



INFORME FINAL



**ELABORACIÓN DE ESTUDIO DE RIESGO (AMENAZA Y VULNERABILIDAD)
Y DISEÑO DE OBRAS DE ESTABILIZACIÓN EN LA VEREDA CARICHANA,
MUNICIPIO DE SANTA MARIA JURISDICCION DE LA CORPORACIÓN
AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR (CORPOCHIVOR).**

**CONVENIO
Nº 038 DEL 2012
UPTC - CORPOCHIVOR
UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA**

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1 GENERALIDADES	12
1.1 PRESENTACION (JUSTIFICACION Y ALCANCE).....	12
1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	13
1.2.1. Objetivo General.....	13
1.2.2 Metodología	14
1.3 LOCALIZACIÓN.	15
1.4 PERSONAL	16
1.5 DESCRIPCION DE ACTIVIDADES REALIZADAS	17
1.5.1. Trabajo de campo.....	17
1.6. ANÁLISIS DE LABORATORIO.....	19
1.6.1. Trabajos de Oficina.....	20
1.7. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y SUS POSIBLES CAUSAS	20
1.8 ESTADO DE LA INFORMACIÓN	21
2 ASPECTOS CLIMATICOS E HIDROLOGICOS	23
2.1. ANÁLISIS HIDROLÓGICO	24
2.2. BALANCE HÍDRICO.....	24
2.2.1. Tipos de recarga.....	25
2.3. ESTIMACIÓN DE LA ESCORRENTÍA	27
2.4. ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN.	32
2.4.1. Mapas de Isoyetas generados a partir de los datos de Precipitación.	38
2.4.2. ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP)	44
2.4.2.1. Formula de J. B. García y J.D. López.....	44
2.4.3. Estimación del Balance Hídrico	45
2.4.4. Metodología	46
2.4.5. Resultados obtenidos.	49
2.5. CALCULO DE CAUDAL DE DISEÑO A PARTIR DE LAS CURVAS IDF .	53
2.5.1. Resultados.....	53
2.6. MORFOMETRÍA DE LA CUENCA	55

3	GEOLOGIA.....	59
3.1.	GEOLOGÍA HISTÓRICA.....	59
3.2.	GEOLOGIA LOCAL.....	59
3.2.1.	Formación Areniscas de las Juntas (Kiaj).....	59
3.2.2.	Formación Lutitas de Macanal (Kilm).	60
3.2.3.	Formación Calizas del Guavio (Kicg).....	60
3.2.4.	Depósitos Coluviales (Qc).	60
4	GEOMORFOLOGÍA	62
4.1	GEOMORFOLOGÍA LOCAL.....	63
4.2	ANÁLISIS FOTOGEOLÓGICO.....	64
4.3	PROCESOS MORFODINÁMICOS.....	65
4.3.1	Deslizamiento Compuesto.....	66
4.4	INCLINACIÓN DE LAS PENDIENTES	67
4.5	UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	69
4.5.1	Geoformas de Origen Denudacional.	71
4.6	EROSIÓN	73
4.6.1	Algunas Formas de Erosión.....	75
4.6.2	Factores externos	76
4.6.3	Factores internos.....	76
4.6.4	Morfodinámica - intensidad de erosión	77
4.7	USO ACTUAL Y COBERTURA DEL SUELO	79
4.7.1	DESCRIPCIÓN REGIONAL	80
4.7.2	VEGETACIÓN	81
4.7.3	COBERTURA Y USO DE SUELO PARA EL ÁREA	82
4.7.4	ESTUDIO DE LA FLORA.....	85
4.7.5	IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE COBERTURAS	86
4.7.6	ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA Y/O ARBUSTIVA	95
4.7.7	ÁREAS Y PORCENTAJES DE LAS COBERTURAS	100
4.7.8	UNIDADES DE COBERTURA VEGETAL	102
5	HIDROGEOLOGÍA	105
5.1.	Unidades Hidrogeológicas.....	105

5.1.1.	Acuífero.....	105
5.1.2.	Acuitardo.....	105
5.1.3.	Acuicierres.....	106
5.2.	MARCO HIDROGEOLOGICO GENERAL.....	106
5.2.1.	UNIDAD I (Permeabilidad Alta).....	106
5.2.2.	Unidad II (Permeabilidad Media).....	107
5.2.3.	UNIDAD III (Permeabilidad Baja).....	107
6	GEOELECTRICA.....	108
6.1.	ESTUDIO GEOELECTRICO (TOMOGRAFIA).....	108
6.1.1.	INTRODUCCION.....	108
6.2.	OBJETIVO.....	110
6.3.	PRINCIPIO DEL METODO GEOFISICO.....	111
6.3.1.	Resistividad Aparente:.....	111
6.3.2.	Dispositivos:.....	113
6.4.	METODOLOGIA.....	114
6.4.1.	TOMOGRAFIA N°1.....	116
6.4.2.	RESULTADOS.....	119
7	GEOTECNIA.....	120
7.1	EXPLORACIÓN DE CAMPO.....	120
7.1.1.	Sondeos geotécnicos.....	120
7.2.	CARACTERIZACIÓN DEL SUELO Y SUBSUELO.....	123
7.2.1.	Trabajos de Laboratorio.....	123
7.2.2.	Resumen de resultados.....	127
7.3.	Clasificación del macizo rocoso.....	128
7.3.1.	Clasificación Según el Índice Geológico de Resistencia (GSI):.....	128
7.4.	CINEMÁTICA DE LOS MOVIMIENTOS.....	131
7.5.	CAUSAS DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA.....	131
7.5.1.	Causas Reales.....	131
7.5.2.	Causas Inmediatas.....	132
7.6.	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y MODELACIÓN GEOTÉCNICA.....	133
7.6.1.	Análisis estructuralmente no controlado.....	136

8	ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS	140
8.1	DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DE AMENAZAS	140
8.2	RESULTADO DE ANALISIS.....	143
8.3	ANALISIS DE AMENAZA	144
8.4	Evaluación de Vulnerabilidad.....	146
9	EVALUACIÓN Y ANALISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO	148
9.1	INFORME DE VISITA DE EVALUACIÓN COMPONENTE SOCIAL.	149
10	OBRAS RECOMENDADAS.....	153
11	CONCLUSIONES.....	154
12	RECOMENDACIONES.....	155
13	BIBLIOGRAFÍA.....	156

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1.	Exploración directa del subsuelo (SPT).....	18
Fotografía 2.	Georeferenciación área de estudio.	80
Fotografía 3.	Tejido artificializado de nivel 4 red vial 122 C.L.C.	88
Fotografía 4.	Pastos enmalezados o enrastrados	90
Fotografía 5.	Pastos limpios presente en la zona de estudio.	91
Fotografía 6.	Bosque denso bajo de tierra firme.....	95
Fotografía 7.	HERBAZAL	97
Fotografía 8.	Tierras desnudas y degradadas	98
Fotografía 9.	Río.....	99
Fotografía 10.	Parte media del deslizamiento.....	117
Fotografía 11.	Equipo TERRAMETER LS 04-064-250.	117
Fotografía 12.	Perforación realizada en la zona de estudio	122
Fotografía 13.	Prueba de Penetrometro de Bolsillo	122
Fotografía 14.	Muestra fallada en el ensayo de compresión no confinada. ...	126
Fotografía 15.	Muestras a las que se les realizó la prueba de corte directo. .	127
Fotografía 16.	Parte superior del movimiento	137
Fotografía 17.	Vía a la vereda Carichana	149
Fotografía 18.	Afectación en la vía. Vereda Carichana.....	150
Fotografía 19.	Alcantarilla destruida por el movimiento del terreno.	150
Fotografía 20.	Vista del movimiento del terreno.....	151
Fotografía 21.	Aguas de escorrentía del sector.	152

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Metodología realizada en el proyecto.....	14
Figura 2. Localización geográfica.....	15
Figura 3. Organigrama.	16
Figura 4. Gráfico de precipitación media multianual mensual.	36
Figura 5. Gráfico de precipitación media multianual.....	37
Figura 6. Isoyetas mes de Enero y Febrero	38
Figura 7. Isoyetas mes de Marzo y Abril	39
Figura 8. Isoyetas mes de Mayo y Junio	40
Figura 9. Isoyetas mes de Julio y Agosto	41
Figura 10. Isoyetas mes de Septiembre y Octubre	42
Figura 11. Isoyetas mes de Noviembre y Diciembre	43
Figura 12. Comportamiento de las Curvas del Balance Hídrico.....	52
Figura 13. Imagen ilustrativa de la cuenca local de Santa María	57
Figura 14. Imagen del mapa geológico del municipio de Santa María.	61
Figura 15. Ventana extraída del mapa regional de Consultoría.	62
Figura 16. Fotografías pertenecientes al vuelo 2564- 103,104.	65
Figura 17. Esquema del movimiento compuesto.....	66
Figura 18. Esquema del movimiento, perfil deslizamiento compuesto	67
Figura 19. Imagen del Mapa de inclinación de las pendientes.	68
Figura 20. Imagen del Mapa geomorfológico.	70
Figura 21. Imagen del Mapa erosión.....	78
Figura 22. Posiciones aproximadas de las Líneas gula de las regiones).	81
Figura 23. Criterios para la clasificación de los bosques.....	93
Figura 24. Mapa cobertura vegetal y uso de suelo.....	100
Figura 25. Porcentaje áreas de coberturas.	101
Figura 26. Imagen del Mapa Hidrogeológico del área de estudio	106
Figura 27. Principio teórico de operación de las TER's.....	109
Figura 28. Rangos de resistividad para diferentes materiales.....	109
Figura 29. Dispositivo Wenner.	114
Figura 30. Imagen mapa topográfico Santa María.	116
Figura 31. Perfil 1 tomografía.	118
Figura 32. Perfil litológico 1	119
Figura 33. Perfil Geotécnico S1.....	124
Figura 34. Límites de Atterbeg	125
Figura 35. Guía para la definición del Índice geológico de resistencia (GSI).	128
Figura 36. Perfil geológico AA'	138
Figura 37. Modelo de análisis perfil A-A'	138
Figura 38. Imagen Mapa de Amenazas.....	145

Figura 39. Imagen Mapa de Vulnerabilidad Física y Social..... 147

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tabla general para la determinación de número de curva (CN).....	29
Tabla 2. Escorrentía Estación Santa María, suelo tipo CL	31
Tabla 3. Escorrentía Estación Santa María, suelo tipo CL	32
Tabla 4. Estación pluviométrica utilizada en la estimación de la precipitación	33
Tabla 5. Precipitación media multianual mensual por estación.	34
Fuente: Resultado del estudio.....	34
Tabla 6. Precipitación media multianual mensual por estación.	35
Tabla 7. Rangos de temperatura Almeida.	45
Tabla 8. Valores de Evapotranspiración.....	45
Tabla 9. Calculo de Infiltración, basado en los valores de escorrentía (R).....	48
Tabla 10. Calculo de Infiltración, basado en los valores de escorrentía (R).....	49
Tabla 11. Estimación del Balance Hídrico.....	50
Tabla 12. Estimación del Balance Hídrico.....	51
Tabla 13. Valores de parámetros morfométricos para la cuenca local	58
Tabla 14. Clasificación de las pendientes.	69
Tabla 15. Descripción geomorfológica.	72
Tabla 16. AREAS METRICAS DE LAS COBERTURAS	101
Tabla 17. Unidades de cobertura vegetal.....	103
Tabla 18. Resistividades de algunos suelos y rocas.	113
Tabla 19. Resistividades de los materiales presentes en el área de estudio.	118
Tabla 20. Coordenadas de los sondeos realizados.....	121
Tabla 21. Resumen de resultados ensayos de laboratorio.....	130
Tabla 22. Coeficientes de aceleración sísmica para el departamento Boyacá....	135
Tabla 23. Coeficientes de reducción de coeficientes de aceleración sísmica	135
Tabla 24. Valores de Propiedades Físicas y Mecánicas.	137
Tabla 25. Factores de seguridad para el modelo perfil A-A.....	139
Tabla 26. Parámetros físicos y naturales estimados	141
Tabla 27. Categorización de amenazas por FRM.	143
Tabla 28. Categorización de amenaza por (FRM) según nsr-10.....	144

LISTAS DE ANEXOS

ANEXO 1 - MAPAS TEMÁTICOS

MAPA 1 GEOLÓGICO

MAPA 2 GEOMORFOLÓGICO

MAPA 3 SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSIÓN

MAPA 4 DE PENDIENTES

MAPA 5 HIDROGEOLÓGICO

MAPA 6 ZONIFICACIÓN GEOMECÁNICA

MAPA 7 ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA

MAPA 8 VULNERABILIDAD FÍSICA Y SOCIAL

MAPA 9 ZONIFICACIÓN DE RIESGOS POR FRM

ANEXO 2 - ANÁLISIS FOTO INTERPRETACIÓN

ANEXO 3 – ENSAYOS DE SUELOS

ANEXO 4 - CARTERAS TOPOGRÁFICAS

ANEXO 5 - HIDROLOGÍA

ANEXO 6 - CURVAS IDF

ANEXO 7 - FICHAS DE INVENTARIO DE PROCESOS GEOMORFOLÓGICOS

ANEXO 8 - ENCUESTAS SOCIOECONÓMICAS

ANEXO 9 - FORMATO DE INFORMACIÓN DE VULNERABILIDAD FISICA

ANEXO 10 - MEMORIAS DE DISEÑO DE OBRAS

ANEXO 11 - PRESUPUESTO DE OBRAS

ANEXO 12 - PLANOS DE OBRAS RECOMENDADAS



INTRODUCCION

Debido a que el Departamento de Boyacá es una de las áreas más vulnerables a los fenómenos de variación climática, y que los picos de precipitación en determinados periodos del año son relativamente altos estos se han convertido en el factor detonante de los diferentes fenómenos de remoción en masa, provocando diversas amenazas, lo que contribuye a que se presente determinada limitación en lo que tiene que ver con la gestión del riesgo y el desarrollo de cada una de las zonas afectadas por este tipo de fenómenos.

En los últimos años el nivel de pluviosidad ha ido en aumento lo que ha hecho que las precipitaciones sean mayores, esto relacionado con el fenómeno de la niña que aunque se presenta una vez al año, contribuye al incremento de caudales en ríos y por supuesto el exceso en recargas e infiltraciones que a su vez alimentan el desarrollo de deslizamientos afectación en laderas, taludes y desprendimiento de rocas, que provocan la erosión, socavamiento en las diferentes geoformas.

Con el desarrollo de este proyecto se pretende procesar la información, analizarla y a partir de esto recomendar el diseño e implementación de obras de mitigación teniendo en cuenta la modelación geotécnica, y así darle solución al problema presente en el área de la Vereda de Carichana Municipio de Santa Maria.

		<p style="text-align: center;">MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE FONDO DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL FCA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR -CORPOCHIVOR</p>	 <p style="text-align: center;">EJECUTOR CONVENIO No. 038/2012.</p>
---	--	---	---

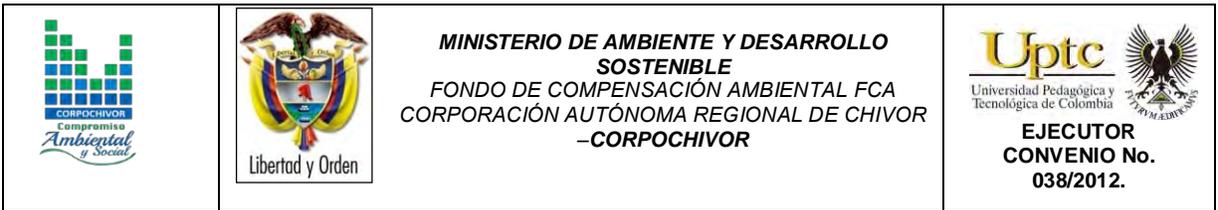
1 GENERALIDADES

1.1 PRESENTACION (JUSTIFICACION Y ALCANCE)

Ante la permanente ocurrencia de Fenómenos de Remoción en Masa y Eventos Torrenciales en diferentes puntos del país, el Gobierno Nacional, emitió la Ley 99 de 1993, referente a los principios ambientales generales, responsabilidades y funciones de las Corporaciones Regionales y su Numeral 23 que contempla entre otros, el realizar actividades de análisis, seguimiento y control de desastres; en coordinación con las demás autoridades competentes y asistenciales, en los aspectos medioambientales, para la Prevención y Atención de Emergencias y Desastres.

En concordancia con la Ley 1523 de 2012, en la cual se adopta la política Nacional de gestión del Riesgo, sus Decretos reglamentarios, el Decreto 919 de 1998, dispone que dentro del Sistema Nacional para la Atención de Emergencias o Desastres; corresponde al Comité Regional de Prevención y Atención de Desastres CREPAD el manejo de la cobertura departamental y al CLOPAD, cuando trata de eventos municipales.

Siendo las amenazas por movimientos en masa, las más representativas en la generación de riesgos y desastres en 25 zonas de interés delimitadas previamente por parte de la Corporación Autónoma Regional de Chivor CORPOCHIVOR, se requiere una integración de los procesos geológicos exógenos (amenazas), por ser los que mayores impactos han tenido sobre las comunidades, evaluando su ocurrencia antes del Fenómeno de La Niña y durante el mismo, a fin de establecer nuevas áreas involucradas, vulnerabilidades y elementos en riesgo.



Se aclara que, la metodología de evaluación de amenazas propuesto, involucra como detonantes, las precipitaciones, la actividad sísmica y antrópica, por lo que igualmente se hará una revisión de aspectos endógenos como la ocurrencia, magnitud y posibles áreas de afectación de los sismos asociados.

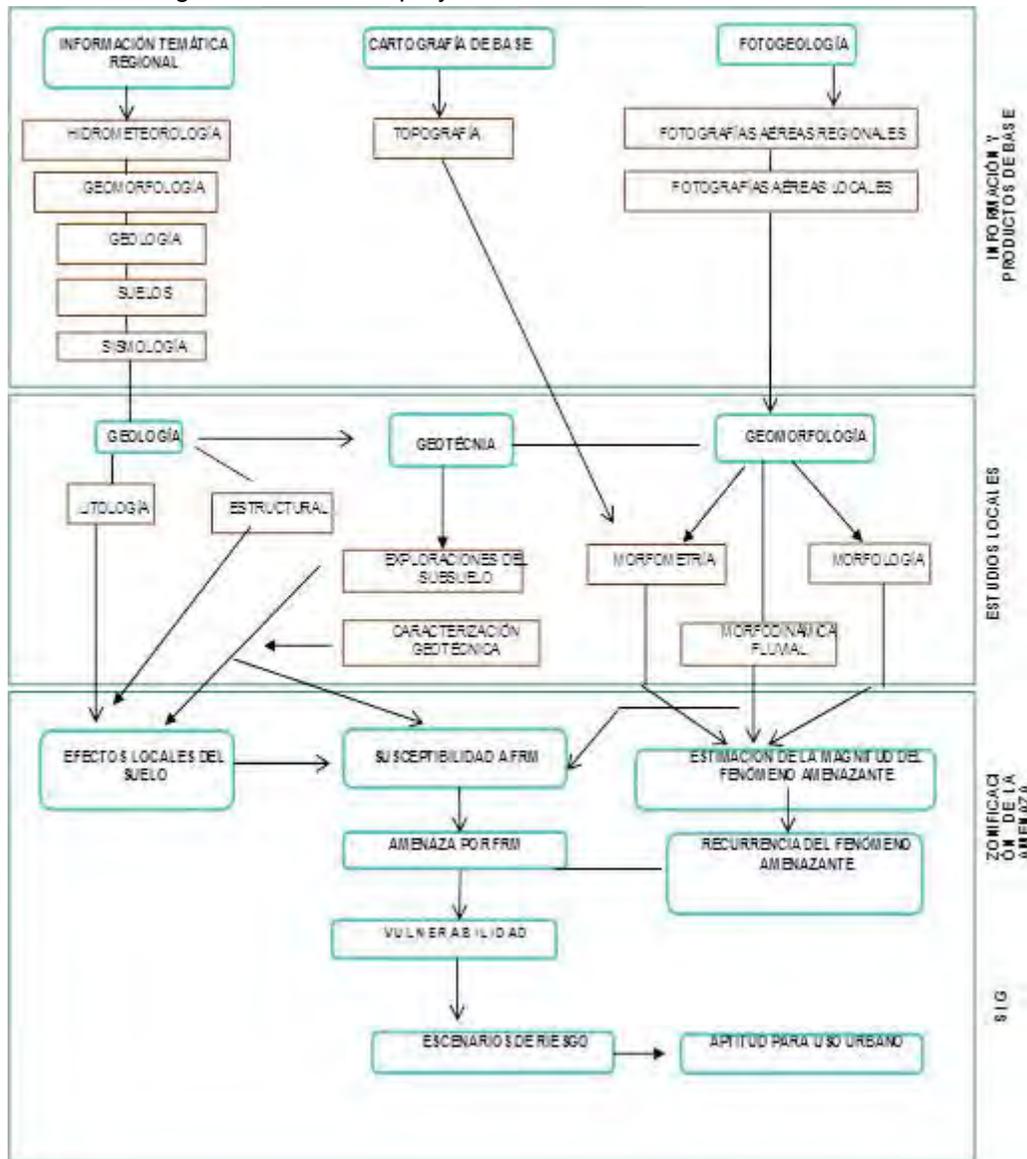
1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.2.1. Objetivo General

Realizar el estudio de riesgo (amenaza y vulnerabilidad) y diseño de obras en la Vereda Carichana, en el Municipio de Santa María, área afectada por Fenómenos de Remoción en Masa (FRM). Municipio de la Jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Chivor CORPOCHIVOR.

1.2.2 Metodología

Figura 1. Metodología realizada en el proyecto.



Fuente: Convenio UPTC-CORPOCHIVOR.

1.3 LOCALIZACIÓN.

Figura 2. Localización geográfica.



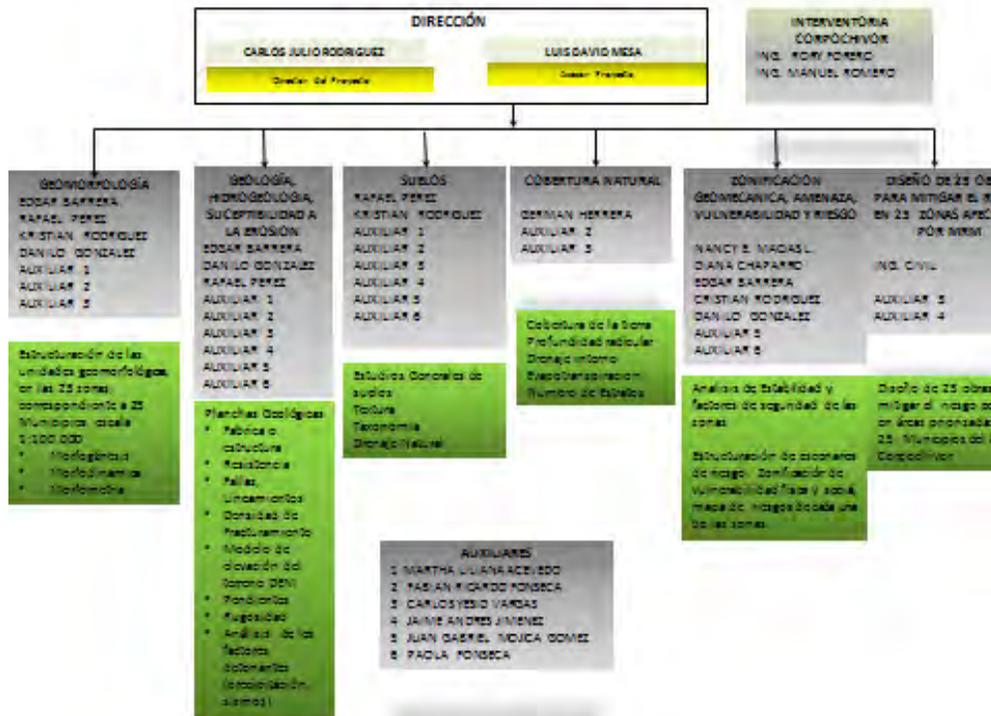
Fuente: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colombia_-_Boyaca_-_Santa_Maria.svg

El área de Estudio se encuentra en las coordenadas N 1,028,563, E 1,091,699, a una altura de 1413 msnm; en la Provincia de Neira, en el Municipio de Santa María, en la vereda Carichana.

1.4 PERSONAL

Para el desarrollo de éste proyecto, la UPTC contó con la dirección del Ingeniero Geólogo Carlos Julio Rodríguez, y los profesionales M.s.c. en Geotecnia, Rafael H. Pérez E y así como por los Ingenieros Geólogos, Luis D. Mesa, Edgar Barrera, Danilo H. Gonzalez, Nancy E. Macías Leguizamón, Kristian Rodríguez, Ingeniero Ambiental German Saavedra, Socióloga Diana Chaparro, El Ingeniero topógrafo Jorge Mesa y para el desarrollo de prospección Geoeléctrica se capacito personal que hace parte del convenio, la universidad contrato los servicios de Supervisión Rory Forero ,Manuel Romero, Catalina Rodríguez, la interventoría Técnica externa contratada por Corpochivor.

Figura 3. Organigrama.



Fuente: Convenio UPTC-CORPOCHIVOR.

1.5 DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES REALIZADAS

En la primera fase de la investigación se hizo el reconocimiento de la zona inestable, estableciendo aspectos geológicos y sectores con similares patrones de desplazamiento, buscando definir la evolución cronológica de la inestabilidad, al igual que su dinámica y una clasificación preliminar de los eventos. Esto sirvió de base para proyectar la exploración del terreno (directa e indirecta) y demás actividades necesarias.

