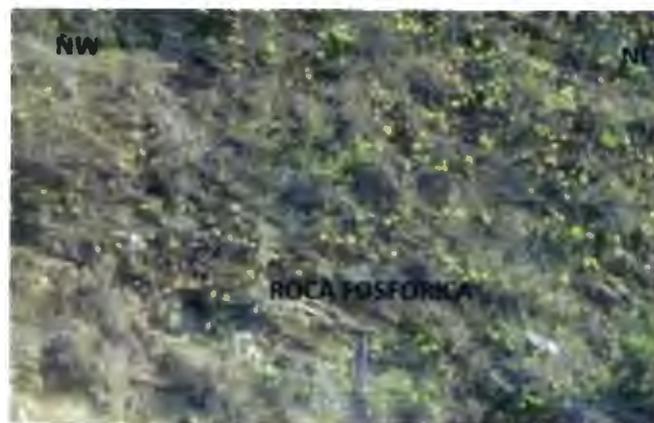
Al margen derecho de la vía que comunica al municipio de Socotá con el sector alto Rucu, a una altura de 2652 mts, se encuentra expuesta la Formación Ermitaño, en el sector se evidencia la alternancia litológica que caracteriza la unidad, donde se observan paquetes de rocas con contacto definido, con una sucesión de capas estratificadas y con cambios laterales.



Fuente. Proyecto

FIGURA 14. Descripción de un afloramiento de la formación Ermitaño

Nivel I: se evidencia un nivel de roca Fosfórica y liditas asociadas, las cuales presentan una estratificación plana paralela discontinua, con un espesor cercano a los 20 mts, este nivel se encuentra altamente afectado por los procesos erosivos esta unidad presenta un Rumbo N 50 W; Buzamiento 8 SW (Figura 14 y15).



Fuente. Proyecto

FIGURA 15. Roca Fosfórica del nivel I, descripción de la Formación Ermitaño (Kse).

Tabla 4. Descripción Macroscópica de la Fm Ermitaño

COORDENADAS: N 1160119 E 1159281

Lidita Asociada a Roca Fosfórica:

Color fresco: Negro grisáceo N2

Color meteorizado: Amarillo grisáceo 5Y 7/2.

Grado de meteorización: bajo.

Resistencia: Alta. Su coloración oscura se debe al contenido de sílice, presenta intercalación de actividad de microorganismos asociada a foraminíferos. Intercalación de sílice con foraminíferos y presenta impregnaciones de calcita.



FIGURA 16. Lidita asociada a roca Fosfórica

COORDENADAS: N 1160200; E 1159220

Roca Fosfórica

Color fresco: Gris Medio Oscuro N4.

Color meteorizado: naranja amarillento oscuro 10YR 6/6. **Grado de meteorización:** bajo.

Resistencia: Alta. Presenta una matriz compuesta por flouroapatito con un contenido de cuarzo cercano al 10%, su amazón está compuesto por colofana en alto porcentaje y restos de huesos de pescado.



FIGURA 17. Roca Fosfórica

Fuente. Proyecto

Nivel II: posterior a la sucesión de roca fosfórica y concordante se encuentra una sucesión de rocas calcáreas, denominadas calizas Lumaquelicas, las cuales se caracteriza por su riqueza fosilifera, presenta una estratificación plano paralela discontinua, con un espesor cercano a 15 m., en el sector se evidencian los esfuerzos tectónicos en los cambios de rumbo de N 75 W y buzamientos 51 SW, estos datos difieren en relación a los que presenta el fosfórico. La unidad calcárea

se caracteriza por presentar alteración y debilitamiento debido a los procesos erosivos (Figura18).



FIGURA 18. Intercalación de calizas Lumaquelic nivel II, descripción de la Formación Ermitaño.

Tabla 5. Descripción de la Fm Ermitaño

COORDENADAS: N 1160219; E 1159249

Caliza Lumaquelic

Color fresco: Gris medio oscuro

Color meteorizado: Blanco amarillento.

Grado de meteorización: Media

Resistencia: Baja. La muestra presenta oxido de calcio producto de la alteración de la caliza, presenta una matriz de micritica con un amazón con presencia de bivalvos.



Figura 19. Caliza Lumaquelic

Fuente. Proyecto

Nivel III: nivel de lutitas fisibles, donde se encuentran intercalaciones cercanas a 1mm de espesor de arenisca de grano muy fino, esta unidad se caracteriza por su susceptibilidad a los procesos erosivos. Presenta una estratificación discontinua, evidenciada en los cambios de estratificación producto de la neotectónica que ayudo

a la consolidación del actual paisaje, presenta un espesor cercano a los 60m. (Figura 20).



Fuente. Proyecto

FIGURA 20. Capa de lutitas fisible nivel III, descripción de la Formación Ermitaño.

Tabla 6. Descripción del nivel III de la Fm Ermitaño



FIGURA 21. Lutitas Fisibles

COORDENADAS: N 1160300; E 1159120

Lutitas Fisible

Color fresco: Gris medio oscuro N4

Color meteorizado: Naranja grisáceo 10YR 7/4.

Grado de meteorización: Alto.

Resistencia: Baja a la presión manual.

Lutitas fisible la cual presenta intercalaciones de grano muy fino con diámetro menor a 1mm, está compuesta por sericita, moscovita mezclado con arcillolitas evidencia actividad foraminífera.

Al Este del municipio, se observa el afloramiento de la Formación Ermitaño debido a la presencia de rocas caracterizadas por su alto contenido calcáreo, se

encontraron limolitas de color grisáceo con niveles calcáreos, con una estratificación plana paralela discontinuos, intercaladas con lutitas fisibles en cuanto a la disposición de las capas se observan cambios de orientación de las mismas en relación con el sector suroriental del municipio allí las capas se disponen en contra de la pendiente y en el sector la estratificación es a favor de la pendiente lo que facilita la actividad de fenómenos de remoción en masa .(Figura 22).



Fuente. Proyecto

FIGURA 22. Formación Ermitaño (Kse).

Nivel I: Lutitas Fisibles con intercalaciones de arenisca menores a 1mm, donde se evidencia un ambiente tranquilo de depositación, este nivel presenta un espesor cercano a 9 m. la disposición de capas favorece la generación de movimientos en masa. En el sector se ha extraído material (Figura 22).

Nivel II: Juego de capas de limolitas calcárea con intercalaciones de lutitas fisible, sus espesores varían entre 10 – 20 Cm, con una estratificación plano paralela discontinua, se observa sucesión de capas, de limitadas como presentan un Rumbo N 50 W; Buzamiento 33 NE (Figura 22).



Fuente. Proyecto

FIGURA 23. Sucesión de capas de limolitas calcáreas con lutitas fisibles.

Al sur del casco urbano del municipio de Socotá , se encuentra la exposición de la Formación Ermitaño donde se evidencian capas de limolitas color grisáceo con un espesor de 70 cm, y niveles de lutitas fisible con un espesor cercano de 2.50 m, este afloramiento presenta un espesor cercano a 4 m.(Figura 24)



Fuente. Proyecto

FIGURA 24. Capas de limolitas, descripción de la Formación Ermitaño.

2.1.2 Formación Guaduas (ksg)

Se encuentra suprayaciendo discordantemente a la Formación Ermitaño (Kse), compuesta por dos miembros el inferior o estéril y el superior. El conjunto litológico inferior o estéril está constituido por arcillolitas grises fisibles las cuales presentan restos de hojas y limolitas amarillentas intercaladas por areniscas blancas grisáceas de grano muy fino cuarzosas cementadas y muy compactas, el espesor de este conjunto alcanza 125 m, medida aproximada en al alto el Cerro las cruces. El conjunto superior está comprendido desde el manto de carbón más inferior hasta la base de las areniscas del Socha Inferior, la secuencia está constituida por arcillolitas grises oscuras, generalmente con laminación ondulada no paralela discontinua, limolitas amarillentas intercalas con areniscas blancas de grano fino a muy fino cuarzosas, interestratificados se encuentran de tres a seis mantos de carbón, lenticulares, con espesores entre 0,3 a 3 m. Los mantos de carbón varían en cantidad y en espesor de un sector a otro, el espesor medido de este conjunto es de 96 m. ROY Y GOMEZ, (1947).

En el sector alto de las cruces del municipio de Socotá se encuentra el contacto discordante entre la formación ermitaño (Kse) y Formación Guaduas (Ktg), se evidencian el nivel inferior de la Formación Guaduas la cual se caracteriza por presentar intercalaciones de arcillas grises con niveles de areniscas cuarzosas y lutitas fisibles, con un Rumbo N35E y Buzamiento 40SW (Figura 25).



Fuente. Proyecto

FIGURA 25. Intercalaciones de arcillas grises Formación Guaduas.

Nivel I: Intercalaciones de arcillolitas grisáceas fisibles con areniscas cuarzosas de color fresco de blanco a pardo y meteorizado naranja de grano fino a muy fino, bien seleccionadas, este nivel presenta un espesor cercano a 4.20 m., con una estratificación plano paralela discontinua (Figura 25 y 26).



Fuente. Proyecto

FIGURA 26. Arcillolitas grisáceas fisibles con areniscas cuarzosas, descripción de la Formación Guaduas Nivel I.

Nivel II: En este nivel se encuentran presentes lutitas fisibles de color gris oscuro, presenta un espesor cercano a los 40 m. Este nivel se encuentra altamente afectado por los procesos erosivos, como evidencia se observa una fractura laminar característica de la alteración de esta roca (Figura 25 y 27).



Fuente. Proyecto

FIGURA 27. Lutitas fisibles, descripción de la Formación Guaduas Nivel II.

Nivel carbón: En el sector se evidencio un nivel de carbón con un espesor cercano a 0.5 m., el cual se encuentra empaquetado en niveles de capas de lutitas fisibles. Se observa una alta meteorización debido a la coloración de la zona expuesta (Figura 28).



Fuente. Proyecto

FIGURA 28. Nivel de carbón, Formación Guaduas.

2.1.3 Formación Socha inferior (Tpsi):

Esta unidad estratigráfica suprayace a la Formación Guaduas concordantemente, aflorando en la parte Este del municipio en el sector el Rucu. El miembro inferior se compone de areniscas de color verde-grisáceo de grano fino a grueso con estratificación cruzada intercaladas con arcillolitas gris verdosas y limolitas amarillas oscuras, en la parte superior se encuentran areniscas de grano fino, cuarzosas con estratificación plano paralelo discontinua, hacia el tope se encuentra una estratificación cruzada, esta formación presenta un espesor de 150 m. medidos en el sector del Rucu.

En el sector se identificó el afloramiento de la Formación Socha Inferior (Tpsi). La cual está compuesta por niveles de arenisca cuarzosa de grano fino, de color pardo y meteorizado grisáceo, a su vez se observa una intercalación de arcillolitas grisáceas (Figura 29).



Fuente. Proyecto

FIGURA 29. Areniscas cuarzosas de la Formación Socha Inferior (Tpsi).

Al Este del municipio de Socota en las coordenadas **N 11595212: E 1160819**, se encuentra aflorante la unidad geológica socha Inferior la cual se encuentra suprayaciendo a la Formación Guaduas (Kpg) concordantemente. La unidad se caracteriza por tener cambios abruptos en su topografía debido a su composición (Figura 30).



Fuente. Proyecto

FIGURA 30. Contacto Formación Guaduas con Formación Socha Inferior.

En el sector se evidencia los niveles de la Formación Socha inferior (Tpsi), donde se observan los cambios topográficos debido a las diferencias litológicas de la

unidad, donde se observan laderas denudativas y laderas agradacionales (Figura 31).



Fuente. Proyecto

FIGURA 31. Niveles de la Formación Socha Inferior (Tpsi).

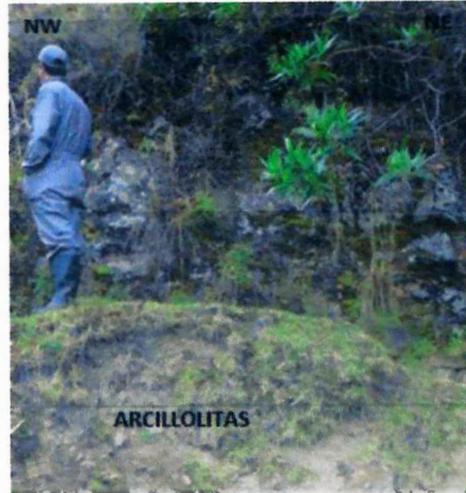
Nivel I: Este nivel se compone por areniscas cuarzosas, presenta un color fresco pardo a blanco y meteorizado grisáceo con variabilidad en el tamaño de sus granos, esta unidad se caracteriza por poseer una estratificación paralela discontinua con serie de capas que presentan estratificación cruzada (Figura 31 y 32).



Fuente. Proyecto

FIGURA 32. Areniscas cuarzosas de la Formación Socha Inferior.

Nivel II: se caracteriza por poseer una alternancia de capas de arcillolitas grises las cuales varían en espesor han sido afectadas por los procesos erosivos, con delgadas capas de arenisca de grano fino la cual presenta una estratificación cruzada (figura 31 y 33).



Fuente. Proyecto

FIGURA 33. Arcillolitas Grises con Niveles de arenisca, descripción de la formación Socha Inferior Nivel II.

2.1.4 Formación Socha superior (Tpss):

Esta unidad estratigráfica reposa concordante sobre la formación Socha Inferior, aflorante en el sector del Rucu, La secuencia estratigráfica completa es difícil de obtener por estar cubierta de vegetación. Esta formación está descrita en el sector Rucu en el municipio de Socotá en el cual se observan arcillolitas de colores grises, amarillos y verdosos, poco compactadas, con intercalaciones de areniscas gris claro de grano fino a muy fino, cuarzosas y compactas de bancos de 1 a 3 m.

El espesor que tiene esta Formación en el sector de Rucu es de 209 m. En algunos sectores hacia la base presenta carbones con espesores que varían de 0.20 a 0.60 m. Intercalados con Shales carbonosos. ROY Y GOMEZ (1947).

En el sector conocido como Rucu, se encuentra aflorante la Formación Socha Superior (Tpss), compuesta por arcillolitas de color pardo fresco y meteorizado grisáceo, el material es poco compacta lo que facilita la actividad de los procesos

erosivos, la zona se caracteriza por tener baja pendiente en relación con las otras unidades presentes (Figura 34).



Fuente. Proyecto

FIGURA 34. Arcillolitas de la Formación Socha Superior (Tpss).

2.1.5 Formación picacho (Tep):

Esta formación aflora parcialmente en el sector de Rucu al Este de Socotá, se observa el conjunto litológico inferior conformado por areniscas potentes en la base areniscas conglomeráticas con guijos de cuarzo lechoso de 0.04 a 0.02 m. de diámetro, en la parte media arcillolitas abigarradas con intercalaciones de limolitas y en la parte superior de este conjunto de areniscas de grano fino, cuarzosas con buena selección, en el sector de Rucu la formación midió un espesor de 181 m. Sin haberse encontrado contacto con la Formación Concentración.

En el sector conocido como San Pedro, se encuentra aflorante la Formación Picacho (Tep), está compuesta por areniscas de grano fino a medio bien seleccionadas con capas de conglomerados mal seleccionados una serie de manantiales de agua que es aprovechada para el consumo municipal debido a su calidad pero debido a que su flujo es constante solo es aprovechable un veinte por ciento del total del volumen de agua (Figura 35)



Fuente. Proyecto

FIGURA 35. Areniscas de grano fino a medio de la Formación Picacho (Tep)

En este sector se evidencian los cambios topográficos debido a los diferentes materiales que componen las unidades expuestas (Figura 36).



Fuente. Proyecto

FIGURA 36. Panorámica de las unidades estratigráficas. . **Tep.** Formación Picacho, **Tpsa.** Formación Socha Superior. **Tpsl.** Formación Socha Inferior

2.1.6 Deposito Coluvial (Qc):

El Municipio de Socotá, se encuentra geológicamente localizado sobre un deposito Coluvial caracterizado por tener bloques de diversos de tamaño cercanos a 1m, provenientes de la Formación ermitaño (Kse) se encuentra compuesto por una matriz arcillosa de color grisácea a parda.



Fuente. Proyecto

FIGURA 37. Bloques del depósito Coluvial y su irregularidad y angulosidad.

Margen derecho de la vía que comunica de Socha al municipio de Socotá. En el área de estudio se encuentra un depósito Coluvial distribuido en todo el casco urbano del municipio de Socotá observando su diferencia de espesor en todo el perímetro urbano.

Los depósitos Coluviales se asocian a los grandes escarpes donde encontramos fragmentos angulares a Subangulares cuyo tamaño varía desde centímetros hasta encontrar bloques de 5 m. (Figura 38).



Fuente. Proyecto

FIGURA 38. Deposito Coluvial

Cuaternario Coluvial, coordenadas N 1.159.401y E 1.160.217, sobre este se encuentra ubicado el casco urbano del municipio de Socotá, se caracteriza por tener

fragmentos angulares a subangulares de materiales provenientes de la Formación Guaduas y Ermitaño y cuyo tamaño varia de centímetros a metros, estos fragmentos se encuentran envueltos en una matriz arcillosa.

Al este del el casco urbano del municipio de Socotá en las coordenadas N 1159660; E 1159760 se encuentra el contacto discordante entre el depósitos reciente de origen Coluvial compuesto por una matriz arcillosa grisácea con cantos rodados con la unidad antigua Formación Ermitaño, donde se evidencia cambios abruptos topográficamente, cambios litológicos de sucesión de capas de lutita fisible altamente erosionada (Figura 39).



Fuente. Proyecto

FIGURA 39. Contacto Discordante Inferido Fm Ermitaño Depósito Coluvial.

Al Este del municipio de Socotá en las coordenadas N 1159614; E 1160030, se evidencia el contacto Formación Ermitaño con el Depósito Coluvial, donde se observa la disposición de capa y dirección de inclinación NE de la formación Ermitaño(Figura 40).

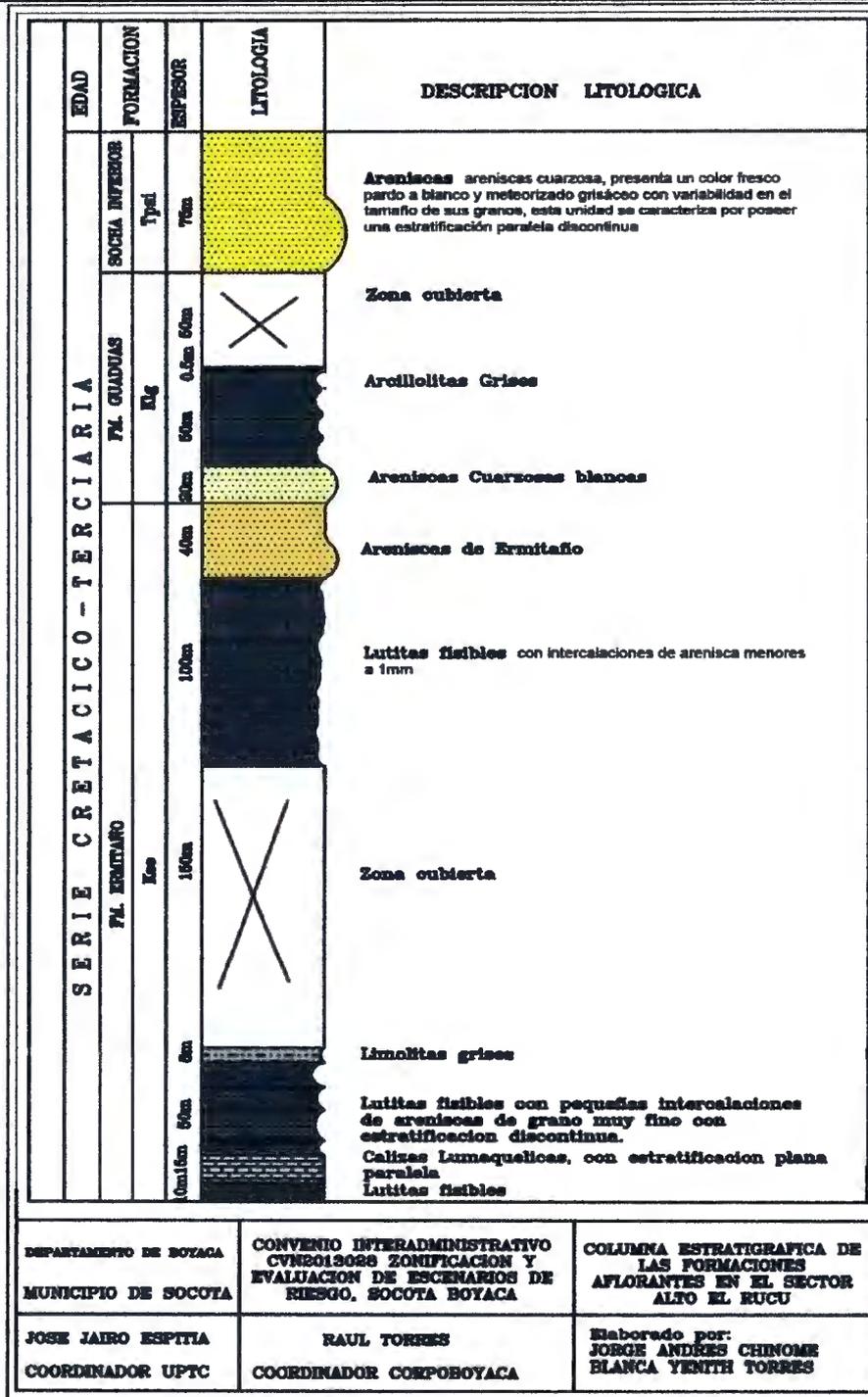


Fuente. Proyecto

FIGURA 40. *Contacto Formación Ermitaño con el deposito Coluvial.*

- **COLUMNA ESTRATIGRAFICA**

Esta secuencia estratigráfica se levantó en el sector Cerro el Rucu, donde se disponen concordantemente las unidades geológicas. En el cual se evidencian zonas cubiertas y zonas expuestas.

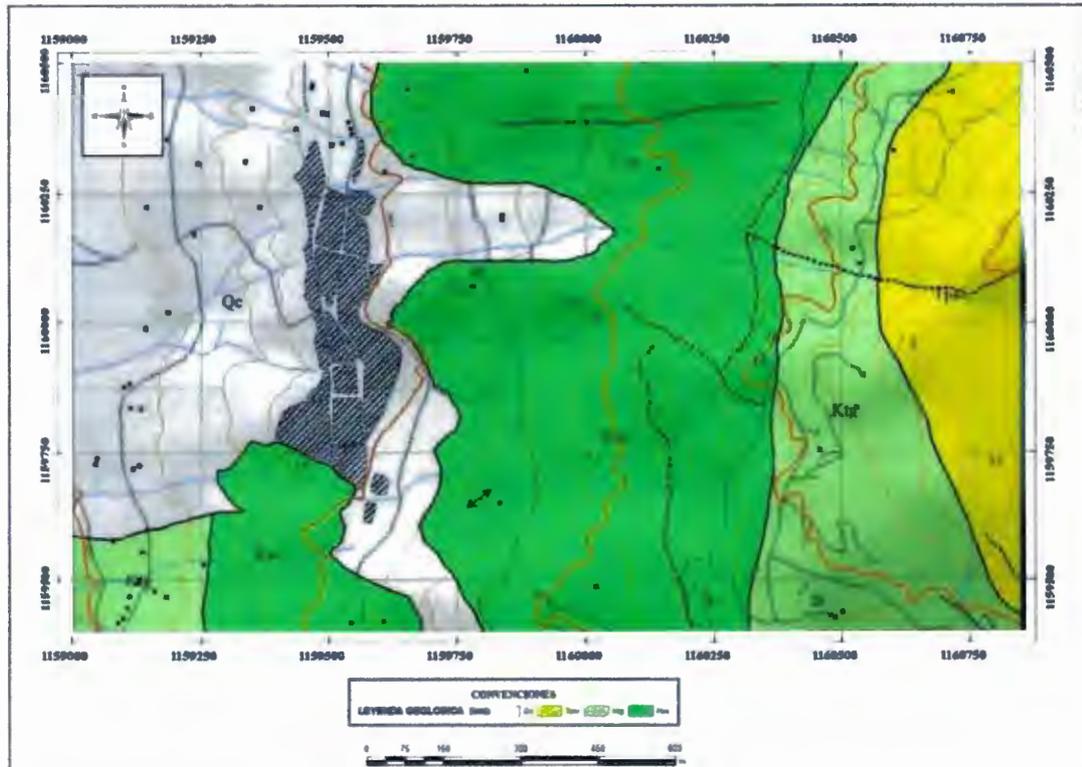


Fuente. Proyecto

FIGURA 41. Columna estratigráfica Sector Cerro de Rucu

- **MAPA GEOLOGIO**

El mapa geológico se generó a partir de una base Topográfica a escala 1:5000, sobre el cual se observan datos estructurales, fallas inferidas, contactos geológicos, estructuras geológicas.



Fuente. Proyecto

FIGURA 42. Mapa Geológico área de estudio

(VER ANEXO B, MAPA GEOLOGICO)

3.2. FALLAS

En el municipio de Socotá se presenta la Falla de Comeza y otras inferidas de tipo inverso, con una dirección preferencial de N-S, de las cuales se generan posibles inestabilidades en el terreno.

- Falla Comeza

En el municipio de Socotá es la falla principal, esta falla es de tipo inverso y tiene una dirección preferencial de NNE (Nornordeste), la cual atraviesa toda la región de sur a norte, esta falla disloca al flanco oriental del anticlinal de Socotá, haciendo aflorar a la Formación Ermitaño, colocando a la misma altura el nivel inferior con los niveles productores¹.

En la zona de estudio se registró evidencia física de la dinámica neotectónica que caracteriza la Cordillera Oriental, la cual estaba constituido por un bloque hundido, que se desarrolló a partir de un proceso Deposicional, los cuales fueron expuestos a fuerzas compresionales generando así pliegues sinclinales y anticlinales que constituyen el sistema de geología estructural de la cordillera a su vez se identificó un sistema de fallas con dirección preferencial NNE, dirección que delimita el sistema de fallas regional de la zona.

- Fallas inferidas

A partir del uso de fotografías aéreas, DEM y visitas de campo se delimitaron lineamientos o posibles fallas que pueden afectar al municipio de Socotá, (Ver mapa Geológico) las cuales generan inestabilidad del terreno este tipo de fallas tienen dirección preferencial N-S, paralelas a las estructuras geológicas de la zona, a su vez se identificaron fallas con dirección preferencial NW-SE, que componen un sistema de fallas complejo.

En las coordenadas N 1159868; E 1160283, sobre las areniscas de la Formación Ermitaño (Kse) se encontraron evidencias del desplazamiento producto del

¹ Fuente primaria, Wiegel, R, L Earthquake Engineering, Prentice Hall Inc.N.Y, 1970. Fuente secundaria. MARIO F, CARREÑO., JUAN G, DELGADO: Evaluación geológica de los carbones en el área comprendida entre Socha –Socotá. CARBONES DE COLOMBIA S.A “CARBOCOL”. Sogamoso, Julio 2011.

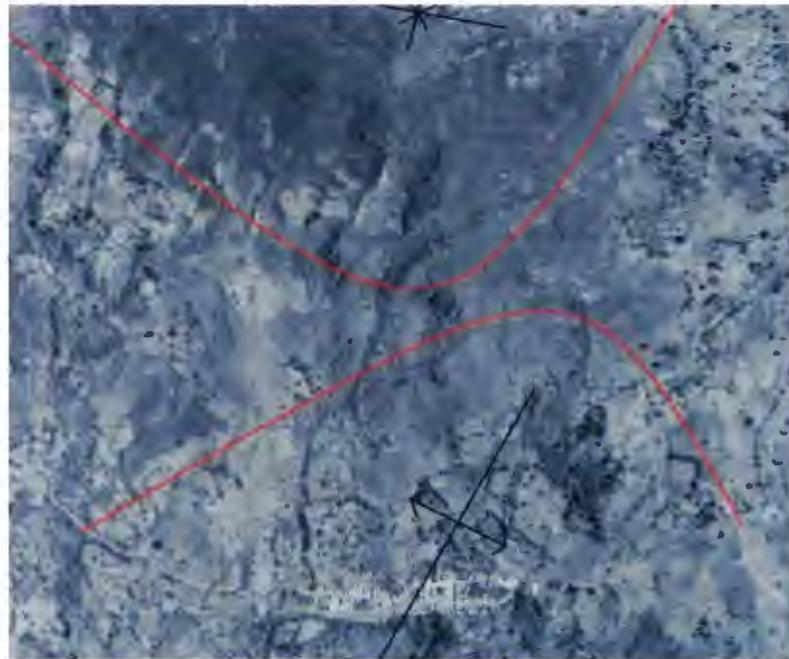
fracturamiento en las unidades la cual presenta un Rumbo de falla N5E; y Buzamiento 60NW.



Fuente. Proyecto

FIGURA 43. Estrías de falla sobre la Fm Ermitaño

3.3. PLIEGUES



Fuente. Proyecto

FIGURA 44. Estructuras de plegamiento, área de estudio.

El área de estudio se caracteriza por presentar anticlinales estrechos y sinclinales amplios asociados a fallas inversas, lo cual refleja un intenso plegamiento y por consecuente deformación de las rocas. En cuanto a la estratificación o disposición de las unidades geológicas cabe resaltar que se presenta estratificación en contra de la pendiente como es el caso del sector alto las cruces, cerro el Rucu y zonas de desarrollo minero.

En el casco urbano sector la recoversa se evidencia la disposición de la Formación Ermitaño (Kse) a favor de la pendiente, con lo cual se facilita la presencia de fenómenos de remoción en masa.

- Sinclinal el Rucu

Estructura con orientación noreste, es asimétrico con el flanco occidental más inclinado, en este pliegue se observa la secuencia estratigráfica desde la unidad más antigua Ermitaño hasta (Kse) hasta la formación Picacho (Tpsi), hacia los flancos se disponen las unidades más antiguas y en el núcleo se observa la unidad más reciente la formación picacho (Tpsi).

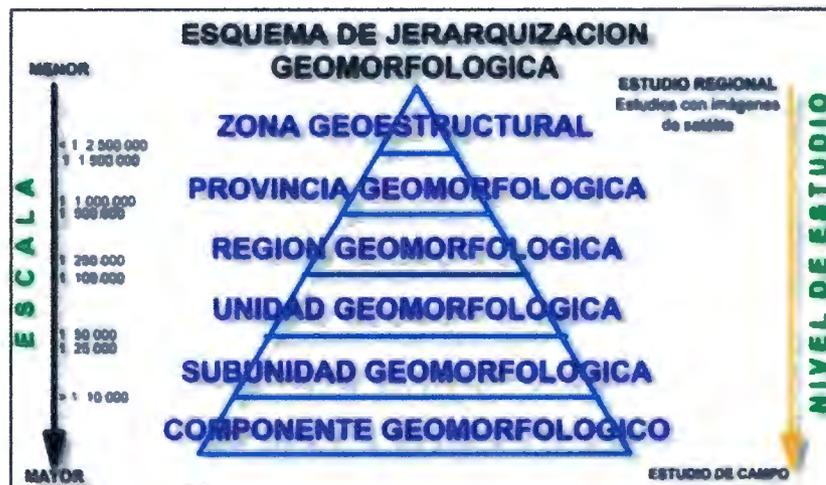
- Anticlinal de Socotá

Este pliegue se encuentra en el costado occidental del sinclinal del Rucu, con una orientación SE, tanto el núcleo de la estructura y sus flancos están delimitados por los miembros de la Formación Ermitaño los cuales en el núcleo se encuentra el nivel inferior y en los flancos el nivel superior. Se encuentra invadido por los depósitos recientes.

4. GEOMORFOLOGIA

La cordillera oriental ha atravesado diferentes procesos geológicos, gracias a la dinámica neotectónica de la región es por ello que el análisis geomorfológico parte desde dos punto de vista del primero es entender la génesis de las estructuras, y el segundo es analizar los factores que han podido transformar las geoformas y dar origen al actual paisaje.

Para facilitar el análisis geomorfológico de una zona determinada se ha adoptado la jerarquización geomorfológica propuesta por INGEOMINAS 2004, la cual relaciona las escalas de trabajo con la subdivisión geomorfológica, la génesis y los ambientes morfogenetico.



Fuente. Servicio Geológico

FIGURA 45. Propuesta Jerarquización Geomorfológica Servicio Geológico.

4.1. MORFOGENESIS

La actividad tectónica ha condicionado el ambiente morfogenetico de la zona, producto de ello es el desarrollo de estructuras geológicas como al anticlinal de Socotá, en el cual su flanco oriental está delimitado por la falla de Comeza, otra evidencia de la neotectónica en la región, a partir de esta actividad se inició en la

zona un proceso modelador del medio gracias a procesos como la erosión y meteorización, interviniendo en la modelación y generación del actual paisaje.

4.2. MORFODINAMICA

El sistema Morfodinámico de la zona de interés está delimitado por las variables tiempo (en el que se relacionan los procesos antiguos, los presentes o los futuros reactivos), procesos endógenos y procesos exógenos.

4.2.1. Procesos Endógenos

Son aquellos que están relacionados con el neotectonismo de la región, como levantamiento, compresión, tensión y demás factores que dieron origen a la cordillera oriental.

4.2.2. Procesos Exógenos

Están directamente relacionados a las condiciones topográficas del terreno, procesos antrópicos, a la actividad biótica, los cuales generan cambios en las geoformas.

4.2.2.1. Procesos Geodinámicos

Erosión laminar: en el área de estudio se encuentra aflorante los niveles de lutitas de la Formación Ermitaño (Kse), y arcillolitas fisibles del miembro inferior de la Formación Guaduas (Kpg) este tipo de material presenta una susceptibilidad a los procesos erosivos, generando fracturas laminares con apariencia de agujas o lajas que forma al estar expuesta la roca.

N 1.160.052 E 1.159.780



Fuente. Proyecto

FIGURA 46. Erosión laminar

Erosión diferencial: Este tipo de erosión es recurrente cuando hay cambios litológicos, es decir cuando se ponen en contacto rocas con diferentes propiedades geomecánicas. Al este del municipio se encuentran los cambios litológicos pertenecientes a los diferentes niveles de la Formación Ermitaño donde se observa el contraste litológico entre las lutitas fisibles con areniscas de grano fino cuarzosas y compactas, se evidencia este tipo de erosión donde el material susceptible es más afectado.



Fuente. Proyecto

FIGURA 47. Erosión diferencial

4.2.2.2. Procesos Antrópicos

Extracción de material:

En el Casco urbano del Municipio se llevó a cabo la extracción de material para la vía, lo que trajo como consecuencia, el aumento de susceptibilidad a los fenómenos de remoción en masa, la unidad está compuesta por el nivel bajo de la Formación Guaduas (Ksg) (Figura 48).



Fuente. Proyecto

FIGURA 48. Extracción Material. Parte Este del municipio de Socotá.

Actividad minera:

El municipio de Socotá se caracteriza por el desarrollo de la actividad minera (Figura 48), en el cual se extrae Carbón del nivel superior productivo de la formación Guaduas (Ksg), en el sector conocido como Rucu, Se evidencia este proceso de antropización del medio.

N 1.160.777 E 1.159.222



Fuente. Proyecto

FIGURA 49. Actividad Minera.

Actividad Agrícola:

En zonas aledañas al municipio de observa el desarrollo de actividad agrícola (Figura 49).

N 1.161.774 E 1.159.527



Fuente. Proyecto

FIGURA 50. Actividad Agrícola. Sector San Pedro

4.2.2.3. Procesos Bióticos

Están relacionados con el tipo y cobertura vegetal cabe relatar que gran parte de la zona se encuentra afectada por los procesos antrópicos y otras zonas son cubiertas por vegetación nativa.

4.3. MORFOESTRUCTURA

Tabla 7. Factores geomorfológicos

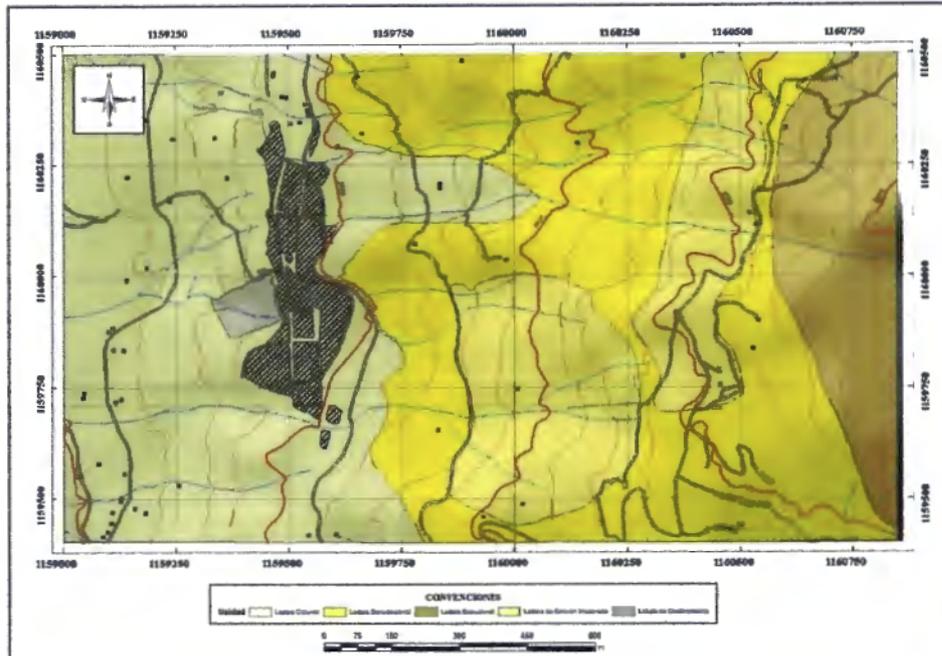
GEOESTRUCTURA	AMBIENTE MORFOGENETICO	FASE AMBIENTE MORFOGENETICO	PAISAJE	SUBPAISAJE
Cordillera	Estructural	Plegado	Montaña	Ladera Denudativa
		Plegado	Montaña	Colina denudacional

GEOESTRUCTURA	AMBIENTE MORFOGENETICO	FASE AMBIENTE MORFOGENETICO	PAISAJE	SUBPAISAJE
Cordillera	Deposicional	Coluvial	Montaña	Ladera.
				Terraza Erosional
				Coluvión de Remoción

Fuente. INGEOMINAS

4.4. MORFOLOGIA

Estudia el origen y la evolución de las estructuras geológicas.



Fuente. Proyecto

FIGURA 51. Geomorfología del área de estudio
(VER ANEXO B, MAPA GEOMORFOLOGICO).

Ladera Estructural

Superficie topográfica que buza en la misma dirección que los estratos subyacentes y es normalmente más o menos paralela a ellos. El término se suele aplicar a la ladera menos pendiente de una cuesta.

Al Este del municipio de Socotá en los flancos del sinclinal el Rucu se encuentra dispuesta la formación Socha Inferior la cual presenta una morfología de ladera estructural (Figura 52), su buzamiento es concordante con las unidades que la suprayacen, con una dirección de inclinación de capa preferencial SE.

N 1.159.521 E 1.160.819



Fuente. Proyecto

FIGURA 52. *Ladera Estructural Sobre la Formación Socha Inferior*

Ladera Coluvial

Las geoformas Coluviales se originan cuando el movimiento gravitacional de los predios rocosos y material de suelo se detiene gracias a una reducción de la pendiente y por ende de la velocidad. Sus rasgos morfológicos dependerán entonces del volumen y tamaño de los materiales acumulados; de la inclinación y forma de la pendiente (recta, convexa, cóncava) por donde se desplazan, y de la topografía y amplitud del terreno sobre el cual se depositan. Al oeste del Municipio de Socotá, se evidencian estas geoformas las cuales presentan una topografía suave (Figura 53).

N 1.160.146 E 1.159.359



Fuente. Proyecto

FIGURA 53. *Ladera Coluvial*

Lóbulo de Deslizamiento

Los deslizamientos tienen carácter lineal, no formándose a partir de puntos fangosos, sino una franja altitudinal. En la franja se forma un escarpe, al pie del cual se acumula a modo de lóbulo una masa fangosa, densa y de escaso recorrido.

Al Oeste del municipio de Socotá encuentra el foco de un deslizamiento (Figura 54) el cual ha generado cambios geomorfológicos en la zona debido a la magnitud del arrastre de tierra y detritos, con lo cual ha generado la consolidación del actual paisaje.

N 1.160.000 E 1.159.320



Fuente. Proyecto

FIGURA 54. Deslizamiento

Ladera Denudacional

Este tipo de unidades geomorfológicas se caracterizan por presentar agentes denudacionales, las cuales actúan sobre rocas de muy baja resistencia a la erosión, originando formas suavizadas en el paisaje, al Oeste del Municipio de Socotá en el sector conocido como las cruces(Figura 55) se evidencia la geofomas de ladera, la cual actúa sobre la Formación Ermitaño (Kse) presenta niveles de lutitas fisibles que presentan una erosión laminar generando cambios morfológicos, dando origen al actual paisaje.

N 1.159.990 E 1.160.092


Fuente. Proyecto

FIGURA 55. *Ladera Denudacional.*

Laderas erosiónales moderadamente escarpadas con erosión moderada

Al oeste del municipio de Socotá en el sector de las cruces se encuentra aflorante los niveles de arenisca de la Formación Ermitaño (Kse) la cual presenta una morfología destacada en la zona debido a los cambios topográficos que se evidencian, la zona presenta erosión moderada, debido a la resistencia del material.



Fuente. Proyecto

FIGURA 56. *Nivel areniscas Formación Ermitaño ladera de Erosión Moderada*

4.5. INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA

En el Municipio de Socotá, se evidencian una serie de amenazas por inestabilidad que dentro de las más comunes se presenta fenómenos de reptación y desprendimiento de material, producto que el área de estudio encontramos pendientes de altas a medias pendientes y por el tipo de material ya que en la cabecera municipal se encuentra localizada dentro de un deposito Coluvial.

Con el fin de caracterizar cada uno de los movimientos en masa que se presentan en la actualidad en el área de estudio dentro del Municipio de Socotá, se pretendió caracterizar e inventariar cada una de las evidencias de inestabilidad con el propósito de definir zonas de posibles amenazas.

En la vía que conduce de Socotá a Socha este movimiento en masa se clasifica como flujo de material de tipo Coluvial, donde presenta una buena cobertura vegetal de tipo herbácea y pastos cuyo uso es utilizado en la ganadería y en la parte baja en el trazado de la vía para lo cual se construyeron un muro de gaviones y cunetas obras de infraestructura que se están viendo afectando (Figura 57).

N 1.160.628 E 1.159.517



Fuente. Proyecto

FIGURA 57. *Afectación a muro de gaviones.*

En el sector (Figura 58) se presenta un movimiento traslacional presentando una superficie convexa, en donde se observa una inclinación de la vegetación, un

flujo de material y una caída de material proveniente de las partes altas de la ladera donde se caracteriza por tener pendientes altas, el flujo de material se presenta por la actividad agrícola realizada en el sector en la siembra de maíz y arveja afectando obras de infraestructura como el muro de gaviones.

N 1.160.498 E 1.159.203



Fuente. Proyecto

FIGURA 58. *Afectaciones a la vía.*

En el sector se presenta un movimiento de tipo traslacional (Figura 59), se observa una considerable inclinación de la vegetación y flujo de material hacia la vía ya que no hay ninguna obra de infraestructura de mitigación.

N 1.160.077 E 1.159.248



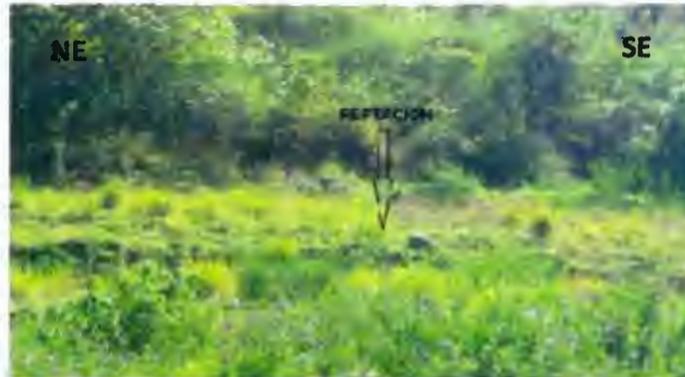
Fuente. Proyecto

FIGURA 59. *Afectaciones a la vía.*

En el sector se evidencia un movimiento de reptación (Figura 60) donde el terreno se muestra escalonado que puede ser producto de la actividad antrópica ya que

como la cobertura vegetal son pastos los habitantes del sector la utilizan como alimento para su ganado.

N 1.059.467 E 1.059.252



Fuente. Proyecto

FIGURA 60. Movimiento de reptación.

En el sector se observa un deslizamiento donde hay un flujo de material detrítico de bloques de aproximadamente 0.30-1.5 metros por la cobertura vegetal se infiere que no es un deslizamiento reciente.

N 1.159.296 E 1.159.576



Fuente. Proyecto

FIGURA 61. Flujo de material

En el sector se presenta un movimiento de reptación (Figura 62) donde además se observa una superficie cóncava y una ligera inclinación en la vegetación y en el cercado.

N 1.159.719 E 1.159.322



Fuente. Proyecto

FIGURA 62. Movimiento de Reptación

En el sector se evidencia un movimiento de reptación donde se presenta una inclinación en la vegetación (Figura 63); el uso actual del suelo es para la ganadería.

N 1.160.148 E 1.159.341



Fuente. Proyecto

FIGURA 63. Movimiento de reptación.

En el sector se presenta un movimiento de reptación (Figura 64), ya que se evidencia en el terreno en forma escalones que alcanzan una altura aproximada de 0.40 metros, el uso actual d ese suelo es ganadero.

N 1.160.197 E 1.159. 568

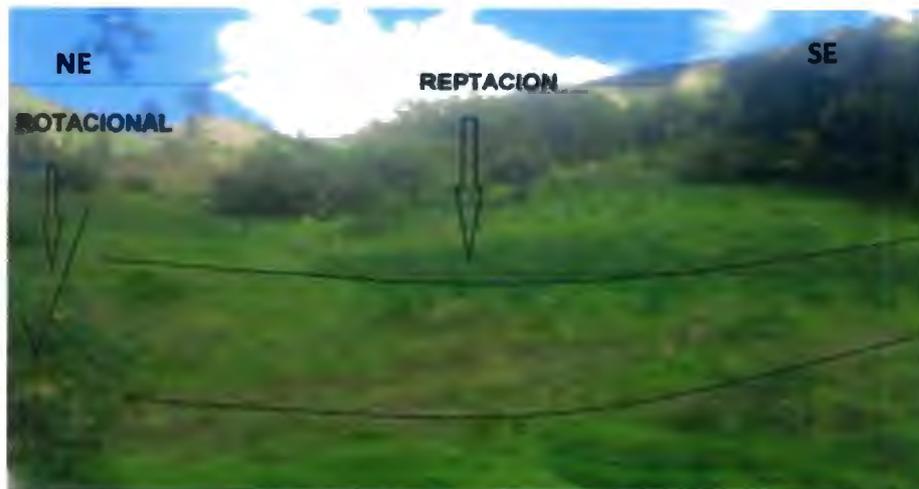


Fuente. Proyecto

FIGURA 64. Movimiento de reptación.

En el sector se observa un movimiento complejo (Figura 65), ya que se evidencia un movimiento de reptación y rotacional, sin ninguna obra de infraestructura de mitigación ya que se encuentra cercano al centro urbano del municipio.

N 1.160.197 E 1.159.568



Fuente. Proyecto

FIGURA 65. Movimiento complejo

En el sector se encuentra un afloramiento de la formación ermitaño de composición lutitico con delgadas capas de arenisca donde el talud fue descapotado ya que el material extraído del lugar fue utilizado para recebo, dejando el material expuesto a la erosión junto con la meteorización han hecho que el material presente se encuentre muy alterado y se presente flujo de este material sobre la vía.

N 1.159.666 E 1.159.950



Fuente. Proyecto

FIGURA 66. Movimiento complejo.

En el sector con coordenadas se presenta continua caída de roca debido a la inclinación de la pendiente material que es proveniente de la formación Ermitaño.

N 1.160.302 E 1.160.086



Fuente. Proyecto

FIGURA 67. Caída de Roca.

5. GEOTECNIA

Se presentan en este capítulo los aspectos relativos a la evaluación de estabilidad del terreno en las zonas afectadas por movimientos en masa, como son el barrio La Loma y el sitio de La Recebera.

La concepción de los modelos físicos requeridos para los análisis, se logró a partir de la geología antes descrita, las observaciones de campo y la exploración del subsuelo.

5.1. EXPLORACION DEL SUBSUELO

La caracterización geotécnica del área urbana, se apoyó en actividades de campo tales como exploración directa, a través de perforaciones y sondajes, y exploración indirecta o geofísica mediante tomografías.

5.1.1. Exploración directa

La exploración directa fue realizada por la firma DMS con sede en Bogotá, y consistió en la ejecución de 120 m de perforación mecánica por percusión-lavado y rotación, con muestreo alterado e inalterado, y pruebas de penetración estándar.

Se realizaron siete perforaciones con equipo mecánico, de las cuales cinco se concentraron en el sector la Loma, donde se presentó en el año 2011 un movimiento en masa que afectó de manera importante algunas viviendas. Las dos restantes perforaciones se localizaron en sitios representativos, para la definición del modelo geotécnico urbano. En la siguiente tabla se muestra la profundidad de las perforaciones, y los resultados de estas se incluirá en un anexo del informe final.

En la tabla 8 y la figura 69 se ilustra la distribución de las perforaciones, cuyos resultados se presentan en el anexo del informe final.

Tabla 8. Relación de Sondeos Mecánicos o perforaciones

SONDEO N°	PROFUNDIDAD (m)
S1	15
S2	10
S3	20
S4	30
S5	20
S6	13
S7	12

Fuente. Proyecto

Para el programa de perforaciones, de acuerdo con las condiciones del terreno, se emplearon dos equipos mecánicos con las siguientes características: una perforadora de peso ligero marca Petty con motor diésel de 12 HP Ruggerini y otra menos liviana marca Sprague 37H100 con motor diésel Dutz de 28 HP, que se muestran en la figura 68.



Fuente. Proyecto

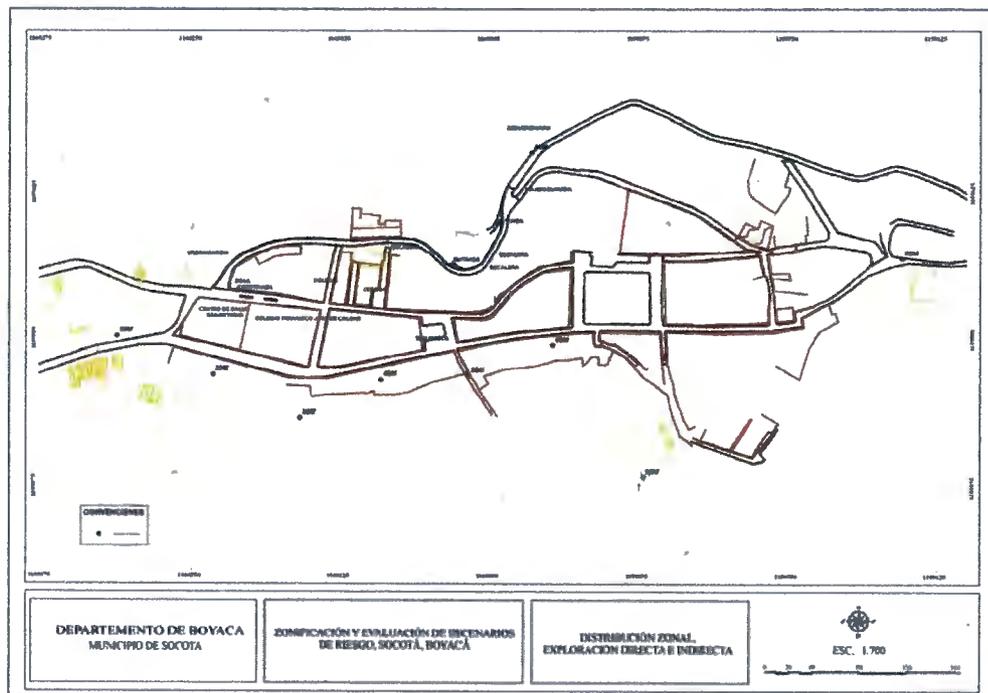
FIGURA 68. Equipos de perforación utilizados. A. Petty B. Sprague.

Adicionalmente se ejecutaron nueve sondeos con equipo manual, localizados en sectores que por limitaciones de acceso no fueron cubiertos por las perforaciones. En dichos sondeos se efectuaron pruebas de penetración dinámica y se obtuvieron muestras alteradas e inalteradas. Su distribución se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 9. Relación de sondeos manuales.

SONDEO DIRECTO	PROFUNDIDAD(m)
SM1	3.5
SM2	4.0
SM3	3.5
SM4	4.0
SM5	3.5
SM6	4.0
SM7	3.75
SM8	4.25
SM9	3.0

Fuente. Proyecto



Fuente. Proyecto

FIGURA 69. Localización de los sondeos mecánicos y sondajes.

5.1.2. Exploración Indirecta

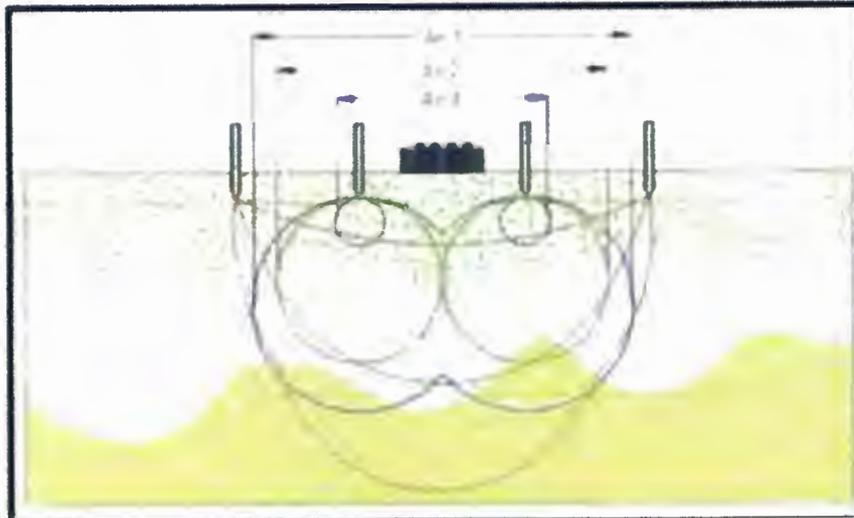
La exploración indirecta consistió en ocho líneas de tomografías, a fin de investigar zonas no cubiertas por las perforaciones y también como complemento a estas. Para el ajuste del modelo geofísico se proyectó una en el sector La Loma junto a las perforaciones P4 y P5.

5.1.2.1. Fundamento Teórico

Las Tomografías Eléctricas Resistivas (TER) son métodos geofísicos de exploración o Ingeniería Geofísica, los cuales están constituidos por una serie de técnicas que permiten medir las variaciones de diversas propiedades físicas en los materiales que forman la corteza terrestre tales como: densidad, susceptibilidad magnética, velocidad de propagación de las ondas elásticas, resistividad eléctrica o la radioactividad natural de las rocas, entre otras. La medición y distribución de estas variaciones, permite inferir algunas condiciones litológicas y estructurales del subsuelo, correlacionando los valores medidos o zonas anómalas, con los efectos calculados de los modelos de laboratorio, en los que se conocen las relaciones causa-efecto en términos de una función matemática.⁴

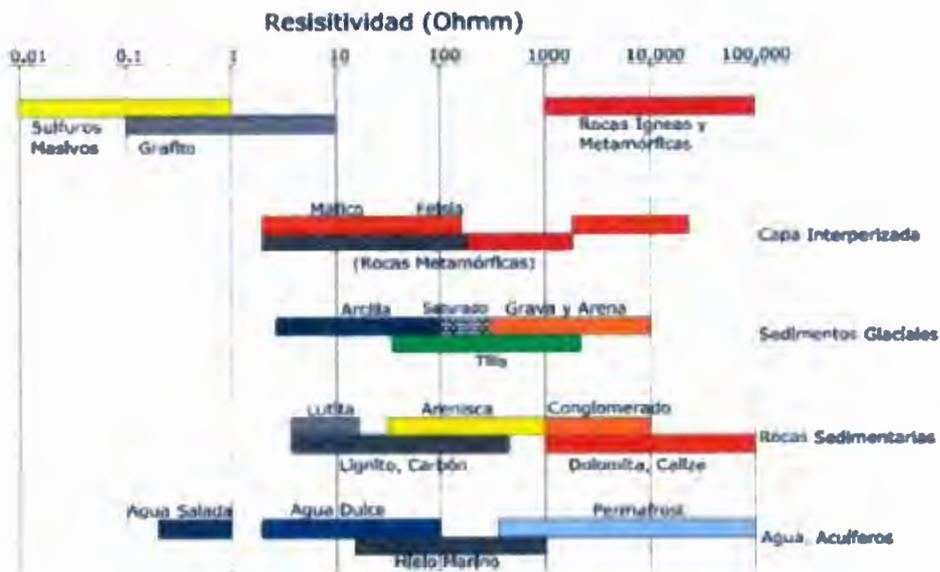
El método consiste en inyectar una corriente eléctrica al interior del suelo, la cual regresa al voltímetro con una diferencia de potencial (ΔV) producto de las variaciones en resistencia que resultan del tipo de material o estrato de suelo (Figura 40); cada tipo de material tiene diferente manera a “resistir” una corriente eléctrica, los buenos conductores o materiales humedecidos presentan una resistencia baja a la inyección de corriente, mientras que materiales aislantes presentan resistencias eléctricas mayores (Figura 41).²

²LOKE, 2004.



Fuente: Aplicación de la tomografía eléctrica para la caracterización de un deslizamiento de ladera en un vertedero, Aracil Avila, José Ángel.

FIGURA 70. Principio teórico de operación de las TER's.



Fuente: aplicación de la tomografía eléctrica para la caracterización de un deslizamiento de ladera en un vertedero, Aracil Avila, José Ángel.

FIGURA 71. Rangos de resistividad para diferentes materiales.

La adquisición de datos de campo puede llevarse a cabo con configuraciones de electrodos que pueden variar su arreglo y que dependen estrictamente del objeto para el cual se realiza la exploración. De introducción reciente es la tomografía eléctrica, técnica multielectrónica en la que todo el proceso de adquisición de datos está totalmente automatizado. Esto permite realizar un gran número de medidas, tanto en profundidad como lateralmente, en un breve espacio de tiempo (del orden de 500 medidas en una hora y media), obteniendo por tanto modelos 2-D de gran resolución.

5.1.2.2. Metodología

La Tomografía eléctrica tiene por objetivo específico determinar la distribución real de la resistividad del subsuelo en el ámbito comprendido entre dos sondeos o bien hasta un cierto rango de profundidad a lo largo de un perfil de medida, a partir de los valores de resistividad aparente obtenidos mediante medidas realizadas por métodos convencionales de corriente continua. Un factor clave de esta técnica es el número y distribución de las medidas de campo ya que de él depende tanto su resolución como la profundidad de investigación. Como regla general, un estudio mediante Tomografía eléctrica requiere la obtención de un número muy elevado de datos, con un pequeño espaciado entre medidas para conseguir la necesaria resolución lateral que viene dada por la siguiente formula:

$$d = X_{total} / N^{\circ}electrodos$$

Donde:

d= Distancia entre electrodos

X total= Distancia de la línea extendida

N° electrodos= electrodos a utilizar

También que las medidas se realicen involucrando de forma progresiva varios rangos de profundidad.

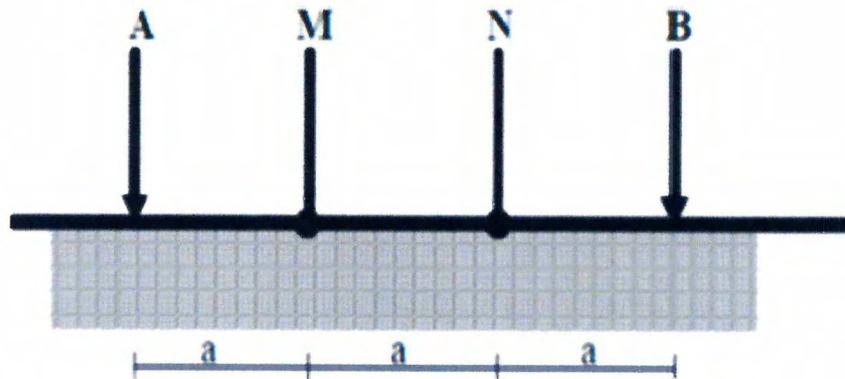
El resultado final de este tipo de estudio es una sección distancia-profundidad con la distribución de la resistividad real del subsuelo, fácilmente comprensible en términos geológicos o geotécnicos. Para obtener estos resultados se procede a

insertar los parámetros para el cálculo y la medición de las resistividades en campo, utilizando el método o dispositivo de Wenner.

Un dispositivo es un arreglo de electrodos formado con dos pares de electrodos, dos emisores y dos receptores. A través de los electrodos emisores C1C2 se inyecta la corriente continua al terreno midiendo su intensidad con un miliamperímetro en serie, y a través del segundo par se mide la diferencia de potencial entre los electrodos P1P2 con un Mili voltímetro. Se tienen arreglos donde uno o dos electrodos se conectan a una distancia lo suficientemente grande, denominados remotos o infinitos, a la cual no producen perturbaciones en la zona de estudio. En cualquier dispositivo electródico, si conocemos el factor geométrico k, la corriente eléctrica I inyectada por los electrodos A y B, y la diferencia de potencial entre los electrodos M y N, podemos calcular la resistividad aparente mediante la expresión:

$$\rho = k \Delta V / I.$$

Se aplicó en estas tomografías el DISPOSITIVO WENNER, donde los electrodos se disponen equidistantes sobre una línea en el orden AMNB.