A continuación se relacionan las distintas actividades adelantadas para recopilar toda la información posible y que es la base de los análisis correspondientes.

1.5.1. Trabajo de campo

La exploración del subsuelo y reconocimiento de campo se ejecutó con un procedimiento de exploración directa para conocer las características litológicas y geomecánicas de los materiales removidos con el fin de diseñar los modelos de análisis. Durante la visita de campo al área afectada se llevó a cabo un recorrido con el fin de delimitar el fenómeno de remoción en masa (FRM), a partir de esta recopilación de información definir la zona mediante topografía. De acuerdo con lo observado en relación con la dinámica del movimiento, y los posibles mecanismos de falla, se establecieron los sitios adecuados para realizar la exploración directa del subsuelo, al igual que la realización de Tomografías.

El trabajo de campo consistió en:

Apiques y sondeos geotécnicos. En total, se realizaron 2 apiques geotécnicos y 1 sondeos manuales por SPT (standar penetration test), en los que se tomaron muestras para análisis, cuya profundidad de exploración varió de los 2 a los 10 m (Anexo 3 y figura 2).

Fotografía 1. Exploración directa del subsuelo (SPT)



Fuente: Resultado del estudio.

Levantamiento topográfico: Altimetría y Planimetría de cada uno de los sectores de estudio mediante uso de una estación total. Se incluyó: localización de viviendas, infraestructura visible y en general todo detalle de interés para el estudio delimitación de los deslizamientos.

El trabajo topográfico detallado, se elaboró en escala 1: 1.000.



Levantamiento Geológico y Geotécnico de la zona: Comprende el reconocimiento del lugar, haciendo el levantamiento geológico que permitió conocer la litología, rasgos estructurales, grado de alteración de la roca, depósitos no consolidados y demás detalles de utilidad que sirvieron para crear el modelo geológico local (escala 1: 500). Con el fin de conocer en detalle la naturaleza del subsuelo, y la caracterización de cada uno de los FRM se realizó la exploración del subsuelo mediante la realización de apiques, perforaciones.

Tomografías. En el área del estudio se realizaron dos tomografías, que se ubicaron dentro de zona afectada por el Fenómeno de Remoción en Masa (FRM) y el área periférica; los que permitieron identificar parámetros de resistividad del subsuelo, interpretar la litología, definir algunas características hidrogeológicas y geotécnicas.

Diagnóstico estructural de viviendas. Se realizó un inventario de tres (3) viviendas, calificando la afectación del fenómeno de remoción en masa (FRM), en aspectos estructurales, en donde se resaltó la presencia de fisuras en pisos y paredes (anexo 5). Se averiguó con los habitantes del sector acerca de la manifestación y evolución en el tiempo del fenómeno de remoción en masa (FRM), al igual que su relación con la ocurrencia de lluvias intensas o eventos sísmicos.

1.6. ANÁLISIS DE LABORATORIO.

En los laboratorios de Petrografía y Mecánica de Suelos y Rocas de la UPTC Sede Sogamoso se realizaron los ensayos necesarios para clasificación de suelos a las muestras recogidas en los apiques y sondeos. Los ensayos ejecutados fueron: Caracterización Petrográfica, Límites de Atterberg, granulometría, humedad



natural, peso unitario, compresión inconfiada , Corte Directo, Coeficiente de Permeabilidad Propiedades Físicas, Tilt Test, Carga por punta, Angulo de reposo.

1.6.1. Trabajos de Oficina

Los trabajos de oficina incluyeron las actividades que se relacionan a continuación:

- Recopilación y revisión de información,
- Procesamiento y análisis de resultados,
- Concepción del modelo de secuencia cronológica de los distintos eventos ocurridos,
- Definición del mapa de Amenazas por movimientos en masa,
- Análisis de estabilidad para las zonas homogéneas definidas,
- Planteamiento de obras de control, manejo y recuperación del área afectada.

Las planchas geológicas del IGAC tomadas en cuenta, fueron la 191 y 210, a escala 1:100.000.; los datos de pluviometría del IDEAM de los años de 1972 a 2012, de la estación de Santa María.

1.7. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y SUS POSIBLES CAUSAS

En el área de la jurisdicción de CORPOCHIVOR se registran situaciones de amenaza en sitios que presentan evidencias de condiciones de riesgo inminente, para lo cual la Corporación Autónoma Regional de Chivor - CORPOCHIVOR ha hecho un reconocimiento de sitios críticos de riesgo por fenómenos naturales y antrópicos, para intervención con medidas de mitigación de riesgo. Por tal motivo, se requiere disponer de conceptos técnicos de ingeniería geológica que garanticen la aplicación de criterios necesarios para realizar el diseño de obras de protección,



mitigación y corrección de los efectos de los fenómenos de remoción en masa existentes.

El estudio incluye análisis geológicos y geotécnicos necesarios para realizar el análisis de ingeniería y el diseño detallado de la alternativa seleccionada junto con los cálculos de cantidades de obra, presupuesto y especificaciones técnicas.

1.8 ESTADO DE LA INFORMACIÓN

Mediante la evaluación de estudios suministrados por parte de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad Seccional Sogamoso, Escuela de Ingeniería Geológica, así como por la Corporación Autónoma Regional de Chivor (CORPOCHIVOR) se logró identificar información primaria, de diferentes temáticas necesarias para el desarrollo de análisis y procesamiento básico de parámetros en aras de dar cumplimiento a los objetivos propuestos para el presente estudio.

La información recopilada tuvo en cuenta aspectos tales como:

- Localización del estudio.
- Geología, Geomorfología.
- Hidrología y Climatología.
- Suelos y uso actual del suelo.
- Información Geofísica: sísmica, geoelectrica, sondeos eléctricos verticales, perfiles y registros eléctricos.
- Hidrogeológica: Inventario de puntos de agua, niveles de agua, cartografía hidrogeológica, balance hídrico.



Después de llevar a cabo el análisis de la información base de apoyo se procedió a evaluar y calificar el grado de confiabilidad de la misma, con la finalidad de clasificar, seleccionar y depurar determinada información.

2 ASPECTOS CLIMATICOS E HIDROLOGICOS

Desde el punto de vista biofísico, el clima es importante por su directa intervención en la evolución de los suelos y el paisaje. También por ser uno de los elementos o insumos necesarios para la determinación de las amenazas naturales y desde el punto de vista socioeconómico, por la influencia en la decisión de utilización de las tierras para determinados usos específicos utilizando el territorio.

Según la clasificación de Köppen, el área de estudio presenta un clima de tipo EH: Frío de alta montaña. Al igual que todas las regiones de la Zona Intertropical, el clima está influenciado solamente por la altitud y las corrientes oceánicas que causan leves variaciones de temperatura, las más significativas entre el día y la noche.

Cuenta con dos periodos de baja precipitación (Diciembre a Marzo y Julio a Septiembre) y dos periodos lluviosos (Abril a Junio y Octubre a Noviembre), que varían su intensidad según la influencia de los fenómenos de la Corriente de Humboldt que se presentan cada 2 o 3 años en los países del norte de Sudamérica.

El control climático está afectado principalmente por el factor altitud, común en la región tropical. La altitud a la que se encuentra, hace que se presente piso térmico frío montano bajo. Ocasionalmente corresponde a temperaturas entre los 10 y 15.5°C pero que ocasionalmente, pueden llegar a variar entre 4.5° en horas de la noche y 20.2°C en el medio día.



Se pueden definir dos periodos secos y dos lluviosos con precipitaciones promedio entre 700 y 900 mm anuales.

La presencia de vientos alisios que provienen de la región amazónica con características húmedas, penetran en los meses de Julio y Agosto haciendo que estos meses sean lluviosos.

2.1. ANÁLISIS HIDROLÓGICO

El análisis hidrológico tiene como punto de partida la delimitación de subcuencas de tal manera que se determinen los parámetros morfométricos correspondientes, para posteriormente establecer la relación directa con datos pertenecientes al balance hídrico dentro del contexto mensual multianual. De esta forma es posible establecer aspectos básicos indicativos y preliminares para determinar las áreas de mayor interés respecto a la relación de infiltración y evapotranspiración.

2.2. BALANCE HÍDRICO.

Para estimar las reservas del agua subterránea de los sistemas acuíferos que se extienden subsuperficialmente y en el subsuelo dentro del área de estudio perteneciente al municipio de Santa María y sus alrededores, se debe evaluar la magnitud de la recarga potencial proveniente de la precipitación a través de los suelos teniendo en cuenta espacial y temporalmente la magnitud de la escorrentía, la evapotranspiración y la variaciones de contenido de humedad de los suelos de cada una de las cuencas y/o subcuencas involucradas en el área de estudio. Por tal razón se hace necesaria la estimación de la escorrentía superficial, evapotranspiración y valores de precipitación media mensual multianual en cada



una de las subcuencas, lo que permitirá estimar el Balance Hídrico con el fin de obtener la oferta total de agua subterránea y superficial.

La información obtenida puede ser utilizada para evaluar los recursos hídricos del área de trabajo (calidad, cantidad y distribución en tiempo y espacio), además de la capacidad para el suministro y satisfacción de la demanda; así mismo se pueden proyectar y diseñar proyectos relacionados con el agua, planificar buenas estrategias de gestión del recurso hídrico; de la misma forma es de gran importancia que exista una actualización de las redes de datos en las estaciones en la zona de trabajo que permitan tomar los datos reales del comportamiento de las diferentes variables que se utilizan para la estimación del balance hídrico.

La recarga a un acuífero puede definirse como el agua que alcanza las reservas subterráneas. Este concepto es importante para estudios de recursos hídricos y para determinar el comportamiento de ciertos contaminantes que puedan llegar a presentarse en un momento dado.

2.2.1. Tipos de recarga

La recarga a un acuífero puede darse naturalmente debido a la precipitación, a las aguas superficiales, es decir, a través de ríos y lagos, o por medio de transferencias desde otras unidades hidrogeológicas o acuíferos; pero también puede darse de manera artificial producto de actividades como la irrigación, fugas de redes de abastecimiento o por infiltraciones de embalses y depósitos (Balek, 1988; Custodio, 1997; Simmers, 1990; Lerner, 1990; Samper, 1997).

Lerner propone una clasificación similar pero un poco más completa sobre las fuentes de recarga:

1. Recarga directa o recarga difusa, proveniente del agua lluvia.
2. Recarga concentrada o indirecta, producto de cauces permanentes, estacionales y efímeros.
3. Flujos laterales, procedentes de otros acuíferos
4. Retorno de riegos, excesos de riegos o las pérdidas en los canales de distribución
5. Recarga Urbana, producto de fugas de redes de desabastecimiento y redes de alcantarillado.

Lerner (1990) y luego Simmers (1997) definen la recarga localizada como una categoría intermedia la cual implica un movimiento horizontal del agua antes de que termine el proceso de recarga.

La recarga puede determinarse por varios métodos, y se clasifican en 5 grupos:

Medidas directas: La recarga se mide directamente mediante la construcción de lisímetros. Un lisímetro es un bloque de suelo dotado de dispositivos que permiten medir el flujo que drena hasta el acuífero.

Balance hídrico: Se determinan los flujos de entrada y de salida de un sistema, y la recarga al acuífero constituye el residuo de la ecuación de balance; hacen parte de este grupo los balances de humedad del suelo, de agua en canales, el método de fluctuaciones del nivel freático y el que iguala la descarga a la recarga.

Trazadores: Su principal uso es determinar fuentes de recarga y zonas de descarga aunque se utilizan para cuantificar la recarga a través de un balance de masa del trazador.

Aproximaciones de Darcy: Se encuentran valores de cabezas hidráulicas a partir de las ecuaciones de flujo de Richards y Boussinesq y luego se determina la velocidad de filtración. Si se asumen condiciones estables la recarga se determina directamente de la ecuación de Darcy.

Empíricos: Consiste en el desarrollo de ecuaciones empíricas que relacionan la recarga con alguna variable como la precipitación.

2.3. ESTIMACIÓN DE LA ESCORRENTÍA

La escorrentía superficial se estima con el fin de conocer las variaciones espaciales y temporales de los caudales que drenan por los cauces de las cuencas o subcuencas delimitadas para el área de estudio, y su magnitud está condicionada por la precipitación, las características físicas y estructurales del suelo, además de la influencia de otros factores como son la pendiente, el tipo de uso asociado a éste, la densidad y tipo de cobertura vegetal.

Para tal fin el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de Norteamérica (USSCS) desarrolló un método directo de estimación del escurrimiento que integra la interceptación, infiltración y el almacenamiento en pequeñas depresiones, excepto la evapotranspiración potencial, en una sola abstracción. El método, conocido como Número de Curva, establece que la relación lluvia-escurrimiento es una función del tipo de suelo, uso del suelo y de condiciones hidrológicas (Chow et al., 1964; USDA, 1986).

La estimación del escurrimiento superficial por el método de Número de Curva se realiza con la siguiente ecuación:

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

Dónde:

S= (25400/CN)-254

P= Precipitación

CN= Número de curva (tablas)

Q= Escorrentía

En el método de la Curva Numérica cada tipo o clase de suelo es asignado a un grupo hidrológico. Los grupos hidrológicos se basan fundamentalmente en la capacidad de infiltración, la cual puede relacionarse con la conductividad hidráulica saturada de la superficie del suelo. La información cartográfica de suelos, y los mapas de cobertura vegetal y uso de suelo fueron reclasificadas. La cobertura vegetal y uso del suelo se reclasificó como cobertura/tratamiento y condición hidrológica. La información de suelos se reclasificó con objeto de generar el mapa de grupos hidrológicos de suelo.

La información anteriormente descrita constituye los principales insumos del método de Sistema de Clasificación de Suelos (SCS), para la estimación del número de curva, que representa un coeficiente de escurrimiento para una zona, o una cuenca hidrológica (ver Tabla 1) (Chow et al., 1994; USDA, 1986).

Tabla 1. Tabla general para la determinación de número de curva (CN).

Tipo de vegetación	Tratamiento	Condición Hidrológica	Tipo de suelo			
			A	B	C	D
Barbecho	Desnudo	-	77	86	91	94
	CR	Pobre	76	85	90	93
	CR	Buena	74	83	88	90
Cultivos alineados	R	Pobre	72	81	88	91
	R	Buena	67	78	85	89
	R + CR	Pobre	71	80	87	90
	R + CR	Buena	64	75	82	85
	C	Pobre	70	79	84	88
	C	Buena	65	75	82	86
	C + CR	Pobre	69	78	83	87
	C + CR	Buena	64	74	81	85
	C + T	Pobre	66	74	80	82
	C + T	Buena	62	71	78	81
	C + T + CR	Pobre	65	73	79	81
	C + T + CR	Buena	61	70	77	80
Cultivos no alineados, o con surcos pequeños o mal definidos	R	Pobre	65	76	84	88
	R	Buena	63	75	83	87
	R + CR	Pobre	64	75	83	86
	R + CR	Buena	60	72	80	84
	C	Pobre	63	74	82	85
	C	Buena	61	73	81	84
	C + CR	Pobre	62	73	81	84
	C + CR	Buena	60	72	80	83
	C + T	Pobre	61	72	79	82
	C + T	Buena	59	70	78	81
	C + T + CR	Pobre	60	71	78	81

	C + T + CR	Buena	58	69	77	80
Cultivos densos de leguminosas o prados en alternancia	R	Pobre	66	77	85	89
	R	Buena	58	72	81	85
	C	Pobre	64	75	83	85
	C	Buena	55	69	78	83
	C + T	Pobre	63	73	80	83
	C + T	Buena	51	67	76	80
Pastizales o pastos naturales	-	Pobres	68	79	86	89
	-	Regulares	49	69	79	84
	-	Buenas	39	61	74	80
Pastizales	C	Pobres	47	67	81	88
	C	Regulares	25	59	75	83
	C	Buenas	6	35	70	79
Prados permanentes	-	-	30	58	71	78
Matorral-herbazal, siendo el matorral preponderante	-	Pobres	48	67	77	83
	-	Regulares	35	56	70	77
	-	Buenas	≤30	48	65	73
Combinación de arbolado y herbazal, cultivos agrícolas leñosos	-	Pobres	57	73	82	86
	-	Regulares	43	65	76	82
	-	Buenas	32	58	72	79
Montes con pastos (aprovechamiento silvopastorales)	-	Pobres	45	66	77	83
	-	Regulares	36	60	73	79
	-	Buenas	25	55	70	77
Bosques	-	I Muy pobre	56	75	86	91
	-	II Pobre	46	68	78	84
	-	III Regular	36	60	70	76
	-	IV Buena	26	52	63	69
	-	V Muy buena	15	44	54	61
Caseríos	-	-	59	74	82	86
Caminos en tierra	-	-	72	82	87	89
Caminos con firme	-	-	74	84	90	92

Fuente: Chow et al., 1994; USDA, 1986

Dónde:

CR= Con cubierta de residuos vegetales que ocupe al menos el 5% de la superficie del suelo durante todo el año.

R= Si las labores de la tierra (labrar, gradear, sembrar, etc.) se realizan en línea recta, sin considerar la pendiente del terreno.

C= Si el cultivo se realiza siguiendo las curvas de nivel.

T= Si se trata de terrenos aterrazados (terrazas abiertas con desagüe para la conservación de suelos).

Tabla 2. Escorrentía Estación Santa María, suelo tipo CL

P	R	S CL (C)	CN
332,0833333	255,6944167	75,8701299	77
287,4166667	212,9081771		
302	226,8266422		
364,3333333	286,8324197		
398,6666667	320,1535146		
264,6666667	191,3143832		
310,1666667	234,6438224		
279,75	205,6138849		
287,6666667	213,1463104		
283,25	208,9418285		
323,5	247,4384964		
353,25	276,1117042		
318,75	242,8760529		
210,35	140,5431043		
192,925	124,577207		
313,3833333	237,727023		
288,7666667	214,1942986		
301,3583333	226,2131032		
318,1083333	242,2600835		

Fuente: Resultado del estudio

Tabla 3. Escorrentía Estación Santa María, suelo tipo CL

327,1166667	250,9154377
287,9833333	213,4479704
379,5333333	301,5648061
296,8416667	221,8972829
273,525	199,7038039
376,1583333	298,2908243
338,7166667	262,08436
378,075	300,1499319
311,8416667	236,2490356
349,3416667	272,3359166
292,3666667	217,6263443
307,425	232,0177543
303,3166667	228,0859027
395,45	317,0252145
349,45	272,4405419
300,8333333	225,7111911
323,7583333	247,6867621
319,3083333	243,4120969
251,4083333	178,8076083
268,7166667	195,1468686
274,1583333	200,3045622
355,775	278,5523952

Fuente: Resultado del estudio

2.4. ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN.

El conocimiento de la variación espacial y temporal de la precipitación y su magnitud se realiza con el fin de evaluar las observaciones cuando se toman muestras de un evento de precipitación o de una serie de eventos. La evaluación de la muestra observada incluye el examen de influencias externas, como pueden ser las que puedan tener los instrumentos de medición, y también se debe tener

en cuenta la interpretación de los efectos del medio ambiente físico, como la fisiografía.

Con el fin de conocer el comportamiento de este parámetro hidroclimatológico se utilizaron los datos de 1 estación climatológica (Tabla 4) las cuales se encuentran ubicadas dentro y en áreas colindantes del área de estudio del presente convenio. Con el propósito de obtener el valor (mm) de precipitación media mensual multianual de la zona de estudio se utilizaron los datos mensuales de las estaciones seleccionadas para un periodo de 40 años (1972-2012), estos se utilizaron junto con los datos promedio mensuales multianuales de escorrentía y evapotranspiración para estimar el balance hídrico de las subcuencas del área de estudio.

Tabla 4. Estación pluviométrica utilizada en la estimación de la precipitación para el área de estudio.

CODIGO	NOMBRE ESTACION	CORRIENTE	NOMBRE DEPARTAMENTO	NOMBRE MUNICIPIO
3507018	SANTA MARIA	RIO BATA	BOYACA	SANTA MARIA

Fuente: Resultado del estudio

En la Tabla 5 y 6 se presentan los valores de precipitación medios mensuales multianuales (mm) para cada una de las estaciones delimitadas dentro del área de estudio, información que se utilizó para la estimación de la recarga de agua para la Formación Lutitas de Macanal (Kilm) que se delimito y que hace parte del área del presente convenio.

Tabla 5. Precipitación media multianual mensual por estación.

NOMBRE ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
SANTA MARIA	134,0	42,0	201,0	450,0	680,0	530,0	593,0	444,0	411,0	299,0	135,0	66,0	332,0833333
SANTA MARIA	35,0	0,0	192,0	294,0	449,0	510,0	329,0	500,0	303,0	450,0	187,0	200,0	287,4166667
SANTA MARIA	25,0	116,0	79,0	319,0	570,0	474,0	635,0	458,0	348,0	324,0	256,0	20,0	302
SANTA MARIA	65,0	6,0	262,0	241,0	429,0	769,0	563,0	648,0	446,0	462,0	297,0	184,0	364,3333333
SANTA MARIA	78,0	76,0	238,0	615,0	729,0	672,0	720,0	554,0	329,0	320,0	351,0	102,0	398,6666667
SANTA MARIA	0,0	54,0	168,0	198,0	422,0	541,0	606,0	335,0	292,0	319,0	198,0	43,0	264,6666667
SANTA MARIA	91,0	9,0	219,0	539,0	508,0	513,0	512,0	396,0	353,0	303,0	179,0	100,0	310,1666667
SANTA MARIA	44,0	0,0	112,0	389,0	387,0	387,0	487,0	517,0	266,0	235,0	317,0	216,0	279,75
SANTA MARIA	42,0	6,0	263,0	271,0	445,0	561,0	393,0	373,0	353,0	425,0	253,0	67,0	287,6666667
SANTA MARIA	10,0	307,0	110,0	345,0	351,0	506,0	370,0	225,0	384,0	354,0	283,0	154,0	283,25
SANTA MARIA	143,0	91,0	196,0	497,0	451,0	449,0	458,0	648,0	407,0	297,0	223,0	22,0	323,5
SANTA MARIA	57,0	315,0	283,0	475,0	317,0	539,0	612,0	462,0	340,0	435,0	273,0	131,0	353,25
SANTA MARIA	85,0	266,0	102,0	240,0	336,0	747,0	498,0	728,0	358,0	211,0	186,0	68,0	318,75
SANTA MARIA	1,3	10,4	49,2	154,7	47,6	588,2	502,0	447,1	275,9	245,5	175,7	26,6	210,35
SANTA MARIA	173,3	17,0	15,1	42,3	43,6	494,0	121,7	327,0	344,3	386,0	177,5	173,3	192,925
SANTA MARIA	52,5	333,4	188,0	402,3	436,3	451,8	546,0	391,3	364,8	284,6	123,1	186,5	313,3833333
SANTA MARIA	9,1	53,4	76,1	461,2	511,3	455,6	582,9	317,5	284,7	312,0	239,6	161,7	288,7666667
SANTA MARIA	72,5	79,0	129,7	210,7	656,9	361,9	609,3	373,4	384,7	338,0	323,9	76,3	301,3583333
SANTA MARIA	155,1	97,9	498,6	301,9	563,2	528,3	409,2	368,6	239,7	301,3	180,9	172,5	318,1083333

Fuente: Resultado del estudio.

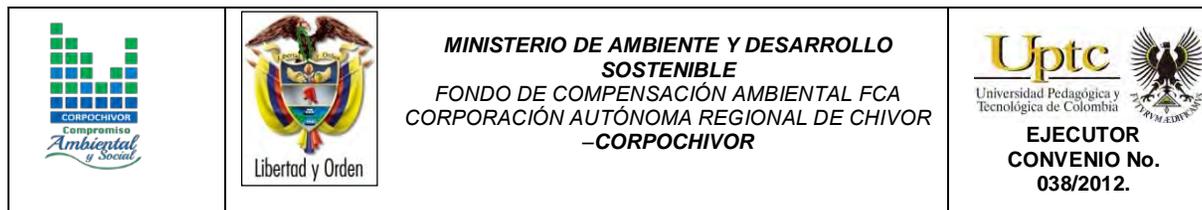


Tabla 6. Precipitación media multianual mensual por estación.

SANTA MARIA	9,4	72,5	110,4	331,5	572,5	503,5	726,0	554,9	397,7	339,8	226,9	80,2	327,1166667
SANTA MARIA	107,9	51,4	85,2	480,3	309,8	423,4	627,0	462,6	338,7	254,3	217,3	97,9	287,9833333
SANTA MARIA	149,8	30,6	362,1	707,1	412,3	565,9	535,3	401,1	461,2	386,9	390,5	151,6	379,5333333
SANTA MARIA	61,5	119,5	394,2	211,5	586,5	449,2	533,0	505,3	157,3	318,4	154,5	71,2	296,8416667
SANTA MARIA	116,4	7,7	101,5	433,8	465,9	636,7	303,7	438,6	317,6	198,6	162,9	98,9	273,525
SANTA MARIA	14,8	294,1	122,3	433,5	474,1	466,4	625,9	396,8	643,0	543,3	297,5	202,2	376,1583333
SANTA MARIA	24,7	194,6	46,0	330,5	861,9	603,5	797,1	408,3	265,3	260,1	213,5	59,1	338,7166667
SANTA MARIA	62,8	167,7	223,6	554,6	678,0	713,6	788,1	368,0	224,4	451,7	134,0	170,4	378,075
SANTA MARIA	67,2	240,7	191,3	562,4	327,3	582,4	392,1	250,5	348,4	503,4	169,4	107,0	311,8416667
SANTA MARIA	31,1	157,2	186,5	326,9	585,6	512,1	612,4	573,1	350,3	415,6	278,5	162,8	349,3416667
SANTA MARIA	5,3	28,8	170,2	397,1	557,5	484,8	378,7	390,7	508,1	149,6	256,8	180,8	292,3666667
SANTA MARIA	14,8	22,9	211,8	318,8	640,6	433,5	549,7	547,9	330,6	342,9	160,7	114,9	307,425
SANTA MARIA	5,7	58,8	216,5	363,8	557,8	479,4	513,3	398,7	407,8	208,5	328,4	101,1	303,3166667
SANTA MARIA	22,7	63,0	297,2	337,7	955,6	785,5	696,1	483,6	450,3	339,3	218,7	95,7	395,45
SANTA MARIA	78,5	137,7	216,4	447,3	743,3	509,4	466,3	379,8	482,7	388,1	273,0	70,9	349,45
SANTA MARIA	193,6	42,7	233,8	496,3	439,9	703,3	391,4	295,7	198,4	320,8	232,3	61,8	300,8333333
SANTA MARIA	32,8	44,6	247,5	503,2	693,1	585,6	236,8	473,2	396,9	229,1	366,4	75,9	323,7583333
SANTA MARIA	75,4	33,3	48,2	174,9	549,9	752,3	563,2	521,5	434,2	306,1	283,7	89,0	319,3083333
SANTA MARIA	50,3	51,1	147,4	240,5	346,6	597,4	305,8	382,1	244,2	313,1	253,6	84,8	251,4083333
SANTA MARIA	0	70,2	277,6	380,8	524,2	473,7	370,3	267,5	205,9	250,2	219,2	185,0	268,7166667
SANTA MARIA	31,6	45,8	165,5	321,6	532,2	380,5	277,8	390,5	398,5	331,4	277,5	137,0	274,1583333
SANTA MARIA	45,5	107,8	404,9	518,7	658,9	460,6	520,4	514,1	234,1	290,5	223,2	290,6	355,775

Fuente: Resultado del estudio

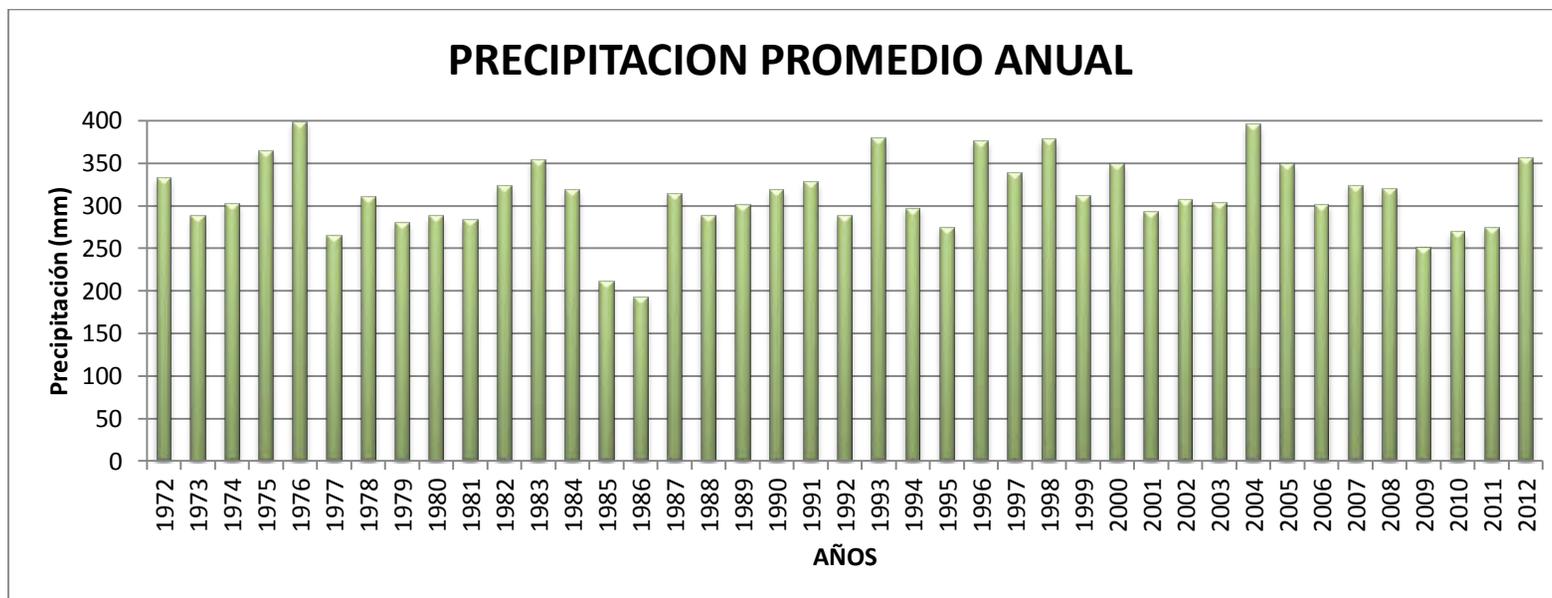
La precipitación media del área de estudio presenta un comportamiento bimodal, que muestra dos periodos de precipitación alta comprendidos en los meses Mayo-Junio y Julio-Agosto (Figura 4) y dos periodos de sequía comprendidos en los meses Noviembre – Diciembre, Enero- Febrero.

Figura 4. Gráfico de precipitación media multianual mensual.



Fuente: Resultado del estudio.

Figura 5. Gráfico de precipitación media multianual.

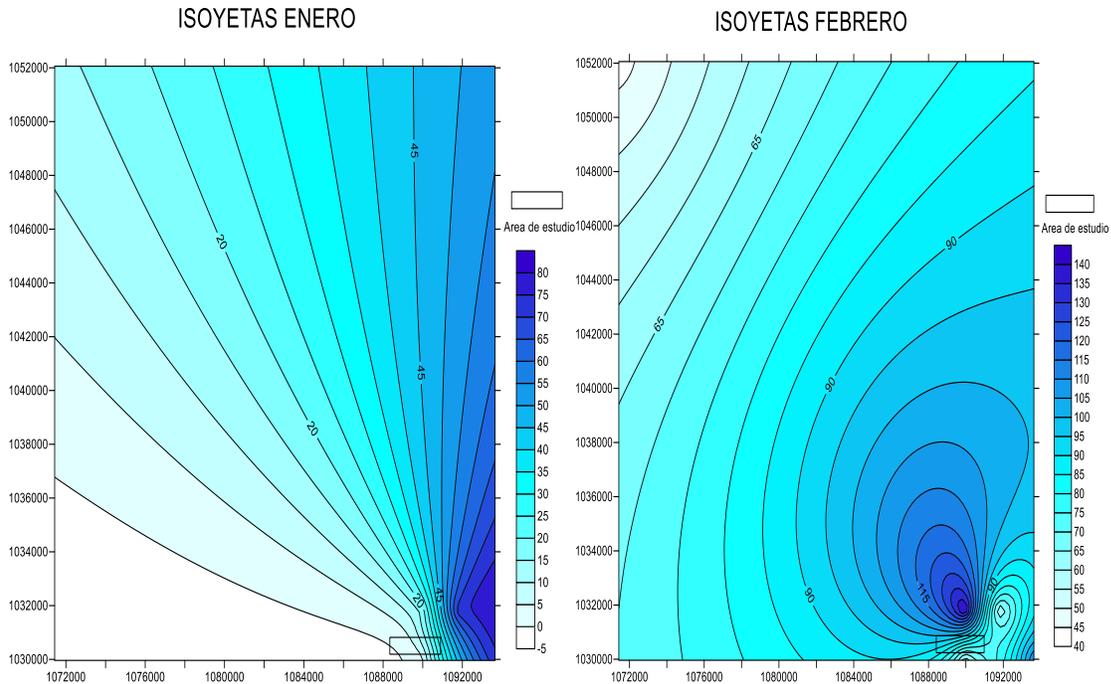


Fuente: Resultado del estudio

El comportamiento de la precipitación promedio anual, para los años 1985, 1986, 1995, 2009, 2010, 2011 (Figura 5) se encuentran valores que varían entre los 150 - 270 mm, en los años 1973 -1974 -1978 – 1990 – 1997 – 2000 – 2005 - 2012 se encuentran valores que varían entre los 250 - 360 mm y los años restantes se presentan valores que varían entre 360 - 400 mm.

2.4.1. Mapas de Isoyetas generados a partir de los datos de Precipitación.

Figura 6. Isoyetas mes de Enero y Febrero

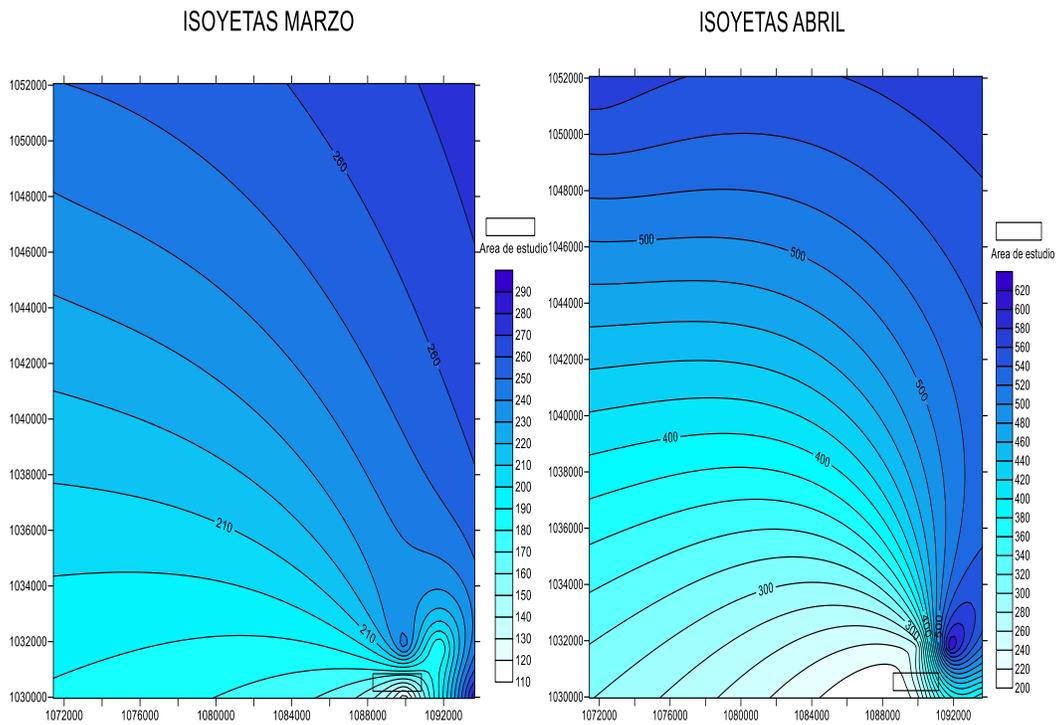


Fuente: Resultado del estudio.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Enero correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 10 y 20 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Febrero correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 85 y 100 mm.

Figura 7. Isoyetas mes de Marzo y Abril

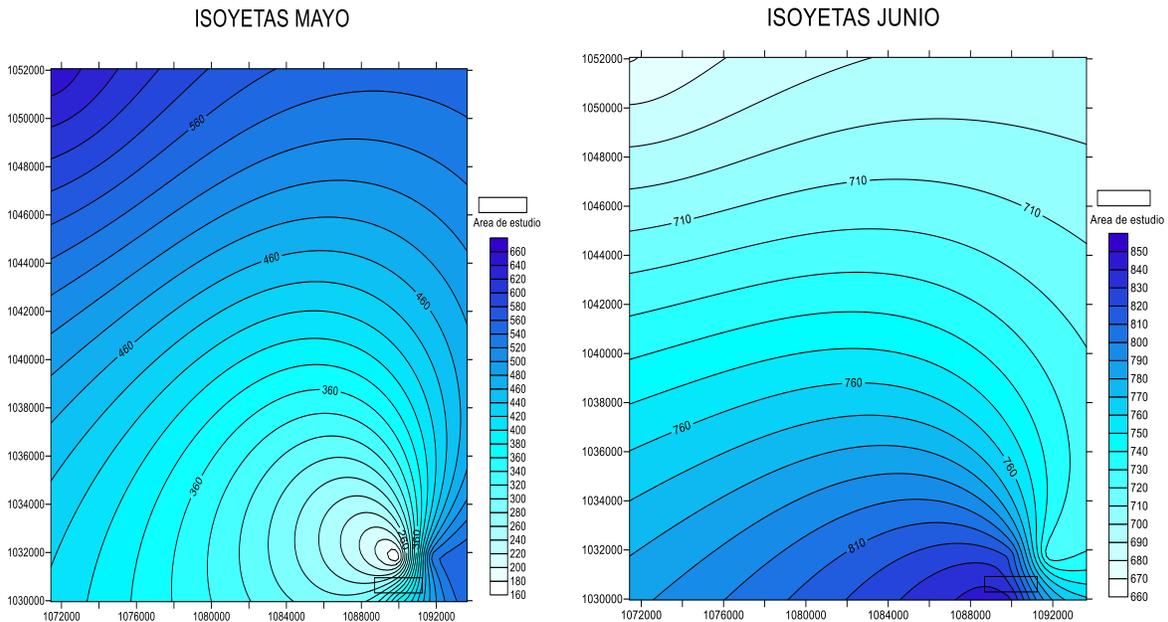


Fuente: Resultado del estudio.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Marzo correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 170 y 200 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Abril correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 220 y 280 mm.

Figura 8. Isoyetas mes de Mayo y Junio

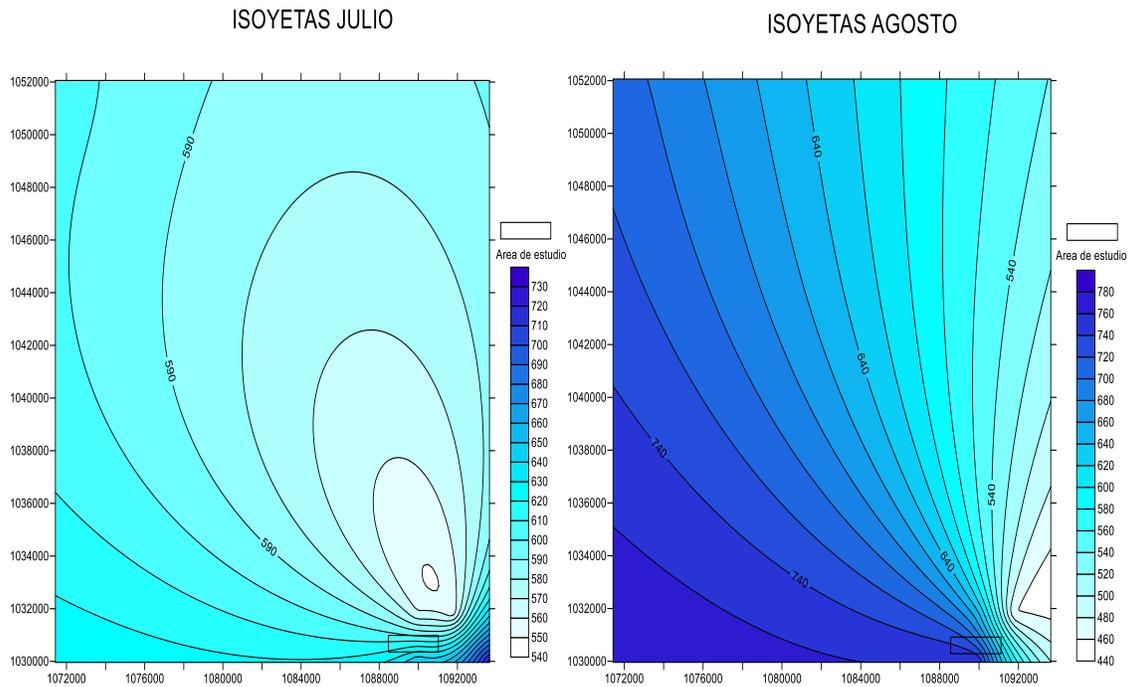


Fuente: Resultado del estudio

El comportamiento de la precipitación para el mes de Mayo correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 220 y 280 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Junio correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 760 y 800 mm.

Figura 9. Isoyetas mes de Julio y Agosto

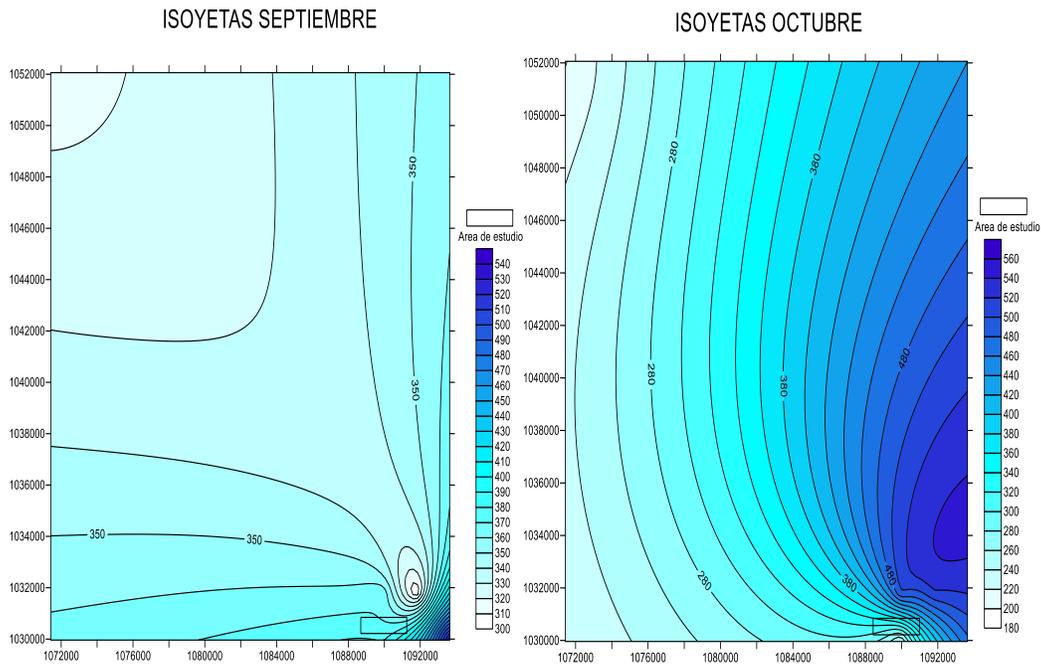


Fuente: Resultado del estudio.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Julio correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 590 y 610mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Agosto correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 620 y 700 mm.

Figura 10. Isoyetas mes de Septiembre y Octubre

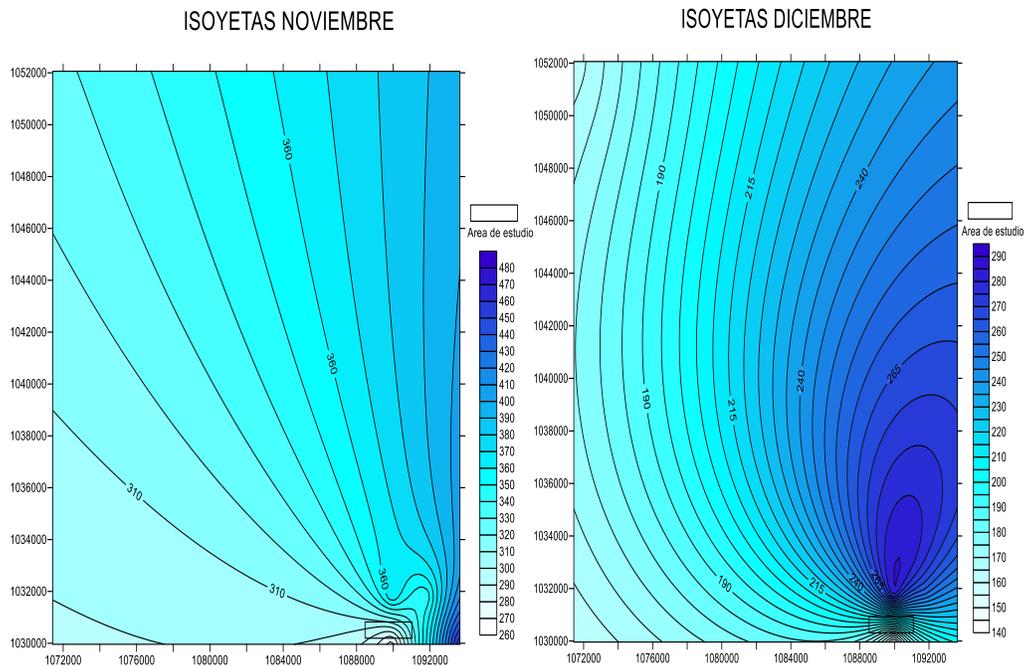


Fuente: Resultado del estudio.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Septiembre correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 370 y 410 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Octubre correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 300 y 360 mm.

Figura 11. Isoyetas mes de Noviembre y Diciembre



Fuente: Resultado del estudio.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Noviembre correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 280 y 310 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Diciembre correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 170 y 210 mm.

2.4.2. ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP)

2.4.2.1. Formula de J. B. García y J.D. López.

Esta fórmula, de acuerdo a los resultados obtenidos en campo es aconsejable tenerla en cuenta para este tipo de estudios. Además ha sido evaluada, junto con la de L. Turc, como de las mejores para el cálculo de ETP en esta zona, según estudio comparativo de fórmulas de ETP potencial realizado por la CAR, en el que se evaluó el índice estacional, el coeficiente de correlación y su relación porcentual.

$$ETP = 1,21 \cdot 10^n \cdot (1 - 0,01 \cdot HR) + 0,21 \cdot T - 2,30 \text{ (mm)}$$

Dónde:

ETP: Evapotranspiración

T: Temperatura media del aire en grados Celsius

HR: Humedad relativa media (%)

$$n = \frac{7,45 \cdot T}{234,7 + T}$$

$$HR = \frac{HR : 8 \text{ Horas} + HR : 14 \text{ Horas}}{2}$$

Esta fórmula fue diseñada para las regiones situadas en un régimen tropical, dentro del rango latitudinal: 15°N -15°S. Con grado de exactitud del 88 %. Los cálculos efectuados en la aplicación de la formula se hicieron en un rango mensual con el objeto de observar su variación y evaluar la ETP promedio.

Se tomaron cuatro rangos de temperatura que varían de acuerdo a los periodos de precipitaciones, durante cada año.

Tabla 7. Rangos de temperatura Almeida.

	Temperatura (°C)
Periodo 1	23.2
Periodo 2	26.2
Periodo 3	28.6

Fuente: Resultado del estudio

El valor de la humedad relativa (HR) se toma del POT del municipio de Santa María, que corresponde al valor del 84 %. De donde obtenemos:

Tabla 8. Valores de Evapotranspiración

ETP1	ETP2	ETP3
8,18641	9,920355	11,43905

Fuente: Resultado del estudio

2.4.3. Estimación del Balance Hídrico

La estimación del balance hídrico para la zona de estudio se realizó partiendo de los resultados del cálculo de precipitación, escorrentía y evapotranspiración media mensual multianual. Para poder calcular los valores de recarga potencial para las cuencas del río Bata, esta recarga se estimó por medio del balance hídrico con base en los valores promedios mensuales de precipitación, evapotranspiración potencial y escorrentía calculada por el método de número de curva de



escorrentía, el cual utiliza los parámetros de cobertura vegetal, Índice de infiltración del suelo, condición hidrogeológica.

- Herramientas y métodos.
- Los datos de infiltración obtenidos mediante la ponderación de los datos proporcionados por el IDEAM.
- Datos de precipitación obtenidos de las estaciones pluviométricas y de evaporación del IDEAM.

2.4.4. Metodología

La metodología utilizada para el cálculo de la recarga.

- Se realiza un procesamiento de los datos de las estaciones pluviométricas del IDEAM, generando tablas de precipitación media y mensual con el comportamiento multitemporal de las precipitaciones.
- Generación de tablas de evapotranspiración media con el comportamiento multitemporal de la evapotranspiración, a partir de los datos de temperatura del IDEAM, aplicando la Formula de J. B. García y J.D. López. para el cálculo de la evapotranspiración.
- Se calcula el número de curva para cada categoría con características iguales de cobertura, velocidad de infiltración, condición hidrológica y uso del suelo.

- Con la ecuación propuesta por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de Norteamérica se calcula la escorrentía para cada categoría y microcuenca, que utiliza el número de curva de escorrentía y la precipitación media mensual como variables.
- Se realiza un balance hídrico, con los datos de precipitación, escorrentía, evapotranspiración para encontrar la cantidad de recarga, siguiendo las normas del IDEAM.

Cálculo del balance hídrico.

El método consiste en hacer un balance para un periodo de tiempo determinado. El balance se puede expresar de la siguiente forma:

$$P = ESC + ETR +/- \Delta S + REC$$

P= precipitación

ESC = escorrentía

ETR= evapotranspiración

ΔS = cambios en el contenido de humedad del suelo

REC= recarga o infiltración potencial

Calculo de la infiltración, consiste en calcular la infiltración a partir de la diferencia de los factores hidrológicos del balance: precipitación, evapotranspiración y escorrentía, aplicando la siguiente formula:

$$I = P - ETR - R$$

Dónde:

P = precipitación media por el método de las isoyetas.

ETR = evapotranspiración real.

R = escorrentía calculada por el método de numero de curva.

Tabla 9. Calculo de Infiltración, basado en los valores de escorrentía (R) y precipitación (P). Estación Santa María.