Fuente: Aplicaciones de la tomografía eléctrica 2-d al estudio del subsuelo Javier S. Salgado.

FIGURA 72.Dispositivo Wenner

El factor geométrico del dispositivo se deduce de $K = 2\pi(1/AM - 1/AN - 1/BM + 1/BN) \cdot a$, donde $K = 2\pi a$

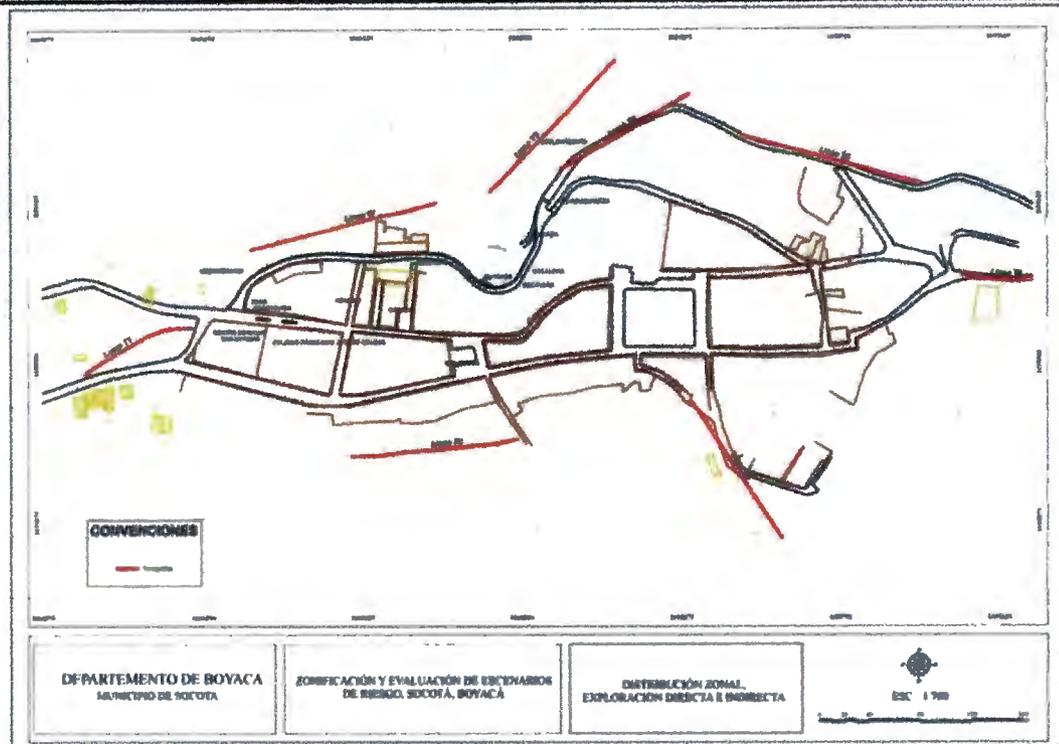
Para la realización de las tomografías en el municipio de Socotá se utilizó el equipo TERRAMETER LS 04-064-250 propiedad de la U.P.T.C., con 2 carretes de 210 mts cada uno, 41 electrodos conectados cada uno respectivamente al equipo, para obtener así las siguientes líneas con su respectivo análisis.



Fuente. Proyecto

FIGURA 73.Equipo Utilizado Terrameter ABEM

En la figura 74 se indica la distribución de las ocho líneas tomográficas levantadas en la zona urbana. Es de anotar que el pavimento de las calles no permitió el hincado de las estacas, y en consecuencia el programa de exploración previsto tuvo que ajustarse tanto en localización como en longitud, por zonas donde este inconveniente no se presentara.



Fuente. Proyecto

FIGURA 74. Localización líneas de tomografía.

5.1.2.3. Resultados

Con el propósito de ilustrar la aplicación del método se presenta a continuación el procedimiento realizado para la línea 1, localizada en el casco urbano del municipio de Socotá, en las Coordenadas punto inicial **E: 1.160.344, N: 1.159.481**, punto final **E: 1.160.263, N: 1.160.522**, orientación NW, con una longitud aproximada de 110 m., profundidad obtenida de 11.1 m., y los electrodos conectados a una distancia de 2.50 m cada uno.



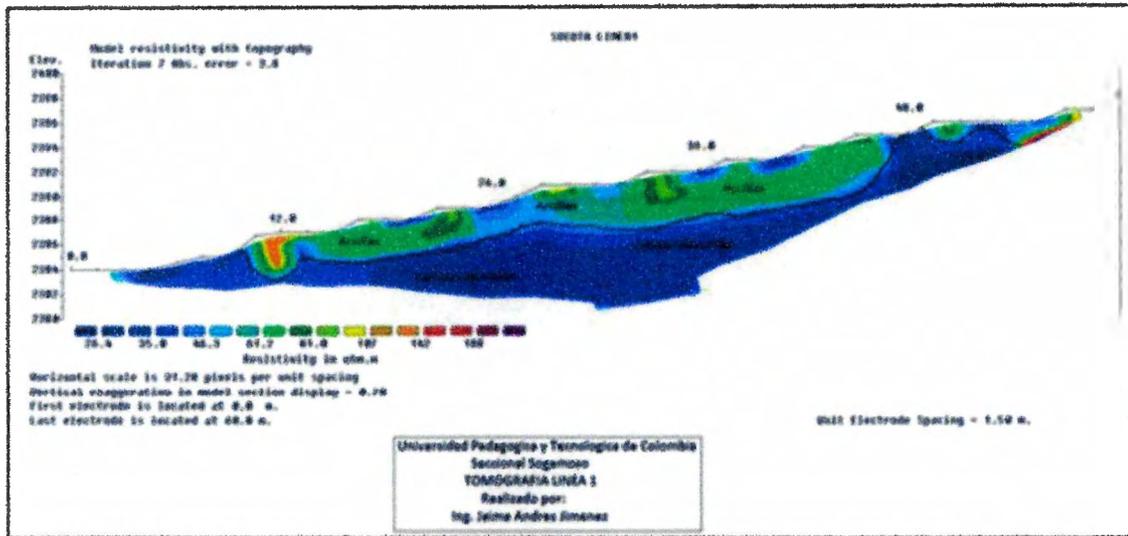
Fuente. Proyecto

FIGURA 75. Registro fotográfico Línea 1, Área cercana a la Estación de Servicio BRIO.

Tabla 10. Resistividades de los materiales presentes en el área de estudio.

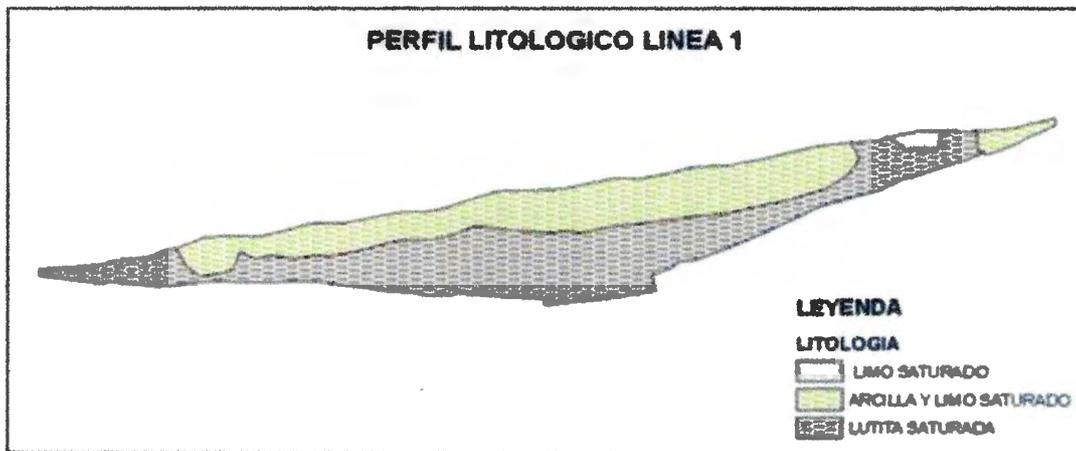
MATERIAL	PROFUNDIDAD (m)	RESISTIVIDAD (\square*m)	INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA
1	2	35 – 61.2	Arcilla y limos saturados
2	6	26.4 - 35	Lutita saturada.
3	1	61.2 - 81	Limo saturado

Fuente. Proyecto



Fuente. Proyecto

FIGURA 76. Perfil tomografía Línea 1.



Fuente. Proyecto

FIGURA 77. Perfil litológico Línea 1

Los resultados de las tomografías se establecen en el ANEXO G



5.1.3. Ensayos de laboratorio

Con las muestras obtenidas de la exploración directa se realizaron ensayos de laboratorio para determinar los parámetros físicos y mecánicos de los distintos materiales encontrados, y también para definir su clasificación UCS.

Del muestreo con equipo mecánico se hicieron los ensayos relacionados a continuación, y que fueron contratados con Suelos y Pavimentos Gregorio Rojas SAS, laboratorio acreditado por ONAC que tiene su sede en Bogotá.

Tabla 11. Relación ensayos de laboratorio

ENSAYO	CANTIDAD
Humedad natural	49 Unidades
Granulometrías con lavado T200	26 Unidades
Límites de Atterberg	46 unidades
Determinación de P200 por lavado	10 unidades
Compresión simple en núcleos de roca con módulos	10 ensayos
Compresión simple en núcleos de roca sin módulos	8 ensayos
Compresión triaxial en núcleos de roca	3 ensayos
Tracción brasilera en núcleos de roca	6 ensayos
Pruebas de carga puntual	25 ensayos
Preparación de muestras para corte directo	4 unidades
Corte directo en rocas a través de diaclasas	5 ensayos

Del programa de sondeos manuales se tomaron muestras para caracterización física, cuyas pruebas se realizaron en el laboratorio de la UPTC, sede Sogamoso. La relación se consigna a continuación.

- Humedad natural.....20 unidades
- Granulometrías con lavado T200.....20 unidades
- Límites de Atterberg.....20 unidades

(VER ANEXO D)

5.2. EVALUACION DE ESTABILIDAD SECTOR LA LOMA

En el sector conocido como La Loma, ocurrió en el año 2011 un fenómeno de remoción en masa (FRM) que afectó de manera importante ocho viviendas, algunas de las cuales tuvieron que ser evacuadas dado su alto grado de afectación. Sus causas se ligan a la fuerte ola invernal de entonces, pero el diagnóstico debe considerar las causas reales, entre las que se destaca el tipo y condición de los materiales presentes.

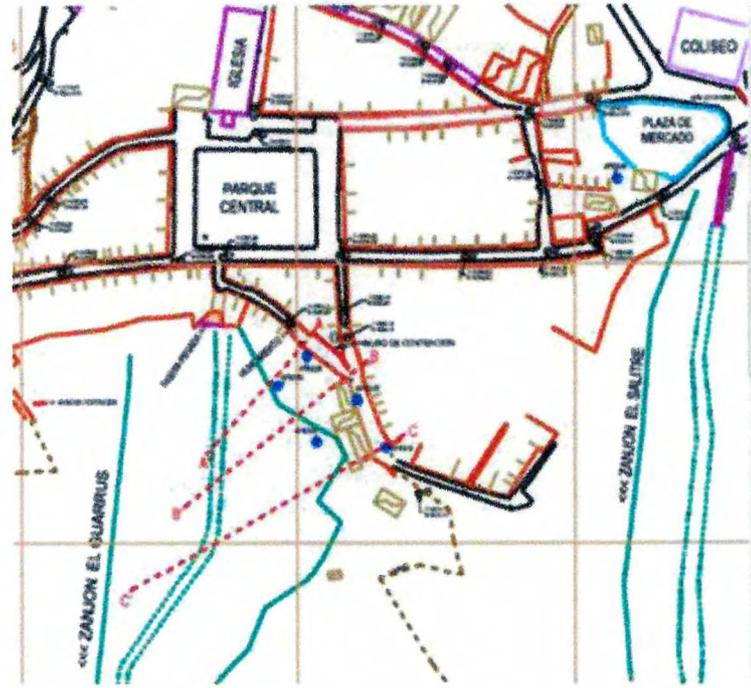
Desde entonces la zona ha permanecido en equilibrio estático y aun cuando no se ha evidenciado evolución del FRM, es clara la alta probabilidad de reactivación del movimiento, con el consecuente avance retrogresivo, y la afectación de nuevas viviendas.

El estudio del movimiento, implica la definición del modelo físico con base en el levantamiento topográfico y la exploración del subsuelo. A partir de este modelo, conocido también como modelo geotécnico, se efectúan los análisis de estabilidad del terreno.

5.2.1. Modelo Geotécnico

La conformación estratigráfica de la zona de estudio muestra cierta complejidad, producto de eventos morfodinámicos y tectónicos ocurridos a través del tiempo. A esto se suman los depósitos de origen antrópico y la influyente presencia de aguas subterráneas con gradientes de infiltración. En la definición del programa de exploración directa, se consideró necesario establecer perfiles representativos del terreno y en función de ello se localizaron los sitios de las perforaciones. Se han denominado corte A-A, corte B-B y corte C-C a dichas secciones, y para los dos últimos se efectúa la modelación de equilibrio (Figura 48).

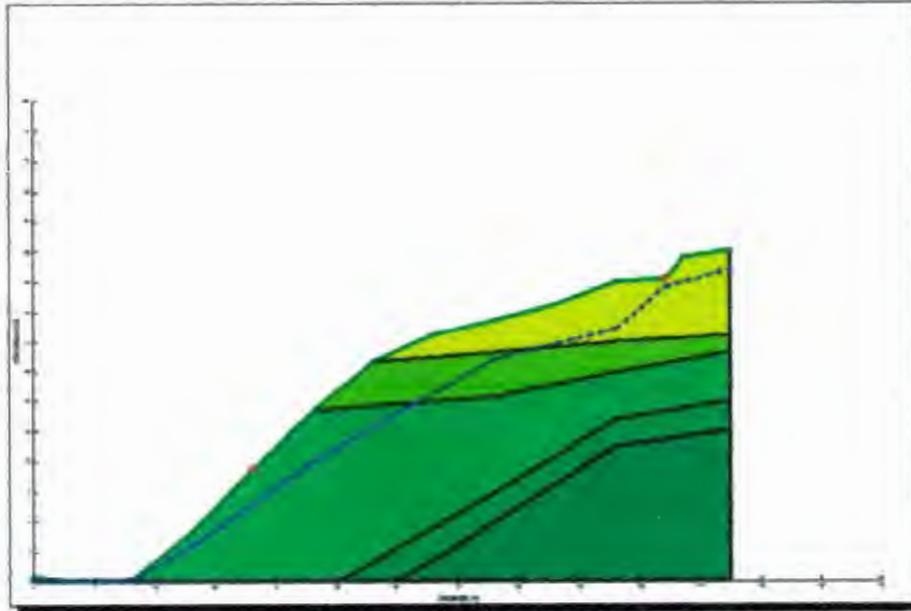
Para cada perfil se establecen las características geotécnicas necesarias, como son el peso unitario (γ), la cohesión (c) y el ángulo de fricción interna (ϕ). La posición del nivel freático ha sido un tanto arbitraria, pues el régimen de aguas subterráneas en el sector es muy variable, y no tiene un patrón constante para toda el área de interés.



Fuente. Proyecto

FIGURA 78. Sector La Loma con la localización de los sondes y los cortes

En la figura 79 se muestra el perfil resultante del corte B-B, y en la tabla 12 se consignan los parámetros físicos y mecánicos para cada uno de los distintos estratos que conforman el talud.



Fuente. Proyecto

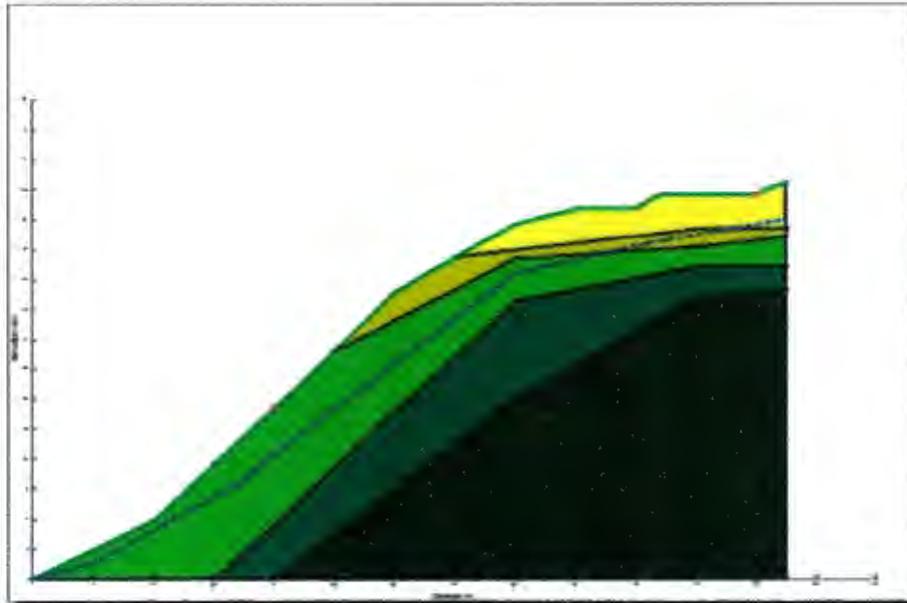
FIGURA 79. Modelo Geotécnico corte B-B

Tabla 12. Parámetros correspondientes con el modelo geotécnico del corte B-B

COLOR	CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	PESO UNITARIO	PARAMETROS RESISTENCIA
		Relleno limo-arenoso	Sat = 18 Kn/m ³	$\phi = 30^\circ$
		Arena limosa con gravas	Sat = 18 Kn/m ³	$\phi = 38^\circ$
		Caliza fracturada en matriz arcillosa	Sat = 20 Kn/m ³	C = 100 Kpa
		Caliza fracturada	Sat = 20 Kn/m ³	$\phi = 38^\circ$
		Caliza ligeramente diaclasada	Sat = 22 Kn/m ³	C = 400 Kpa $\phi = 40^\circ$

Fuente. Proyecto

La figura 80 corresponde al perfil del corte C-C y la tabla 13 contiene los parámetros físicos y mecánicos de los distintos estratos que conforman el talud.



Fuente. Proyecto

FIGURA 80.Modelo Geotécnico corte C-C

Tabla 13.Parámetros correspondientes con el modelo geotécnico del corte C-C

COLOR	CLASIFICACION	DESCRIPCION	PESO UNITARIO	PARAMETROS RESISTENCIA
		Relleno limo-arenoso	Sat = 18 Kn/m ³	$\phi = 30^\circ$
		Arcilla limo arenosa	Sat = 18 Kn/m ³	C = 70 Kpa
		Lutita en matriz limo arenosa.	Sat = 20 Kn/m ³	C = 80 Kpa
		Gravas y limolitas	Sat = 20 Kn/m ³	$\phi = 35^\circ$
		Caliza ligeramente diaclasada	Sat = 22 Kn/m ³	C=400 Kpa $\phi = 40^\circ$

Fuente. Proyecto

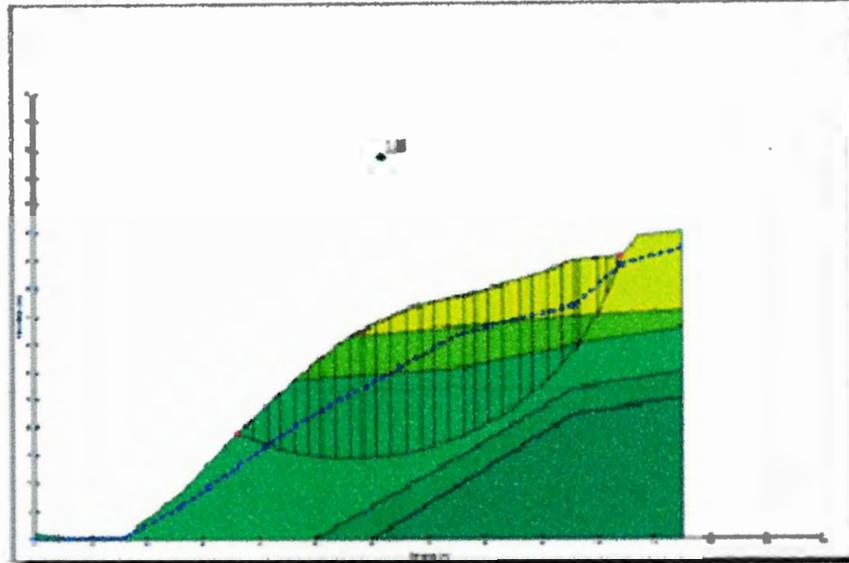
5.2.2. Análisis de Estabilidad

Existen diferentes criterios de análisis de estabilidad de taludes, desarrollados por las distintas escuelas geotécnicas, siendo el de mayor aceptación el conocido como criterio de equilibrio límite. El principio consiste en confrontar la acción de las fuerzas resistentes o fuerzas que se oponen a la falla de una porción definida de terreno y la acción de las fuerzas que tienden a producir el movimiento. Esta relación determina el parámetro conocido como factor de seguridad, parámetro que está en relación inversa con la probabilidad de falla.

La modelación de estabilidad consistió en determinar el factor de seguridad de los modelos físicos antes definidos, por el método de equilibrio límite de momentos de Bishop para falla circular, con dos puntos definidos de la superficie de falla correspondientes a su entrada y salida al nivel del terreno, mediante el programa SLOPE/W de GeoStudio versión 7.10.

5.2.2.1. Modelación en equilibrio estático de la condición actual corte B-B

A fin de verificar la validez del modelo físico definido para cada sección, se corrió el modelo para condición estática, encontrándose que el factor de seguridad es 1.06, lo cual concuerda con la condición de equilibrio presente.

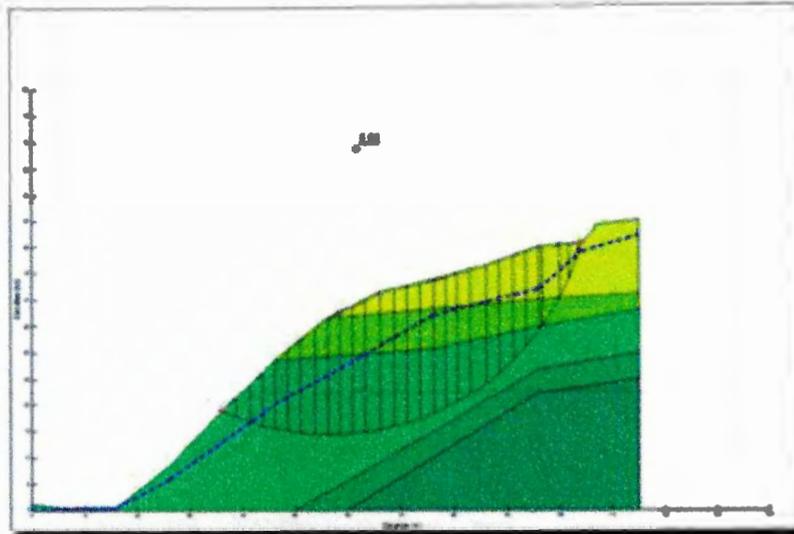


Fuente. Proyecto

FIGURA 81. Resultados del análisis al talud original corte B-B sin sismo

5.2.2.2. Modelación en equilibrio Pseudoestático de la condición actual corte B-B

La siguiente modelación corresponde a la condición de equilibrio Pseudo estático, en la cual se aplican fuerzas horizontales equivalentes a las que puedan ser inducidas por un sismo. Se tomaron los coeficientes de Pseudo aceleración espectral que sugiere la norma sismo resistente del año 2010, NSR-10, $K_H=0.30$ y $K_v=0.05$, para la población de Socotá, ubicada en una región de alta amenaza sísmica. El factor de seguridad encontrado en este caso es $FS=0.60$, correspondiente a alta probabilidad de falla.

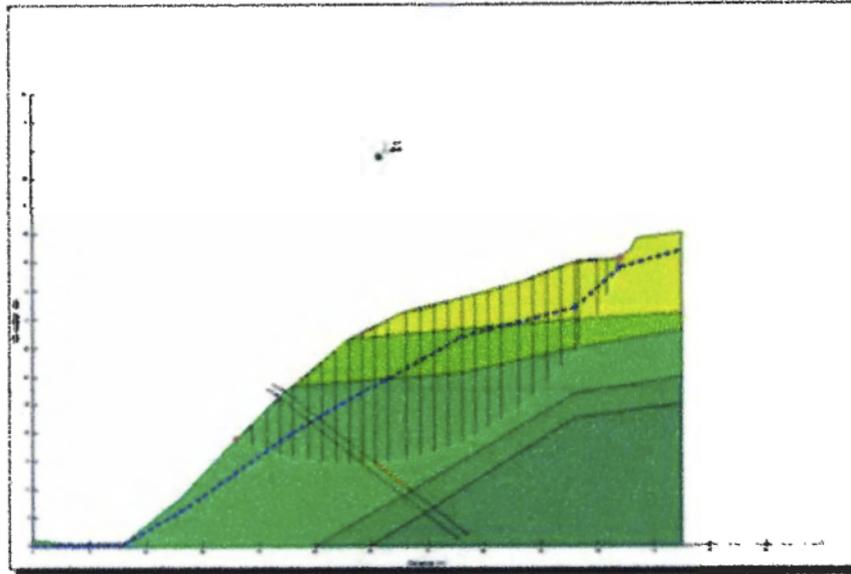


Fuente. Proyecto

FIGURA 82. Resultados del análisis al talud original corte B-B con sismo.

5.2.2.3. Modelación en equilibrio Pseudo estático con anclajes activos corte B-B

La siguiente modelación corresponde a la condición de equilibrio Pseudoestático, en la cual fue necesario proyectar dos anclajes activos por sección de 1.0 m de profundidad, con 60 ton de tensión en cada uno, para alcanzar un $FS=1.22$, que indica talud estable con baja probabilidad de falla.

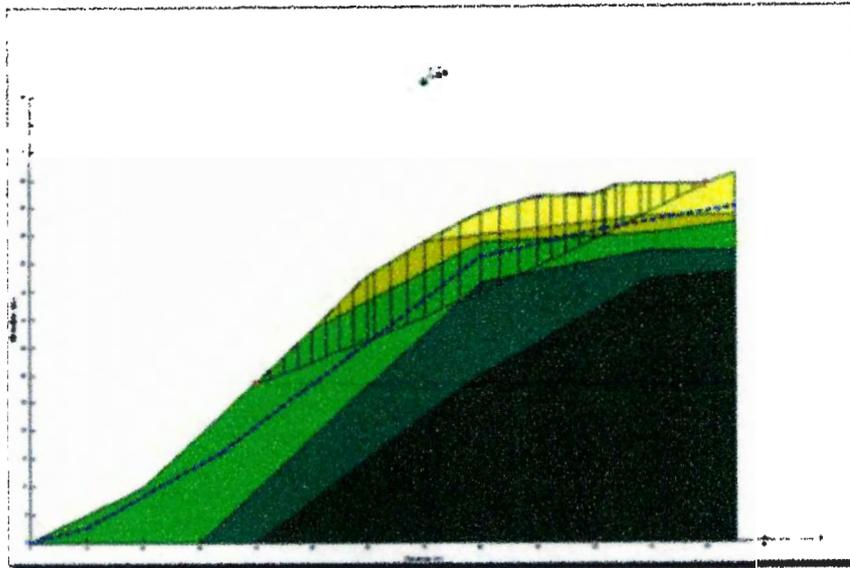


Fuente. Proyecto

FIGURA 83. Resultados del análisis talud corte B-B con sismo y anclajes activos, Tensión en cada anclaje igual a 60 ton.

5.2.2.4. Modelación en equilibrio estático de la condición actual corte C-C

El mismo procedimiento aplicado para el perfil correspondiente al corte B-B se aplicó para el perfil C-C. A continuación se presenta la evaluación del equilibrio estático para la condición actual del talud. Es de anotar que el peso de las construcciones existentes se hizo equivalente a un mayor valor del peso unitario del terreno, por lo que el modelo no muestra sobrecarga aplicada. El factor de seguridad encontrado para esta situación fue de 1.22, que corresponde a estado de equilibrio.

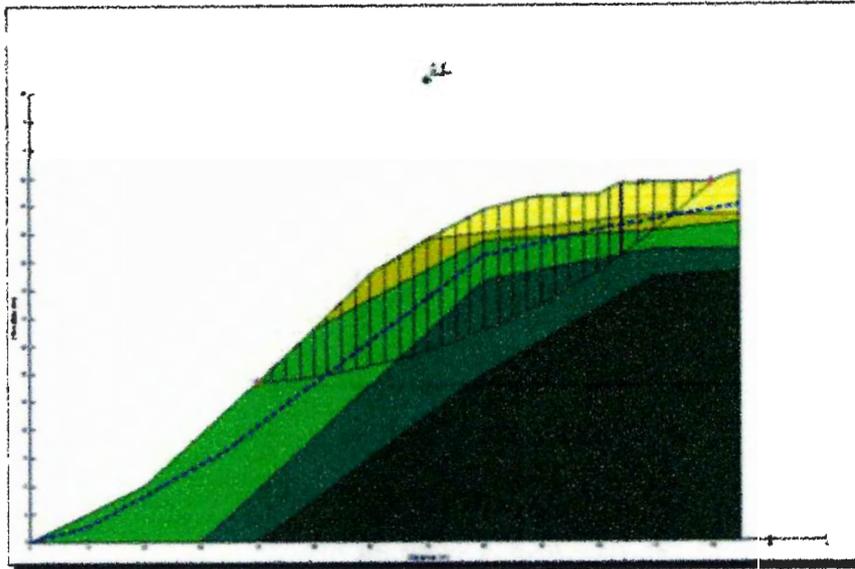


Fuente. Proyecto

FIGURA 84. Resultados del análisis al talud original corte C-C sin sismo.

5.2.2.5. Modelación en equilibrio Pseudo estático de la condición actual corte C-C

Igual que para la sección B-B, se corrió el modelo para el corte C-C, con los coeficientes de Pseudo-aceleración espectral pico de la NSR-10. En este caso se trata de establecer lo que ocurrirá si un evento sísmico de magnitud pico llegara a presentarse. El factor de seguridad resultante fue de 0.67, que indica que ante un evento sísmico el talud fallará.