AÑO	P	R	I	ETP
1972	332,0833333	255,6944167	68,20250657	8,18641
1973	287,4166667	212,9081771	66,32207948	8,18641
1974	302	226,8266422	66,98694776	8,18641
1975	364,3333333	286,8324197	69,31450359	8,18641
1976	398,6666667	320,1535146	70,32674201	8,18641
1977	264,6666667	191,3143832	65,16587342	8,18641
1978	310,1666667	234,6438224	67,33643422	8,18641
1979	279,75	205,6138849	65,949705	8,18641
1980	287,6666667	213,1463104	66,33394618	8,18641
1981	283,25	208,9418285	66,12176144	8,18641
1982	323,5	247,4384964	67,87509356	8,18641
1983	353,25	276,1117042	68,95188568	8,18641
1984	318,75	242,8760529	67,68753702	8,18641
1985	210,35	140,5431043	59,8865409	9,920355
1986	192,925	124,577207	58,42743812	9,920355
1987	313,3833333	237,727023	65,73595544	9,920355
1988	288,7666667	214,1942986	64,65201318	9,920355
1989	301,3583333	226,2131032	65,22487527	9,920355
1990	318,1083333	242,2600835	65,92789503	9,920355
1991	327,1166667	250,9154377	66,28087409	9,920355
1992	287,9833333	213,4479704	64,61500813	9,920355

Fuente: Resultado del estudio.

Tabla 10. Calculo de Infiltración, basado en los valores de escorrentía (R) y precipitación (P). Estación Santa María.

1993	379,5333333	301,5648061	68,04817243	9,920355
1994	296,8416667	221,8972829	65,02402894	9,920355
1995	273,525	199,7038039	63,90084129	9,920355
1996	376,1583333	298,2908243	67,94715423	9,920355
1997	338,7166667	262,08436	65,19325513	9,920355
1998	378,075	300,1499319	66,48601657	9,920355
1999	311,8416667	236,2490356	64,15357949	11,43905
2000	349,3416667	272,3359166	65,56669853	11,43905
2001	292,3666667	217,6263443	63,30127086	11,43905
2002	307,425	232,0177543	63,96819421	11,43905
2003	303,3166667	228,0859027	63,79171238	11,43905
2004	395,45	317,0252145	66,98573398	11,43905
2005	349,45	272,4405419	65,57040654	11,43905
2006	300,8333333	225,7111911	63,68309073	11,43905
2007	323,7583333	247,6867621	64,63251965	11,43905
2008	319,3083333	243,4120969	64,45718485	11,43905
2009	251,4083333	178,8076083	61,16167345	11,43905
2010	268,7166667	195,1468686	62,13074653	11,43905
2011	274,1583333	200,3045622	62,41471957	11,43905
2012	355,775	278,5523952	65,78355329	11,43905

Fuente: Resultado del estudio.

2.4.5. Resultados obtenidos.

Los valores obtenidos dentro del balance hídrico se encuentran resumidos en la Figura 12 y expresados esquemáticamente en la Tabla 11.

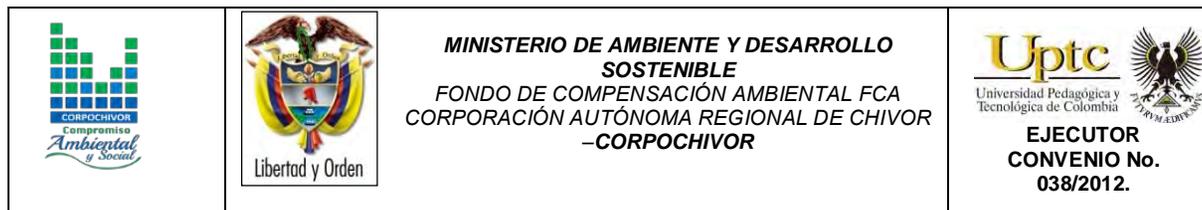


Tabla 11. Estimación del Balance Hídrico

AÑO	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983
PRECIPITACION PROMEDIO	332,0833333	287,4166667	302	364,3333333	398,6666667	264,6666667	310,1666667	279,75	287,6666667	283,25	323,5	353,25
ESCORRENTIA	255,6944167	212,9081771	226,8266422	286,8324197	320,1535146	191,3143832	234,6438224	205,6138849	213,1463104	208,9418285	247,4384964	276,1117042
EVAPOTRANSPIRACION	8,18641	8,18641	8,18641	8,18641	8,18641	8,18641	8,18641	8,18641	8,18641	8,18641	8,18641	8,18641
DELTA	68,2025066	66,3220796	66,9869478	69,3145036	70,3267421	65,1658735	67,3364343	65,9497051	66,3339463	66,1217615	67,8750936	68,9518858
ALMACENAMIENTO	68,2025066	66,3220796	66,9869478	69,3145036	70,3267421	65,1658735	67,3364343	65,9497051	66,3339463	66,1217615		
DEFICIT											67,8750936	68,9518858
RECARGA	68,2025066	66,3220796	66,9869478	69,3145036	70,3267421	65,1658735	67,3364343	65,9497051	66,3339463	66,1217615	67,8750936	68,9518858

AÑO	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
PRECIPITACION PROMEDIO	318,75	210,35	192,925	313,3833333	288,7666667	301,3583333	318,1083333	327,1166667	287,9833333	379,5333333	296,8416667	273,525
ESCORRENTIA	242,8760529	140,5431043	124,577207	237,727023	214,1942986	226,2131032	242,2600835	250,9154377	213,4479704	301,5648061	221,8972829	199,7038039
EVAPOTRANSPIRACION	8,18641	9,920355	9,920355	9,920355	9,920355	9,920355	9,920355	9,920355	9,920355	9,920355	9,920355	9,920355
DELTA	67,6875371	59,8865407	58,427438	65,7359553	64,6520131	65,2248751	65,9278948	66,280874	64,6150079	68,0481722	65,0240288	63,9008411
ALMACENAMIENTO												
DEFICIT	67,6875371	59,8865407	58,427438	65,7359553	64,6520131	65,2248751	65,9278948	66,280874	64,6150079	68,0481722	65,0240288	63,9008411
RECARGA	67,6875371	59,8865407	58,427438	65,7359553	64,6520131	65,2248751	65,9278948	66,280874	64,6150079	68,0481722	65,0240288	63,9008411

AÑO	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
PRECIPITACION PROMEDIO	376,1583333	338,7166667	378,075	311,8416667	349,3416667	292,3666667	307,425	303,3166667	395,45	349,45	300,8333333	323,7583333
ESCORRENTIA	298,2908243	262,08436	300,1499319	236,2490356	272,3359166	217,6263443	232,0177543	228,0859027	317,0252145	272,4405419	225,7111911	247,6867621
EVAPOTRANSPIRACION	9,920355	9,920355	11,43905	11,43905	11,43905	11,43905	11,43905	11,43905	11,43905	11,43905	11,43905	11,43905
DELTA	67,947154	66,7119517	66,4860181	64,1535811	65,5667001	63,3012724	63,9681957	63,791714	66,9857355	65,5704081	63,6830922	64,6325212
ALMACENAMIENTO												
DEFICIT	67,947154	66,7119517	66,4860181	64,1535811	65,5667001	63,3012724	63,9681957	63,791714	66,9857355	65,5704081	63,6830922	64,6325212
RECARGA	67,947154	66,7119517	66,4860181	64,1535811	65,5667001	63,3012724	63,9681957	63,791714	66,9857355	65,5704081	63,6830922	64,6325212

ELABORACIÓN DE ESTUDIO DE RIESGO (AMENAZA Y VULNERABILIDAD) Y DISEÑO DE OBRAS DE ESTABILIZACION EN LA VEREDA CARICHANA, MUNICIPIO DE SANTA MARIA JURISDICCIÓN DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR (CORPOCHIVOR).

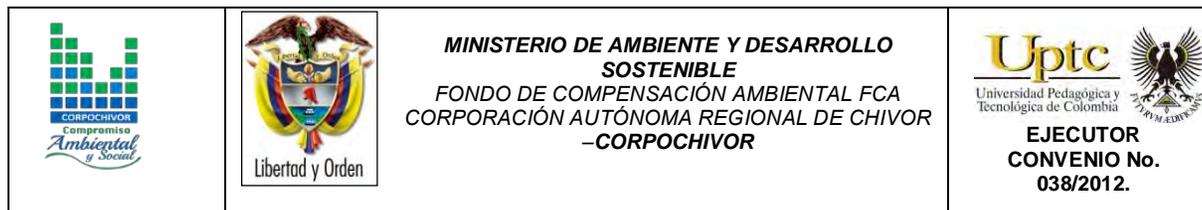
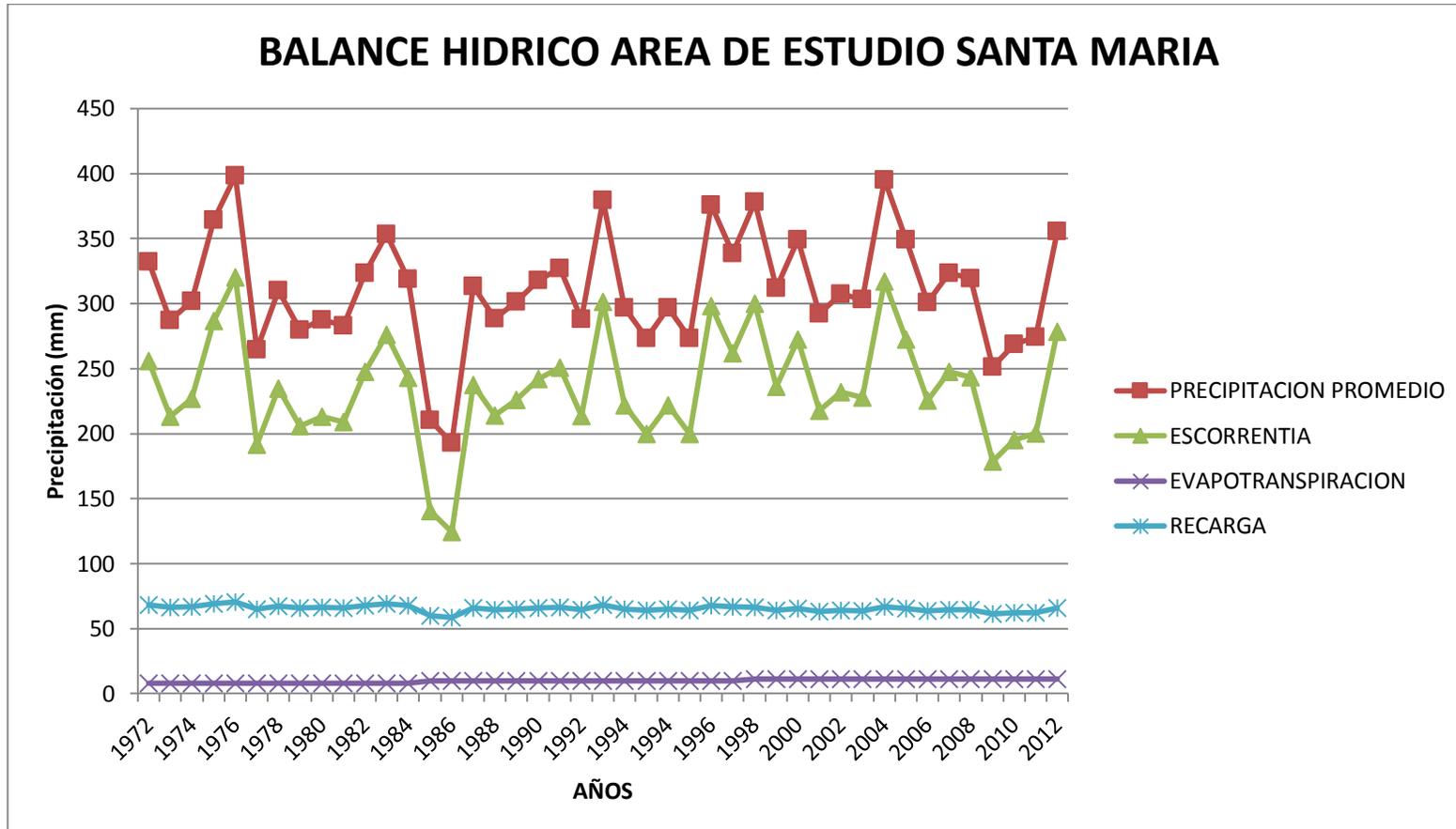


Tabla 12. Estimación del Balance Hídrico

AÑO	2008	2009	2010	2011	2012
PRECIPITACION PROMEDIO	319,3083333	251,4083333	268,7166667	274,1583333	355,775
ESCORRENTIA	243,4120969	178,8076083	195,1468686	200,3045622	278,5523952
EVAPOTRANSPIRACION	11,43905	11,43905	11,43905	11,43905	11,43905
DELTA	64,4571864	61,161675	62,1307481	62,4147211	65,7835548
ALMACENAMIENTO					
DEFICIT	64,4571864	61,161675	62,1307481	62,4147211	65,7835548
RECARGA	64,4571864	61,161675	62,1307481	62,4147211	65,7835548

Fuente: Resultado del estudio.

Figura 12. Comportamiento de las Curvas del Balance Hídrico.



Fuente: Resultado del estudio.

2.5. CALCULO DE CAUDAL DE DISEÑO A PARTIR DE LAS CURVAS IDF

2.5.1. Resultados

Ajuste de una serie de datos a la distribución Gumbel

Serie de datos X:

N°	X
1	557,0
2	640,0
3	557,0
4	955,0
5	743,0
6	703,0
7	693,0
8	752,0
9	597,0
10	524,0
11	532,0

Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov:

m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom Lineal	Delta
1	524,0	0,0833	0,1151	0,1284	0,0317
2	532,0	0,1667	0,1358	0,1494	0,0309
3	557,0	0,2500	0,2109	0,2239	0,0391
4	557,0	0,3333	0,2109	0,2239	0,1225
5	597,0	0,4167	0,3517	0,3605	0,0650
6	640,0	0,5000	0,5062	0,5087	0,0062
7	693,0	0,5833	0,6692	0,6657	0,0859
8	703,0	0,6667	0,6952	0,6909	0,0285
9	743,0	0,7500	0,7834	0,7772	0,0334
10	752,0	0,8333	0,8000	0,7936	0,0333
11	955,0	0,9167	0,9709	0,9674	0,0542

Ajuste con momentos ordinarios:

Como el delta teórico 0,1225, es menor que el delta tabular 0,4101. Los datos se ajustan a la distribución Gumbel, con un nivel de significación del 5%

Parámetros de la distribución Gumbel:

Con momentos ordinarios:

Parámetro de posición (μ)= 601,417

Parámetro de escala (alfa)= 100,3899

Con momentos lineales:

Parámetro de posición (μ_l)= 599,088

Parámetro de escala (alfal)= 104,4249

Caudal de diseño:

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 2 años, es 638,21

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 5 años, es 752,00

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 10 años, es 827,33

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 25 años, es 922,52

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 50 años, es 993,13

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 75 años, es 1034,18

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 100 años, es 1063,23

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 500 años, es 1225,20

		<p style="text-align: center;">MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE FONDO DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL FCA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR –CORPOCHIVOR</p>	 <p style="text-align: center;">EJECUTOR CONVENIO No. 038/2012.</p>
---	---	---	---

2.6. MORFOMETRÍA DE LA CUENCA

Los parámetros morfométricos de una cuenca permiten establecer las características geométricas de la misma, la cual determina en alto grado la susceptibilidad que ésta tiene para presentar, en sucesos eventuales o con el transcurso del tiempo, inundaciones y Avenidas Torrenciales; por ejemplo: una microcuenca alargada muestra una amenaza baja por avenidas torrenciales, porque permite disipar con facilidad una precipitación abundante de corta duración, lo inverso sucede con una microcuenca redonda. Para objeto de este estudio, se analizarán únicamente las Avenidas Torrenciales, ya que por las características topográficas de la región, es poco posible que se presentes inundaciones propiamente dichas. Los parámetros morfométricos determinados para todas las cuencas de la jurisdicción se enuncian a continuación:

Área de la Cuenca (A)

Perímetro de la cuenca (P)

Coefficiente de compacidad (C).

Coefficiente de redondez (K).

Densidad de drenaje (Dd)

Pendiente media de la corriente (IC)

Área de la Cuenca (A)

- **Área de la Cuenca (A)** El área de la cuenca se obtiene de acuerdo al promedio de las mediciones realizadas con el Planímetro, AutoCad, o cualquier otro método para su medición, está limitada por divisorias de aguas, hasta la desembocadura del río o quebrada y está dada en Km².

▪ **Perímetro de la cuenca (P)** Longitud medida del contorno de la cuenca, es decir por las divisorias de aguas que la limitan, y está dada en Km.

▪ **Coefficiente de compacidad (C)** Esta variable compara el perímetro de la cuenca con la longitud o perímetro asociado.

$$C = \frac{P}{2\sqrt{\frac{A}{\pi}}}$$

C= 1: Cuenca de forma compacta redonda.

C= 1.20: Cuenca semicompacta semiojal redonda

C= 1.50: Cuenca semicompacta oblonga

C >1: Cuenca semicompacta rectángulo – oblonga

▪ **Coefficiente de redondez (K)** Relaciona la longitud de la cuenca, con el área de la misma.

$$K = \frac{Lb^2}{4A}$$

K = 1: Redonda

K > 1: Semiredonda

K < 1: Irregular

▪ **Densidad de drenaje (Dd)** Es la medición de la longitud acumulada de todas las corrientes (Ld) y el área (A).

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

Dd < 0.5 : Baja

Dd = 0.5 : Media

Dd > 1 : Alta

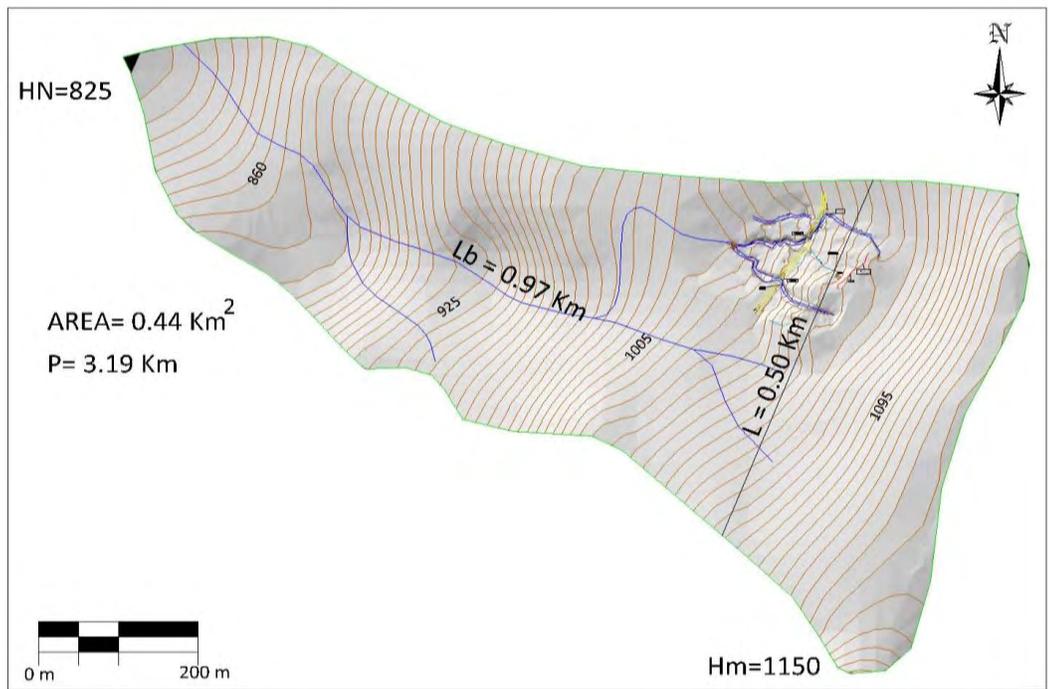
▪ **Tiempo de concentración (TC)** Es el tiempo que gasta una gota de agua en recorrer el sitio más lejano de la cuenca a la desembocadura del cauce principal.

$$T_c = 0.0663 \left(\frac{L_b}{\sqrt{A}} \right)^{0.07}$$

Con base al análisis anterior sus parámetros morfométricos indican las cuencas analizadas presentan de media a alta susceptibilidad a la torrencialidad.

A continuación resumimos en la Tabla 13 el resultado de los cálculos morfométricos de la cuenca local de Santa María analizadas para el presente estudio.

Figura 13. Imagen ilustrativa de la cuenca local de Santa María



Fuente: Resultado del estudio.

Tabla 13. Valores de parámetros morfométricos para la cuenca local

NOMBRE MICROCUENCA	Área de la Cuenca en Km (A)	Perímetro de la cuenca Km (P)	longitud de la cuenca Km (Lb)	el ancho mayor Km (l)	longitud acumulada de todas las corrientes Km (Ld)	longitud acumulada de todas las corrientes Km (Ld)
Rio Bata	0.44	3.19	0.97	0.50	2.65	1150
Cota Mínima de la Cuenca(Hn)	Diferencia de Altura Km (Hc)	Razón de Relieve (Rr)	Número de Corrientes(Nc)	Frecuencia de Corrientes (Cauces/Km2)	Pendiente media de Corriente lc % (lc)	Índice de Alargamiento (Ia)
825	0.33	0.34	2.00	4.59	33.57	1.92
COEFICIENTE DE COMPACIDAD (C). FORMA Y SUSCEPTIBILIDAD		COEFICIENTE DE REDONDEZ (K). FORMA Y SUSCEPTIBILIDAD		DENSIDAD DE DRENAJE (Dd)		TIEMPO DE CONCENTRACIÓN en horas (TC)
0.54	REDONDA	0.54	Irregular	6.08	Densidad Muy Alta	0.07
AMPLITUD DE LA CUENCA (W). TIEMPO DE CONCENTRACIÓN DE ESCORRENTÍA		ELONGACIÓN DE LA CUENCA (RE). FORMA		ÍNDICE DE HOMOGENEIDAD (IH). FORMA		SUSCEPTIBILIDAD
0.45	crítico	0.77	SEMIREDONDA	0.89	CUADRADA	5

Fuente: Resultado del estudio.

De la anterior tabla se concluye que por sus morfometría la cuenca local presenta susceptibilidad alta a la torrencialidad.

3 GEOLOGIA

Los sedimentos más antiguos del municipio de Santa María se encuentran ubicados en el Embalse La Esmeralda. Están constituidos por filita y pizarra de edad Cambro Ordoviciano. Estos sedimentos según Irving (1971) fueron depositados en un miogeosinclinal sobre la plataforma precámbrica, en un mar que ocupó la región actual de la Cordillera Oriental.

3.1. GEOLOGÍA HISTÓRICA

La cordillera oriental a la cual pertenece la zona estudiada a través de su historia geológica ha sido sometida a grandes movimientos tectónicos como los ocurridos en la mitad del periodo Terciario entre el oligoceno y el mioceno en donde se produjeron levantamientos y hundimientos. Estos movimientos originaron varios plegamientos y también fallas paralelas y transversales. El ambiente de depositación de las diferentes formaciones aflorantes en el área, ha sido producto de la transgresión que sucedió a principios del cretáceo desde el Turoniano hasta el Maestrichtiano y se caracteriza por la ocurrencia de un mar profundo dando origen a depósitos de sedimentos de facies marinas y la acumulación de restos de seres vivos que darían lugar a la formación de fosforita, posteriormente el tectonismo y la orogénesis tiene marcada importancia sobre las diferentes formaciones hasta el momento conformadas.

3.2. GEOLOGIA LOCAL.

3.2.1. Formación Areniscas de las Juntas (Kiaj).

Consiste en dos niveles arenosos separados por un nivel lutítico cuya sección tipo se levantó entre las Cuchillas el Volador y El Dátil, carretera entre Guateque y

		<p style="text-align: center;">MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE FONDO DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL FCA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR –CORPOCHIVOR</p>	
---	---	---	---

Santa María de edad Hauteriviano – Barremiano, esta Formación fue depositada en un ambiente marino probablemente deltaico.

3.2.2. Formación Lutitas de Macanal (Kilm).

Compuesta por lutitas negras con esporádicas intercalaciones de calizas, areniscas y bolsones de yeso que afloran desde la Cuchilla de Teguas hasta el río Guavio, constituida por lodolitas negras, micáceas compactas, ligeramente calcáreas, con láminas de yeso y localmente fosilíferas; en la parte intermedia contiene intercalaciones de estratos gruesos de arenitas cuarzosas de grano fino de color gris oscuro; con un espesor total de 2935m.