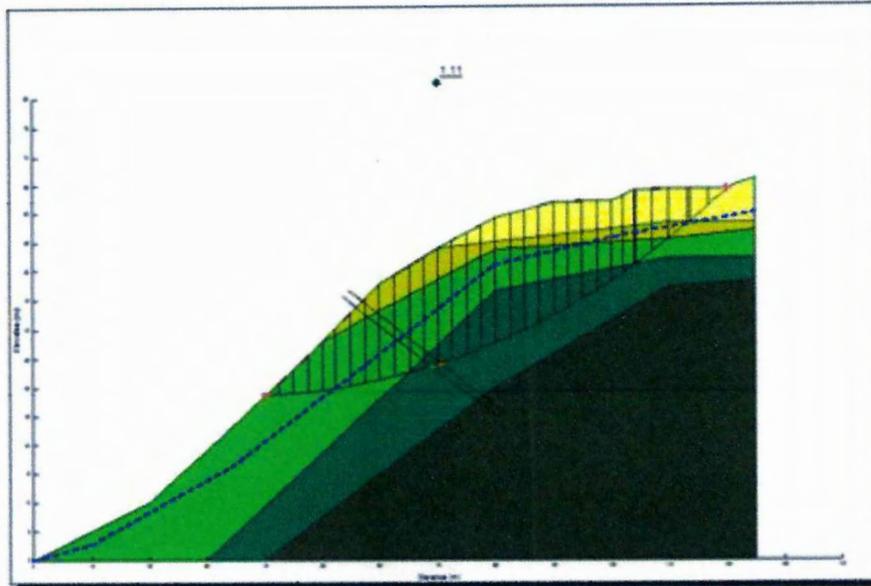


Fuente. Proyecto

FIGURA 85. Resultados del análisis al talud original corte C-C con sismo

5.2.2.6. Modelación en equilibrio Pseudo estático con anclajes activos corte C-C

De manera similar al corte B-B, se efectuó la modelación del equilibrio Pseudo estático para sección C-C, colocando una estructura de contención anclada que garantice el equilibrio. En este caso los anclajes requirieron una tensión de 100 ton para un factor de seguridad de 1.11.



Fuente. Proyecto

FIGURA 86. Resultados del análisis talud corte C-C con sismo y anclajes activos
Con tensión en cada anclaje de 100 ton.

5.2.2.7. Consideración de la influencia del agua subterránea

Durante la ejecución de los sondeos se encontró que la condición del flujo subterráneo en el sector La Loma es no permanente, debido a la presencia de lentes granulares intercalados de geometría discontinua, y también al fracturamiento de los estratos rocosos.

En consecuencia, para el análisis se definió de modo arbitrario el nivel de aguas freáticas, considerando que la tabla de agua se mantiene a escasa profundidad.

5.2.3. Evaluación de Resultados

La tabla siguiente resume los resultados obtenidos en la modelación de equilibrio del talud en los distintos escenarios considerados.

Tabla 14. Resumen de Resultados

SECCIÓN	TIPO DE MODELO	FACTOR DE SEGURIDAD
Corte B - B	Actual Estático	1.06
Corte B - B	Actual Pseudoestático	0.60
Corte B - B	Pseudo estático anclado	1.20
Corte C-C	Actual Estático	1.22
Corte C - C	Actual Pseudo estático	0.67
Corte C - C	Pseudoestático anclado	1.11

Fuente. Proyecto

De los resultados obtenidos se llega a las siguientes conclusiones:

- Los factores de seguridad resultantes para la condición estática indican justamente que en la actualidad la zona se encuentra en equilibrio, aunque para el perfil del corte B-B la probabilidad de falla es mayor, por ser su valor (1.06), más cercano a la unidad, donde el factor de seguridad corresponde al equilibrio límite. Esto significa que cualquier cambio desfavorable de las condiciones actuales puede producir la reactivación del movimiento del terreno.
- La modelación en equilibrio Pseudoestático arroja factores de seguridad menores a 1.0 - por cierto bastante alejados de este valor (0.60 y 0.67) -, lo cual significa que de presentarse un evento sísmico, aún sin que este sea de magnitud tope en la escala esperada, ocurrirá la falla del terreno.
- A fin de garantizar el equilibrio para cualquier condición que pudiera presentarse, se corrió el modelo Pseudoestático, proyectando anclajes activos hasta conseguir que el factor de seguridad en cada caso fuese suficientemente mayor a la unidad (1.22 para el corte B-B y 1.11 para C-C). En estas condiciones se puede garantizar que la zona permanecerá estable

aun cuando las condiciones de agua subterránea y de acción sísmica llegasen a ser las más desfavorables.

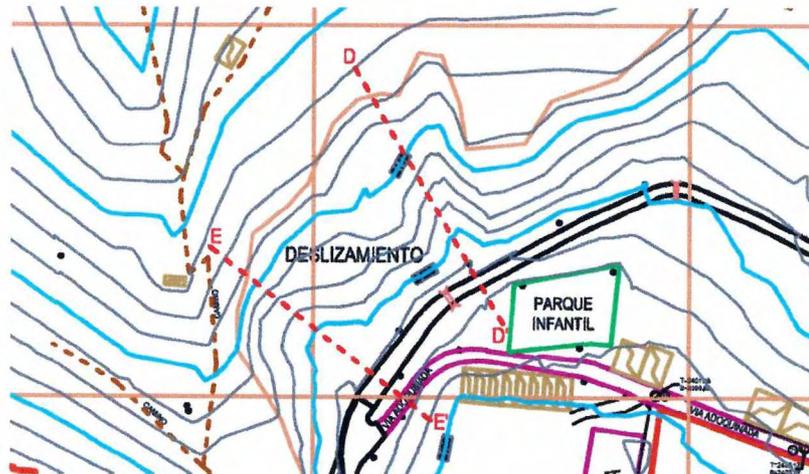
Para el sector del corte B-B se requiere colocar dos anclajes por sección de 1.0 m en profundidad, con una tensión de 60 toneladas cada uno. En el corte C-C se colocarán dos anclajes por sección, con 100 ton de tensión en cada uno.

5.3. EVALUACION DE ESTABILIDAD DEL SECTOR LA RECEBERA

Hacia el sector oriental del área urbana, se encuentra una antigua recebera en cuyos taludes se aprecian signos de inestabilidad. Es preciso entonces, establecer el grado de amenaza asociada a la potencial falla de los taludes en la condición actual y también en el caso de presentarse un evento sísmico.

5.3.1. Modelo Geotécnico

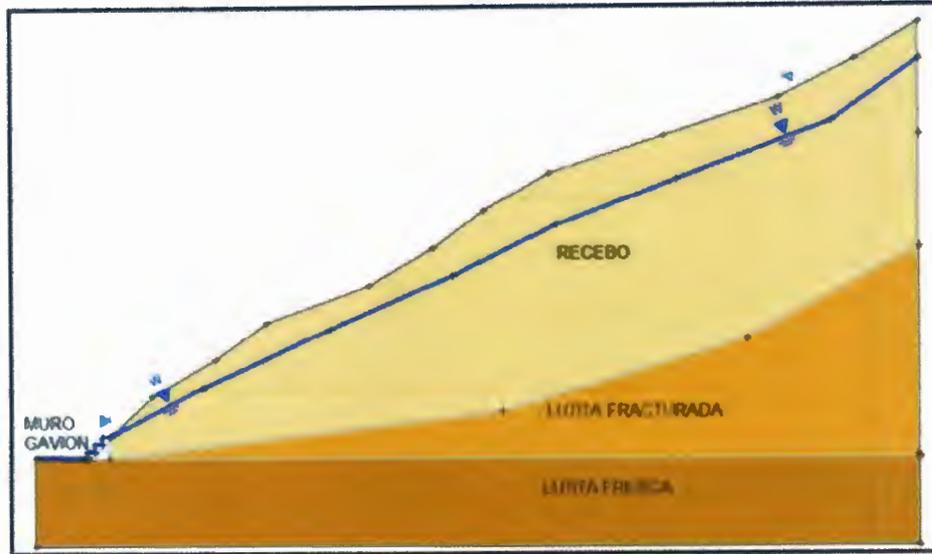
El perfil topográfico corresponde a la sección D-D marcada en la figura 27, la estratigrafía se obtuvo de la tomografía, los parámetros del relleno se determinó en la exploración directa y de la Lutita con base en estudios anteriores.



Fuente. Proyecto (NAG Enero 19).

FIGURA 87. Sector La Recebera con la localización de la sección D-D y los sondeos

En la figura 88 se muestra el perfil resultante del corte D-D, y en la tabla 15 se consignan los parámetros físicos y mecánicos para cada uno de los distintos estratos que conforman el talud.



Fuente. Proyecto

FIGURA 88. Modelo Geotécnico corte D-D

Tabla 15. Parámetros correspondientes con el modelo geotécnico del corte D-D

COLOR	CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	PESO UNITARIO	PARAMETROS RESISTENCIA
		Recebo	Seco=16.7 Kn/m ³ Sat = 17.7 Kn/m ³	C=130 Kpa
		Lutita fracturada	Seco=20 Kn/m ³ Sat = 22 Kn/m ³	C=160 Kpa Φ = 36°
		Lutita fresca	Seco=18 Kn/m ³ Sat = 20 Kn/m ³	C =150 Kpa Φ = 35°

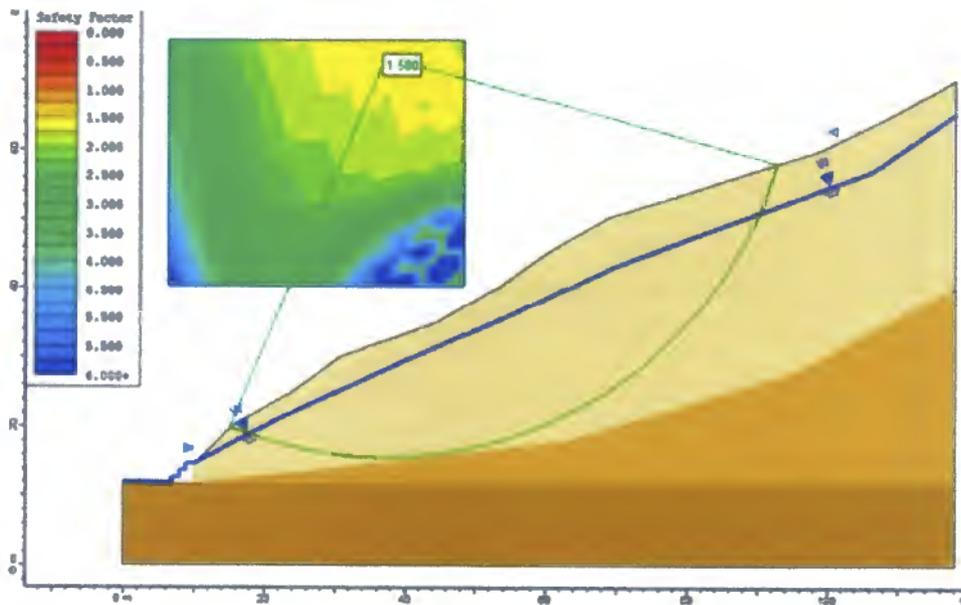
Fuente. Proyecto

5.3.2. Análisis de estabilidad

El análisis de estabilidad del perfil típico definido para La Recebera se realizó por el método de equilibrio límite de Bishop aplicado con el software SLIDE versión 5.0, programa creado por Rocscience de origen Canadiense.

5.3.2.1. Modelación del Talud con muro gavión y nivel freático alto, en equilibrio estático.

Es importante hacer la modelación del talud en la condición actual para verificar la validez de los parámetros definidos. Sin embargo en este caso, se introduce en el pie un muro en gavión, por considerarse indispensable su construcción como medida primaria de contención, y también se supone que el nivel de las aguas freáticas está cerca a la superficie. El factor de seguridad resultante es 1.58.



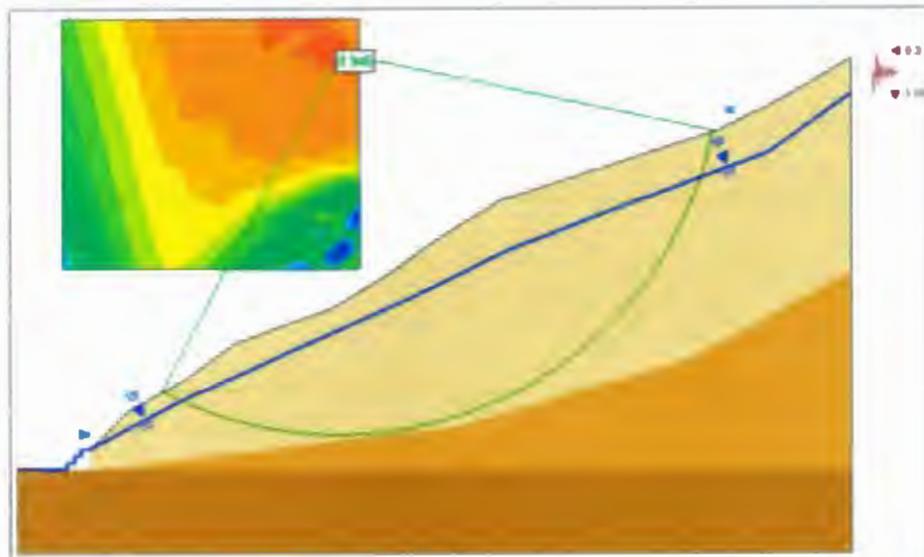
Fuente. Proyecto

FIGURA 89. Resultado de modelación del talud original con muro gavión en equilibrio estático

5.3.2.2. Modelación del Talud en D-D con muro gavión y nivel freático alto, en equilibrio Pseudo estático.

En este modelo se supone la acción de fuerzas equivalentes a las producidas por un movimiento sísmico límite determinadas por la NSR-10, y por lo tanto corresponde a una situación de equilibrio del terreno en condición extrema.

El factor de seguridad resultante en este caso es 0.946, e indica que de ser sometido a una acción sísmica máxima probable, ocurrirá la falla del talud.

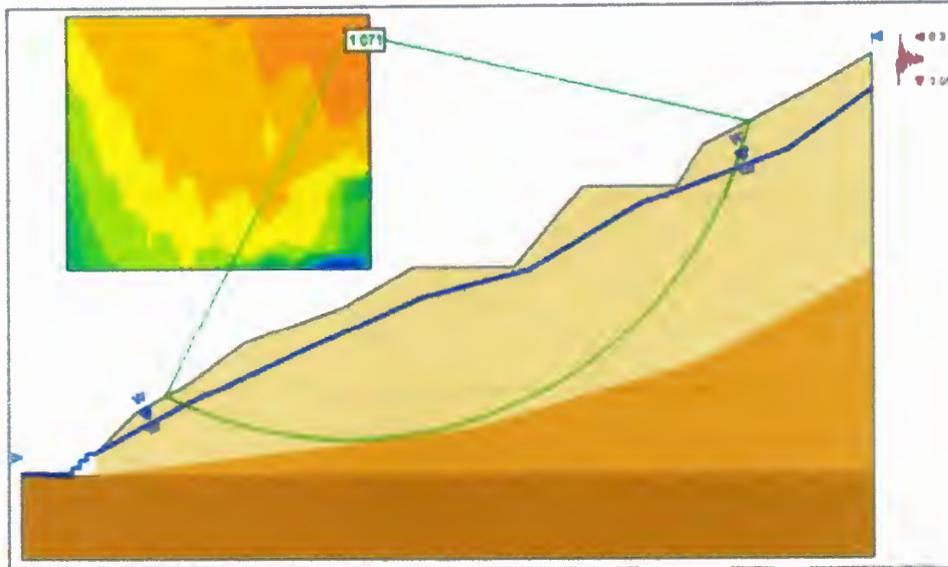


Fuente. Proyecto

FIGURA 90. Resultado de modelación del talud original con muro gavión en condición de equilibrio Pseudo estático

5.3.2.3. Modelación del Talud en D-D con muro gavión y terraceo, en equilibrio Pseudoestático.

En este caso se proyecta reconfigurar el talud mediante un terraceo, buscando aumentar el factor de seguridad para alejar la posibilidad de falla en caso de presentarse actividad sísmica. En esta condición el factor de seguridad es 1.071, que corresponde a un talud estable.



Fuente. Proyecto

FIGURA 91. Resultado de modelación del talud con muro gavión y terraceo, en condición de equilibrio Pseudo estático.

5.3.3. Evaluación de resultados

La tabla siguiente resume los resultados obtenidos en la modelación de equilibrio del talud en los distintos escenarios considerados.

Tabla 16. Resumen de Resultados

SECCIÓN	TIPO DE MODELO	FACTOR DE SEGURIDAD
<i>Corte D – D</i>	<i>Con Gavión Estático</i>	<i>1.580</i>
<i>Corte D - D</i>	<i>Con Gavión Pseudoestático</i>	<i>0.946</i>
<i>Corte D - D</i>	<i>Con Gavión y Taraceó Pseudo estático</i>	<i>1.071</i>

Fuente. Proyecto

Los análisis anteriores permiten llegar a las siguientes conclusiones:

- De mantenerse la situación actual del talud, tanto en relación con la presencia de aguas subterráneas como en la ausencia de cargas dinámicas, el talud continuará en equilibrio, dado que el factor de seguridad (1.58) indica que la probabilidad de falla no es alta. En este caso, se proyectó un gavión de 3.0 m de altura en el pie del talud, puesto que desde un comienzo se consideró imperativa su construcción, debido a que se presenta caída de detritos con cierta frecuencia.
- De ocurrir algún evento sísmico, como es el caso pseudoestático, ocurrirá la falla del talud, conforme indica el factor de seguridad resultante (0.946) menor a la unidad.
- Como medida de control para garantizar la estabilidad, se determinó realizar la reconfiguración de la geometría del talud, mediante terrazas, tal como se muestra en el modelo. Con esta medida se logra llegar a un factor de seguridad de 1.07, que aun cuando no es muy alto, si corresponde a condición de equilibrio, que para este caso resulta suficiente, teniendo en cuenta que la vulnerabilidad es baja.

5.4. RECOMENDACIONES

- En relación con el sector de La Loma afectado por el movimiento en masa, se ha encontrado que el material rocoso se encuentran bastante fracturado, lo cual se asocia con zonas de esfuerzos tectónicos. Esto causa cierta prevención frente a la proyección de obras de contención que no puedan estar perfectamente soportadas. Sin embargo teniendo en cuenta los registros de la exploración adelantada, se deduce que es dable la construcción de una pantalla anclada, tal como se consideró en la evaluación de estabilidad. Más que recomendable, resulta imperativa la construcción de dicha estructura, puesto que de no aplicar medidas de control, el terreno puede desestabilizarse nuevamente dado que su equilibrio está muy cerca del límite, tal como se evidencia en la modelación.



- Se recomienda la evacuación de las viviendas que se encuentran dentro de la zona afectada por el movimiento en masa, ya que este puede reactivarse bajo la acción erosiva de los flujos de infiltración, o bajo una eventual acción sísmica. Esta medida debe aplicarse a la menor brevedad posible, y su aplicación deberá ir hasta cuando se construya la estructura de contención proyectada.

6. ZONIFICACION DE SUSCEPTIBILIDAD DE FENOMENOS DE REMOCION EN MASA

6.1. METODOLOGIA

Para la zonificación por susceptibilidad en el área de estudio se utiliza el método heurístico el cual se basa en la aplicación de “pesos” o “valores” a cada uno de los parámetros (Relieve, Drenaje, Erosión, etc.) utilizados para realizar el análisis de la susceptibilidad dependiendo de las condiciones del terreno (Pendientes, Materiales, Vegetación, etc.). Esta puntuación se la va aplicando a cada uno de los factores que influyen dentro del análisis, identificando las zonas de baja, media y alta susceptibilidad de cada variable y así al final realizar una sumatoria total en donde se establezcan las áreas de susceptibilidad dependiendo de los valores mínimos y/o máximos establecidos según la metodología y/o criterio evaluados por el autor

En este caso se va aplicar el método de zonificación de la susceptibilidad de Ramírez y Gonzales, la cual se fundamenta en los siguientes parámetros:

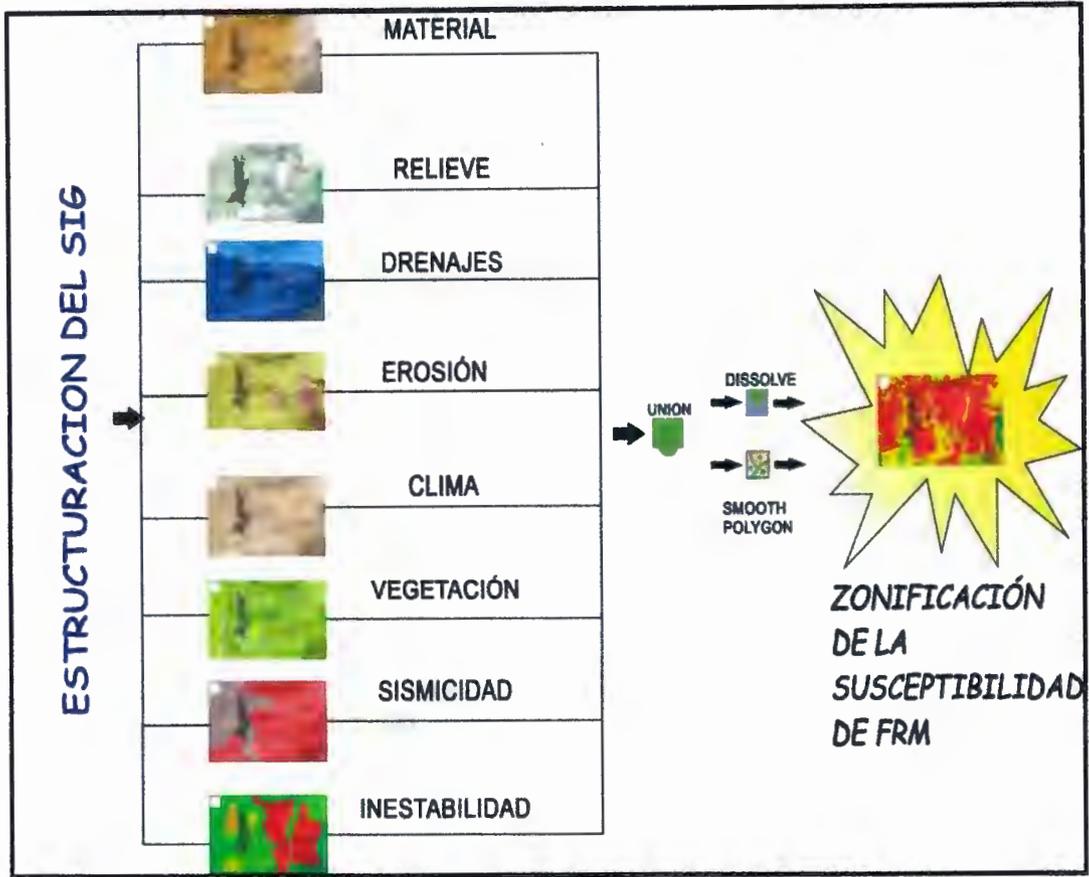
En la tabla 16 se observa cada uno de los parámetros a evaluar, con sus correspondientes puntajes y factores que inciden en la zonificación de la susceptibilidad.

Esta metodología está sujeta a modificaciones por parte de los autores en cuanto a que se presenten algunas condiciones particulares en la zona de estudio y también dependiendo de la escala del estudio.

Tabla 17. Parámetro de evaluación de zonas homogéneas inestables.

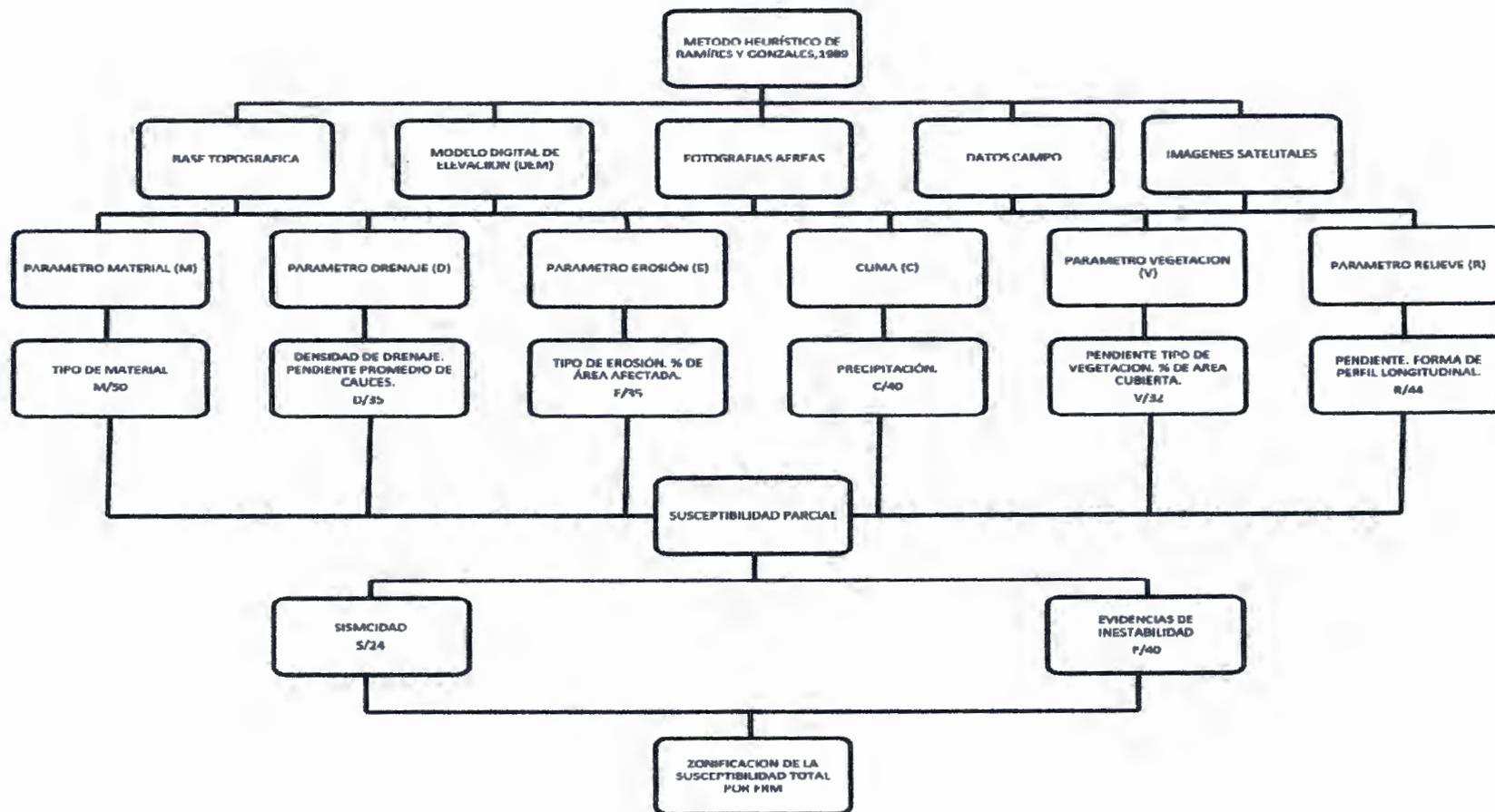
PARÁMETRO		SÍMBOLO Y VALOR MÁXIMO	FACTORES
Material	Roca	M/50	Tipo de material rocoso. Condición de fracturamiento
	Intermedio		Tipo de material intermedio. Influencia de las estructuras
	Suelo		Tipo de suelo. Condición in-situ
Relieve		R/44	Pendiente. Forma de perfil longitudinal
Drenaje		D/35	Densidad de drenaje. Pendiente promedio de cauces
Erosión		E/35	Tipo de erosión. % de área afectada
Clima		C/40	Precipitación
Vegetación		V/32	Pendiente. Tipo de vegetación. % de área cubierta
Sismicidad		S/24	Amenaza sísmica. Tipo de material
Evidencias de inestabilidad		F/40	% de áreas afectadas

Fuente. Ramírez y González, 1989.



Fuente. Proyecto

FIGURA 92. Estructuración gráfica de SIG



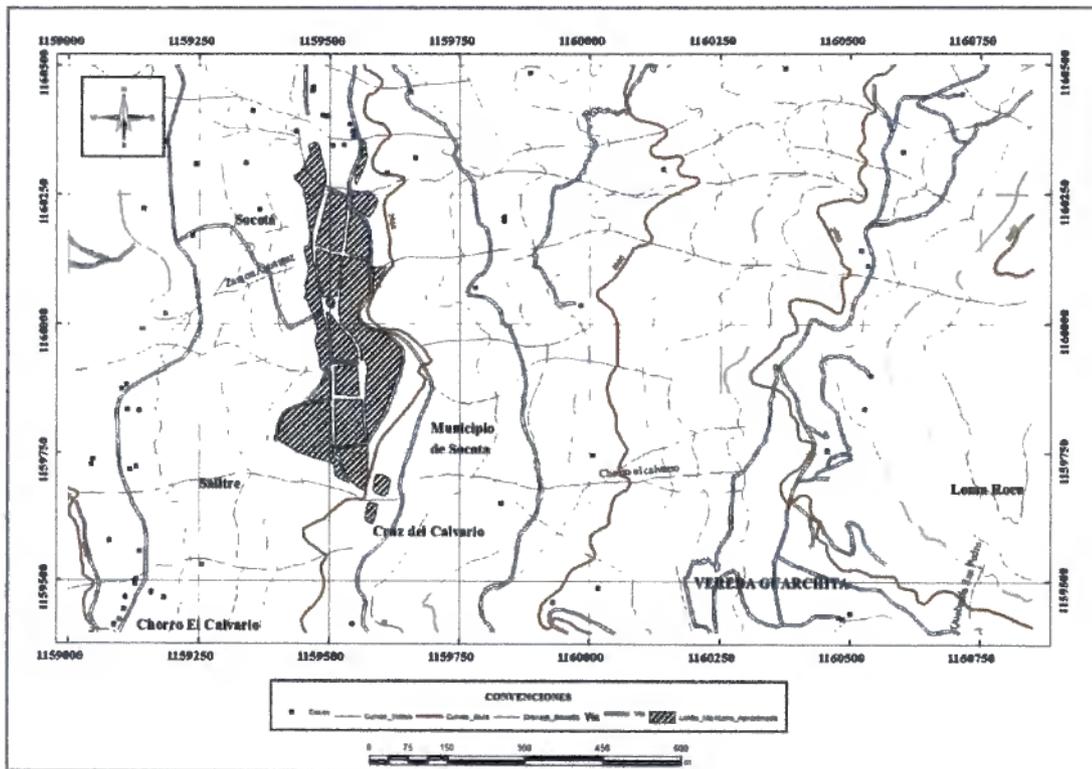
Fuente: Método Heurístico, Ramírez y Gonzales 1989. Modificado para el proyecto

6.2. GENERACIÓN DE MAPAS TEMÁTICOS

La zona de estudio regional se encuentra delimitada por las coordenadas:

1159000 E 1160850 E
1159400 N 1160500 N

Para realizar este análisis se digitalizaron las planchas 152-IV-C-4 y 172-II-A-2 en el programa AutoCAD definiendo las curvas de nivel con sus respectivas alturas, drenajes, drenajes dobles, vías, casas y municipios. Esta base se exporto al SIG ArcGis y se realizó el montaje respectivo (Figura 63).



Fuente. Proyecto.

FIGURA 93 .Base Cartográfica a escala 1:5000 exportada de ArcGis.

6.2.1. Evaluación y generación de los parámetros

6.2.1.1. Parámetro Material (M)

A partir del análisis del terreno en campo, se evaluaron los diferentes tipos de materiales presentes en el área de estudio, de acuerdo con la litología, geología, los diferentes tipos de suelos y la distribución espacial de cada uno de estos materiales dentro de la zona. Con ayuda de puntos de control tomados en campo, un par estereográfico de fotografías aéreas, y una imagen satelital de excelente resolución procedente del área, se demarcaron con ayuda del SIG los diferentes depósitos y afloramientos de roca fracturada y compacta presentes en el área de estudio para de esta manera tener una discriminación más precisa de los materiales en el momento de la construcción del mapa temático

Para la calificación del tipo de material se evaluaron las siguientes variables:

Como dentro del área se encuentran rocas se califica con el siguiente cuadro:

Tabla 18 .Calificaciones definidas para estos tipos de rocas según diferentes grados de fracturamiento.

TIPO	CONDICIÓN DE FRACTURAMIENTO			
	<i>Masiva</i>	<i>Ligeramente fracturada</i>	<i>Moderadamente fracturada</i>	<i>Intensamente fracturada</i>
<i>Tipo 1</i>	50	39	21	9
<i>Tipo2</i>	38	29	16	7
<i>Tipo 3</i>	23	18	10	4
<i>Tipo 4</i>	11	8	5	2

Fuente. (Ramírez y González, 1989)

Y también como dentro de la zona se encuentra material tipo suelo, se sigue el siguiente cuadro:

Tabla 19. Valores de estabilidad para el factor suelo residual

ROCA PARENTAL	SUELO RESIDUAL			
	Suelo		Suelo saprolítico	
	G	F	G	F
Ígnea	2	3	3	4
Metamórfica	1	2	2	3
Sedimentaria	1	2	2	3
Cenizas volcánicas	2	3	3	4

Fuente (Ramírez y González, 1989)

G = granular, F = fino

Tabla 20. Valores de estabilidad para en factor suelo transportado

	GRAVEDAD	AGUA	VIENTO	HIELO
G	3	2	2	2
F	4	3	3	3

Fuente. (Ramírez y González, 1989)

G = granular, F = fino

Para la variable roca, la condición de fracturamiento que se encontró y definió en campo es moderadamente fracturada e intensamente fracturada y de Tipo 3 (rocas sedimentarias de tipo limolitas, conglomerados, areniscas y arcillolitas)

Para la variable suelo se identificó un tipo de suelo sedimentario granular y transportado por la gravedad.

Los puntajes adquiridos para este parámetro son:

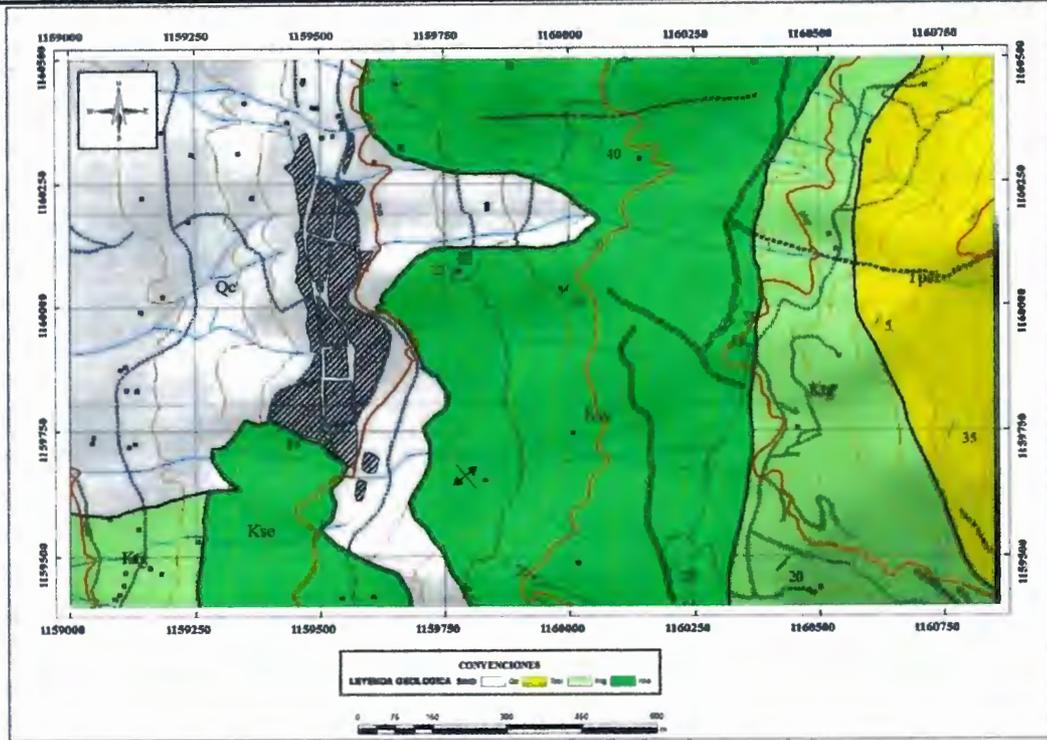
Tabla 21. Puntaje para el parámetro M.

PARÁMETRO M		
Variable	Roca	Suelo
Puntaje	10	4
	18	
Total	28	4

Fuente. (Ramírez y González, 1989) y calculado por autores.

Descripción de las unidades litológicas participantes:

- Qc (Depósito Coluvial): depósitos reciente de origen Coluvial compuesto por una matriz arcillosa grisácea con cantos rodados
- Tpsi (Formacion Socha Inferior): Unidad conformada por areniscas cuarzosa, alternancia de capas de arcillolitas grises con delgadas capas de arenisca de grano fino.
- Ktg (Formación Guaduas): presenta intercalaciones de arcillas grises con niveles de areniscas cuarzosas y lutitas fisibles.
- Kse (Formación Ermitaño): se evidencia un nivel de roca fosfórica, sucesión de rocas calcáreas, denominadas calizas lumaquelas y niveles de lutitas fisibles.



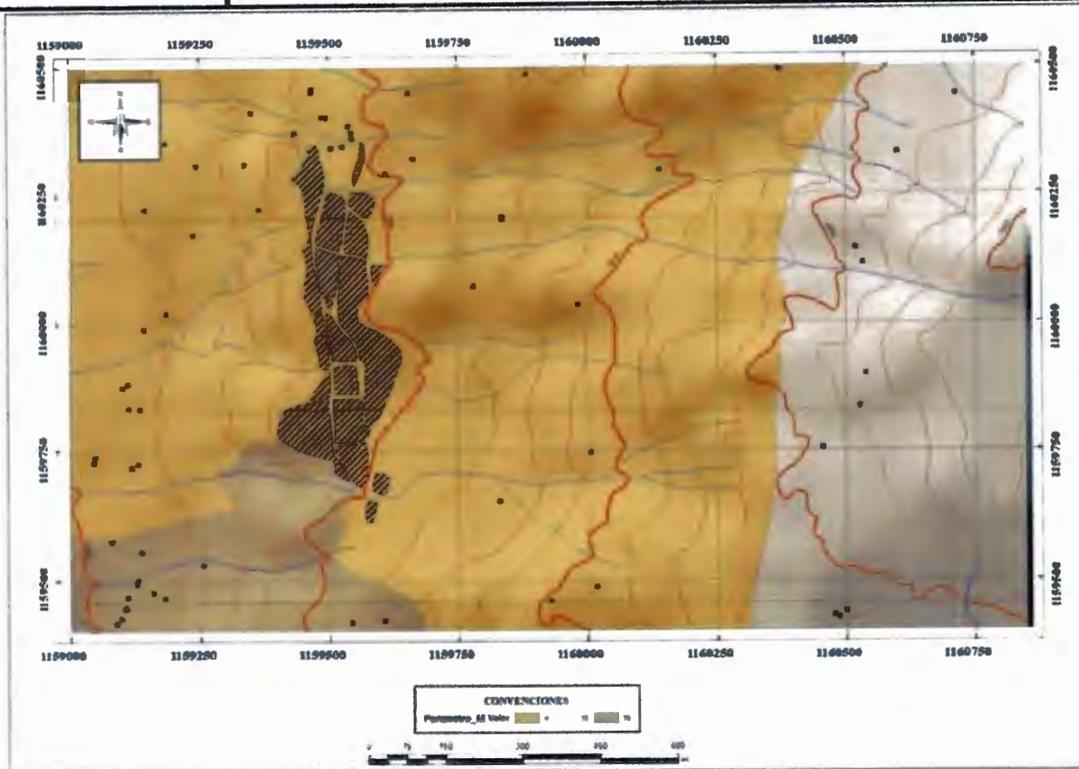
Fuente. Proyecto.

FIGURA 94. Imagen Mapa Geológico

Tabla 22. Asignación de puntajes para el parámetro material.

UNIDAD	DESCRIPCIÓN	CRITERIO	PUNTAJE
Qc	Deposito Coluvial	Suelo granular de origen sedimentario, transportado por gravedad.	4
Tpsi	Formación Socha Inferior	Roca de Tipo 3, Moderadamente fracturada.	10
Ktg	Formación Guaduas	Roca de Tipo 3, Intensamente Fracturada.	4
Ksc	Formación Ermitaño	Roca de Tipo 3, Ligera e Intensamente Fracturada.	18,4

Fuente. Proyecto.



Fuente. Proyecto.

FIGURA 95. Imagen Parámetro Material

Roca de Tipo 3, Ligera e Intensamente Fracturada: Formación Ermitaño (Kse) esta unidad geológica se compone de niveles de lutitas fisibles y limolitas las cuales han sufrido diaclasamiento o fracturamiento debido a sus condiciones geomecánicas, esfuerzos compresionales, procesos antrópicos.

E 1.160.070 N 1.160.020

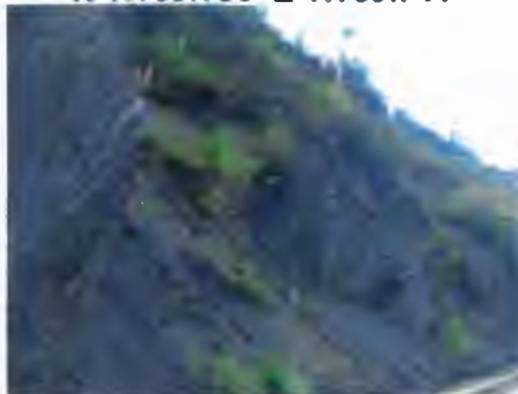


Fuente. Proyecto

FIGURA 96. *Fracturamiento Intenso Formación Ermitaño*

Roca de Tipo 3, **Intensamente Fracturada**: la Formación Guaduas se caracteriza por tener intercalaciones de arcillolitas fisibles con niveles de areniscas cuarzosas, Las cuales evidencian un intenso diaclasamiento debido a las condiciones geomecánicas de las rocas, el plegamiento, el clima, fallamiento.

N 1.160.156 E 1.159.741



Fuente. Proyecto

FIGURA 97. *Fracturamiento Formación Guaduas (Ktg)*

Roca de Tipo 3, Moderadamente Fracturada: Las propiedades geomecánicas de las rocas que componen a la Formación Socha Inferior (Tpsi) la convierten en una unidad más resistente al fracturamiento, con lo cual la unidad posee un nivel moderado cualitativamente en los rangos analizados.

N 1.159.520 E 1.160.840



Fuente. Proyecto

FIGURA 98. *Fracturamiento Moderado Socha Inferior (Tpsi)*

Suelo Granular de Origen Sedimentario: Los depósitos Coluviales Recientes se originaron a partir del transporte, fuerzas de desplazamiento, agentes móviles y sedimentación de material. Los depósitos coluviales en el municipio de Socotá se originaron a partir de efectos de la gravedad, lluvia o escurrimiento difuso.

N 1.160.090 E 1.159.430



Fuente. Proyecto

FIGURA 99. *Suelo Granular Origen Sedimentario*

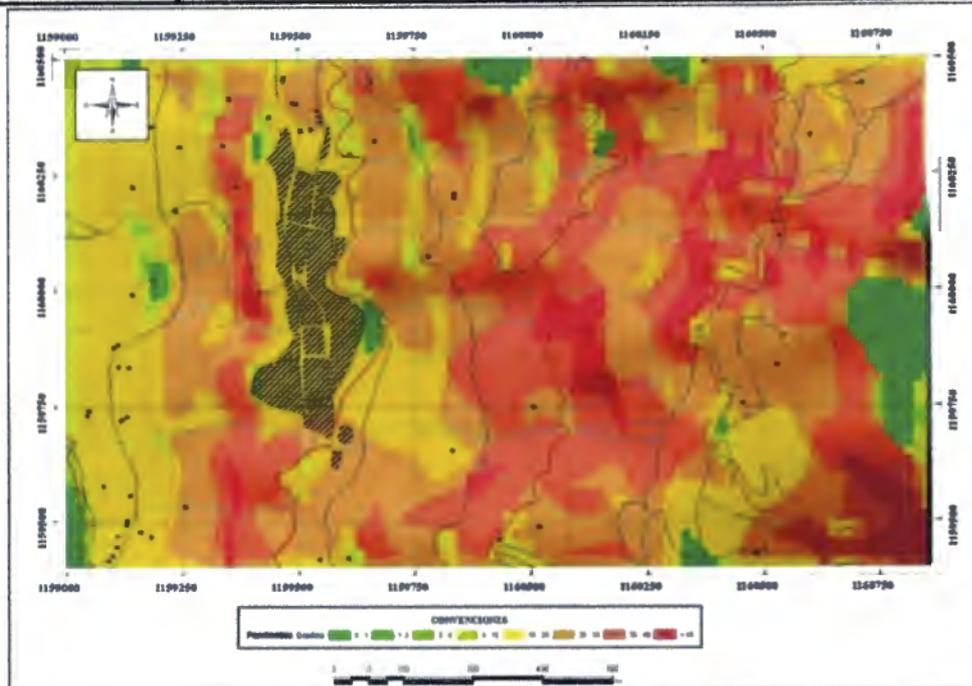
6.2.1.2. Parámetro Relieve (R)

Este parámetro se calculó a través del análisis del SIG ArcGis/ArcInfo, donde se tuvieron en cuenta las curvas de nivel con sus respectivas alturas. Primero se establecieron las pendientes de la zona en grados, se reclasificaron y se les asignaron los puntajes de acuerdo con la metodología aplicada.

Tabla 23. Valores de Reclasificación de las pendientes.

PENDIENTE EN GRADOS	RECLASIFICACIÓN
0 - 1	1
0 - 2	2
2 - 4	3
4 - 10	4
10 - 20	5
20 - 30	6
30 - 40	7
> 40	8

Fuente. Proyecto



Fuente. Proyecto.

FIGURA 100. Mapa Pendientes

Tabla 24. Valores de estabilidad para para el factor inclinación de la pendiente.

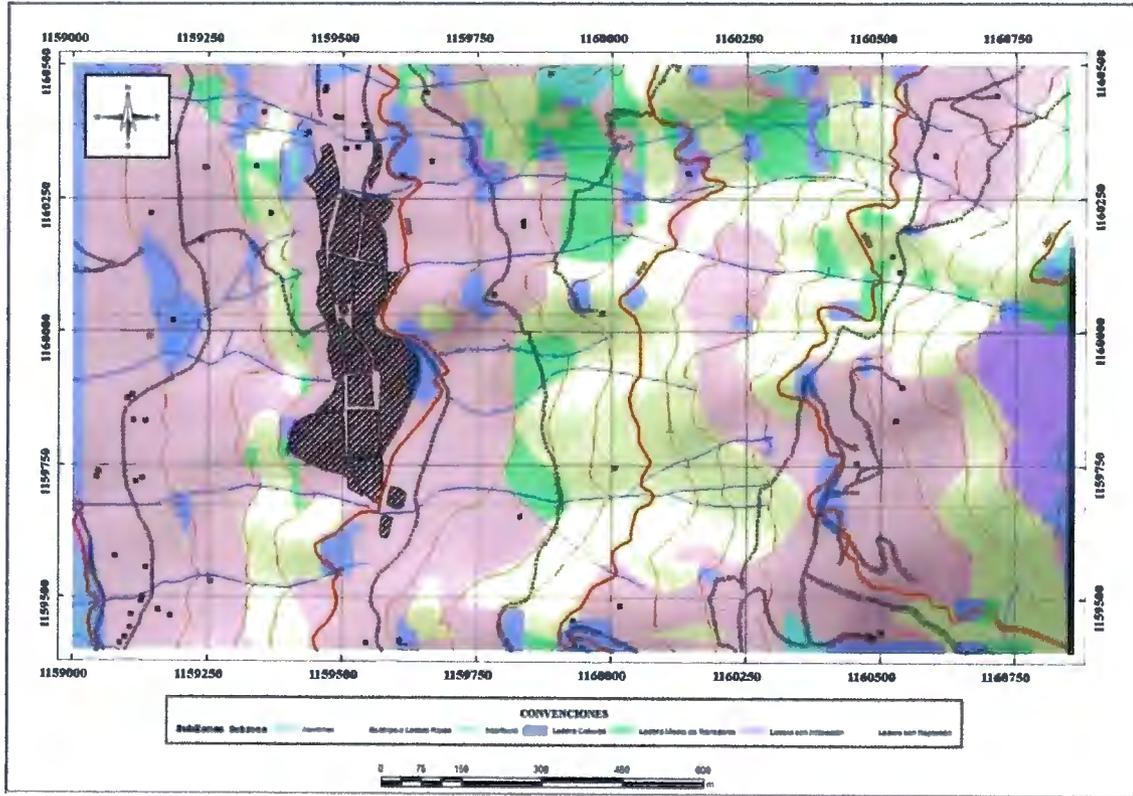
SUB-ZONAS	INCLINACIÓN DE LA PENDIENTE EN GRADOS	VALOR
Interfluvio	0 - 1	30
Ladera con infiltración	2 - 4	19
Escarpe o ladera rectilínea	10 - 30	8
Ladera intermedia de transporte	> 30	19
Ladera coluvial	20 - 30	6
Aluviones	0 - 4	21
Ladera de cauce	> 40	6

Fuente. (Ramírez y González, 1989)

Tabla 25. Valores de estabilidad para el factor forma de la pendiente.

PERFIL DE LA PENDIENTE	VALOR
<i>Convexo</i>	9
<i>Cóncavo</i>	12
<i>Rectilíneo</i>	14

Fuente. Ramírez y González, 1989



Fuente . Proyecto.

FIGURA 101. Mapa subzonas



Fuente. INGEOMINAS 2004.

FIGURA 102. Perfil hipotético de una ladera de Darymple

Ladera Coluvial (5-19°): este tipo de relieve es característico en el municipio y se evidencia a partir de sus rasgos morfológicos con formas cóncavas, topografías suaves, bajas pendientes. Al margen derecho de la vía que comunica al municipio de Socotá con el municipio de Jericó se evidencia este tipo de subzona.

E 1.159.800 N 1.160.230



Fuente. Proyecto

FIGURA 103. Ladera Coluvial

Ladera Media de Transporte (20-30°): movimiento de material producto de fenómenos de remoción en masa, al este del municipio de Socotá, en las coordenadas se localiza este tipo de relieve. Se caracteriza por tener una pendiente moderada, topografía leve y ocurrencia de fenómenos de remoción en masa.

N 1.160.120 E 1.159.770



Fuente. Proyecto

FIGURA 104. *Ladera Media de Transporte*

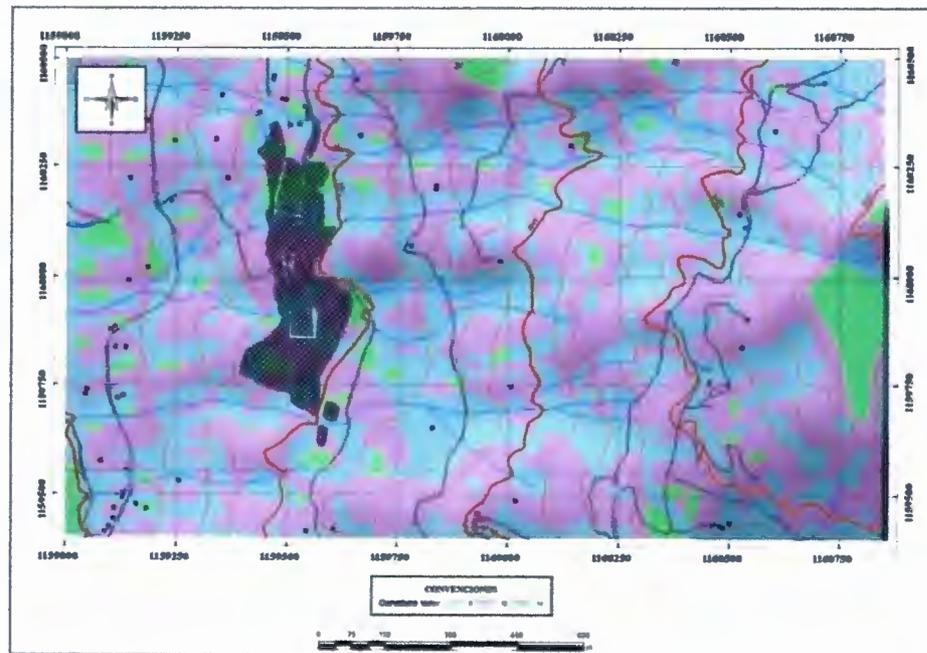
Escarpe o Ladera Recta: este tipo de relieve se presenta en los niveles compactos de la Formación Ermitaño (Kse), la cual presenta intercalaciones areniscas cuarzosas las cuales han sido afectadas por el plegamiento y diaclasamiento, provocando desprendimientos y deslizamientos. En coordenadas

N 1.159.000 E 1.160.230



Fuente. Proyecto

FIGURA 105. Ladera Recta

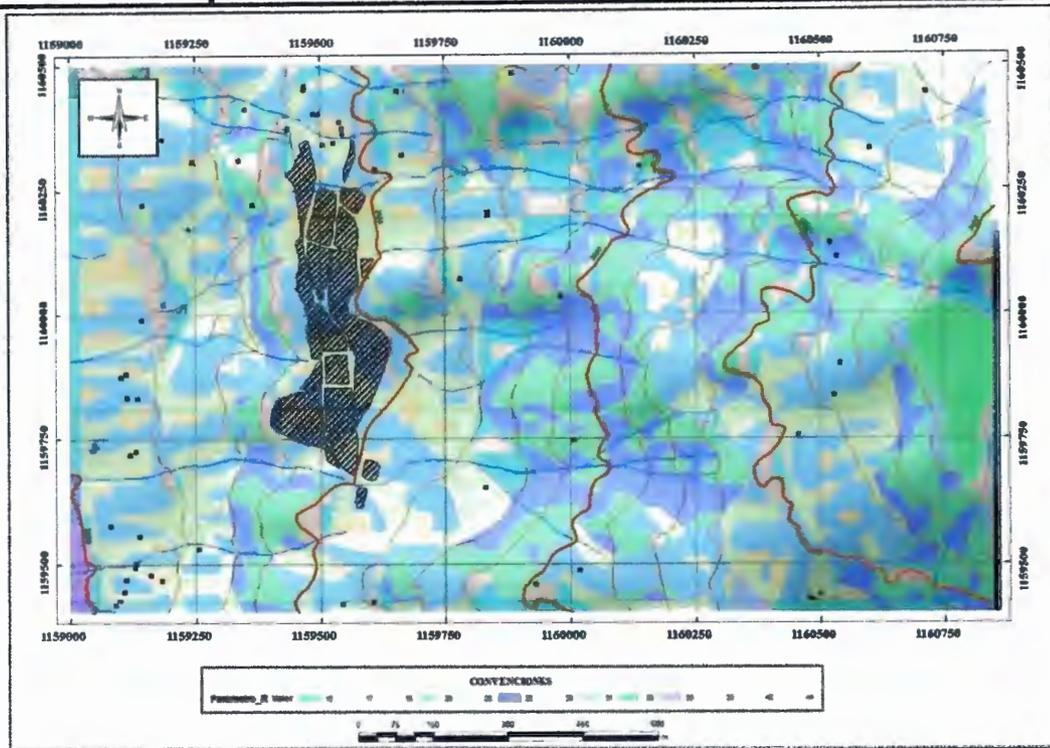


Fuente. Proyecto.

FIGURA 106. Imagen mapa Curvatura

Para la generación de mapa del parámetro de relieve se realizó una unión de los mapas anteriores mediante el SIG ArcGis/ArcInfo, luego se depuro toda la información resultante para obtener así este factor.

Debido a inconsistencias experimentadas y observadas en la resultado del mapa final de susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa ocasionadas por este parámetro, a criterio de los autores se decide unánimemente omitir el criterio de subzonas y hacer una modificación en el método y solo evaluar para la obtención del relieve los parámetros morfométricos en donde se expone el tipo de curvatura y la reclasificación de las pendientes según la tabla 24 , finalmente se calificó de la siguiente manera. Se determinó que al cruzar el mapa de pendientes con el de subzonas los valores de estabilidad que se generaron no coincidieron con los puntos o datos tomados en campo así que, se decidió solo cruzar las pendientes y la curvatura para determinar este parámetro. En conclusión al obtener este parámetro de esta manera los resultados fueron más lógicos y críticos según la observación de campo.



Fuente .Proyecto

FIGURA 107. Imagen Parámetro Relieve

6.2.1.3. Parámetro Drenaje (D)

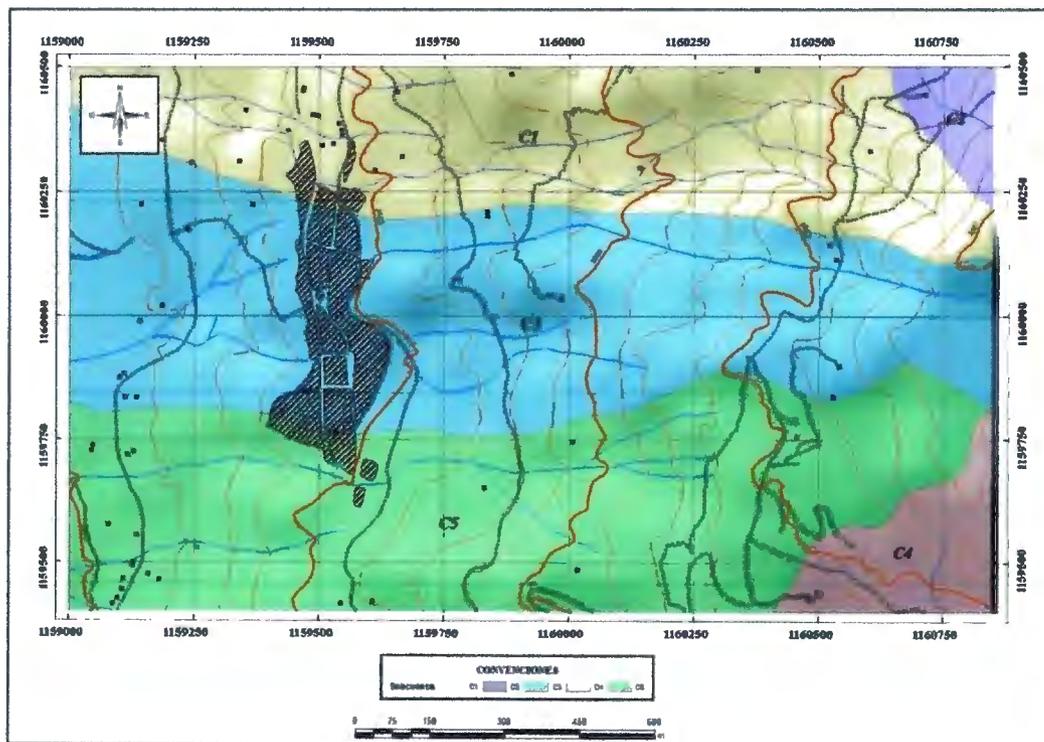
Este parámetro depende de la densidad de los drenajes y la pendiente promedio de los cauces. Los drenajes del área de estudio se digitalizaron a partir de las planchas topográficas 152-IV-C-4 y 172 -II-A-2 del IGAC, las cuencas se determinaron con el SIG ArcGis/ArcInfo con el procedimiento de Acuenca y la pendiente promedio de los cauces se generó a partir de la interpolación de los drenajes con el modelo digital de elevación (DEM).

La densidad de drenajes se calcula con la razón de la longitud de los drenajes sobre el área de la cuenca expresada en Km/Km².

Tabla 26. Valores de densidad de drenajes.

DENSIDAD	RELACIÓN (KM/KM²)
Baja	< 2,5
Media	2,5 - 4,5
Alta	> 4,5

Fuente. (Calvo, García, 2013).



Fuente. Proyecto

FIGURA 108. Subcuencas presentes en el área de estudio



Tabla 27. Valores de estabilidad para el factor drenaje.

PENDIENTE PROMEDIO DE CAUCES	DENSIDAD DE DRENAJE		
	BAJA	MEDIA	ALTA
Baja (0 - 5°)	35	30	23
Media (5 - 15°)	25	18	13
Alta (>15°)	16	10	6

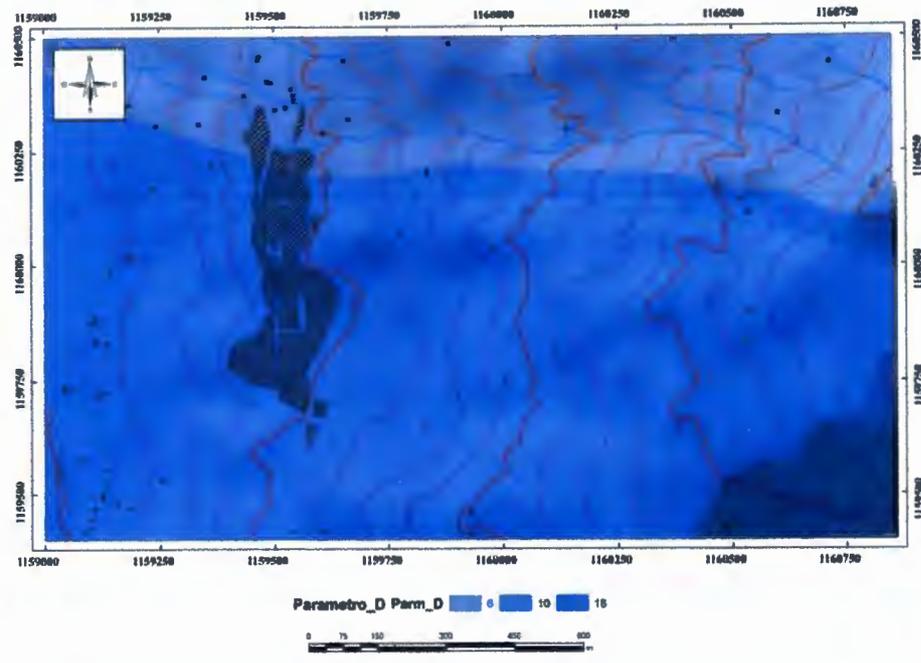
Fuente .Ramírez y González, 1989

Los resultados de este análisis se expresan en la tabla 25.