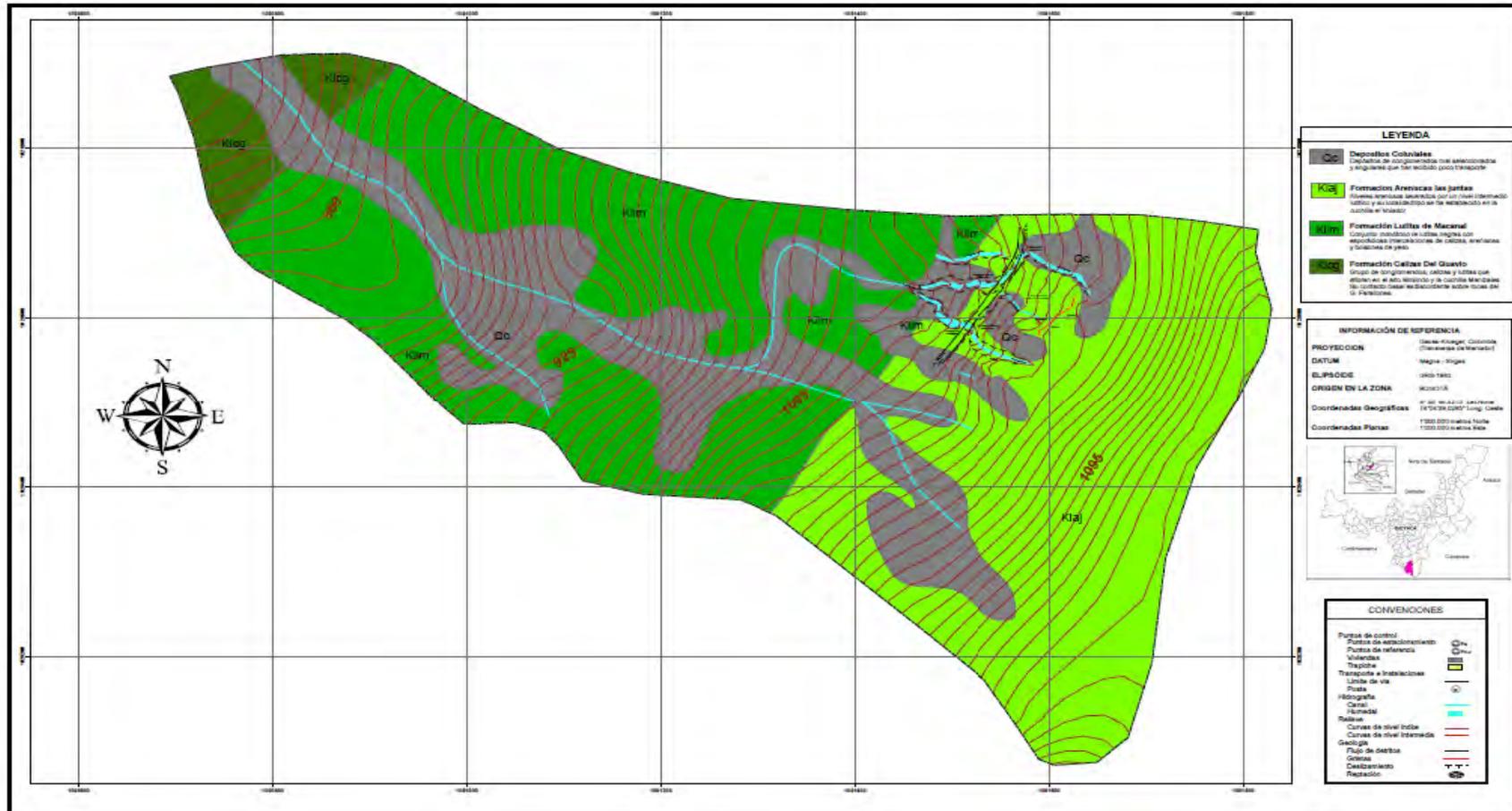
3.2.3. Formación Calizas del Guavio (Kicg).

Compuesta por un conjunto de conglomerados, lutitas y calizas, de edad Titoniano a Berriasiano Superior, esta Formación se depositó en un ambiente marino, en aguas probablemente bien oxigenadas y de poca profundidad.

3.2.4. Depósitos Coluviales (Qc).

También denominados cuaternarios de derrumbe o Talus, se encuentran ocupando pequeñas áreas en todo el municipio y son el resultado de la acción del intemperismo, las altas pendientes y en muchos casos antrópicos.

Figura 14. Imagen del mapa geológico del municipio de Santa María.

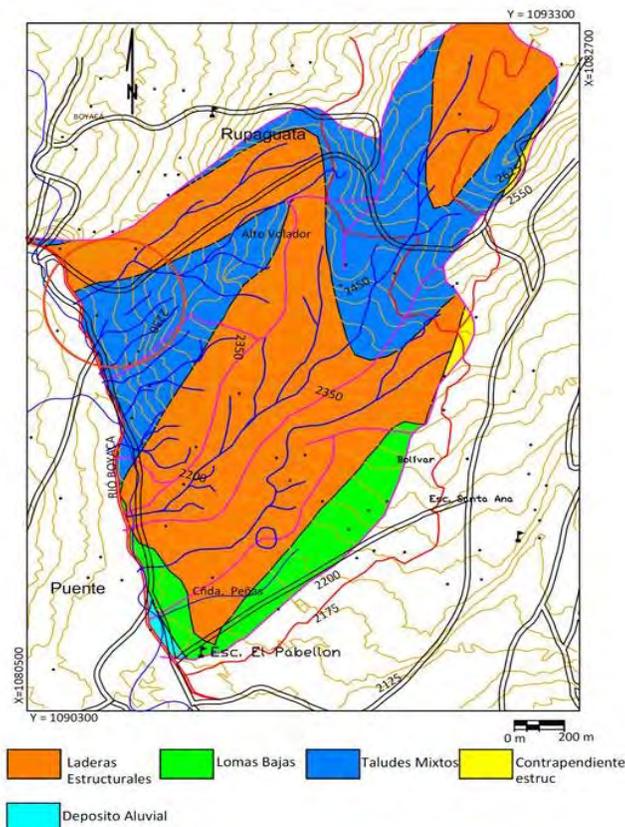


Fuente: Resultado del estudio.

4 GEOMORFOLOGÍA

Se entiende como geomorfología el análisis o estudio de las formas del relieve, los procesos que condujeron a su formación y su interrelación con su entorno paisajístico. Las geformas y procesos involucrados para el municipio de Santa María, se pueden distinguir claramente 5 unidades geomorfológicas, diferenciadas por su relieve y procesos geodinámicos, las cuales son; lomas bajas, taludes mixtos, contrapendiente estructural y deposito; aluvial tal como se muestra en la Figura 15.

Figura 15. Ventana extraída del mapa regional de Consultoría para la Homologación y Estructuración de la Información Cartográfica Base.



Fuente: CORPOCHIVOR para ser integrada al SIAT.

		<p style="text-align: center;">MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE FONDO DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL FCA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR –CORPOCHIVOR</p>	 <p style="text-align: center;">EJECUTOR CONVENIO No. 038/2012.</p>
---	---	---	---

▪ **Lomas bajas**

Lomas disectadas y erosionadas producto de la acción de agentes denudativos, se reconocen por ser geoformas que no superan los 300 m de diferencia de altura entre la parte más baja y su cima y que generalmente siempre tiene una forma redondeada.

▪ **Contrapendiente estructural**

Son geoformas empinadas localizadas en dirección opuesta al acimut del buzamiento de las capas, casi siempre están asociadas a las laderas estructurales, compuestas principalmente por materiales de las formaciones Conejo y Plaeners, constituidos por arcillolitas intercaladas con areniscas y Cherts con niveles arcillosos respectivamente.

▪ **Deposito aluvial**

Geoformas originadas por la depositación de sedimentos durante la migración fluvial. Incluye diferentes niveles de terrazas, en general son materiales no consolidados y poco cohesivos

4.1 GEOMORFOLOGÍA LOCAL

La geomorfología describe las formas del relieve, tanto estructural como superficial, y estudia su origen y evolución.

En este numeral, se realiza un análisis de las fotografías aéreas y se describen los procesos morfodinámicos cartografiados en la zona de estudio y las unidades geomorfológicas establecidas de acuerdo a las necesidades de los análisis de estabilidad y amenaza por fenómenos de remoción en masa.



Igualmente, se aclaran los criterios utilizados para definir las unidades geomorfológicas. Como resultado final, se elaboró el Plano **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** geomorfológico del área de estudio y las fichas de los Inventarios de los procesos.

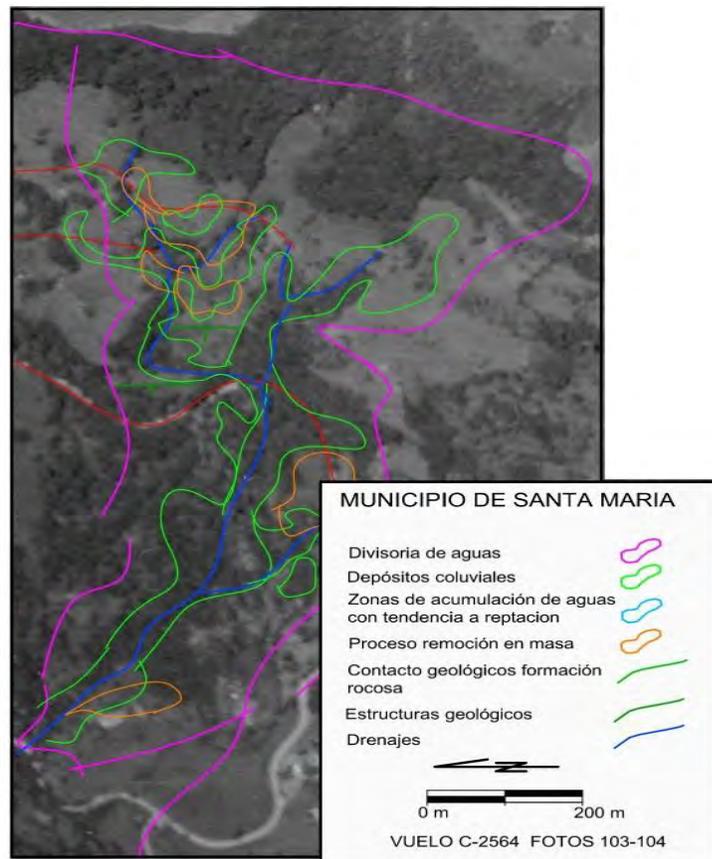
4.2 ANÁLISIS FOTOGEOLÓGICO

Revisión y fotointerpretación de fotografías aéreas del área de estudio, para determinar las Unidades Geológicas Superficiales (unidades de roca, suelos residuales y transportados) y geoformas asociadas a éstas, así como los procesos morfo dinámicos y rasgos estructurales, entre otros.

En el análisis se define el área de influencia del proceso dada por las divisorias de aguas, se identifica los materiales duros y blandos, las zonas de infiltración, acumulación de aguas.

Como conclusión, se puede afirmar que las condiciones naturales o iniciales del terreno muestran dinámicas de acumulación de material y estancamiento de aguas en dichas áreas. Los problemas de inestabilidad que se presentan en base a esta dinámica, disparada por lluvias intensas y la intervención antrópica en el área por cortes en la vía y desforestación.

Figura 16. Fotografías pertenecientes al vuelo 2564- 103,104 tomadas por el IGAC, durante los años 90.



Fuente: Resultado del estudio.

4.3 PROCESOS MORFODINÁMICOS

En el Plano de Geomorfología se localizaron los diferentes procesos morfodinámicos observados en la zona. A continuación, se describe en forma general las características de estos de acuerdo a la clasificación de Varnes. Las Fichas de Inventario de procesos se presentan en el anexo de estas.



4.3.1 Deslizamiento Compuesto

Se clasifica el proceso como deslizamiento compuesto ya que su control estructural resultando en superficies de ruptura irregulares incluye movimiento rotacional a lo largo de un escarpe principal seguido de un desplazamiento a lo largo de una superficie de debilidad casi horizontal, paralela a la estratificación, el proceso es activo remontante, y su velocidad es lenta, presenta un área aproximada de 13230,2 m² con una profundidad promedio de 4 m, las causas posibles pueden ser, por material plástico débil detonado por lluvias, por el mal manejo del suelo relacionado con matorrales, cultivos, uso agrícola, ganadería; los daños presentes en el área de las viviendas, áreas agrícolas y para pastoreo, erosión y deforestación son producto del desarrollo del deslizamiento

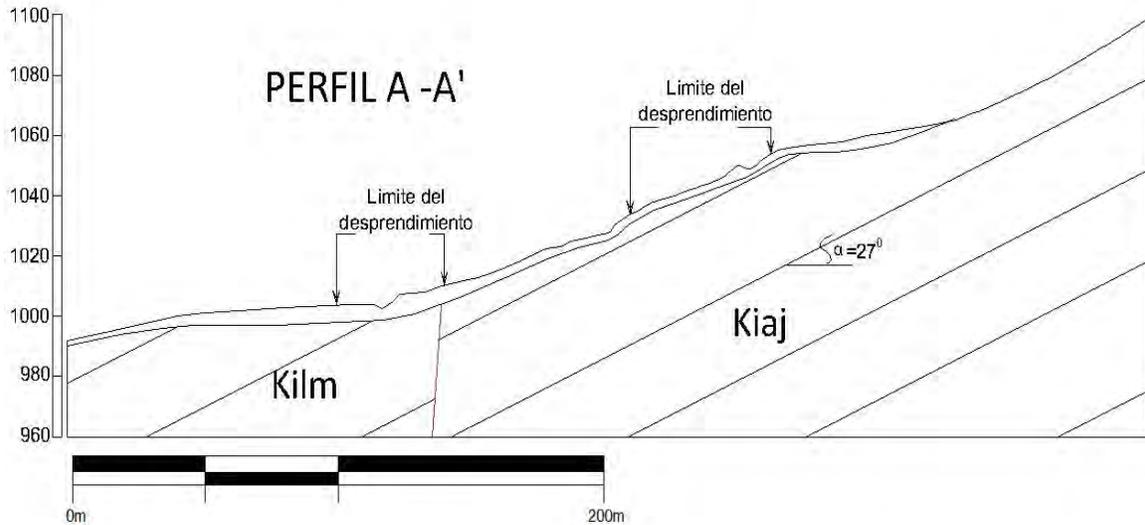
Figura 17. Esquema del movimiento compuesto



Fuente: Resultado del estudio.

En el perfil (Ver 0) se ilustra el cuerpo del proceso y la geoforma en la cual se encuentra, siendo favorable a su movimiento.

Figura 18. Esquema del movimiento, perfil deslizamiento compuesto

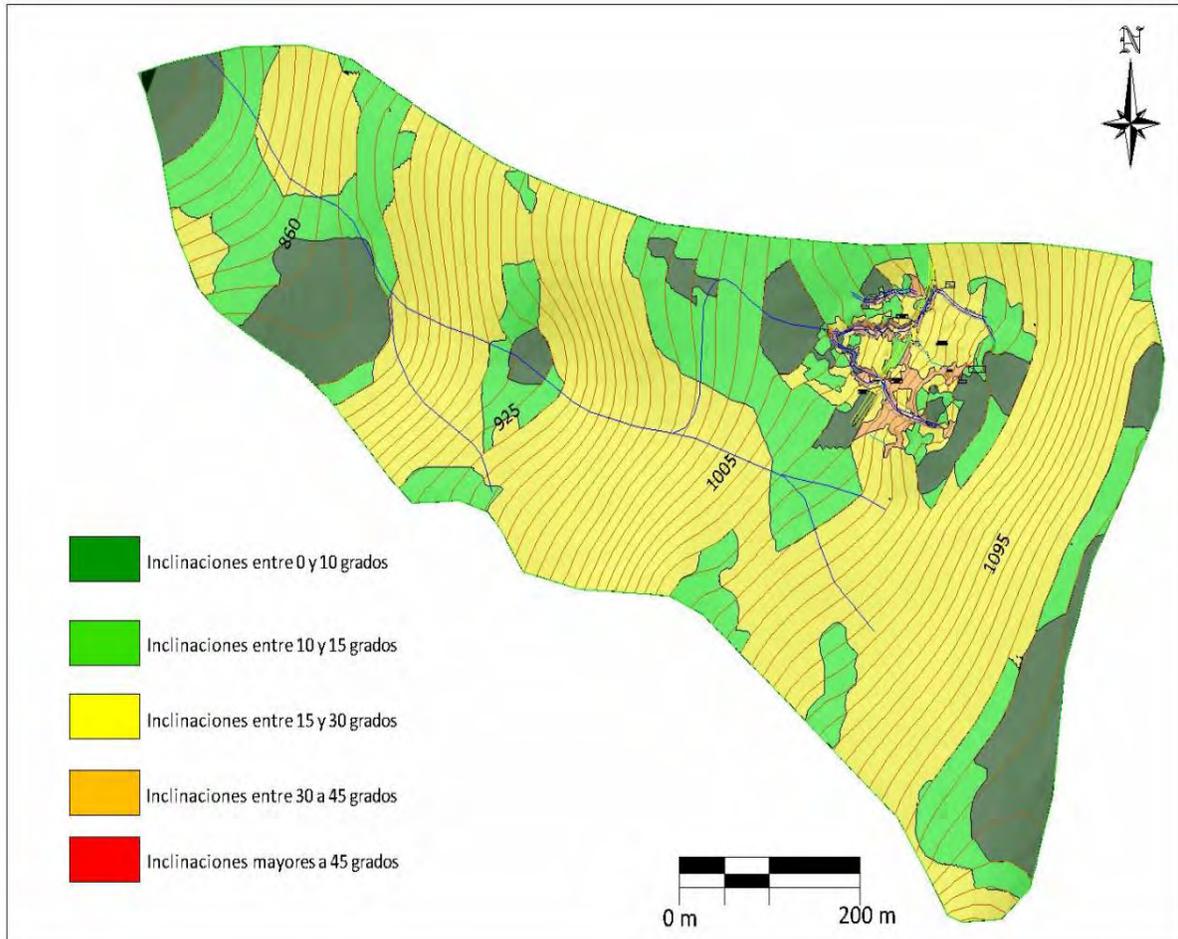


Fuente: Resultado del estudio.

4.4 INCLINACIÓN DE LAS PENDIENTES

A partir de un modelo digital de terreno generado tras la digitalización de curvas de nivel a una escala 1:25.000, se generó el mapa de pendientes con cinco clases para el área de estudio. Los valores de susceptibilidad de este parámetro o variable son presentados en la Figura 19.

Figura 19. Imagen del Mapa de inclinación de las pendientes.



Fuente: Resultado del estudio.

Tabla 14. Clasificación de las pendientes.

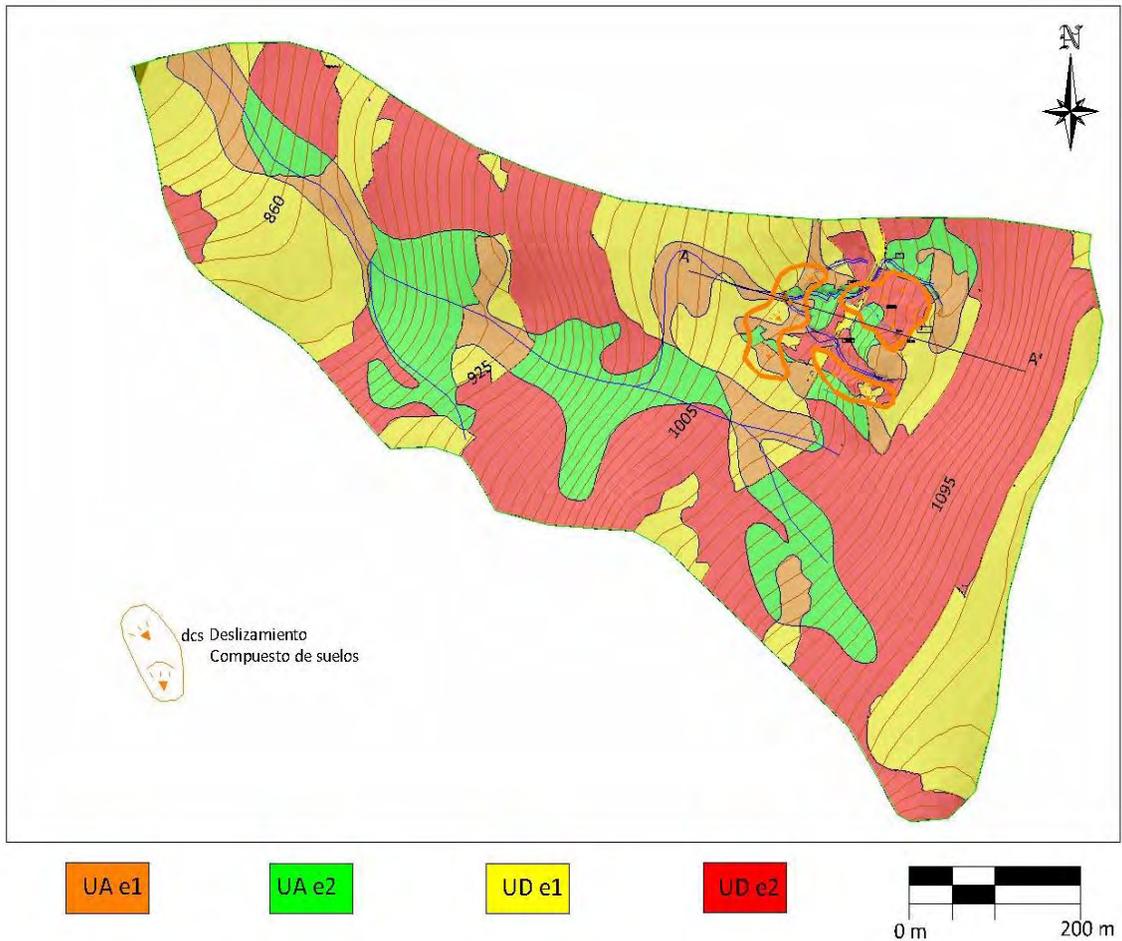
CLASIFICACIÓN DE LAS PENDIENTES	
UNIDAD CARTOGRÁFICA	GRADOS
Suavemente inclinada	0-10
Inclinada	10 15
Abrupta	15-30
Escarpada	30 - 45
Muy Escarpada	> 45

Fuente: Resultado del estudio.

4.5 UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

Teniendo en cuenta, las necesidades de los análisis de estabilidad y amenaza por fenómenos de remoción en masa y la relación de estas con los procesos de inestabilidad, se delimitaron cuatro (4) unidades geomorfológicas de carácter local denominadas como:

Figura 20. Imagen del Mapa geomorfológico.



Fuente: Resultado del estudio.

		<p style="text-align: center;">MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE FONDO DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL FCA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR –CORPOCHIVOR</p>	 <p style="text-align: center;">EJECUTOR CONVENIO No. 038/2012.</p>
---	---	---	---

4.5.1 Geformas de Origen Denudacional.

Dentro de las unidades de origen Denudativo en la zona se evidenciaron las siguientes unidades

4.5.1.1 Unidad agradacional con inclinaciones entre 0 y 30 grados en ladera estructural (UA e1)

Dicha unidad está compuesta por depósitos coluviales, los cuales yacen sobre estratificaciones en contra a la dirección de las pendientes presenta un área de 4.22 ha, de las cuales el 11.02 % presenta inestabilidad. Siendo la unidad más susceptible a movimientos en masa.

4.5.1.2 Unidad agradacional con inclinaciones mayores a 30 grados en ladera estructural (UA e2)

Dicha unidad está compuesta por depósitos coluviales, los cuales yacen sobre estratificaciones en contra a la dirección de las pendientes presenta un área de 6.99 ha, de las cuales el 5.0 % presenta inestabilidad.

4.5.1.3 Unidad degradacional con inclinaciones entre 0 y 30 grados en ladera estructural (UD e1)

Dicha unidad está compuesta por formaciones rocosas, cuyas estratificaciones se encuentran en contra a la dirección de las pendientes, presenta un área de 13.11 ha, de las cuales el 4.16 % presenta inestabilidad.

4.5.1.4 Unidad degradacional con inclinaciones mayores a 30 grados en ladera estructural (UD e2)

Dicha unidad está compuesta por formaciones rocosas, cuyas estratificaciones se encuentran en contra a la dirección de las pendientes, presenta un área de 19.28 ha, de las cuales el 6.45 % presenta inestabilidad.

A continuación describimos en la Tabla 15, la descripción y análisis de las unidades geomorfológicas

Tabla 15. Descripción geomorfológica.

ORIGEN	ESTRUCTURA	MORFOMETRIA	MORFODINAMICA	SÍMBOLO
Unidad agradacional	ladera estructural	con inclinaciones entre 0 y 30 grados	Es la unidad que presenta más afectación, presenta reptaciones y desprendimientos.	UA e1
		con inclinaciones mayores a 30 grados		UA e2
Unidad degradacional	ladera estructural	con inclinaciones entre 0 y 30 grados		UD e1

		con inclinaciones mayores a 30 grados		UD e2
--	--	--	--	-------

Fuente: Resultado del estudio.

4.6 EROSIÓN

La erosión se define como la remoción de partículas de suelo debido a la acción de fenómenos climatológicos, como son la lluvia, el viento y el oleaje. La magnitud del material removido depende del grado de interperismo del suelo.

El fenómeno de erosión se considera como un proceso lento, cuando es en forma natural, y sus manifestaciones no se identifican a corto plazo sino cuando se encuentra en una fase final, desgraciadamente cuando se ha perdido la mayor cantidad de suelo fértil. Al intervenir el hombre, para abrir caminos, desmontar áreas para campos de cultivo, explotar los bosques, ampliar las zonas urbanas, etc. entonces, se altera el equilibrio natural y se acelera el proceso. Este fenómeno implica dos problemas importantes: por un lado es la pérdida de suelo en la cuenca, sobre todo la pérdida de suelo fértil en los campos de cultivo con cierta inclinación y por otro lado el depósito del sedimento en embalses o en sitios donde esto es indeseable.

Existen dos clases de erosión, la geológica y la antrópica.

		<p style="text-align: center;">MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE FONDO DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL FCA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR –CORPOCHIVOR</p>	 <p style="text-align: center;">EJECUTOR CONVENIO No. 038/2012.</p>
---	---	---	---

La erosión geológica, que ocurre en forma lenta, y es el desgaste natural de la tierra en busca de su propia estabilización, sus factores son el agua lluvia, las corrientes fluviales, el mar, el viento, la temperatura, la gravedad. La erosión geológica contribuye a la modelamiento de la superficie del terreno y a la formación de los suelos.

La erosión antrópica o acelerada, es propiciada por el hombre, y sucede al utilizar inadecuadamente el suelo; cultivos, tala de bosques, quemas, construcciones; entre otros. Estos procesos debilitan la capacidad del terreno, acelerando la erosividad y causando problemas de desestabilización.

La erosión antrópica o acelerada, favorece la aparición de surcos y cárcavas que representan un grado superior del proceso de erosión que se manifiesta en los suelos. Su formación tiene origen en el drenaje superficial y es aumentada por el incremento del tiempo de concentración

El viento y el agua son los principales agentes generadores de erosión y de acuerdo al agente erosivo se distinguen dos formas de erosión.

Erosión Eólica. Donde quiera que el suelo sea débilmente agregado, seco, la superficie lisa y desnuda y en donde los vientos sean fuertes, se podrá presentar erosión eólica, que de hecho es más fuerte en regiones de clima árido y semiárido. No obstante puede presentarse erosión eólica severa en algunas regiones húmedas, donde los vientos fuertes pueden desarrollarse moviendo dunas en zonas costeras.



Erosión Hídrica. Es un proceso continuo que consiste en la separación de las partículas y agregados de la masa del suelo, su transporte y sedimentación, siendo el agente activo, el agua.

La erosión hídrica se inicia cuando las gotas de lluvia golpean en la superficie de un suelo desnudo, causando el movimiento de las partículas más finas como sedimentos en suspensión en el flujo del agua, el cual en su movimiento cuesta abajo, va abriendo surcos. Cada lluvia subsecuente, erosiona cantidades adicionales de suelo; con la degradación del suelo, se manifiesta la degradación de la tierra.

Este tipo de erosión, se ve propiciada cuando se remueve la cobertura vegetal por el laboreo para los cultivos, la quema de residuos de cosecha, el sobrepastoreo, deforestación y por la perturbación del suelo al paso de maquinaria pesada en la construcción de vías, obras de infraestructura y minería.

4.6.1 Algunas Formas de Erosión

El proceso de erosión tiene diferentes formas de expresión dependiendo de la concentración del agua. Comenzando con la erosión laminar, erosión en surcos, y en la medida que el agua forma pequeños cauces, erosión en cárcavas.

La erosión laminar es el arrastre casi uniforme de delgadas capas de suelo. Por su parte, la erosión en surcos comienza con transporte de material desprendido por salpicadura de gotas de lluvia (Hudson, 1981). Esta erosión es producida por la escorrentía concentrada y forma pequeños canales.

		<p style="text-align: center;">MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE FONDO DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL FCA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR –CORPOCHIVOR</p>	 <p style="text-align: center;">EJECUTOR CONVENIO No. 038/2012.</p>
---	---	---	---

La erosión en canales es el proceso de desprendimientos y transporte de suelo. Las cárcavas ocurren cuando hay mayor concentración del escurrimiento y la topografía permite la unión de los surcos. El ancho de las cárcavas crece por socavación.

4.6.2 Factores externos

Son aquellos que disparan o detonan la inestabilidad en la ladera. Una causa desencadenante pequeña, puede ser suficiente para provocar la inestabilidad, esos factores pueden ser:

- **Naturales:** Las precipitaciones pluviales normales y extraordinarias, la filtración de agua pluvial en el terreno, las variaciones de temperatura, sismos.
- **Antrópicos:** Tales como deforestación, quemas e incendios forestales, cortes de taludes para construcción de carreteras u otra infraestructura, el asentamiento humano en las laderas, la actividad minera, el uso indebido del suelo, etc.

4.6.3 Factores internos

Existen una variedad de factores condicionantes que inciden en los procesos de inestabilidad de laderas y son relativos a la propia naturaleza o características de las laderas, esos factores pueden ser:

- **Geológicos:** Representan un factor de inestabilidad permanente; la litología, la estratigrafía de la roca (orientación y ángulo de inclinación), discontinuidades estratigráficas y estructurales y la alteración de las rocas (alteración hidrotermal y/o meteorización).



- **Hidrológicos e hidrogeológicos:** Cambio en las presiones de poros o Hidrostáticas y el comportamiento geomecánico (resistencia a la deformabilidad, compresibilidad, cohesión, etc.).

A partir del análisis del procesamiento digital de imágenes, se obtuvo un mapa de intensidad de erosión las cuales nos dan una idea de los diferentes tipos de erosión reflejado en la zona dándonos unidades de intensidad de erosión así: erosión baja, erosión moderada y erosión alta.

4.6.4 Morfodinámica - intensidad de erosión

El enfoque de este estudio se orienta hacia la caracterización y cartografía de las unidades de cobertura de los suelos como factor de resistencia o favorecimiento de los procesos erosivos y de remoción en masa.

El mapa de erosión fue realizado con el procesamiento digital de imágenes mediante una clasificación supervisada, resultado de un agrupamiento en la distribución de los píxeles hechos en una clasificación resultado de la mayor o menor cobertura vegetal presente en el área.

Posteriormente para cumplir con los objetivos del estudio y conocer la dinámica del área, realizamos la suma en un SIG (utilizando los mapas densidad de drenaje, geomorfológico y de cobertura) junto con los levamientos en campo y la ubicación de procesos morfodinámicos obteniendo un mapa final de erosión.

La morfodinámica es la parte de la geomorfología que trata el estudio de los procesos morfodinámicos presentes y pasados.

El mapa de intensidad de erosión describe unidades de intensidad de erosión así: erosión muy baja, erosión baja, erosión media y erosión muy alta. (Ver Figura 21).

Figura 21. Imagen del Mapa erosión.



Fuente: Resultado del estudio.



4.7 USO ACTUAL Y COBERTURA DEL SUELO

Ecosistemas terrestres son aquellos que se dan sobre la capa de tierra superficial de la Biosfera. Los ecosistemas terrestres ocupan, proporcionalmente, menos superficie que los ecosistemas acuáticos. Mientras que a estos últimos les corresponde aproximadamente un 75 %, los ecosistemas terrestres dominan el 25 % restante.

El grupo más numeroso de individuos de los ecosistemas terrestres son los insectos representado por unas 900.000 especies. Dentro de los animales el segundo grupo más significativo serían las aves, con aproximadamente 8500 especies y en tercer lugar los mamíferos con unas 4100 especies. Dentro del mundo de las plantas, existen numerosos tipos, las angiospermas son las más abundantes, con unas 224000 especies frente a las 24000 especies de briofitos.

Los ecosistemas terrestres presentan una variedad mayor que el resto de ecosistemas dado que son muchos los factores que limitan las especies que en ellos habitan. Todos estos factores han producido una gran variedad de ecozonas o regiones biogeográficas en donde los elementos animados e inanimados presentan sus características peculiares.

El uso del suelo y el cambio en la cobertura vegetal asociados al fraccionamiento de la biósfera es uno de los más severos efectos de las acciones directas e indirectas del hombre sobre la tierra, lo cual ha generado un incremento de las tasas de extinción de especies en las décadas recientes.

Todas las estimaciones de la superficie afectada por estos fenómenos, son indicadores de un severo problema que se está marcando y que tiene que ver directamente con el cambio en la cobertura vegetal hacia otro uso del suelo y el deterioro ambiental.

Investigaciones aplicadas a los cambios en la cobertura vegetal están teniendo un mayor grado atención debido esencialmente a las implicaciones de la deforestación. A nivel regional, dicho mecanismo ocasiona la disminución e incluso la perdida de la cobertura vegetal, el detrimento de los recursos forestales, el deterioro físico y químico del suelo, alteración del balance hídrico y la desestabilización de cuencas.

4.7.1 DESCRIPCIÓN REGIONAL

Fotografía 2. Georeferenciación area de estudio.



Fuente: Registro Fotográfico.



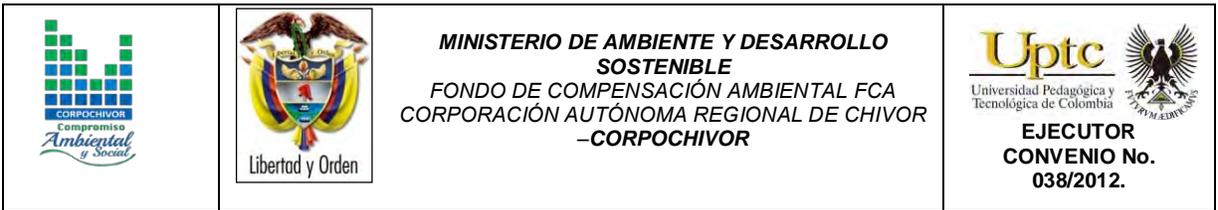
La vegetación es de clima frío muy húmedo, es de porte muy bajo y se encuentra intervenida en gran medida. En algunas zonas se conservan, especialmente los frailejones y pajonales que son especies dominantes. Según la clasificación de L.R. Holdridge la zona de estudio del municipio existe la siguiente unidad bioclimática:

BOSQUE MUY HÚMEDO PREMONTANO (BMH- PM)

Sus características climáticas son altitud entre los 500 y 2000 m.s.n.m. Con una temperatura de 18- 24 grados centígrados y una precipitación promedio anual de 3500 m.m; con terrenos accidentados de topografía muy montañosa. Los bosques de esta zona se caracterizan por la presencia de árboles altos, siempre verdes con algunas Epifitas y Quiches sobre las ramas. Los bosques existentes aun se restringen a áreas de difícil acceso, pero con una creciente presión humana sobre las mismas. Además esta zona presenta un gran valor ecológico por su singularidad ecosistematica. Se encuentran en las veredas de Culima, Caño Negro, Centro, San Rafael, Santa Cecilia, Charco Largo, Carbonera, El Retiro, Hoya Grande, Calichana, San Agustín del Cerro, Planadas, Vara Santa, Ceiba Chiquita y Ceiba Grande.

4.7.3 COBERTURA Y USO DE SUELO PARA EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL ESTUDIO

Dentro del programa CORINE (Coordination of information on the environment) promovido por la Comisión de la Comunidad Europea fue desarrollado el proyecto de cobertura de la tierra “CORINE Land Cover” 1990 (CLC90), el cual definió una metodología específica para realizar el inventario de la cobertura de la tierra.



Actualmente, su base de datos constituye un soporte para la toma de decisiones en políticas relacionadas con el medio ambiente y el ordenamiento territorial, aceptada por la Unión Europea. Hoy en día se aplica sobre la totalidad del territorio europeo a través del proyecto CLC2000.

La base de datos de CORINE Land Cover Colombia (CLC) permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la cobertura de la tierra, interpretadas a partir de la utilización de imágenes de satélite de resolución media (Landsat), para la construcción de mapas de cobertura a escala 1:100.000. En Colombia existen actualmente múltiples metodologías y sistemas de clasificación para levantar información de las coberturas de la tierra.

El proyecto “CORINE Land Cover Colombia” se propuso estandarizar un sistema de clasificación, con categorías jerárquicas definidas de acuerdo con la información que pueden proporcionar las imágenes de satélite Landsat TM, conforme con las condiciones locales del territorio nacional. La adaptación y validación de la metodología CLC permitirá comparar estadísticas de ocupación de la tierra, crear líneas de comunicación entre las diferentes instituciones que adopten el sistema, y, además, facilitar la homologación de información.

La metodología empleada para el levantamiento de las coberturas de vegetales dentro de la zona fue la Corine Land Cover adaptada, desarrollada y abalada para Colombia por instituciones del orden nacional y regional como IDEAM, IGAC, CORMAGDALENA, SINCHI y UAESPNN, Esta metodología tiene como propósito la realización del inventario homogéneo de la cubierta biofísica (cobertura) de la superficie de la tierra a partir de la interpretación visual de imágenes de satélite



asistida por computador y la generación de una base de datos geográfica, junto con los siguientes procedimientos generales,

- Procesamiento digital de imágenes satelitales.
- Definición de la leyenda.
- Distribución de la zona de estudio a los intérpretes.
- Interpretación visual sobre pantalla.
- Controles de calidad: temática y topológica.
- Trabajo de campo: caracterización vegetal y verificación de coberturas.
- Ajustes a la cobertura digital definitiva.
- Estructuración de la información.

Los productos del proyecto, representados en el mapa de las coberturas vegetales y usos de suelos de la zona de estudio, en la metodología y en leyenda adaptadas al territorio colombiano y en este caso para la jurisdicción de Corpochivor, proveerán las características temáticas y cartográficas que la región requiere para el conocimiento, la evaluación de las formas de uso, ocupación y apropiación del espacio geográfico, así como para satisfacer las necesidades de información de sectores científicos, económicos, académicos y ambientales, entre otros, esperando que se conviertan en insumos básicos para los tomadores de decisiones en el país.

La metodología CORINE Land Cover, adaptada a las condiciones del territorio colombiano, se convierte en una herramienta para avanzar en el conocimiento de las coberturas de la tierra en otras cuencas y para la actualización permanente de la información, con lo cual se espera que se faciliten los procesos de seguimiento y evaluación de la dinámica de los cambios de las coberturas terrestres.



Finalmente, se espera que este producto, sea usado como una herramienta de apoyo para la gestión sostenible de los recursos naturales y para construir las bases para el ordenamiento ambiental y territorial del país, y unificación de las metodologías de coberturas de la tierra que se aplican actualmente en Colombia.

4.7.4 ESTUDIO DE LA FLORA

La flora es el conjunto de especies vegetales que pueblan un territorio o una región geográfica, consideradas desde el punto de vista sistemático. La flora será rica o pobre según que la región geográfica considerada posea muchas especies vegetales o escaso número de ellas. El conjunto de flora es de muy variable amplitud, según el punto de vista desde el que se considere. Para las áreas de estudio indirecto (AEI) se analizarán los siguientes aspectos:

- Identificar, sectorizar y describir las zonas de vida o formaciones vegetales.
- Identificación, sectorización y descripción de los diferentes tipos de cobertura vegetal existente.
- Identificación de especies endémicas, amenazadas o en peligro de extinción.

Presentar un plano de cobertura vegetal y uso del suelo a partir de sensores remotos y control de campo, en caso de requerirse. Las unidades cartografiadas se deben describir, teniendo en cuenta su localización, distribución e importancia ecológica y social. El análisis para el área de estudio directo (AED) se estudiara entre otras las siguientes variables:

- Descripción florística: Con identificación de endemismos, importancia económica y cultural.

		<p style="text-align: center;">MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE FONDO DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL FCA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR –CORPOCHIVOR</p>	 <p style="text-align: center;">EJECUTOR CONVENIO No. 038/2012.</p>
---	---	---	---

- Diversidad florística
- Índices de calificación e importancia ecológica.
- Importancia económica y cultural de algunas especies.
- Identificación de áreas que por sus características ecológicas deben conservarse en su estado actual, determinando espacialmente las áreas de restricción y conservación.

Para el proyecto se deberá realizar un muestreo detallado de la vegetación en cada una de las formaciones vegetales identificadas, con el objetivo de determinar biodiversidad, cobertura y abundancia. Se indicarán las especies con valor ecológico, cultural y comercial. Aplica para áreas de influencia directa. Se realizó un análisis de:

- Localización de las diferentes unidades de cobertura vegetal y uso actual del suelo, que incluya su identificación respecto a actividades pecuarias, agrícolas, agropecuarias, forestales, agrosistemas, eriales, zonas protectoras, etc.
- Descripción fisionómica de las diferentes coberturas vegetales, perfil y estructura de estratos (arbóreo; arbustivo: herbáceo; epígeo; entre otros).
- Identificación de los usos y/o destinos específicos dados por las comunidades, incluyendo los usos culturales.

4.7.5 IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE COBERTURAS

Mediante el sistema de clasificación de coberturas de tierra metodología Corin Land Cover adaptada para Colombia que establece una leyenda nacional de manera jerárquica, derivando las unidades de coberturas de la tierra con base en



criterios fisionómicos de altura y densidad, claramente definidos y aplicables a todas las unidades consideradas para un grupo de coberturas del mismo tipo.

De esta manera, se garantiza que sea posible la inclusión de nuevas unidades o la definición de nuevos niveles de unidades para estudios más detallados, permitiendo su ubicación y definición rápidamente. Se establecieron las siguientes zonas en el área de estudio:

TEJIDOS ARTIFICIALES

Comprende las áreas de las ciudades y las poblaciones y, aquellas áreas periféricas que están siendo incorporadas a las zonas urbanas mediante un proceso gradual de urbanización o de cambio del uso del suelo hacia fines comerciales, industriales, de servicios y recreativas del área rural del estudio.

ZONAS URBANIZADAS

Las zonas urbanizadas incluyen los territorios cubiertos por infraestructura urbana y todos aquellos espacios verdes y redes de comunicación asociados con ellas, que configuran un tejido urbano. La zona de estudio presenta las siguientes unidades:

ZONAS INDUSTRIALES O COMERCIALES Y REDES DE COMUNICACIÓN

Comprende los territorios cubiertos por infraestructura de uso exclusivamente comercial, industrial, de servicios y comunicaciones. Se incluyen tanto las instalaciones como las redes de comunicaciones que permiten el desarrollo de los procesos específicos de cada actividad.

RED VIAL, FERROVIARIA Y TERRENOS ASOCIADOS

Es un espacio artificializado con infraestructuras de comunicaciones como carreteras; se incluye la infraestructura conexa y las instalaciones asociadas tales como: estaciones de servicios, andenes, terraplenes y áreas verdes.

Fotografía 3. Tejido artificializado de nivel 4 red vial 122 C.L.C.



Fuente: Registro Fotográfico.

TERRITORIOS AGRÍCOLAS

Son los terrenos dedicados principalmente a la producción de alimentos, fibras y otras materias primas industriales, ya sea que se encuentren con cultivos, con pastas, en rotación y en descanso o barbecho. Comprende las áreas dedicadas a cultivos permanentes, transitorios, áreas de pastos y las zonas agrícolas heterogéneas.

		<p style="text-align: center;">MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE FONDO DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL FCA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR -CORPOCHIVOR</p>	 <p style="text-align: center;">EJECUTOR CONVENIO No. 038/2012.</p>
---	---	---	---

PASTOS

En la zona de influencia de la falla es dominancia de zona agrícola del orden de pastos Comprende las tierras cubiertas con hierba densa de composición florística dominada principalmente por la familia *Poaceae*, dedicadas a pastoreo permanente por un periodo de dos o más años.

Algunas de las categorías definidas pueden presentar anegamientos temporales o permanentes cuando están ubicadas en zonas bajas o en depresiones del terreno. Una característica de esta cobertura es que en un alto porcentaje su presencia se debe a la acción antrópica, referida especialmente a su plantación, con la introducción de especies no nativas principalmente, y en el manejo posterior que se le hace.

PASTOS ENMALEZADOS O ENRASTROJADOS

Son las coberturas representadas por tierras con pastos y malezas conformando asociaciones de rastrojos, debido principalmente a la realización de escasas prácticas de manejo o la ocurrencia de procesos de abandono. En general, la altura del rastrojo es menor a 1,5 metros.

Fotografía 4. Pastos enmalezados o enrastrados



Fuente: Registro Fotográfico.

PASTOS LIMPIOS

Esta cobertura comprende las tierras ocupadas por pastos limpios con un porcentaje de cubrimiento alto, la realización de prácticas de manejo (Limpieza, encalamiento y/o fertilización, etc.) y el nivel tecnológico utilizados impiden la presencia o el desarrollo de otras coberturas, dominancia principalmente en la zona media de la zona de estudio.

El deslizamiento descendió por esta cobertura, facilitándole su avance y velocidad debido a la ausencia de cobertura vegetales mayores como bosques bajos. esta exposición del suelo a los agentes erosivos es debido a la disminución de la cubierta vegetal por el pastoreo y a la remoción del suelo por el pisoteo. Estos factores favorecen a la erosión hídrica y a la erosión Eólica Sumados a la Inclinación Facilitaron El Deslizamiento. El sobrepastoreo facilita la desertificación de áreas semiáridas y la desprotección de las escorrentías. Esto último influye también en el balance de las aguas superficiales y subterráneas.

Fotografía 5. Pastos limpios presente en la zona de estudio.



Fuente: Registro Fotográfico.

En la zona de estudio existe sobrepastoreo debido a las siguientes características observadas:

- Presencia de vegetación herbácea muy baja, como si se hubiera "cortado el pasto" en un jardín. Esto se puede ver si el lugar tiene cierta humedad que permita su recuperación.
- Presencia de "pie de vaca", que se visualiza a la distancia como líneas paralelas aproximadamente horizontales que se ven en las zonas serranas, a modo de "arrugas" en la montaña y que son caminos de recorrido y pastoreo del ganado.
- Vegetación herbácea muy rala, en algunos casos inexistente, con tierra suelta y removida, hasta incluso con abundancia de huellas de animales.
- Preponderancia de especies leñosas espinosas bajas, con muy pocas hierbas, característica del *fachinal*.



- Composición florística herbácea conformada fundamentalmente por hierbas poco *palatables* o no *palatables* para el ganado, debido a que las apetecidas por los animales fueron comidas por el constante pastoreo.

BOSQUES

Comprende las áreas naturales o seminaturales, constituidas principalmente por elementos arbóreos de especies nativas o exóticas. Los árboles son plantas leñosas perennes con un solo tronco principal, que tiene una copa más o menos definida.

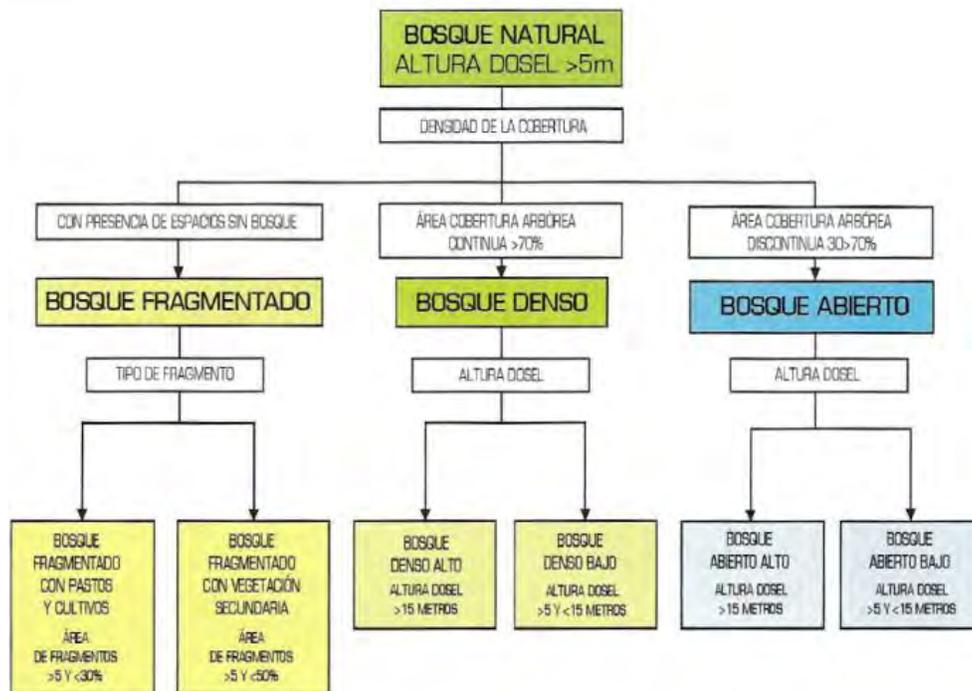
Para efectos de clasificación los bosques son determinados por la presencia de árboles que deben alcanzar una altura del dosel superior a los cinco metros.

Para efectos de la caracterización de la densidad se definió como el porcentaje de cobertura de la copa. Por su parte, la cobertura de la copa, en este documento, corresponde al porcentaje del suelo o del terreno ocupado por la proyección perpendicular de la vegetación en su conjunto, o por uno de sus estratos o especies. Una cobertura densa corresponde a una cobertura arbórea mayor a 70% de la unidad, en la cual las copas se tocan. Una cobertura se considera abierta cuando la cobertura arbórea representa entre 30% y 70% del área total de la unidad, en la cual la mayoría de las copas no se tocan entre ellas.

La altura es definida por la altura total del dosel, sin incluir emergentes. Para efectos de este estudio, se adaptó la clasificación propuesta por Caín y Castro (1959), quienes definen como bajos los estratos de árboles con altura menor a ocho metros; intermedios a los estratos de árboles con alturas comprendidas entre 8 y 15 metros; y como estratos de árboles altos los que tienen altura superior a 15

metros. De esta manera, para esta leyenda, se unieron los estratos bajo e intermedio en uno solo denominado como bajo. Para la interpretación de las coberturas de la tierra, los bosques se clasifican, entonces, a partir de la densidad de la cobertura arbórea, en densos y abiertos; de acuerdo con la altura del dosel, los bosques se clasifican en altos y bajos; y de acuerdo con la condición de inundabilidad del terreno donde se ubican los bosques, se clasifican en inundables y de tierra firme. De esta manera, se obtiene la clasificación que se explica a continuación:

Figura 23. Criterios para la clasificación de los bosques



Fuente: Corine Land Cover 2010.

		<p style="text-align: center;">MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE FONDO DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL FCA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR –CORPOCHIVOR</p>	
---	---	---	---

BOSQUE DENSO

Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) más o menos continuo, y con altura del dosel superior a cinco metros. Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y las características funcionales. Se exceptúan de esta unidad los bosques fragmentados.

BOSQUE DENSO BAJO

Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) más o menos continuo, con altura del dosel superior a cinco metros, pero inferior a 15 metros.

BOSQUE DENSO BAJO DE TIERRA FIRME

Corresponde a las áreas con vegetación de tipo arbóreo caracterizada por un estrato más o menos continuo con altura del dosel entre 5 y 15 metros y que se encuentra localizada en zonas que no presentan procesos de inundación periódicos.