Tabla 28. Valores de estabilidad para el factor drenaje.

SUBCUENCA	ÁREA (KM ²)	LONGITUD (KM)	DENSIDAD (KM/KM ²)	DENSIDAD	PENDIENTE PROMEDIO DE CAUCES(GRAD)	VALOR
C1	0,49	4,06	8,34	Alta	22,48	6
C2	0,04	0,21	5,87	Alta	27,89	6
C3	0,75	3,27	4,38	Media	24,52	10
C4	0,09	0,15	1,71	Baja	35,17	16
C5	0,68	2,70	4,00	Media	25,17	10

Fuente .Proyecto



Fuente .Proyecto

FIGURA 109.Parámetro Drenaje.

6.2.1.4. Parámetro Erosión (E)

En este parámetro se evalúa el tipo de erosión presente en el área de estudio y el porcentaje del área afectada por cada uno de los diferentes procesos erosivos.

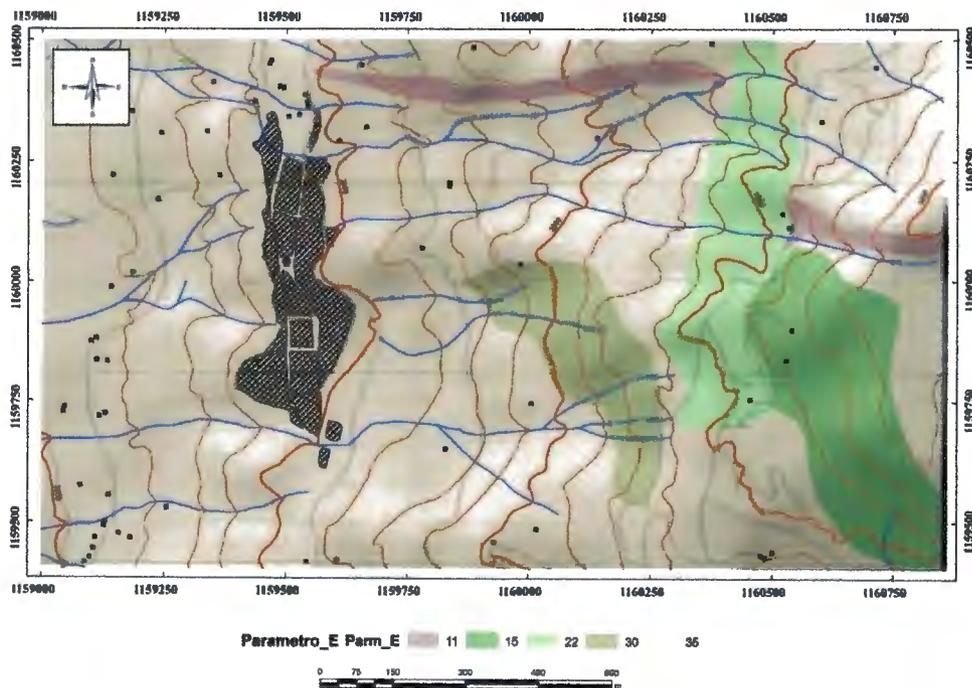
Tabla 29. Tipos de erosión

TIPO DE EROSIÓN	Leve	Moderada	Severa	Muy Severa
<i>Área afectada</i>	0-10%	10-30%	10-30%	>60%
<i>Laminar</i>	30	21	14	5
<i>Diferencial</i>	22	15	10	4
<i>Concentrada</i>	15	11	7	3
<i>Por Socavación</i>	11	8	5	2

Fuente .Proyecto

Tras un recorrido por todo el área de estudio se identifican erosión laminar en la parte baja de la formación guaduas afectando a un miembro lutítico, erosión diferencial afectando a miembros arenosos, en algunos cauces se encontró erosión por socavación y erosión concentrada en las laderas adyacentes a estos drenajes.

Con ayuda de puntos de control y una delimitación aproximada de la superficie de influencia tomados en el área como también, una imagen satelital de IKONOS y un par estereográfico de fotografías aéreas permiten una delimitación muy precisa de los diferentes procesos erosivos sobre un mapa temático expuesto en el software Arcgis en donde posteriormente se calcula la relación existente entre el área total de estudio y el área ocupada o afectada por los diferentes eventos erosivos, para finalmente calificarse el mapa en función de la tabla anterior, posteriormente se aplica un suavizado de polígonos (Smooth polygon) y una disolución de campos similares presentes (Dissolve) arrojando el siguiente resultado.



Fuente . Proyecto

FIGURA 110. Imagen mapa erosión.

En este mapa se aprecia el área de estudio presenta una moderada susceptibilidad a la erosión debido a que en ella radica la existencia de un excelente y densa cobertura vegetal que ayuda a mitigar este proceso.

Erosión laminar: en el área de estudio se encuentra aflorante los niveles de lutitas de la Formación Ermitaño (Kse), este tipo de material presenta una susceptibilidad a los procesos erosivos, evidencias de ello se identifican en las agujas o lajas que forma al estar expuesta la roca.

N 1.160.052 E 1.159.780



Fuente. Proyecto

FIGURA 111. Erosión Laminar

Erosión diferencial: Este tipo de erosión es recurrente cuando hay cambios litológicos, es decir cuando se ponen en contacto rocas con diferentes propiedades geomecánicas. al este del municipio se encuentran los cambios litológicos pertenecientes a los diferentes niveles de la Formación Ermitaño, y se evidencia este tipo de erosión donde el material susceptible es más afectado.

N 1.160.000 E 1.160.220



Fuente. Proyecto

FIGURA 112. Erosión Diferencial

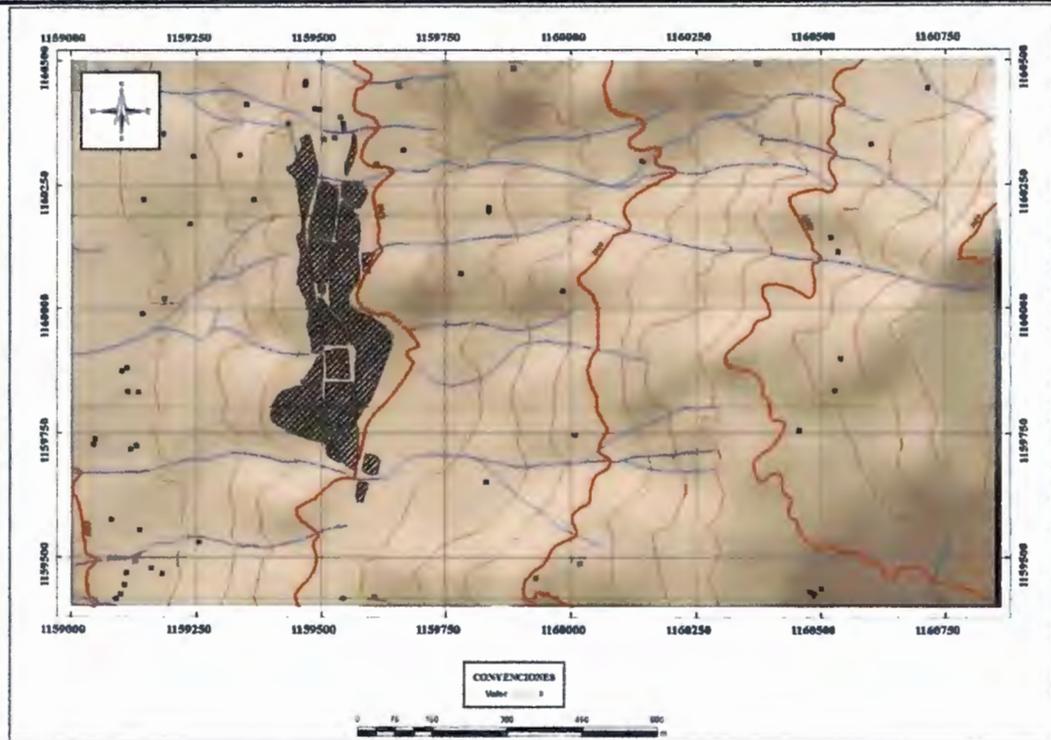
6.2.1.5. Parámetro Clima (C)

La precipitación media anual máxima para el área de estudio es de 291,0 mm, lo cual nos indica que la zona presenta una precipitación alta y se califica, según el método de zonificación estipulado, con 8.

Tabla 30. Valores de estabilidad para el factor precipitación

PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL		
Baja	Media	Alta
40	19	8

Fuente (Ramírez y González, 1989)



Fuente. Proyecto

FIGURA 113. Imagen Parámetro Clima

6.2.1.6. Parámetro vegetación (V)

En este aspecto se evalúan tres factores importantes: el tipo de vegetación, el porcentaje que ocupa cada cubierta en el área y la pendiente del terreno.

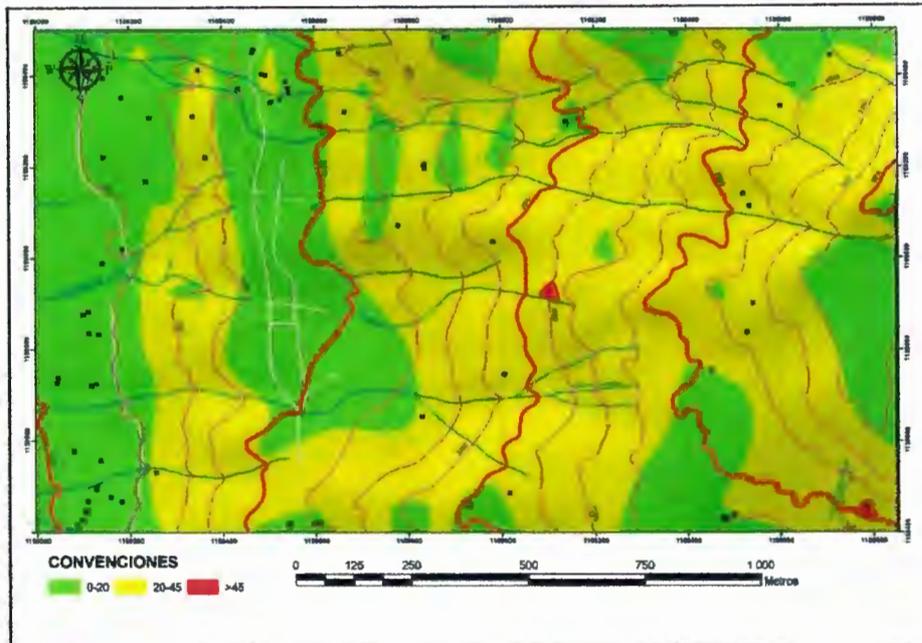
Tabla 31. Valores de estabilidad o susceptibilidad para el factor vegetación

Pendiente	0-20			20-45			>45		
	0-30	30-50	>50	0-30	30-50	>50	0-30	30-50	>50
Densidad de la Vegetación									
<i>Bosque Nativo, Secundario, Rastrojo Alto</i>	12	22	32	10	17	25	8	13	19
<i>Rastrojo Bajo, Cultivos Permanentes o Semipermanentes</i>	10	18	27	7	12	17	3	5	7
<i>Pastos o Vegetación herbácea</i>	10	17	25	6	10	14	2	4	6
<i>Cultivos Limpios o Desmonte</i>	8	14	20	3	6	8	1	2	3

Ponderado seleccionado para la calificación final.

Fuente. Proyecto

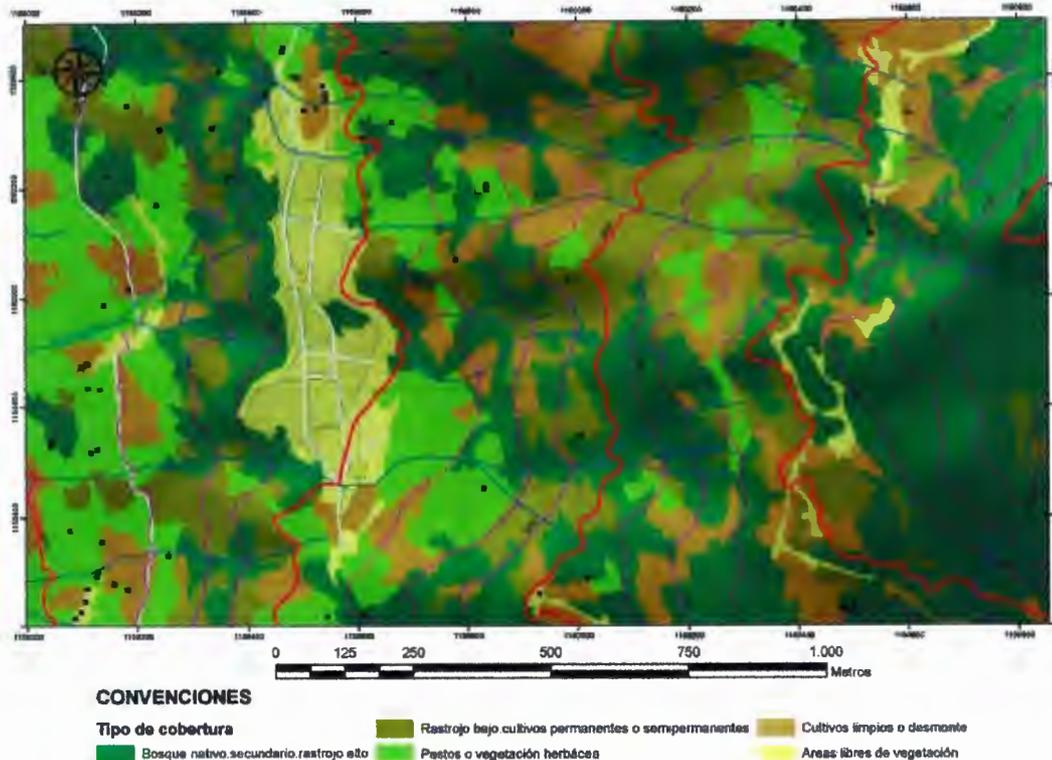
Primero se realizó una clasificación del modelo digital del terreno construido a partir de la topografía del área en función de la metodología, al cual se le hizo una corrección por la unidad mínima cartografiable con el fin de eliminar polígonos con áreas demasiado pequeñas posteriormente se le hace un suavizado a estos polígonos exponiendo lo siguiente



Fuente. Proyecto

FIGURA 114. Pendientes clasificado

Posteriormente con ayuda de una clasificación supervisada aplicada sobre la imagen satelital con campos o muestras tomadas en el terreno, se convierte en formato vectorial, se aplica sobre ella los algoritmos de corrección y presentación Smooth polygon, Dissolve entre otros y posteriormente se tiene lo siguiente.



Fuente .Proyecto.

FIGURA 115. Tipos de Cobertura

Con las capas de pendientes clasificadas y vegetación se produce sobre ellas una unión o cruce de mapas temáticos, en el resultado de ella se asigna a cada polígono la calificación expuesta en la tabla con ayudad de los algoritmos de interrogación de tablas y de selección condicionada Arcgis Con este procedimiento tenemos el mapa final de parámetro V



Fuente. Proyecto

FIGURA 116. *Panorámica, Cobertura Vegetal*

En este mapa se aprecia que la zona es demasiado estable, en función de su vegetación la cual evita procesos erosivos como también se observa que las zonas menos protegidas por vegetación como lo es el casco urbano y los sitios de explotación.

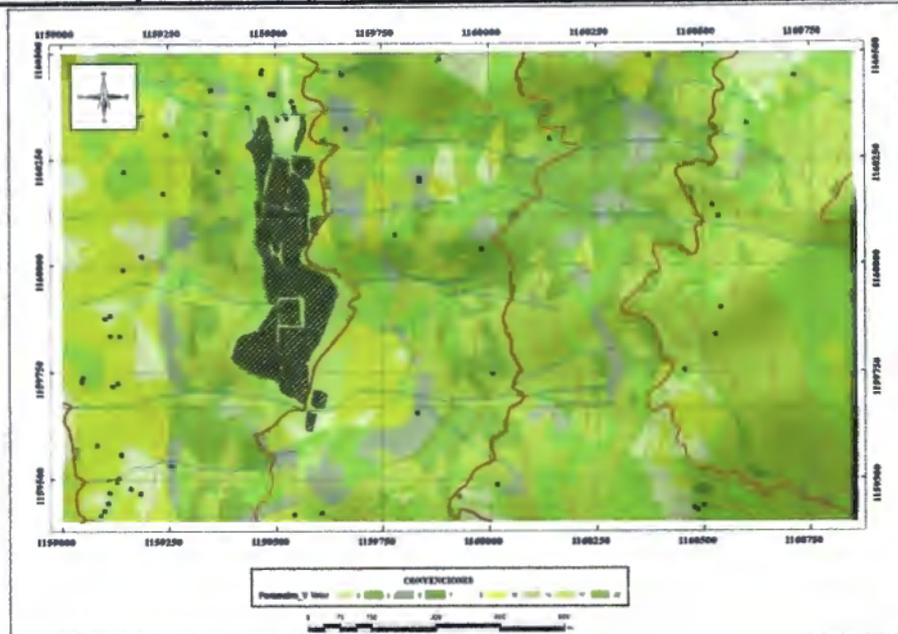


FIGURA 117. Parámetro Vegetación

6.2.1.7. Parámetro Sismicidad (S)

En este contexto se evalúan dos factores los cuales describen la amenaza sísmica y el tipo de material. Para el tipo de material se adoptaron los tres tipos de perfil establecidos en el código colombiano de construcciones sismo resistentes (Decreto 1400 de 1984)

Tipos de materiales evaluados en el parámetro

S1=roca de cualquier característica, ya sea cristalina o lutítica que tiene una velocidad de la onda de cortante mayor o igual a 750m/s. Presenta perfiles conformados por suelos duros con un espesor menor de 60m, compuestos por depósitos estables de arenas, gravas o arcillas duras.

S2=perfil en donde entre la roca y la superficie hay más de 60m de depósitos de arcillas duras o suelos no cohesivos.

S3=perfil en donde la roca y la superficie hay más de 10 m de depósitos de arcillas, cuya dureza varía entre mediana a blanda, con o sin intercalación de arenas u otros suelos no cohesivos

Tabla 32.valores de estabilidad o susceptibilidad para el factor sismicidad

TIPO DE MATERIAL Y AMENAZA SÍSMICA	Valores de Aa						
	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
S1	24	21	17	13	8	5	2
S2	12	10	8	7	4	3	1
S3	4	3	3	2	1	1	0

Fuente .Proyecto.

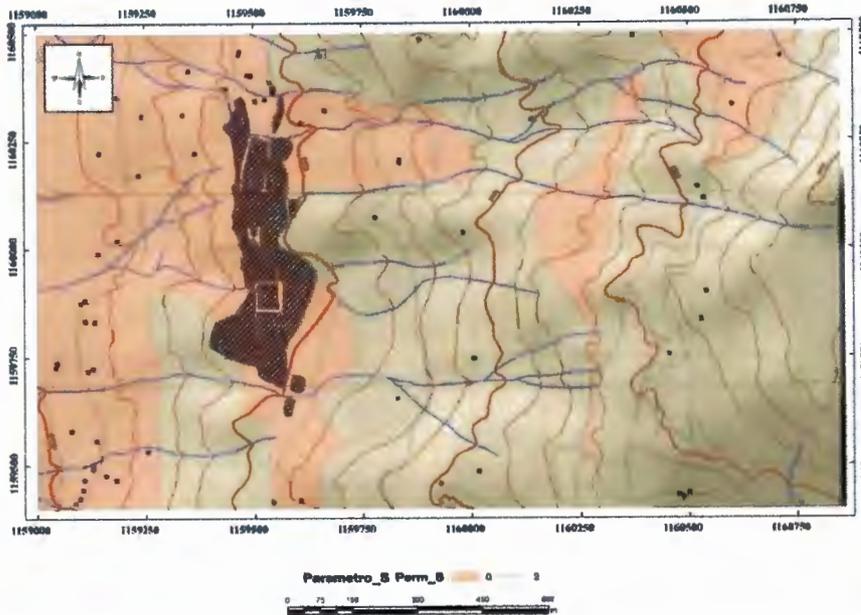
Para definir los valores Aa se remite al siguiente mapa en donde se toma como referencia un valor Aa de 0,3.



Fuente .Proyecto

FIGURA 118.Distribución del parámetro Aa en el territorio nacional

En el área de estudio se encuentran materiales pertenecientes al tipo S1 y S3, tomando en base la geología se delimitan los diferentes tipos de zonas sísmicas dejando de esta manera la construcción final de la capa final de parámetro S que concluyo con el siguiente resultado



Fuente. Proyecto

FIGURA 119. Parámetro Sismicidad

En él se observa que el material referente al cuaternario coluvie presenta una calificación relativamente baja debido a la baja consistencia del material expuesto en esta área, mientras que lo referente a las formaciones Guaduas, Ermitaño y Socha Inferior presentan un poco más de estabilidad debido a que sus materiales están más consolidados y cumplen las características S1.

En él se observa que el material referente al cuaternario coluvie presenta una calificación relativamente baja debido a la baja consistencia del material expuesto en esta área, mientras que lo referente a las formaciones Guaduas, Ermitaño y Socha Inferior presentan un poco más de estabilidad debido a que sus materiales están más consolidados y cumplen las características S1.

6.2.1.8. Parámetro evidencias de inestabilidad (F)

Para la evaluación de este parámetro se tienen en cuenta las evidencias de inestabilidad observadas en campo expuestas en la figura 4, posteriormente se delimita el área de influencia con ayuda de una imagen satelital de Ikonos procedente del sitio, con lo cual se arroja una serie de polígonos los cuales luego son calificados a criterio del autor dependiendo del grado de afectación del fenómeno sobre el área en particular.

Los movimientos de remoción activos se calificaron con 7, lo fenómenos de remoción antiguos con 18 y la parte de caída de rocas con 28 dependiendo de la cercanía con el área urbana de Socotá.

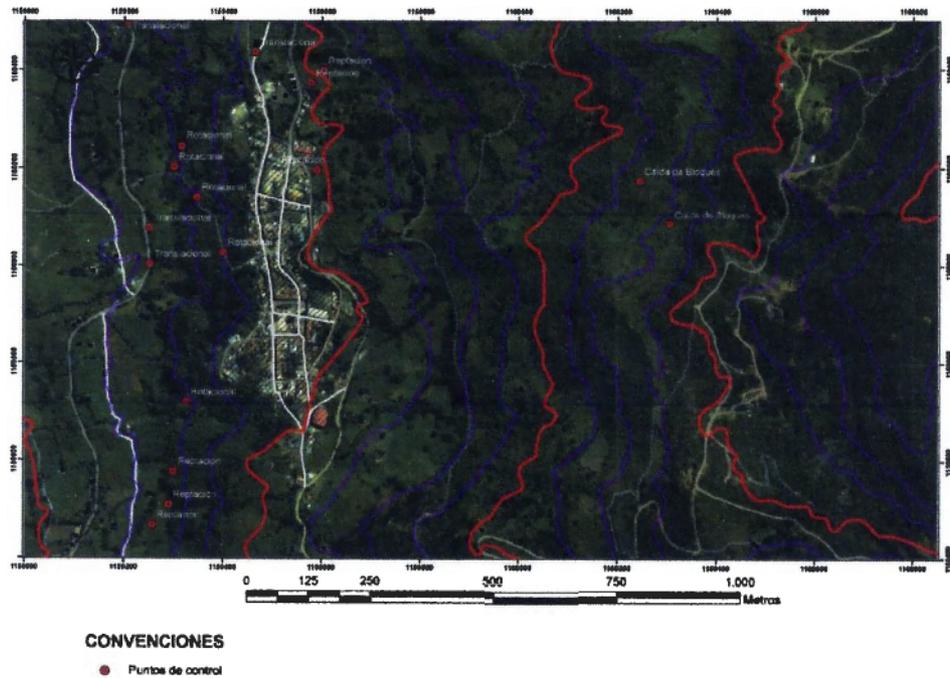


FIGURA 120. Imagen Satelital Acompañada de puntos de control

Caída de Bloques: Al margen derecho de la vía que comunica al municipio de Socotá con el municipio de Jericó en los sectores aledaños al casco urbano se observaron grandes bloques de roca que han sido desprendidos desde las zonas altas de la ladera, con lo cual aumenta el riesgo de la comunidad, este fenómeno se presenta por una la erosión diferencial que actúa sobre la roca y por la alteración de la unidad.

N 1.159.750 E 1.159.700



Fuente. Proyecto

FIGURA 121. *Caída de Bloque*

Reptación: La incidencia de este tipo de deslizamientos está relacionada con el material, a menor resistencia mayor recurrencia del fenómeno, con lo cual este se origina en zonas de materiales laminares, suelos no cohesivos y depósitos recientes. En el municipio de Socotá se encuentra este fenómeno sobre la ladera Coluvial producto de la infiltración de aguas que generan agrietamientos del suelo y posterior movimiento.

N 1.160.146 E 1.159.359



Fuente .Proyecto

FIGURA 122. Reptación

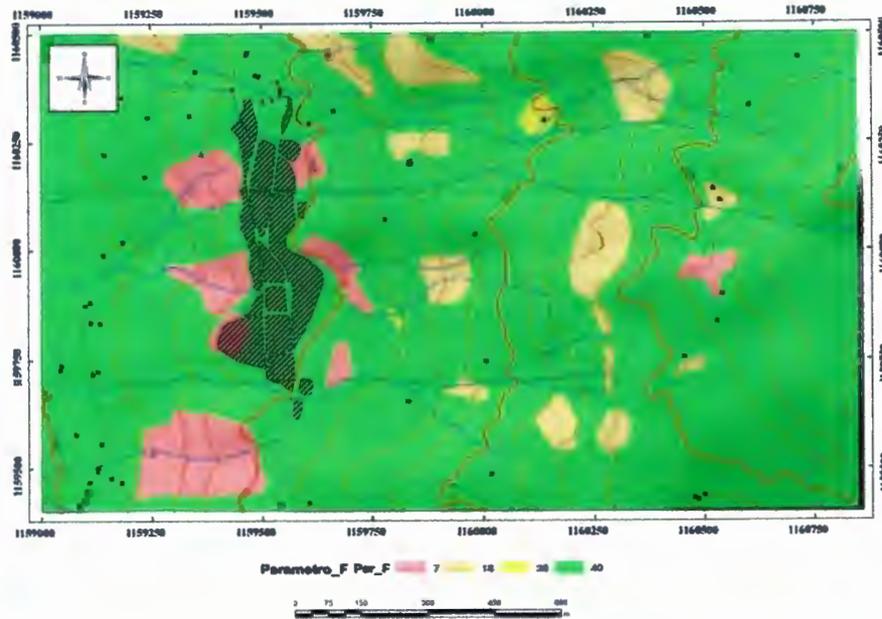
Movimiento Rotacional: Este tipo de movimientos se caracterizan por presentar una forma cóncava al Este del municipio de Socotá (Figura 123), se evidencia este tipo de fenómenos asociados al depósito Coluvial reciente, el cual está constituido por material poco resistente, no consolidado.

N 1 160 174 E1 160 241



Fuente. Proyecto

FIGURA 123. Movimiento Rotacional



Fuente. Proyecto

FIGURA 124. *Parámetro de Inestabilidad*

6.2.1.9. Mapa Susceptibilidad por Fenómenos de Remoción en Masa

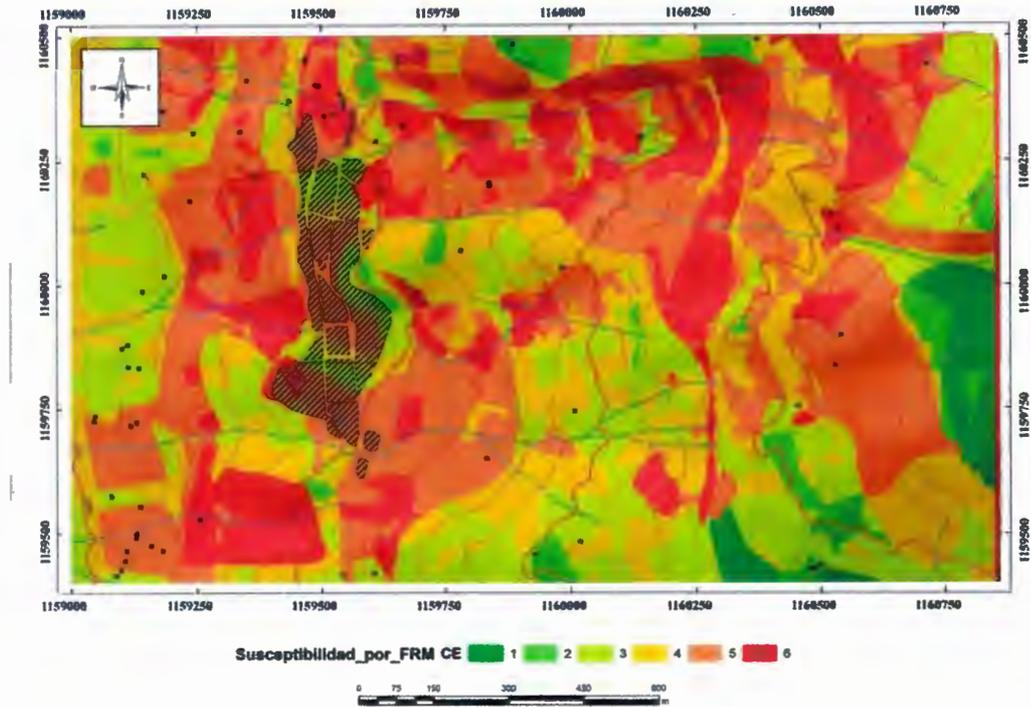
6.3. Resultados de la Zonificación

Con todas las capas temáticas elaboradas, georreferenciadas y montadas sobre el SIG ArcGis, se procede a unir todos los mapas y hacer la suma de los puntajes para indicar cuales son los valores de alta, media y baja susceptibilidad.

Tabla 33. Valores de susceptibilidad por FRM.

VALOR (SUM. PUNTAJES)	SUSCEPTIBILIDAD	RANGO
< 129	Alta	III
129 - 150	Media	II
> 150	Baja	I

Fuente .Proyecto.



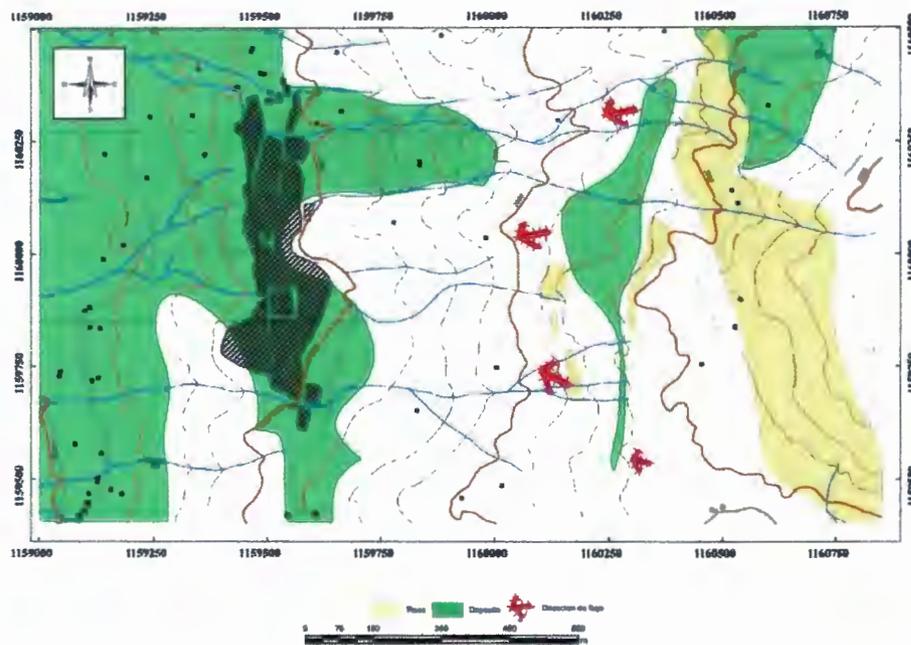
Fuente. Proyecto

FIGURA 125. Susceptibilidad por Fenómeno de Remoción en Masa, aplicando la metodología d de Ramírez y González, 1989



Fuente. Proyecto

FIGURA 126. Distribución porcentual del grado de susceptibilidad



Fuente. Proyecto

FIGURA 127. Representación geográfica de depósitos y roca aflorante con su correspondiente dirección de movimiento

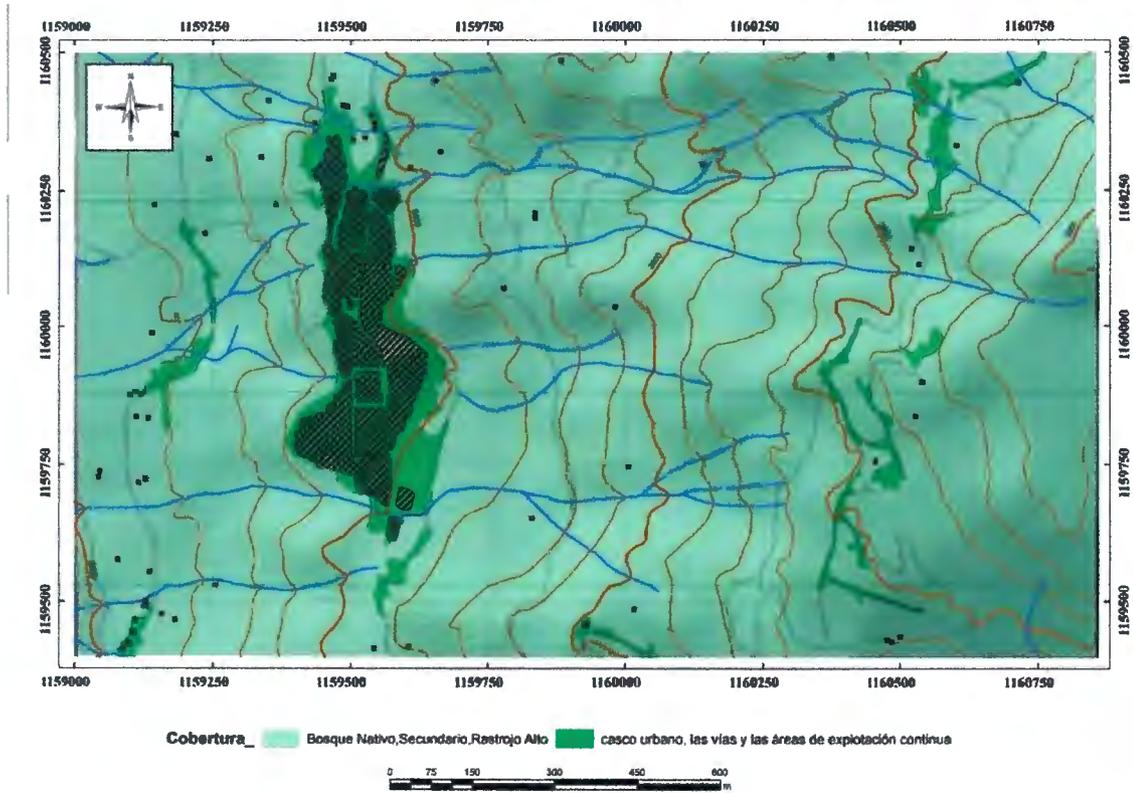
- MEDIDA ESTIMATIVA DE ESTABILIZACIÓN DEL TERRENO CON AYUDA DEL SIG

Para disminuir la susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa en el área de estudio se propone un sistema de reforestación total en el área , para esto se modela en ArcGis una capa denominada Parámetro V ideal la cual sustituye en el cálculo de la susceptibilidad a la capa original del Parámetro V ,dicha capa se construye mediante la unión del mapa temático de pendientes el cual es igual que el utilizado anteriormente para el cálculo de V y una capa de cobertura vegetal la cual posee dos clasificaciones poligonales diferentes que involucran bosques nativos, secundarios y rastrojos altos y otra que involucra áreas que no pueden ser modificadas como lo son el casco urbano, las vías y las áreas de explotación continua ,estos rasgos se califican así:

Tabla 34.calificación del parámetro de cobertura vegetal

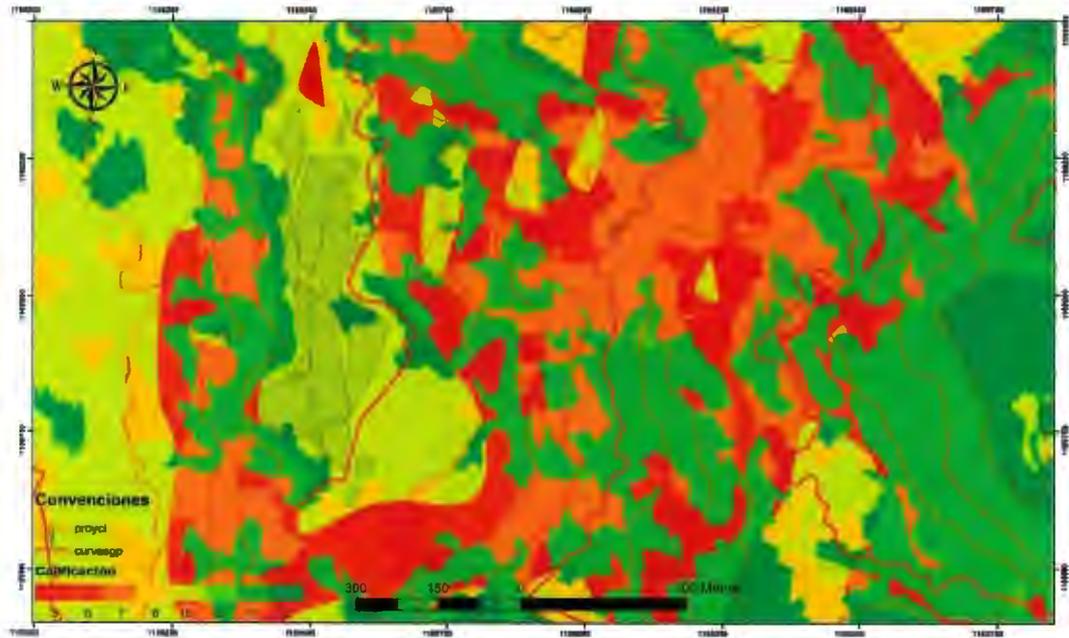
Pendiente	0-20			20-45			>45		
	0-30	30-50	>50	0-30	30-50	>50	0-30	30-50	>50
Densidad de la Vegetación									
Bosque Nativo, Secundario, Rastrojo Alto	12	22	32	10	17	25	8	13	19
casco urbano, las vías y las áreas de explotación continua	10	17	25	6	10	14	2	4	6

Fuente. Proyecto



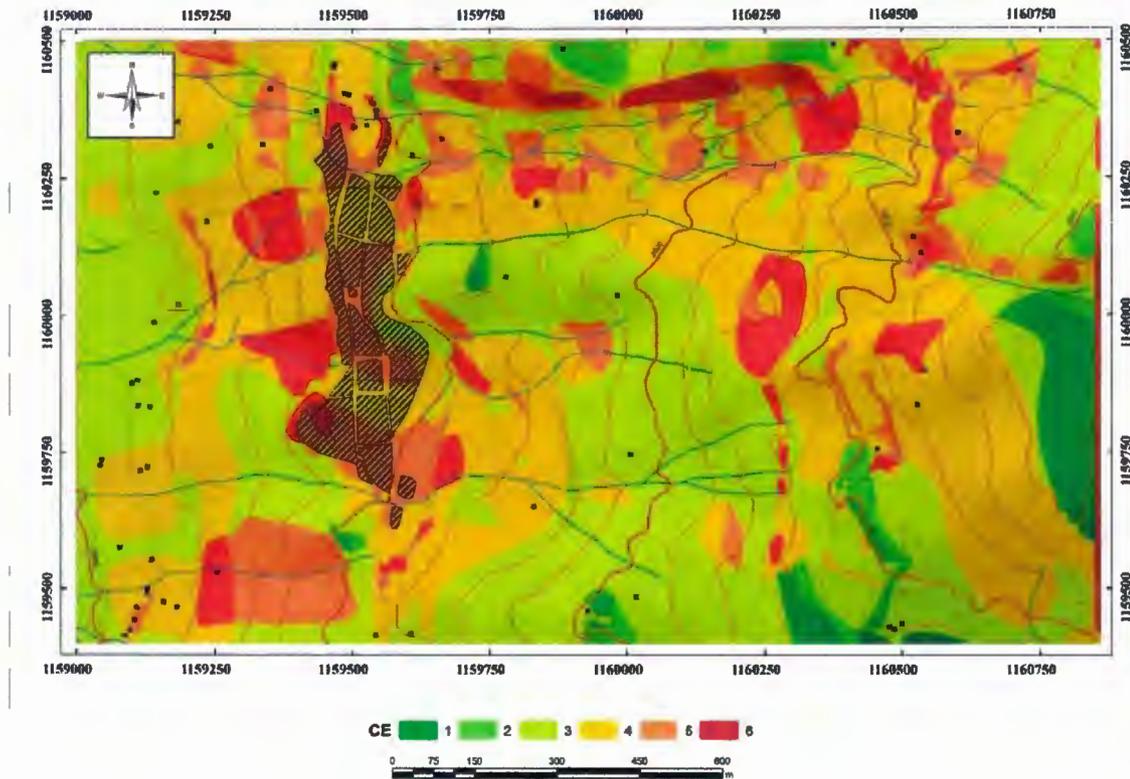
Fuente. Proyecto

FIGURA 128. *Modelo de reforestación*



Fuente. Proyecto

FIGURA 129. Parámetro de Vegetación ideal.



Fuente. Proyecto

FIGURA 130. Modelo de susceptibilidad por FRM

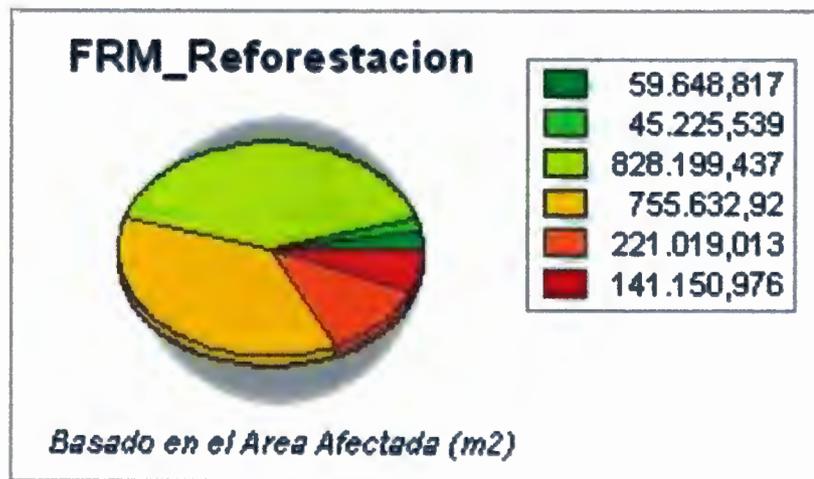


FIGURA 131. FRM basados en el área afectada

6.4. EVALUACIÓN DE RESULTADOS

- Gran parte del área de estudio presenta una alta probabilidad de desarrollar un fenómeno de remoción en masa y también se encuentra afectada por caída de bloques proveniente de las partes altas.
- Es importante apreciar que las áreas de depósito presentan puntajes demasiado bajos frente a parámetros como la sismicidad, el tipo de material pero presentan buenos puntajes desde el punto de vista del parámetro de vegetación a excepción del casco urbano
- Con ayuda de un plan de reforestación se puede observar una mejoría considerable en la estabilidad del terreno, aunque es vital un estudio más preciso acerca de suelos desde el punto de vista agrologico para ver qué tipo de vegetación es viable implementar.

7. ESTUDIO DE VULNERABILIDAD URBANA

7.1. MARCO CONTEXTUAL

Socotá como la gran mayoría de nuestros municipios, debe su localización a situaciones accidentales, como la existencia previa de poblaciones ancestrales, el pasó obligado hacia otras regiones, a la presencia de grandes haciendas que generaron concentración de servicios y de trueque, de comunicación, etc.

Como fue algo espontáneo no se previó el aumento de la población, situación que va exigiendo más espacios, la necesidad de dotación de servicios básicos como el agua, el manejo de aguas servidas y algo muy importante, la estabilidad de los terrenos.

En lo referente a la estabilidad del suelo, van surgiendo nuevas situaciones que cambian los usos como la clase de cultivos de los alrededores, el manejo de las aguas, y la explotación del subsuelo; la minería, con todo lo que implica la alteración de los ecosistemas.

Con el paso del tiempo, los asentamientos humanos, debido a las condiciones del terreno, como sucede en Socotá, pueden ver afectadas sus viviendas y por ende la vida.

- DESCRIPCION.

El casco urbano del Municipio de Socotá, está ubicado en una estrecha franja de terreno, entre el cerro de la cruz, en su costado oriental, y la pendiente sobre el río Comeza, en su costado occidental, ésta última con inclinaciones superiores al 75%. Pendiente, que de por sí configura una situación de amenaza.

Esta localización, ha hecho que el desarrollo del centro urbano, sea longitudinal, sobre la carrera tercera como eje fundamental, para la comunicación entre Socotá y los municipios cercanos, y las diferentes veredas; así como para la ubicación de las dependencias institucionales y públicas, como hospital, colegios, policía, alcaldía, entidades bancarias, y comercio en general.

Dada la falta de espacio, las vías son estrechas, los andenes angostos, y para la construcción, se trata de aprovechar todas las áreas y lotes posibles, sin considerar en muchos casos las dificultades estructurales y de dotación de servicios que ello implique.



Fuente. Proyecto

FIGURA 132. Área urbana municipio de Socotá

- **SITUACION DE RIESGO.**

Con el conocimiento de las situaciones de riesgo presentes en Socotá, se debe diagnosticar, planear y ejecutar una serie de pasos a seguir, a fin de minimizar estas amenazas.

Con el conocimiento cierto, planear estrategias, y realizar las inversiones necesarias para minimizar los factores de amenaza sobre las vidas y bienes de las personas.

Toda comunidad, tiene la prospectiva de generar desarrollo, pero la incertidumbre, crea dificultades para obtener recursos, y hacer inversiones, que permitan lograr niveles de bienestar y satisfacción para la población.

7.2. METODOLOGÍA

Con el propósito de identificar las zonas de Socotá, en que se presenta afectación en las viviendas, y por ende afectación de la población, se realizó un inventario en la totalidad del casco urbano, se le informo a cada una de las personas que nos atendió, del objetivo de nuestra visita, en total se contabilizaron 340 construcciones.

Se aclara, que algunas personas no permitieron el ingreso, y en algunas, no se encontró a los residentes.

La encuesta aplicada, además del nombre del propietario y ubicación del predio, incluyo aspectos como: Material del cimiento, existencia de vigas de amarre, tipo de estructura, entre pisos y cubierta, tipo de cerramiento, mampostería usada, problemas que presenta la construcción, y observaciones puntuales.

De cada construcción encuestada, se realizó fotografías, y se destacó los problemas presentados, si los hay, (anexo 2, censo a viviendas).

En la encuesta aplicada, se detectó fallas estructurales en 80 viviendas, las cuales figuran en el anexo 3 se identifica la manzana, la dirección, y las características de la vivienda.

En cuadros en Excel, se presenta el consolidado de la encuesta, (tipo de cimentación, cubiertas, cerramiento, y el total de cada tipo), altura de las construcciones, (cuantas por cada tipo de pisos).

7.3. RESULTADO DEL INVENTARIO DE VIVIENDA

Tal como se observa en las fotos anexas, se puede advertir que un sector del Municipio de Socotá está sufriendo un deslizamiento de sus suelos lo cual ha conllevado a su vez a que se presenten fallas en las cimentaciones de algunas viviendas y edificaciones así como las vías y posiblemente de las tuberías de acueducto y alcantarillado.

Las construcciones que se han edificado en el municipio presentan diferentes tipos de estructura (Tapia pisada y adobe – sin reforzamiento -, En Mampostería de carga con y sin confinar, estructura en concreto reforzado y combinación de todos estos sistemas).

De la misma forma se presentan diferentes tipos de cimentación: Zapatas aisladas con y sin vigas de amarre, concreto ciclópeo simple, concreto ciclópeo con vigas de amarre, etc.

También se puede observar que la mayoría de las edificaciones fueron construidas sin tener en cuenta las normas constructivas mínimas por lo cual su calidad no es buena y por el contrario se pueden considerar como edificaciones con alto grado de vulnerabilidad y riesgo de sufrir daños severos en caso de presentarse cualquier evento sísmico – aún sismos de baja magnitud e intensidad -.

De lo observado podemos considerar que en la mayor parte de las edificaciones no se ha cumplido a cabalidad con lo exigido con la Norma Sismoresistente. En algunas se cumple parcialmente con estos preceptos pero no se da cumplimiento a la misma en la construcción de los elementos no estructurales como los muros divisorios, los cuales deben dilatarse del sistema estructural propuesto y reforzarse para que no colapsen en caso de cualquier evento sísmico.

Por otro lado y en nuestro concepto el problema mayor que presentan estas construcciones es que el municipio de Socotá se encuentra construido en zona de ladera y tal como lo expusimos al inicio de este escrito, los materiales que componen la geología de los suelos en los cuales se cimienta el municipio son susceptibles de sufrir deslizamientos o remoción en masa y esto es un fenómeno que es de difícil control y puede empeorar en épocas de lluvia.

Se observa en ciertos sectores (Ver Anexo fotográfico) la presencia de reptaciones las cuales indican que en estos sectores hay movimientos del terreno. Este punto de verificarse mediante un estudio geológico de la zona en estudio. Dicho estudio deberá conceptualizar no solo el estado actual de esta zona sino la presencia de este fenómeno en anteriores ocasiones y el porcentaje de riesgo de se presente un evento de esta índole en futuro cercano.

Dependiendo de los resultados que arroje el estudio geológico anterior se recomendará o no el reforzamiento de las construcciones visitadas puesto que si en este momento se presenta movimientos en el terreno cualquier reforzamiento que se realice en dichas edificaciones no producirá los resultados esperados puesto que dependiendo de la magnitud del fenómeno las construcciones no tendrían defensa alguna y se podría presentar un colapso de todas ellas.

En el sector urbano, un buen número de viviendas, presenta algún nivel de riesgo, bien sea por la técnica constructiva empleada, la edad de las construcciones, el tipo de suelo y por su ubicación, y por estar en una zona sísmica de riesgo alto.

En Socotá, no hay una clara zonificación de construcciones nuevas o viejas, en los últimos 10 años, debido a los problemas geotécnicos presentados, se ha dado un reemplazo de construcciones en mal estado, por casas con el empleo de técnicas más recientes.

Se puede dar la siguiente clasificación:

- TIPO I: Construcciones en tapia pisada o adobe, de uno o dos pisos, con o sin intervención, cualquiera que sea el año de construcción. Se concentran en la carrera tercera entre calles 7 y 5 costado occidental y calles 5 y 4, en ambos costados, también abundan los ejemplos en la carrera tercera entre calles 3 y 2 en ambos costados. Y en la calle 4 entre carreras 3 y 2. Estas últimas por su estado, podrían ser de conservación arquitectónica.
- TIPO II: Construcciones de dos pisos cuyo material principal es el ladrillo cocido-tolete común, con mortero de cemento y arena, sin elementos de concreto reforzado. Predominan en la carrera segunda y carrera primera.
- TIPO III: Edificaciones aporricadas de concreto reforzado, en las cuales se confina la mampostería, la mayoría de dos pisos, pero hay construcciones de tres y hasta de 4 pisos, que aunque no cumplen las especificaciones

exigidas en el título C del NSR-2010, buscan una mayor resistencia. Se encuentran sobre la carrera tercera entre calles 5 y 3.

POR NUMERO DE PISOS

- Construcciones de un piso 35,8 %
- Construcciones de dos pisos 51,7 %
- Construcciones de tres pisos 10 %
- Construcciones de cuatro pisos 1,8 %

POR ESTRUCTURA

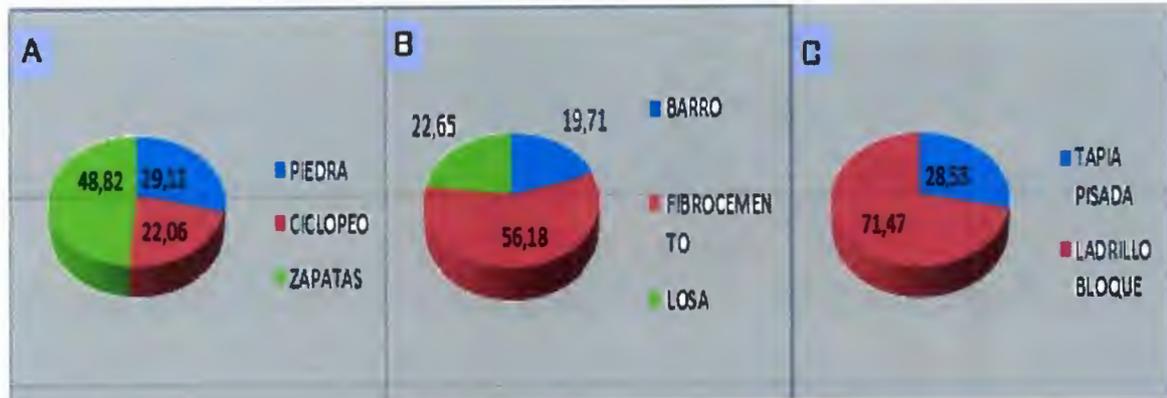
- Construcciones con estructura de concreto 46%
- Construcciones en tapia pisada 28%
- Construcciones en ladrillo o bloque de arcilla 71,4 %

POR MATERIAL PARA CIMENTACION

- Piedra, simplemente 29%
- Ciclópeo (con cemento y arena) 22%
- Zapata-concreto reforzado. 48%

POR TIPO DE CUBIERTA

- Teja de barro cocido. 19,8%
- Fibrocemento 56,18%
- Losa concreto 22,64%



Fuente. Proyecto

FIGURA 133. Porcentajes de tipo de construcción de vivienda. A. Tipo de cemento. B. Tipo de cubierta. C. Tipo de mampostería.

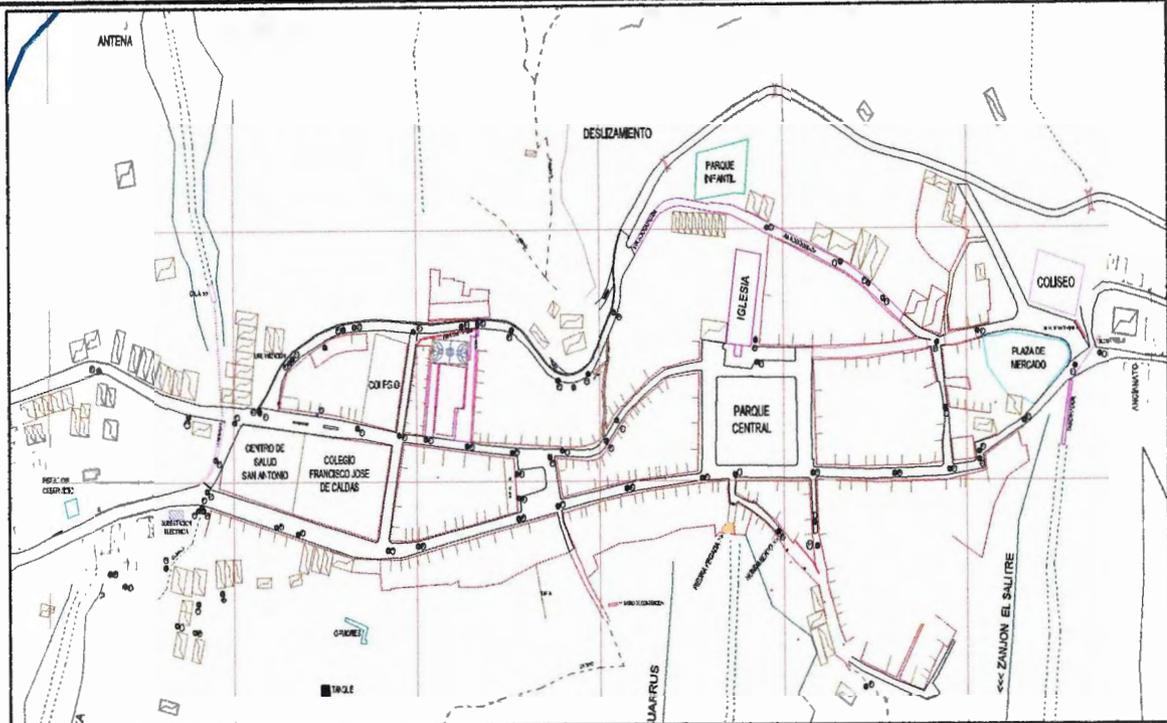
7.4. RESULTADO DEL INVENTARIO DEL ALCANTARILLADO

Se inspecciono la totalidad de los pozos del alcantarillado público, se encontraron 53, verificando diámetros de tuberías, materiales empleados y el estado de las mismas.



Fuente. Proyecto

FIGURA 134. Imagen de diámetro de una tubería del alcantarillado



El sistema de alcantarillado, no está unificado, existe tubería de diferentes materiales, y el diseño no es el mejor, pues los tramos con mayor diámetro, están en las zonas con menor demanda, esto es sobre la carrera 1.

En la parte antigua, las tuberías son en diámetros reducidos, abunda las tuberías en gres, y se evidencia hundimientos en el piso, lo cual permite fugas de agua, que afectan la vía misma y las construcciones aledañas.

El sector de la playa, parte oriental, no está conectado a la red de alcantarillado, los usuarios hacen conexiones artesanales.

Se contabilizaron 53 pozos de las redes de alcantarillado.

En la parte alta del casco urbano sobre la vía principal se evidenció un problema debido al taponamiento de las tapas de alcantarillado con asfalto, consecuencia del proceso de pavimentación, sin poder realizar su respectivo mantenimiento.

Es un alcantarillado sanitario y no presenta sumideros o recolectores de aguas lluvias.

La obra de sumidero lateral no presenta las pendientes adecuadas para la recolección de aguas lluvias

Hacia la parte donde se está deslizando el municipio no presenta ningún tipo de captación de aguas lluvias las cuales son depositadas sin control sobre la ladera en cuestión

7.5. EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Luego de la observación en el terreno, y de las cifras emanadas del consolidado, podemos deducir, que el área de influencia del talud, sobre el que se construyó las viviendas (carrera 3 y sector la Loma), es en el que se encuentran mayores fallas estructurales de las casas.

Influyen entre otros factores, los tipos de materiales empleados, como la tapia pisada, muy sensible a la presencia de humedad, producida por las aguas subterráneas, y causante de asentamientos diferenciales.

El terreno, como se aprecia a simple vista es granular, un cascajo, muy suelto que ante la presencia del agua de escorrentía, se desliza, causando movimientos masivos.

Otro problema que se encontró, es que las redes de alcantarillado son muy antiguas, de poca capacidad y ante los sucesivos movimientos del terreno, se han fracturado, y por las filtraciones producidas aceleran los asentamientos bajo las construcciones.

En el sector sur, en el Ancianato y sus alrededores, se construyó sobre rellenos, que no quedaron bien compactados, además de una fuerte pendiente y lo suelto del material, como se aprecia en la vía, esto es causa de las fisuras en las viviendas.

Hay un tercer sector con afectaciones, es en el sector de la gruta o recebera, allí se ha alterado el ecosistema, permitiendo filtraciones de agua, que han afectado algunas viviendas.

8. AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES

8.1. INFORMACION BASICA

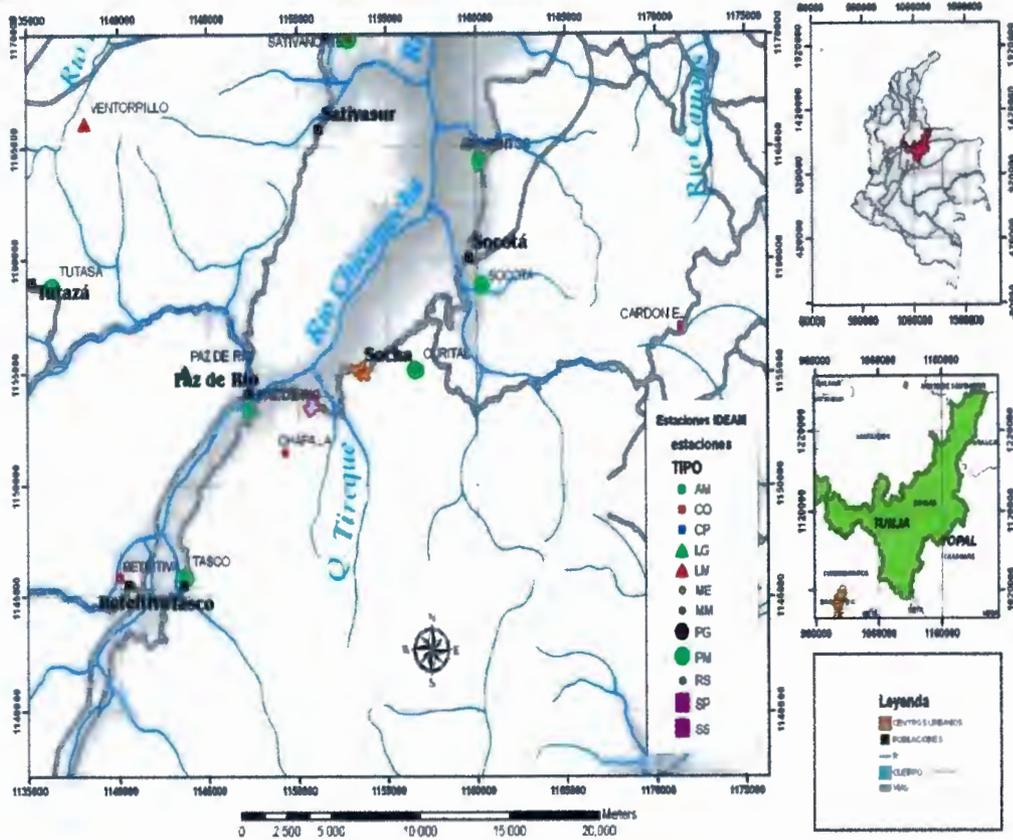
8.1.1. Datos climatológicos

Los análisis hidrológicos regionales, se realizaron a partir de la información hidroclimatológica suministrada por el IDEAM, correspondiente a los datos de lluvia (precipitación total mensual y de precipitación máxima en 24 horas) de la estación pluviométrica PM CURITAL localizada hacia el sur de Socotá, en cercanías del área urbana del municipio de Socha. Se trabajó con esta estación dado que la estación Socotá, está suspendida y cuenta con datos hasta el año 1973.