Fotografía 6. Bosque denso bajo de tierra firme.



Fuente: Registro Fotográfico.

4.7.6 ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA Y/O ARBUSTIVA

Comprende un grupo de coberturas vegetales de tipo natural y producto de la sucesión natural, cuyo hábito de crecimiento es arbustivo y herbáceo, desarrolladas sobre diferentes sustratos y pisos altitudinales, con poca o ninguna intervención antrópica.

Para la leyenda de CORINE Land Cover adaptada para Colombia, en esta clase se incluyen otros tipos de cobertura tales como las áreas cubiertas por vegetación principalmente arbustiva con dosel irregular y presencia de arbustos, enredaderas y vegetación de bajo porte. Las coberturas definidas son las siguientes:

HERBAZAL

Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente herbáceos desarrollados en forma natural en diferentes densidades y sustratos, los cuales forman una cobertura densa (>70% de ocupación) o abierta (30% - 70% de ocupación). Una hierba es una planta no lignificada o apenas lignificada, de manera que tiene consistencia blanda en todos sus órganos, tanto subterráneos como epigeos.

Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas a su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y las características funcionales (IGAC, 1999). Para su diferenciación, los herbazales fueron clasificados de acuerdo con tres criterios: por la densidad de la cobertura herbácea, en densos y abiertos; de acuerdo con la condición de inundabilidad se clasifican en inundables y de tierra firme; y de acuerdo con la presencia de árboles y arbustos, en arbolados y no arbolados.

Los criterios utilizados para la diferenciación entre los diferentes tipos de herbazales tienen como fundamento los elementos pictóricos de las imágenes de sensores remotos, los cuales pueden ser identificados directamente en las imágenes, tales como la presencia de árboles y arbustos, a una característica inferida del terreno como es la condición de inundabilidad y densidad del herbazal.

De acuerdo con la información disponible y escala de trabajo, esta unidad puede ser dividida en las siguientes clases:

HERBAZAL DE TIERRA FIRME

Corresponde a una cobertura natural constituida por un herbazal denso, el cual se desarrolla en áreas que no están sujetas a periodos de inundaciones, las cuales pueden presentar o no elementos arbóreos y/o arbustivos dispersos.

Fotografía 7. HERBAZAL



Fuente: Registro Fotográfico.

ÁREAS ABIERTAS, SIN O CON POCA VEGETACIÓN

Comprende aquellos territorios en los cuales la cobertura vegetal no existe o es escasa, compuesta principalmente por suelos desnudos y quemados, así como por coberturas arenosas y afloramientos rocosos, algunos de los cuales pueden estar cubiertos por hielo y nieve. Comprende los siguientes tipos de coberturas:

TIERRAS DESNUDAS Y DEGRADADAS

Esta cobertura corresponde a las superficies de terreno desprovistas de vegetación o con escasa cobertura vegetal, debido a la ocurrencia de procesos tanto naturales como antrópicos de erosión y degradación extrema. Se incluyen las áreas donde se presentan tierras salinizadas, en proceso de desertificación, o con intensos procesos de erosión que pueden llegar hasta la formación de cárcavas.

Fotografía 8. Tierras desnudas y degradadas



Fuente: Registro Fotográfico.

AGUAS CONTINENTALES

Son cuerpos de aguas permanentes, intermitentes y estacionales que comprenden lagos, lagunas, ciénagas, depósitos y estanques naturales o artificiales de agua dulce (no salina), embalses y cuerpos de agua en movimiento, como los ríos y canales.

RÍOS

Un río es una corriente natural de agua que fluye con continuidad, posee un caudal considerable y desemboca en el mar, en un lago o en otro río. Se considera como unidad mínima cartografiable aquellos ríos que presenten un ancho del cauce mayor o igual a 50 metros.

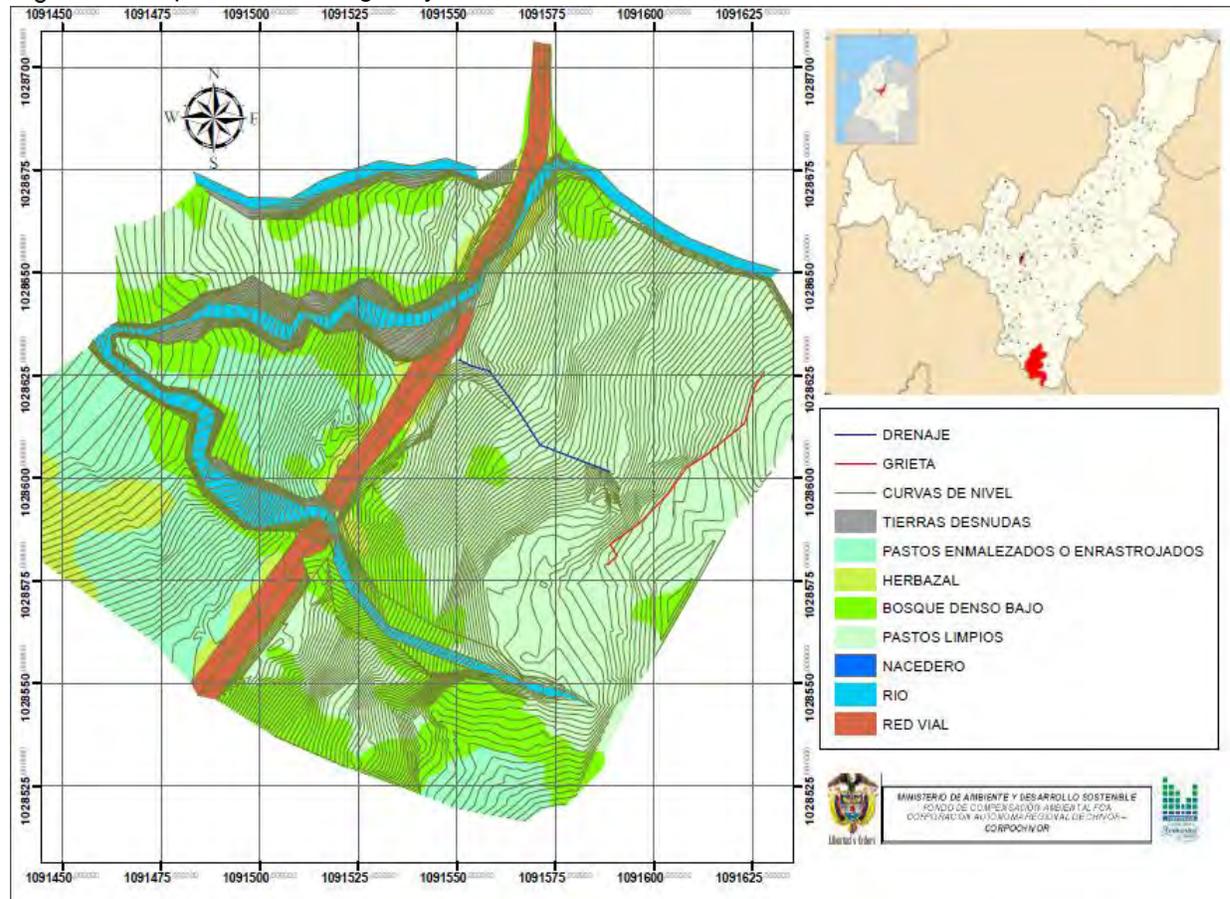
Fotografía 9. Río.



Fuente: Registro Fotográfico.

4.7.7 ÁREAS Y PORCENTAJES DE LAS COBERTURAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Figura 24. Mapa cobertura vegetal y uso de suelo



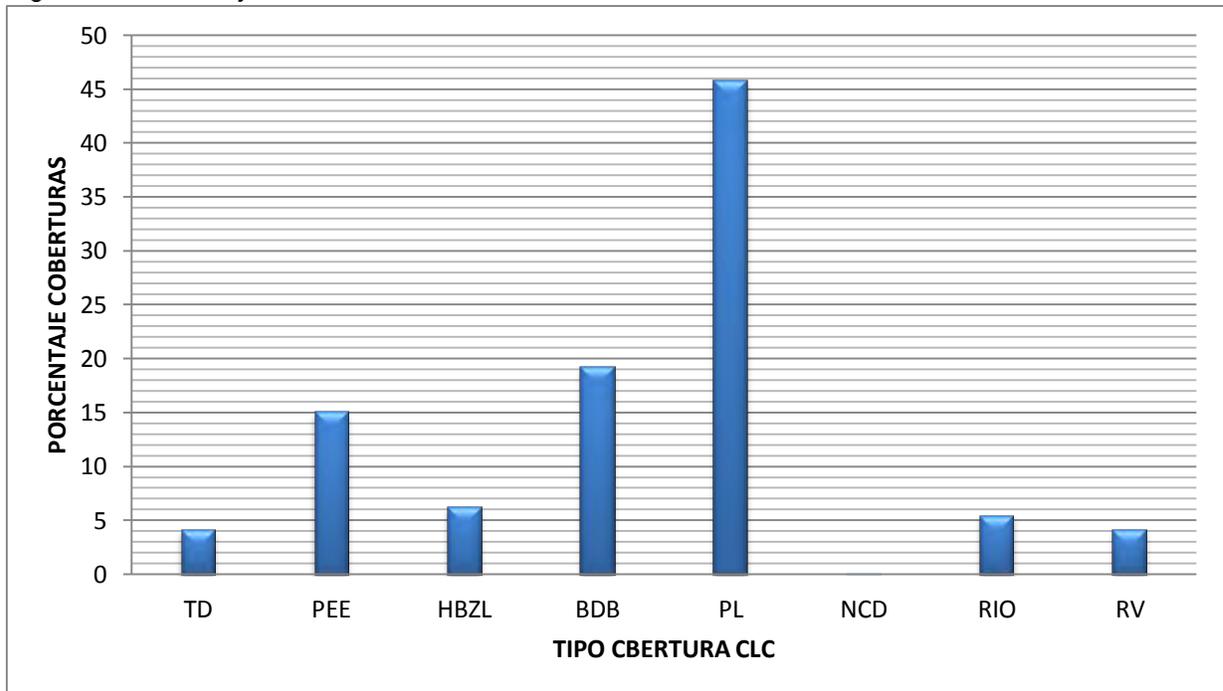
Fuente: Resultado del estudio.

Tabla 16. AREAS METRICAS DE LAS COBERTURAS

COBERTURA	ÁREA m ²
TIERRAS DESNUDAS (TD)	979
PASTOS ENMALEZADOS O ENRASTROJADOS (PEE)	3608
HERBAZAL (HBZL)	1497
BOSQUE DENSO BAJO (BDB)	4618
PASTOS LIMPIOS (PL)	10985
NACEDERO (NCD)	1
RIO (RIO)	1309
RED VIAL (RV)	994

Fuente: Resultado del estudio.

Figura 25. Porcentaje áreas de coberturas.



Fuente: Resultado del estudio.



4.7.8 UNIDADES DE COBERTURA VEGETAL

Para la individualización, caracterización y observación de las diferentes unidades de cobertura vegetal se realizaron estudios de campo, en el cual se evaluaron la estructura y la composición florística de las diferentes unidades de cobertura vegetal, mediante la observación directa en campo y la recolección de material botánico, así como también se realizaron observaciones de topografía, drenaje y suelos.

En ecología se pueden hacer estudios de fauna de diferentes formas. Los estudios pueden ser de tipo descriptivo, comparativo, observacional y experimental. Los estudios descriptivos son generalmente exploratorios y no tienen una hipótesis *a priori*. El objetivo de estos estudios es obtener información acerca de un fenómeno o sistema del cual previamente se tenía ninguna o muy poca información. Los estudios comparativos se deben realizar en sistemas de los que se tiene cierta información y cuando se tiene una o varias hipótesis de antemano.

El objetivo de este tipo de estudio es obtener la información necesaria para someter a prueba las hipótesis. Los estudios observacionales se basan en información obtenida del sistema en su estado original; generalmente no se hace ninguna manipulación del sistema. Los estudios experimentales consisten en manipular o modificar, de manera particular, un determinado sistema o ambiente. La información que interesa es, precisamente, la respuesta del sistema al tratamiento.

Se presenta el componente vegetal de la zona de estudio y el siguiente inventario, teniendo en cuenta que muchas de las especies referenciadas, su frecuencia de

aparición es muy baja y dispersa. Para la elaboración del mapa de cobertura vegetal se generalizaron las especies para facilitar su manejo, No se cuenta con un detallado inventario de la biomasa.

Tabla 17. Unidades de cobertura vegetal.

FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
Agaváceae	<i>Fourcroya humboldtiana</i>	Fique
Aracaceae	<i>Archontophoenix cunninghamiana</i>	Palma rey
Asteráceae	<i>Eupatorium arsenei</i>	
Asteráceae	<i>Euphrosyne partheniifolia</i>	
Asteráceae	<i>Bidens</i> sp.	Bernada
Asteráceae	<i>Chromolaena scabra</i> (L. F.) R.m. King & h. Rob.	
Asteráceae	<i>Archibaccharis serratifolia</i> (kunth) s. F. Blake	
Asteráceae	<i>Taraxacum officinale</i>	Diente de león
Bromeliaceae	<i>Racinaetha tetrantha</i> (ruiz & pav) m.a. Spencer & I.b. Sm.	Quinche
Cecropiaceae	<i>Cecropia peltata</i> L	Yarumo
Clusiaceae	<i>Clusia multiflora</i> kunth	Gaque
Cyatheaceae	<i>Cyathea medullaris</i>	Helecho
Dennstaedtiaceae	<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn	Helecho marranero
Ericaceae	<i>Macleania rupestris</i>	Uva camaronera
Euforbiaceae	<i>Hieronyma laxiflora</i> (tul.) Müll. Arg.	Chaparro
Fabaceae	<i>Erythrina rubrinervia</i> kunth	Chocho
Fabáceae	<i>Acacia decurrens</i>	Acacia blanca
Humiricaceae	<i>Humiria balsamifera</i> aubl	
Junglaceae	<i>Juglans neotropica</i> diels	Cedro
Lauraceae	<i>Aniba perutilis</i> hemsl.	
Melastomataceae	<i>Miconia</i> sp	Tuno
Melastomataceae	<i>Miconia squamulosa</i> triana	Tuno
Melastomataceae	<i>Miconia ligustrina</i>	Tuno
Mimosaceae	<i>Inga spectabilis</i> (vahl) willd	Copero

Mimosaceae	<i>Albizzia lophanta</i>	Acacia
Miricaceae	<i>Myrica pubescens</i> humb. & bonpl. Ex willdenow	Laurel
Moráceae	<i>Ficus soatensis</i>	Caucho sabanero
Moraceae	<i>Ficus</i> sp	Higuerón
Musáceae	<i>Musa sapientum</i> L.j	Maduro
Musáceae	<i>Musa sapientum</i> L.j	Plátano
Myrsinaceae	<i>Myrsine guianensis</i>	Cucharó
Papilionáceae	<i>Vinga trilobata</i>	Vinga
Poaceae	<i>axonopus anceps</i> (mez) hitchc	
Poaceae	<i>Pennicetum clandestinum</i>	Pasto
Poaceae	<i>Andropogon rufus</i> (nees) kunth	
Poaceae	<i>Holcus lanatus</i> L.	Pasto
Poaceae	<i>Pennicetum setaceum</i>	Catalán
Poaceae	<i>Panicum maximun</i>	Guinea
Poaceae	<i>brachiaria dictyoneura</i>	Pasto
Poaceae	<i>Paspalum plicatulum</i> var	
Poaceae	<i>Chusquea scandens</i> kumth	Carrizo
Poaceae	<i>Axonopus scoparius</i>	Imperial
Poaceae	<i>Pennisetum clandestinum</i> hochst ex chior	Kikuyo
Pteridofitaceae	<i>Lophosaria quadripinnata</i>	Helecho paragua
Rosaceae	<i>Polylepsis quadrifuga</i>	Colorado
Solanaceae	<i>Physalis peruviana</i> L	
Verbenáceae	<i>Duranta mutissii</i>	Espino

Fuente: Trabajo en campo .

5 HIDROGEOLOGÍA

Basados en el análisis de la información hidrológica y climatológica disponible, se estudió la dinámica de la escorrentía superficial y su relación con la geología del subsuelo, para describir las principales características hidrogeológicas del municipio de Almeida, analizar la presencia de posibles acuíferos, con el fin de conocer las condiciones que influyen en el deslizamiento.

5.1. Unidades Hidrogeológicas.

Basado en el levantamiento geológico del área en escala 1:2.000 y la información tomada en campo, se agruparon en unidades litoestratigráficas de acuerdo con sus características hidráulicas, definiéndose tres unidades hidrogeológicas; cada una de las unidades se clasifica como: Acuífero, Acuitardo y/o Acuicierre, dependiendo de sus características de porosidad y permeabilidad, así:

5.1.1. Acuífero.

Unidad geológica que almacena y transmite agua con mucha facilidad, por tanto presenta una porosidad y permeabilidad muy alta.

5.1.2. Acuitardo.

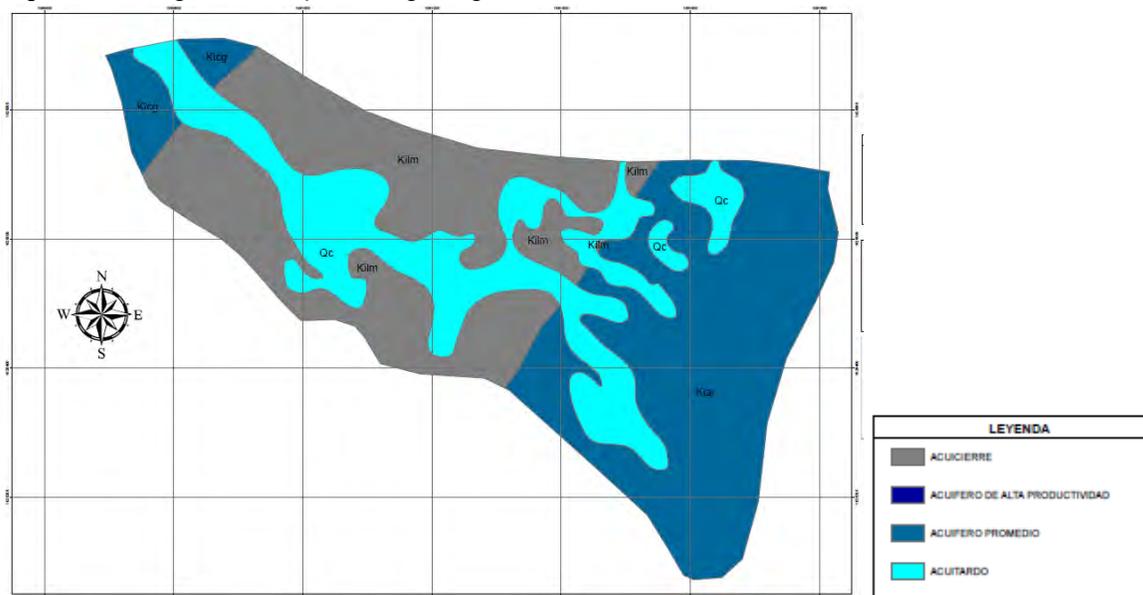
Son aquellas rocas que almacenan una gran cantidad de agua pero la transmiten muy lentamente, siendo aptas solo para bajas captaciones, entre ellas están los materiales arcillo-arenosos. Se consideran como sinónimos de Acuicierre, ya que con el tiempo los espacios intergranulares tienden a sellarse formando estratos

permeables que aunque pueden contener grandes cantidades de agua no permiten su flujo a través de sus poros.

5.1.3. Acuicierres.

Son formaciones capaces de contener agua, pero incapaces de transmitirla en cantidades suficientes como para su captación o formación de manantiales importantes.

Figura 26. Imagen del Mapa Hidrogeológico del área de estudio



Fuente: Resultado del estudio.

5.2. MARCO HIDROGEOLÓGICO GENERAL

5.2.1. UNIDAD I (Permeabilidad Alta)

Se encuentran en la Formaciones Areniscas de las Juntas (Kiaj) y Calizas del Guavio (Kicg), con alta porosidad y permeabilidad primaria, debido a la distribución

		<p style="text-align: center;">MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE FONDO DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL FCA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR –CORPOCHIVOR</p>	 <p style="text-align: center;">EJECUTOR CONVENIO No. 038/2012.</p>
---	---	---	---

de los poros que se encuentran conectados entre sí, lo que genera que los fluidos se transmitan más rápidamente.

5.2.2. Unidad II (Permeabilidad Media)

Se asocia a rocas, que permiten almacenar cierta cantidad de agua, pero que la transmiten muy lentamente, como es el caso de los cuaternarios, estos poseen poros, pero no están conectados entre sí, por lo tanto no se transmite el agua y se va reteniendo en la matriz lodosa que la contiene, por otra parte los depósitos coluviales (Qc) en el sector de estudio presenta niveles predominantes de cantos de compuestos por areniscas, se caracteriza por presentar fracturas es decir una porosidad secundaria, permitiendo el flujo de agua, pero de manera muy lenta.

5.2.3. UNIDAD III (Permeabilidad Baja)

Rocas con porosidad pero que no permiten el tránsito a través de ellas porque su permeabilidad es muy baja; constituidas por lutitas e intercalaciones de calizas y areniscas, presentes en la Formación Lutitas de Macanal (Kilm) las cuales se clasifican como acuícierres.

6 GEOELECTRICA

6.1. ESTUDIO GEOELECTRICO (TOMOGRAFIA ELECTRICA RESISTIVA)

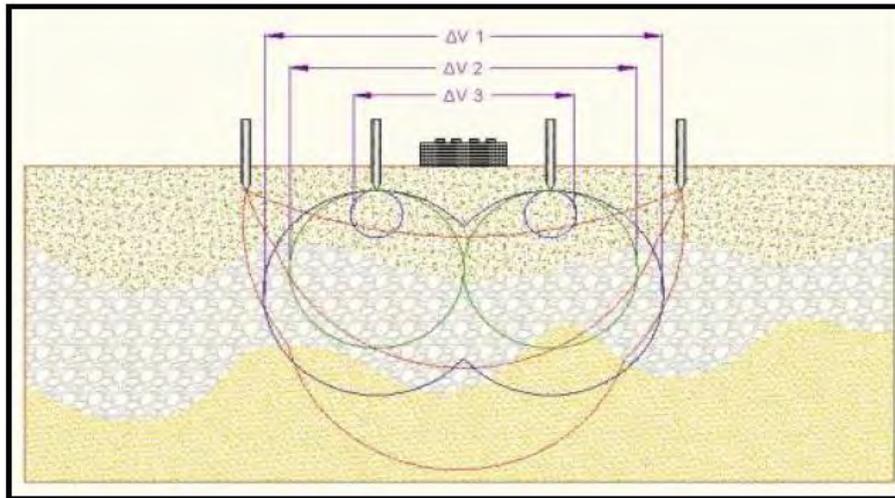
6.1.1. INTRODUCCION

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.

La Tomografía Eléctrica Resistiva es una técnica geofísica para generar secciones o perfiles del subsuelo en base a mediciones de caída de potencial eléctrico. Éste método consiste en inyectar una corriente al interior del suelo, la cual, regresa al voltímetro en forma de una diferencia de potencial (ΔV) producto de las variaciones en resistencia que resultan de cada tipo de material o estrato de suelo (Figura 27); sabiendo de antemano que 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 28). Lo anterior, es relativo a diversos parámetros geológicos como el contenido mineralógico y de humedad, así como la porosidad y grado de saturación de agua

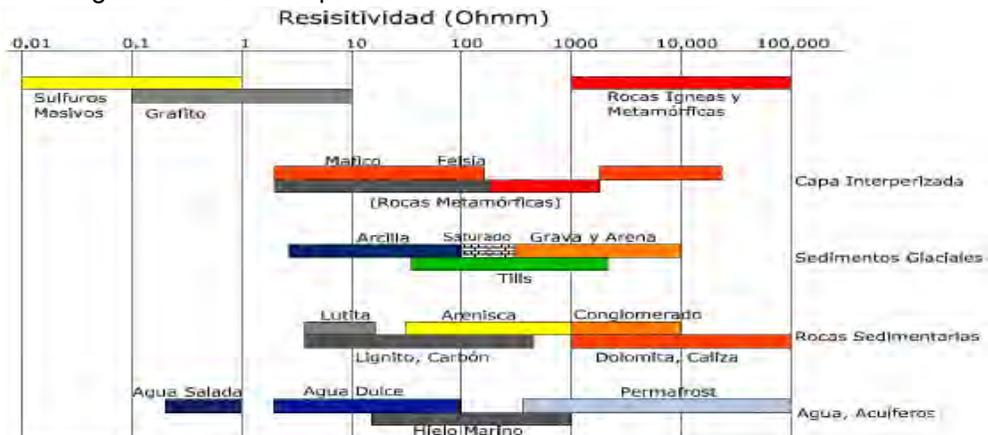
dentro del material de estudio. Durante décadas, los Estudios de Resistividad Eléctrica han sido utilizados en investigaciones sobre hidrogeología, geotecnia y también actualmente en estudios ambientales (Loke 2004).

Figura 27. 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, Jose Angel.

Figura 28. Rangos de resistividad para diferentes materiales.



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



Se describe en este trabajo la metodología empleada para realizar levantamientos geofísicos de resistividad, aplicados a estudios del subsuelo enfatizando el hecho de que son métodos totalmente indirectos. El objetivo fundamental de tales estudios es el de medir contrastes de resistividad entre estructuras u objetos de interés con las rocas circundantes. Se analiza la importancia del estudio de la resistividad eléctrica de los suelos y se enumeran los factores más importantes que determinan sus valores para diversos materiales geológicos. En lo referente al método de resistividad, se describe a detalle el principio fundamental que gobierna su empleo en la práctica para estudios del subsuelo.