Tabla 35. Datos estación Curital

CÓDIGO	NOMBRE ESTACIÓN	REGISTROS DESDE Y HASTA EL AÑO	TIPO	OPERADOR	COORDENADA NORTE (M)	COORDENADA ESTE (M)	ELEVACIÓN (M.S.N.M.)
2403069	Curital	1974 - 2012	PM	IDEAM	1156599	1155126	3052

Fuente: IDEAM



Fuente. Proyecto

FIGURA 135. Localización de las estaciones

8.1.2. Información cartográfica

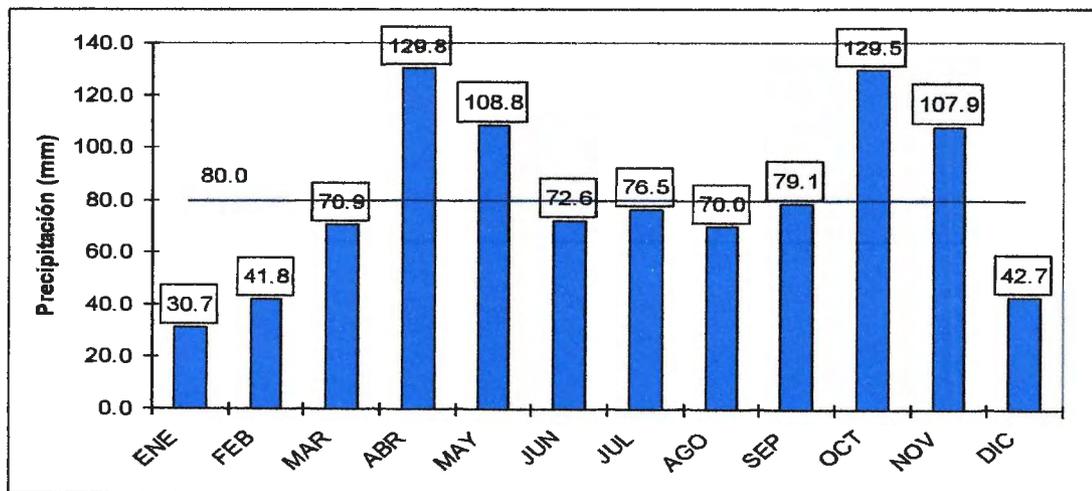
Para el presente estudio, se contó con información cartográfica a escala 1:10.000, y con el Modelo Digital de Elevaciones de la NASA.

8.2. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION

A partir de la información suministrada por el IDEAM, es posible realizar una caracterización del comportamiento regional de las lluvias a nivel temporal, análisis que se presenta a continuación.

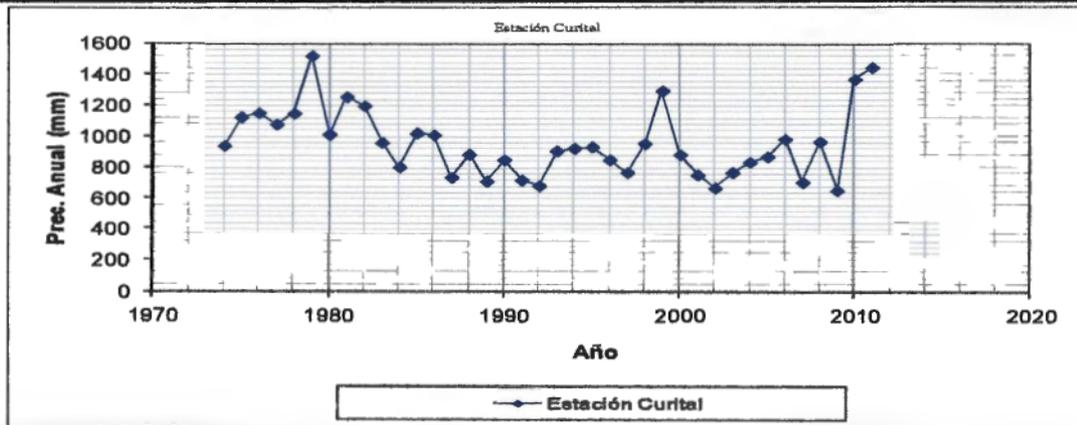
8.2.1. Análisis temporal de precipitación

Como se muestra en la siguiente figura, el régimen de precipitación alrededor de la estación Curital es bimodal, es decir, presenta dos períodos de lluvias intensas, y dos períodos de sequía o baja precipitación. En esta estuación la temporada de lluvias se presenta en los meses de abril a mayo y octubre a noviembre, con un valor máximo de 129.9 mm en el mes de abril, y de 129.5 mm en el mes de octubre. De igual forma, los valores más bajos de precipitación se presentan en los meses de diciembre y enero, con valores de 30.7 y 42.7 mm respectivamente. En términos generales, los valores más altos en la región se presentan en los meses de abril y octubre, en tanto que los valores más bajos se encuentran entre los meses de diciembre a enero.



Fuente. Proyecto, basado en datos IDEAM

FIGURA 136. Precipitación media mensual Estación Curital



Fuente. Proyecto, basado datos IDEAM.

FIGURA 137. Variación anual de la precipitación media *anual*

El valor promedio mensual de precipitación en la estación Curital es de 80 mm. A lo largo de los años, los valores más altos de la precipitación media anual, se han presentado en los años 1979, 1999, 2010 y 2011 para la estación Curital. El valor promedio anual de lluvias es de 937.6 mm entre los años 1974 a 2011.

8.2.2. Valores máximos de Precipitación

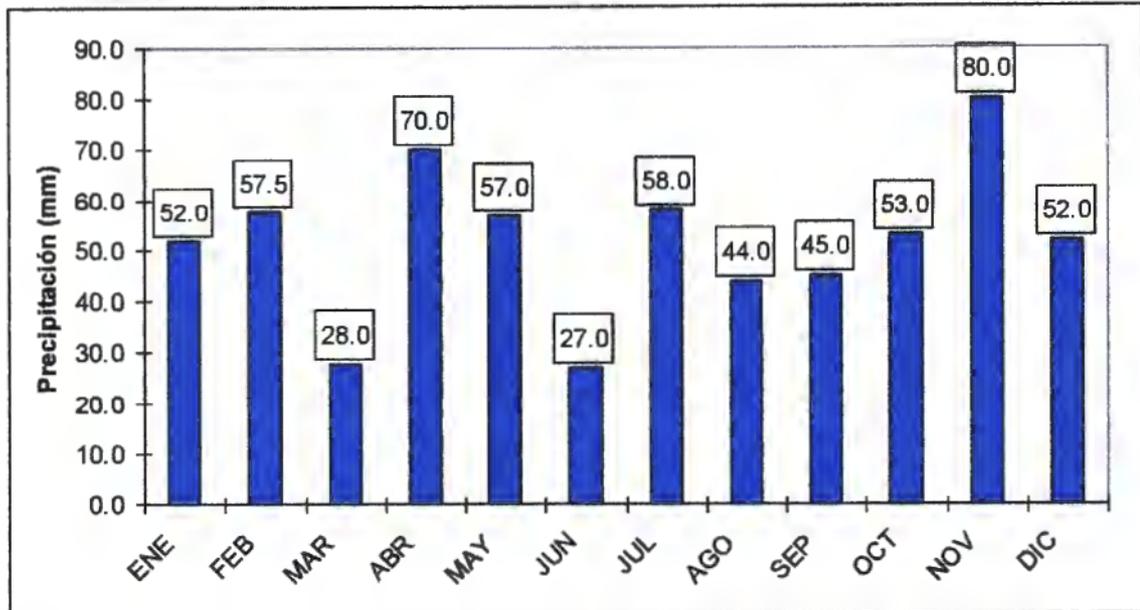
Como se aprecia en la los valores de precipitación máxima en 24 horas, al igual que para los valores promedio mensual, los valores máximos se han presentado en los meses de abril, y noviembre (70 y 80 mm respectivamente).



Tabla 36. Precipitación máxima en 24 horas estación Curital

AÑO	PREC. MAX 24 HORAS MM	AÑO	PREC. MAX 24 HORAS MM
1974	30.0	1993	57.0
1975	30.0	1994	52.0
1976	45.0	1995	39.5
1977	72.0	1996	29.0
1978	45.0	1997	59.0
1979	50.0	1998	48.0
1980	65.0	1999	80.0
1981	39.0	2000	57.5
1982	35.0	2001	28.0
1983	33.0	2002	35.0
1984	38.0	2003	58.0
1985	35.7	2004	32.5
1986	43.0	2005	36.0
1987	28.0	2006	47.6
1988	32.5	2007	29.0
1989	43.5	2008	44.0
1990	38.0	2009	39.0
1991	19.5	2010	52.0
1992	43.8	2011	70.0

Fuente. Proyecto, basados en datos IDEAM.



Fuente .Proyecto

FIGURA 138. Valores máximos mensuales de precipitación en 24 horas estación

8.2.3. Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia

Las curvas Intensidad Duración Frecuencia (IDF), permiten realizar la estimación de los caudales de diseño para las obras de drenaje; en el presente estudio, se estimaron las curvas IDF de la región de forma sintética.

La metodología empleada para tal fin, fue la establecida por Vargas y Díaz-Granados (1998), los cuales recopilaron información de 250 curvas IDF de diferentes estaciones dentro del territorio Colombiano y establecieron coeficientes para las ecuaciones propuestas por Kothyari y Garde para cada región; la ecuación es la siguiente:

$$I = a \cdot \frac{T^b}{t^c} \cdot M^d \cdot N^e \cdot PT^f$$

Donde I es la intensidad de lluvia en mm/h, T el período de retorno en años, t la duración en horas, M el promedio de valores máximos anuales de precipitación en

mm, N el promedio del número de días con lluvia al año, PT la precipitación media anual en mm, y a, b, c, d, e y f valores hallados mediante correlaciones, que para la región Andina se han establecido como se muestra en la tabla 9.

Tabla 37. Coeficientes para la ecuación IDF en la región Andina

a	b	c	d	e	f
1.61	0.19	0.65	0.75	-0.15	0.08

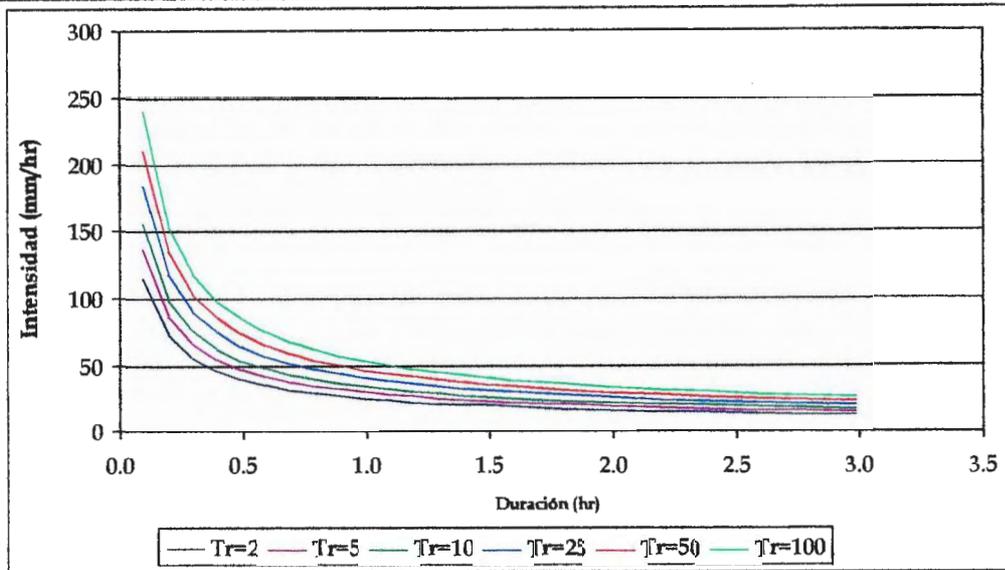
Para la zona de estudio, a partir de los datos de lluvia de la estación Curital, se han establecido los siguientes parámetros:

Promedio anual de días con lluvia: 139

Promedio de lluvias máximas en 24 horas: 43.3 mm

Precipitación media anual: 937.6 mm

Dado que los datos de la estación Curital están actualizados a la fecha, se estimaran las curvas IDF para la región, que se muestran en la Figura 64 y cuyos datos se presentan en la Tabla 10, datos que se tomaran también como representativos para el área de localización del Título Minero.



Fuente. Proyecto, basado en datos IDEAM

FIGURA 139. Curva IDF estación Curital

Tabla 38. Datos de Intensidad Duración Frecuencia Estación Curital

PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	DURACION (MINUTOS) / INTENSIDAD (MM/H)							
	5	10	15	30	45	60	120	1440
2	128.7	82.0	63.0	40.1	30.8	25.6	16.3	3.2
5	153.1	97.6	75.0	47.8	36.7	30.4	19.4	3.9
10	174.7	111.3	85.5	54.5	41.9	34.7	22.1	4.4
25	207.9	132.5	101.8	64.9	49.8	41.3	26.3	5.2
50	237.2	151.1	116.1	74.0	56.9	47.2	30.1	6.0
100	270.5	172.4	132.5	84.4	64.9	53.8	34.3	6.8

8.3. CARACTERIZACION MORFOMETRICA DE LA CUENCA

Para cada una de las cuencas del análisis se establecerán los diferentes parámetros de mayor relevancia en el comportamiento hidrológico de dichas cuencas; entre dichos parámetros morfométricos, se estimaran los siguientes:

- Área de drenaje de la cuenca
- Perímetro de la cuenca
- Elevación mínima
- Elevación máxima
- Tiempo de concentración
- Coeficiente de escorrentía

El tiempo de concentración para cada una de las subcuencas se estima empleando la ecuación de Kirpich:

$$T_c = 0.066 \frac{L^{1.155}}{H^{0.385}}$$

Donde:

L longitud del cauce principal en Km

H desnivel total del cauce principal en Km

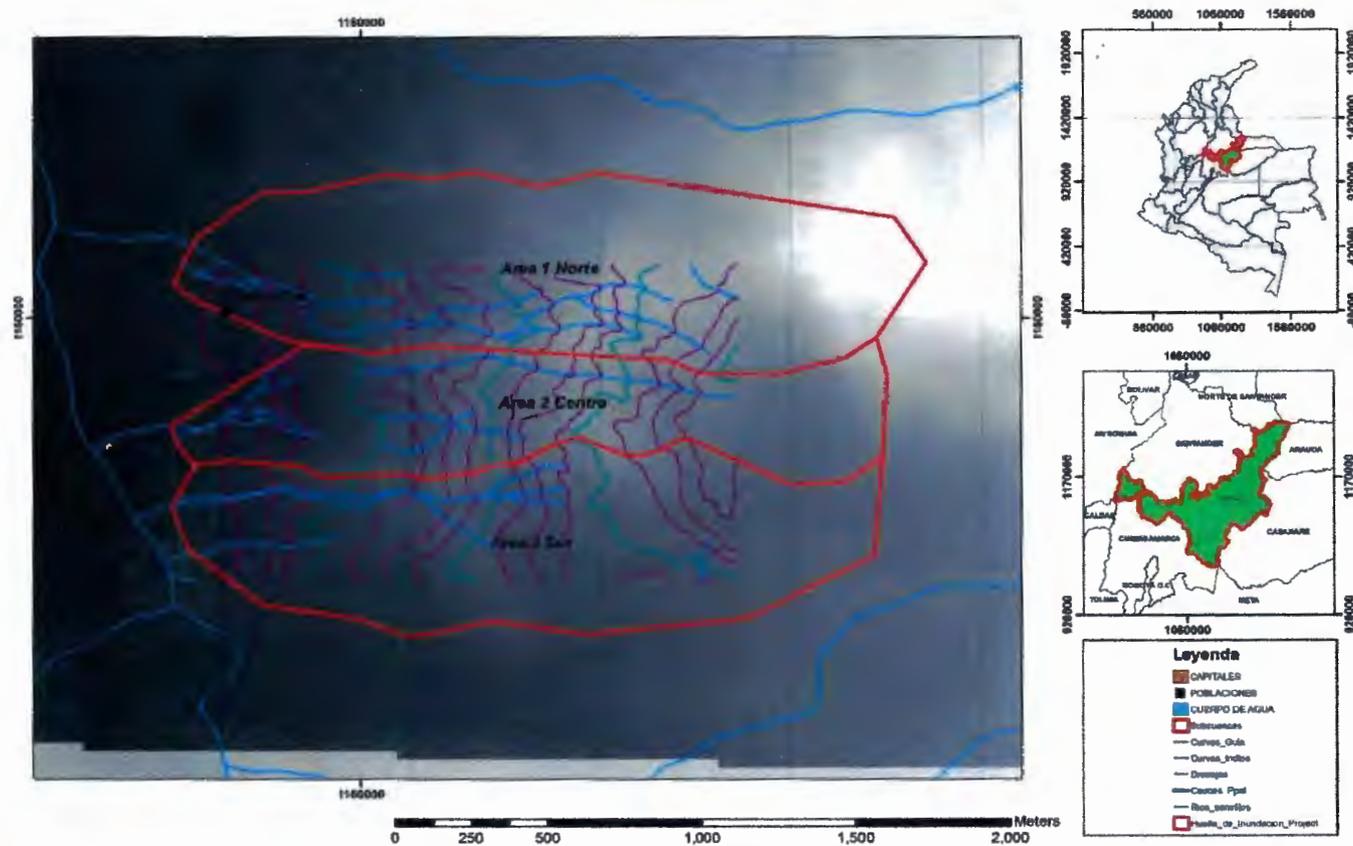
Tc tiempo de concentración en horas

Tabla 39. Parámetros morfométricos de las cuencas

NOMBRE	ÁREA (KM ²)	LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL (M)	ELEVACIÓN MÁXIMA (M.S.N.M.)	ELEVACIÓN MÍNIMA (M.S.N.M.)	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (MIN)
Área 1 Norte	0.52	2358.0	2366	0.364	11.31
Área 2 Centro	1.15	2346.0	2358	0.226	13.54
Área 3 Sur	0.39	1929.0	2364	0.217	11.83

Fuente. Proyecto

FIGURA 140. Áreas De drenaje



Fuente. Proyecto

8.4. CAUDALES MAXIMOS SEGÚN PERIODOS DE RETORNO

Con el objeto de conocer el caudal máximo para periodos de retorno, se empleará el modelo lluvia – escorrentía del U.S. Soil Conservation Service, el cual estima la escorrentía producida por una tormenta en una cuenca, con base en la relación que existe entre humedad antecedente del terreno y el complejo suelo - cobertura vegetal y el cual se basa en la siguiente relación fundamental:

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{Pe}$$

Donde:

- F = Infiltración real.
- S = Infiltración potencial.
- Q = Escorrentía real.
- Pe = Escorrentía potencial o exceso de precipitación.

Esta relación tiene validez a partir del momento en que se inicia la escorrentía. Toda la precipitación ocurrida antes del comienzo de la escorrentía se considera como pérdida (intercepción, no contribuye al flujo superficial).

Las pérdidas iniciales de la precipitación se denominan abstracciones iniciales (I_a), las cuales se calculan con la siguiente relación empírica:

$$I_a = 0.2S$$

Se tiene entonces que:

$$Pe = P - I_a \quad \text{y} \quad F = Pe - Q$$

Sustituyendo en la relación inicial y despejando el valor de Q se obtiene la expresión:

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

El S.C.S. luego de analizar gran cantidad de hidrogramas de cuencas, encontró un procedimiento para calcular el valor de S con base en un parámetro llamado Número de Curva (CN), mediante la siguiente expresión:

$$S = \frac{2540}{CN} - 25.4$$

En donde S esta expresado en milímetros.

El valor de (CN) para cada condición de humedad antecedente es propio de cada cuenca y se obtiene con base en el tipo de suelo y la condición hidrológica, que es un indicador de la cobertura vegetal y de la capacidad de infiltración del suelo.

El CN corresponde con el número de curva de la metodología del Soil Conservation Service, de acuerdo con las diferentes referencias bibliográficas.

Para estimar la escorrentía máxima se aplicó el hidrograma unitario sintético propuesto por el S.C.S., cuya forma está definida por las siguientes ecuaciones:

$$q_p = \frac{0,2083 * A * E}{T_p}$$

$$T_p = \frac{D}{2} + T_L$$

$$T_L = 0.6 * T_C$$

Donde:

- q_p = Caudal pico unitario, en m^3/s por cada milímetro de escorrentía.
- A = Área de drenaje, en km^2 .
- T_p = Tiempo al pico, en horas.
- D = Duración de la lluvia efectiva o duración del hidrograma unitario, en horas.
- T_L = Tiempo de retardo de la cuenca, en horas.
- T_C = Tiempo de concentración de la cuenca, en horas, calculado con la expresión de Bransby – Williams.
- t_b = Tiempo base del hidrograma unitario.
- E = Escurrimiento unitario, en este estudio E = 1 mm.

- L Longitud del cauce principal
- CN: Número de curva
- Y: Pendiente promedio del terreno de la cuenca.

Dado que actualmente en la zona no existe una gran intervención y es apreciable que existe una buena cobertura vegetal, de acuerdo con lo observado en campo, se asume que las cuencas en la zona de estudio presentan un Número de Curva de 40.

A continuación se presentan los valores de los caudales obtenidos para cada periodo de retorno (2, 5, 10, 25, 50 y 100 años), empleando los parámetros de cada subcuenca o subárea de drenaje. Los caudales corresponden a los caudales pico que se pueden presentar en cada subcuenca.

Tabla 40. Caudales pico para la subcuenca Área 1

PERIODO DE RETORNO	DURACIÓN	INTENSIDAD	PRECIPITACIÓN TOTAL	CN	PRECIPITACIÓN EFECTIVA	TC	TP	TB	CAUDAL
	(hr)	(mm/h)	(mm)		(mm)	(hr)	(hr)	(hr)	(m ³ /s)
2	15.0	63.0	944.9	40	603.9	15.0	16.5	44.1	9.858
5	15.0	75.0	1124.6	40	769.0	15.0	16.5	44.1	12.553
10	15.0	85.5	1282.9	40	917.2	15.0	16.5	44.1	14.972
25	15.0	101.8	1526.9	40	1148.9	15.0	16.5	44.1	18.756
50	15.0	116.1	1741.8	40	1355.6	15.0	16.5	44.1	22.129
100	15.0	132.5	1987.0	40	1593.2	15.0	16.5	44.1	26.008

Fuente. Proyecto

Tabla 41. Caudales pico para la subcuenca Área 2

PERIODO DE RETORNO	DURACIÓN	INTENSIDAD	PRECIPITACIÓN TOTAL	CN	PRECIPITACIÓN EFECTIVA	TC	TP	TB	CAUDAL
	(hr)	(mm/h)	(mm)		(mm)	(hr)	(hr)	(hr)	(m ³ /s)
2	15.0	63.0	944.9	40	603.9	15.0	16.5	44.1	6.248
5	15.0	75.0	1124.6	40	769.0	15.0	16.5	44.1	7.957
10	15.0	85.5	1282.9	40	917.2	15.0	16.5	44.1	9.490
25	15.0	101.8	1526.9	40	1148.9	15.0	16.5	44.1	11.888
50	15.0	116.1	1741.8	40	1355.6	15.0	16.5	44.1	14.026
100	15.0	132.5	1987.0	40	1593.2	15.0	16.5	44.1	16.484

Fuente. Proyecto

Tabla 42. Caudales pico para la subcuenca Área 3

PERIODO DE RETORNO	DURACIÓN	INTENSIDAD	PRECIPITACIÓN TOTAL	CN	PRECIPITACIÓN EFECTIVA	TC	TP	TB	CAUDAL
	(hr)	(mm/h)	(mm)		(mm)	(hr)	(hr)	(hr)	(m ³ /s)
2	15.0	63.0	944.9	40	603.9	15.0	16.5	44.1	8.732
5	15.0	75.0	1124.6	40	769.0	15.0	16.5	44.1	11.119
10	15.0	85.5	1282.9	40	917.2	15.0	16.5	44.1	13.261
25	15.0	101.8	1526.9	40	1148.9	15.0	16.5	44.1	16.613
50	15.0	116.1	1741.8	40	1355.6	15.0	16.5	44.1	19.600
100	15.0	132.5	1987.0	40	1593.2	15.0	16.5	44.1	23.036

Fuente. Proyecto

9. CONCLUSIONES

➤ DE VULNERABILIDAD URBANA

Cerca del 90% de las viviendas no cumplen los mínimos estándares de sismo resistencia. Esto puede explicarse teniendo presente que la reglamentación de sismo resistencia en el país se hizo oficial con el decreto ley 1400 de 1984.

El sistema de alcantarillado presenta notables deficiencias de diseño y construcción. Además de que no existe alcantarillado para aguas lluvias.

Los emisarios finales no están debidamente proyectados y favorecen la socavación de los taludes.

➤ DE ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD A FRM

Una importante área del sector Oriental arriba del casco urbano presenta alta susceptibilidad a ocurrencia de fenómenos de remoción en masa (FRM). Los principales FRM son caída de rocas, flujos, reptamientos y deslizamientos.

Hacia el costado occidental la amenaza es moderada y media, por lo que su manejo puede calificarse como simple, a excepción del sector La Loma.

➤ DE LA EVALUACIÓN DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES

Para periodos de retorno de 5 o más años los caudales probables por escorrentía son importantes ($>10 \text{ m}^3/\text{seg}$ para A1 y A3), y representan amenaza de consideración.

➤ **DEL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL SECTOR LA LOMA**

La afectación del movimiento sucedido en el año 2011, sobre las viviendas ha sido de consideración y su amenaza aún sigue presente. De presentarse algún evento sísmico, el FRM puede reactivarse y sus consecuencias llegar a ser desastrosas.

Para garantizar la estabilidad del terreno en cualquier escenario, se ha proyectado una pantalla anclada a la roca subyacente, con dos anclajes activos distanciados a 1.0 m y con tensión comprendida entre 60 ton y 100 ton en cada uno.

Un factor que ha contribuido a la inestabilidad del sector, además del agua subterránea y el tipo y condición de los materiales (relleno inconsolidado), es la acción erosiva del emisario de aguas negras, cuyo caudal se incrementa notablemente en época invernal.

➤ **DEL SECTOR DE LA RECEBERA**

El análisis de equilibrio del talud de la recebera indica que será inestable ante efectos dinámicos. Se hace necesario construir un muro gavión en el pie y realizar conformación de la superficie del terreno mediante terraceo.

10.RECOMENDACIONES

DE VULNERABILIDAD URBANA

- Debe procurarse el cumplimiento de las exigencias de sismo resistencia al tenor de la Norma NSR-10.
- Se hace necesario emprender un estudio de diagnóstico y rediseño del sistema de alcantarillado sanitario. También es oportuno recomendar la proyección del alcantarillado pluvial.

DE LA EVALUACIÓN DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES

- Se debe proyectar un canal interceptor de las aguas de escorrentía, aprovechando el canal existente por el costado oriental, el cual con el correspondiente redimensionamiento se constituirá en una efectiva medida de protección contra la amenaza de avenidas torrenciales.

DEL SECTOR LA LOMA

- De acuerdo con los resultados del análisis de estabilidad, resulta imperativo proyectar la construcción de una pantalla anclada para garantizar la estabilidad del sector afectado por el movimiento ocurrido en el año 2011. En este estudio se ha efectuado el pre diseño del sistema anclado, pero el diseño definitivo incluyendo las especificaciones particulares y el presupuesto, deberá ser realizado de manera rigurosa en una etapa posterior, con base en la información aquí suministrada.
- En las condiciones actuales, se recomienda la evacuación de las viviendas que se encuentran dentro de la zona afectada por el movimiento en masa, ya que este puede reactivarse en cualquier momento bajo la acción erosiva de los flujos de infiltración, por una eventual acción sísmica o por la socavación que produce de manera continua en la pata el flujo de las aguas negras.

DEL SECTOR DE LA RECEBERA

- Aun cuando no puede calificarse de alarmante el problema de inestabilidad presente en este sector, debe recomendarse la construcción de una estructura de contención, que puede ser un muro en gavión (como se proyectó en este estudio) o un muro en concreto (de gravedad o reforzado), en combinación con la conformación del talud mediante terraceo. Estas medidas tienen como propósito contrarrestar los efectos dañinos derivados de una eventual ola invernal severa.

11. BIBLIOGRAFIA

ÍTALO REYES CHITTARO, Geólogo, Geología de la región de Duitama-Sogamoso-Paz de Rio, Departamento de Boyacá. Belencito, abril 1984.

MARIO F, CARREÑO., JUAN G, DELGADO: Evaluación geológica de los carbones en el área comprendida entre Socha –Socotá. CARBONES DE COLOMBIA S.A “CARBOCOL”. Sogamoso, Julio 2011.

ULLOA, C.; RODRÍGUEZ, E.; RODRÍGUEZ, G. (2003): “Geología de la plancha 172– Paz de Río”. Memoria explicativa INGEOMINAS. 105p.

“Zonificación de áreas susceptibles y niveles de Vulnerabilidad ante Amenazas del tipo Movimientos de masa desbordes por crecidas, en el trayecto urbano de la Quebrada Milla”, UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, Facultad de Ciencias forestales y Ambientales, Escuela de geografía, Mérida, Venezuela, 2008.

- Referencias empleadas en Hidrología

Chow, V., T., Mays, L., W., Maidment, D., R., (1994). “Hidrología Aplicada”, McGraw-Hill, Santafé de Bogotá.

Monsalve, G., (1999). “Hidrología en la Ingeniería”, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá D.C.

U. S. Army Corps Engineers, (2000). “Hydrologic Modeling System HEC-HMS” Technical Reference Manual, Hydrologic Engineering Center, Massachusetts.

Vargas, R., M. Díaz-Granados, (1998). “Curvas Sintéticas Regionalizadas de Intensidad-Duración-Frecuencia para Colombia,” XIII Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología, Cali.

- [1] Correa, L. C., (1997). "Convalidación del método para obtener curvas Intensidad – Duración – Frecuencia a partir de las lluvias máximas en 24 horas para la zona norte de Colombia", Tesis de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C.