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 nos permite poder 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.

6.2. OBJETIVO

Como apoyo al estudio geotécnico y de estabilidad que se está realizando para el convenio interadministrativo UPTC-CORPOCHIVOR, en el sector vereda Carichana, del municipio de Santa María, se realiza un estudio geofísico con la finalidad de determinar el comportamiento del material y continuidad del mismo en profundidad.

6.3. PRINCIPIO DEL METODO GEOFISICO.

6.3.1. Resistividad Aparente:

Está regida por la **ley de Ohm** dice que la intensidad de la corriente que circula entre dos puntos de un circuito eléctrico es proporcional a la tensión eléctrica entre dichos puntos. Esta constante es la conductancia eléctrica, que es la inversa de la resistencia eléctrica.

La intensidad de corriente que circula por un circuito dado es directamente proporcional a la tensión aplicada e inversamente proporcional a la resistencia del mismo.

La ecuación matemática que describe esta relación es:

$$I = GV = \frac{V}{R}$$

Donde, I es la corriente que pasa a través del objeto en amperios, V es la diferencia de potencial de las terminales del objeto en voltios, G es la conductancia en siemens y R es la resistencia en ohmios (Ω). Específicamente, la ley de Ohm dice que R en esta relación es constante, independientemente de la corriente.

Definición.

Es la variable experimental que expresa los resultados de las mediciones en TGe y la que se toma como base para la inversión y posterior interpretación. Esta está definida por la ecuación:

$$\rho a = K = \frac{\Delta V}{I}$$



Donde K es la constante de normalización de cada dispositivo o factor geométrico, ΔV es la diferencia de potencial medido sobre el terreno, e I la corriente inyectada.

Su relación con los elementos del Subsuelo.

En la Tabla 18, se observan los valores de resistividad de las rocas más comunes, materiales de suelo y algunas sustancias químicas (Keller y Frischknecht 1966, Daniels y Alberty 1966, Orellana 1982).

El suelo es una mezcla de partículas sólidas, gases, agua y otros materiales orgánicos e inorgánicos. Esta mezcla hace que la resistividad del suelo aparte de depender de su composición intrínseca, dependa de otros factores externos como la temperatura, la humedad, presión, etc. que pueden provocar que un mismo suelo presente resistividades diferentes con el tiempo. De entre todos los factores, la humedad es el más importante; además, es el que se puede alterar más fácilmente mediante la lluvia o el riego del suelo.

Diferentes contenidos de humedad en un mismo terreno darían lugar a resistividades diferentes que podrían llevarnos a interpretaciones erróneas de los materiales constituyentes del suelo. En la Tabla 18 se encuentra un conjunto de valores típicos de resistividad de geomateriales.

Tabla 18. Resistividades de algunos suelos y rocas.

Material	Resistividad (Ωm)
Basamento. Roca sana con diaclasas espaciadas	>10000
Basamento. Roca fracturada	1500-5000
Basamento. Roca fracturada saturada con agua corriente	100-2000
Basamento. Roca fracturada saturada con agua salada	1-100
Gruss no saturado	500-1000
Gruss saturado	40-60
Saprolito no saturado	200-500
Saprolito saturado	40-100
Gravas no saturadas	500-2000
Gravas saturadas	300-500
Arenas no saturadas	400-700
Arenas saturadas	100-200
Limos no saturados	100-200
Limos saturados	20-100
Limos saturados con agua salada	5-15
Arcillas no saturadas	20-40
Arcillas saturadas	5-20
Arcillas saturadas con agua salada	1-10
Andosoles secos	1000-2000
Andosoles no saturados	300-1000
Andosoles saturados	100-300

Fuente: Exploración Geotécnica-Relaciones Geoelectricas- DANIEL EDUARDO ARIAS.

6.3.2. Dispositivos:

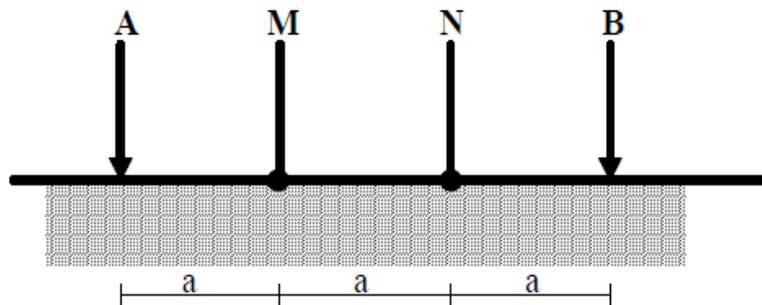
Un dispositivo es un arreglo de electrodos formado con dos pares de electrodos, dos emisores y dos receptores. A través de los electrodos emisores C1C2 se inyecta la corriente continua al terreno midiendo su intensidad con un miliamperímetro en serie, y a través del segundo par se mide la diferencia de potencial entre los electrodos P1P2 con un Milivoltímetro. 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 $\rho = k \Delta V / I$. El dispositivo utilizado en en la tomografía realizada fue el siguiente:

6.1.1.1 3.3.2.1 Dispositivo Wenner.

Los electrodos se disponen equidistantes sobre una línea en el orden AMNB (Figura 29).

Figura 29. Dispositivo Wenner.



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

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

6.4. METODOLOGIA

En su sentido más amplio la Tomografía es una técnica geofísica para el estudio del subsuelo que consiste en determinar la distribución de un parámetro físico característico del mismo dentro de un ámbito espacial limitado, a partir de un número muy elevado de medidas realizadas desde la superficie del terreno o desde sondeos.

		<p style="text-align: center;">MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE FONDO DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL FCA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR –CORPOCHIVOR</p>	 <p style="text-align: center;">EJECUTOR CONVENIO No. 038/2012.</p>
---	---	---	---

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 fórmula:

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

Donde:

d= Distancia entre elctrodos

Xtotal= Distancia de la línea extendida

N°electrodos= electrodos a utilizar

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

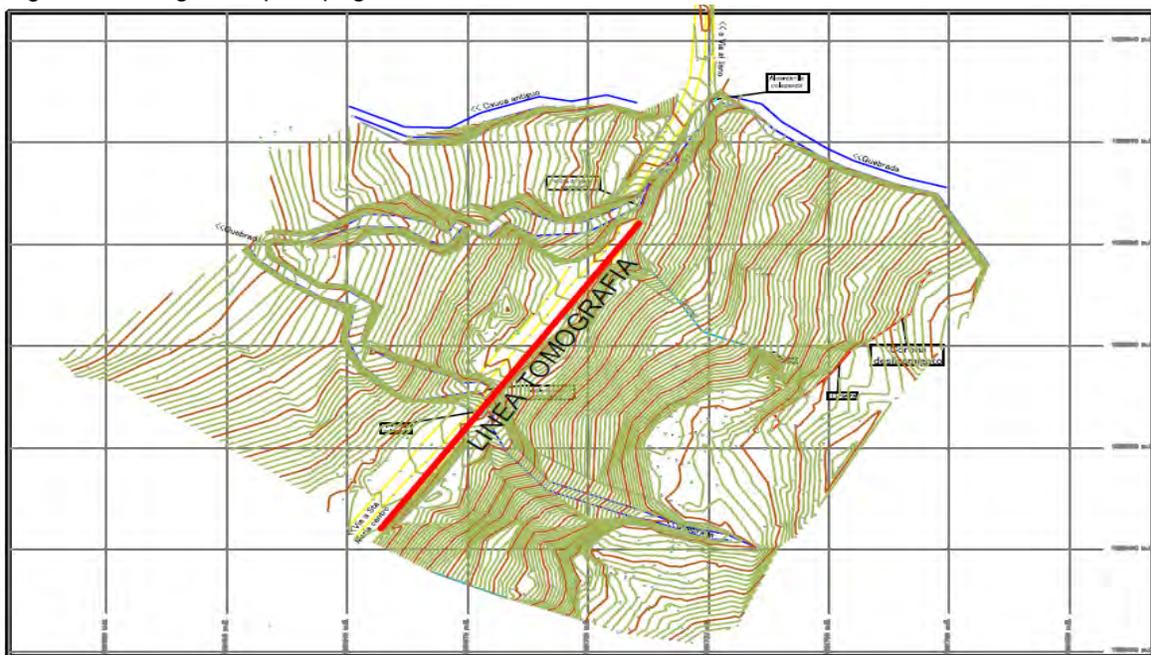
El resultado final de este tipo de estudio es una sección distancia-profundidad con la distribución de la resistividad real del subsuelo, fácilmente comprensible en términos geológicos o geotécnicos. Para obtener estos resultados se procede a insertar los parámetros para el cálculo y la medición de las resistividades en campo, utilizando el método o dispositivo de Wenner.

Para la realización de las tomografías en el sector vereda Carichana, del municipio de Santa María, 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 la siguiente línea con su respectivo análisis.

6.4.1. TOMOGRAFIA N°1

Localizada en la parte alta del deslizamiento Coordenadas parte inicial X: 1091712, Y: 1028586, parte final X: 1091648, Y: 1028496, orientación N36°E, con una longitud de 102.5 mts., profundidad obtenida de 18.4 mts., y los electrodos conectados a una distancia de 2.50 mts cada uno, ver Figura 30.

Figura 30. Imagen mapa topográfico Santa Maria.



Fuente: Resultado del estudio.

Fotografía 10. Parte media del deslizamiento.



Fuente: Registro fotográfico.

Fotografía 11. Equipo TERRAMETER LS 04-064-250.



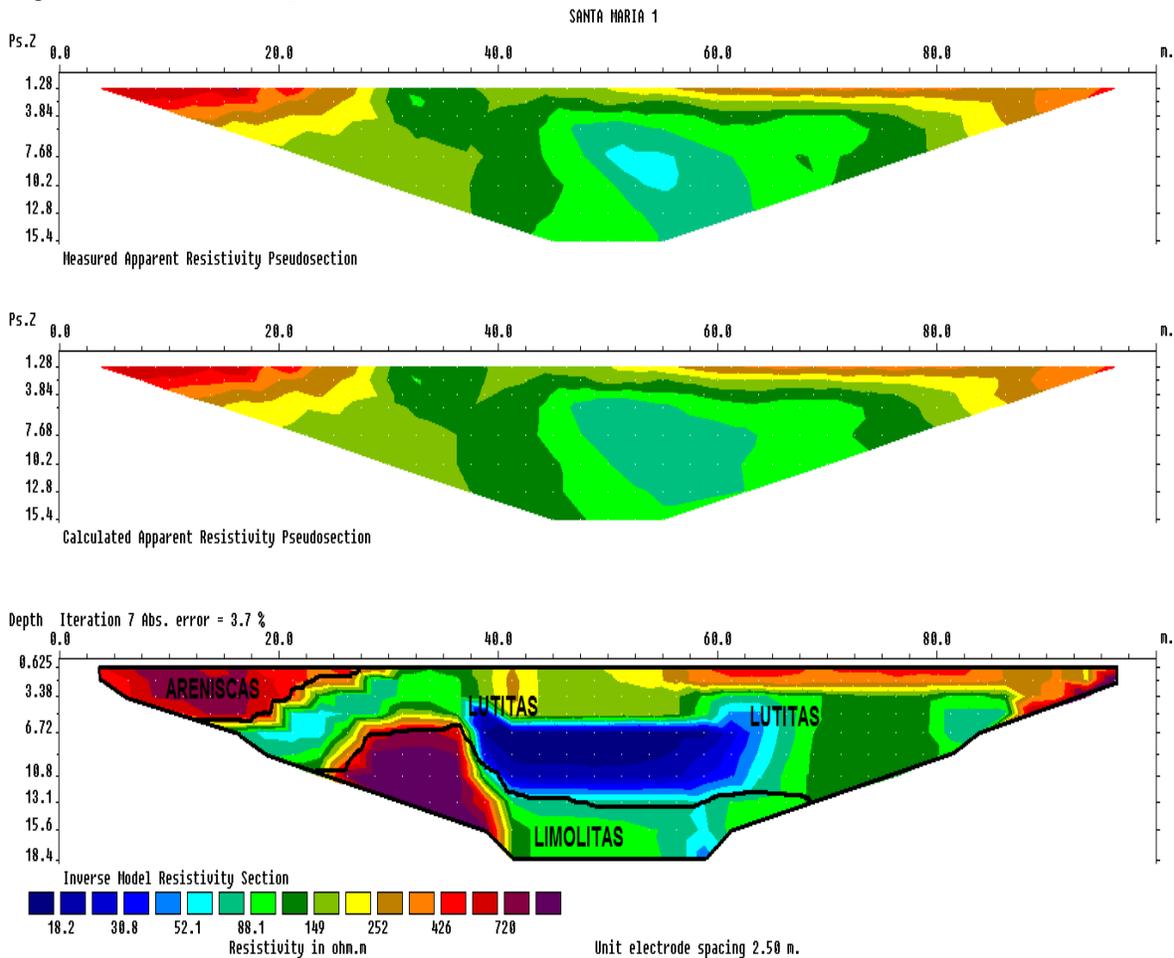
Fuente: Registro fotográfico.

Tabla 19. Resistividades de los materiales presentes en el área de estudio.

MATERIAL	PROFUNDIDAD (m)	RESISTIVIDAD ($\Omega \cdot m$)	INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA
1	0.625 – 13.1	18.2 – 88.1	Lutitas
2	6.72 – 18.4	88.1 – 252	Limolitas
3	0.625 – 6.72.	253 - 720	Areniscas

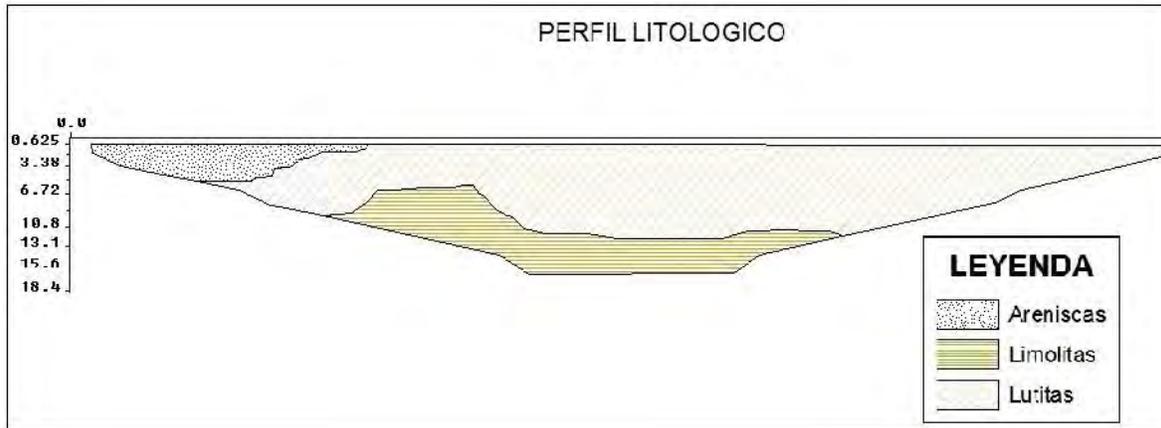
Fuente: Resultado del estudio.

Figura 31. Perfil 1 tomografía.



Fuente: Resultado del estudio.

Figura 32. Perfil litológico 1



Fuente: Resultado del estudio.

6.4.2. RESULTADOS

Con ayuda del software Res2DINX64, se relacionaron datos de las respectivas resistividades de los materiales del área obtenidas por el equipo, resultando así el modelamiento del talud, donde se observan que el área está conformada por tres unidades Geoelectricas bien definidas, donde encontramos niveles de lutitas con rangos de resistividades que oscilan entre 18.2 – 88.1 $\Omega \cdot m$, limolitas con resistividades que van desde 88.1 – 252 $\Omega \cdot m$, y finalmente intercalación de areniscas saturadas y no saturadas que poseen resistividades que oscilan entre 253 - 720 $\Omega \cdot m$, ver Figura 31 y Figura 32.

7 GEOTECNIA

En este capítulo se consignan los aspectos relacionados con la evaluación geotécnica de los fenómenos de remoción en masa (FRM) Vereda Carichana, municipio de Santa María, sucedidos desde hace unos años, y que han evolucionado hasta afectar considerablemente viviendas y la escuela presente en la zona. Las principales fuentes de información para el estudio geotécnico fueron la observación de campo, los datos obtenidos de la exploración geofísica y geológica, la exploración directa y las pruebas de laboratorio.

A partir de la información obtenida, se realizó el diagnóstico de los distintos fenómenos de remoción en masa, estableciendo hipotéticamente los mecanismos de falla y planteando las medidas aplicables para el tratamiento de las zonas inestables.

7.1 EXPLORACIÓN DE CAMPO

7.1.1. Sondeos geotécnicos

7.1.1.1 Exploración indirecta del sub suelo

La exploración indirecta del sub suelo se realizó por medio de tomografías geoelectricas como se observa en el numeral, el cual se llevó a cabo después de determinar que el método geoelectrico convencional SEV, no aporta ningún tipo de información importante cuando se aplica al estudio de deslizamientos por tratarse de un medio muy fracturado con altas pendientes además de ser un material removido y saturado.

7.1.1.2 Exploración directa del sub suelo.

La exploración directa del sub suelo consiste en la realización una apique y una trinchera, De estos se tomaron muestras alteradas e inalteradas para realizar los ensayos pertinentes para caracterizar los materiales presentes en esta zona. Además se realizaron sondeos a profundidades de que van de 0 hasta los 7 metros de y sus ubicaciones se relacionan en la siguiente Tabla 20; de estos se realizaron los también ensayos de propiedades índices y propiedades mecánicas.

Tabla 20. Coordenadas de los sondeos realizados

SANTA MARÍA			
Sondeo	Coordenadas		Profundidad (metros)
	Este	Norte	
sondeo 1	1,091,699	1,028,563	6,8
sondeo 2	1,091,660	1,028,525	7

Fuente: Resultados de la Investigación

De estos se obtuvieron perfiles geotécnicos del sitio como se observa en la Figura 33.

Fotografía 12. Perforación realizada en la zona de estudio



Fuente: Registro Fotográfico.

También se realizaron pruebas in situ como la prueba de penetrometro de bolsillo como se observa en la siguiente fotografía.

Fotografía 13. Prueba de Penetrometro de Bolsillo



Fuente: Registro Fotográfico.

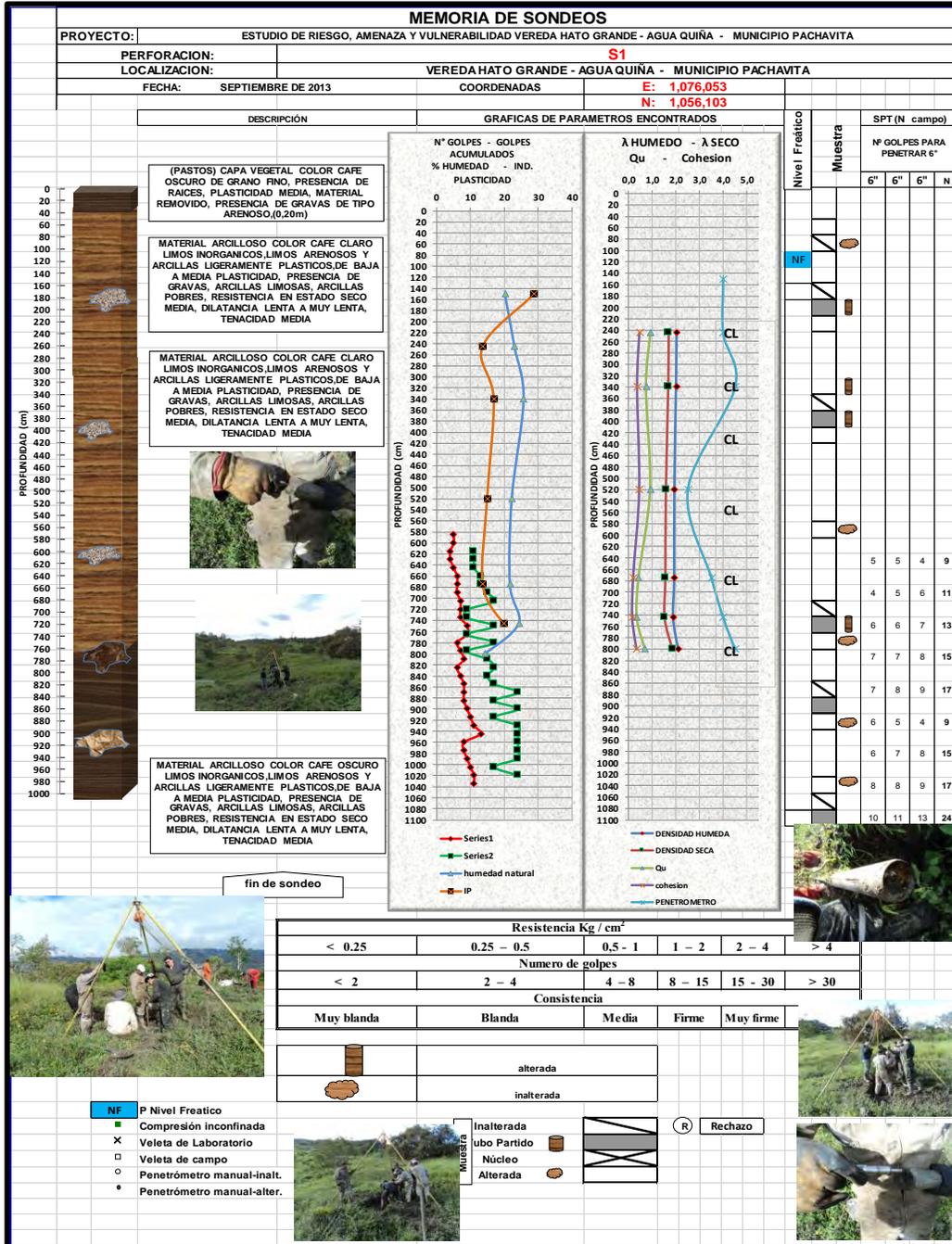
		<p style="text-align: center;">MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE FONDO DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL FCA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR –CORPOCHIVOR</p>	
---	---	---	---

7.2. CARACTERIZACIÓN DEL SUELO Y SUBSUELO

7.2.1. Trabajos de Laboratorio

De acuerdo con el muestro anterior y con las muestras recolectadas tanto en los sondeos (Suelos) y en los afloramientos (Rocas), en el laboratorio de Mecánica de Suelos y Rocas de la UPTC Sede Sogamoso se realizaron pruebas índice (Límites de Atterberg, Granulometría, humedad natural, peso unitario), compresión inconfinaada y corte directo. A demás de propiedades físicas y mecánicas de las rocas presentes en la zona de estudio, a continuación se realiza una descripción de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos y rocas concluyendo con un numeral con los resúmenes de los resultados de estas pruebas.

Figura 33. Perfil Geotécnico S1



Fuente: Resultado del estudio

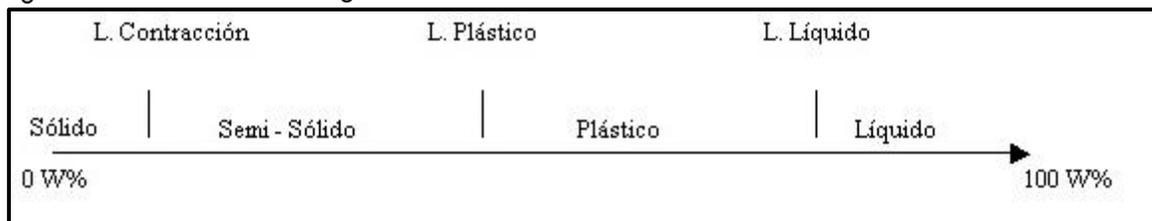
ELABORACIÓN DE ESTUDIO DE RIESGO (AMENAZA Y VULNERABILIDAD) Y DISEÑO DE OBRAS DE ESTABILIZACION EN LA VEREDA CARICHANA, MUNICIPIO DE SANTA MARIA JURISDICCION DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR (CORPOCHIVOR).

7.1.1.3 Propiedades índices de los suelos

Límites de Atterberg: El contenido de agua con que se produce el cambio de estado varía de un suelo a otro y en mecánica de suelos interesa fundamentalmente conocer el rango de humedades, para el cual el suelo presenta un comportamiento plástico, es decir, acepta deformaciones sin romperse (plasticidad), es decir, la propiedad que presenta los suelos hasta cierto límite sin romperse.

Atterberg definió tres límites para la clasificación del suelo; el de retracción o consistencia que separa el estado de sólido seco y el semisólido, el límite plástico, que separa el estado semisólido del plástico y el límite líquido, WL, que separa el estado plástico del semilíquido; estos dos últimos límites (los más usados en la práctica) se determinan con la fracción de suelo que pasa por el tamiz n.º 40 A.S.T.M (0,1 mm).

Figura 34. Límites de Atterbeg



Fuente: Juárez Badillo y Rico Rodríguez.

Humedad natural: Se denomina humedad natural o contenido de agua de un suelo, a la relación entre el peso de agua contenido en el mismo y el peso de su fase sólida, este se expresa como porcentaje.

Peso unitario: El peso unitario es definido como la masa de una masa por unidad de volumen. El peso unitario del suelo varía de acuerdo al contenido de agua que tenga el suelo, que son: húmedo (no saturado), saturado y seco.

Granulometría: Se denomina clasificación granulométrica o granulometría, a la medición y gradación que se lleva a cabo de los granos de una formación sedimentaria, de los materiales sedimentarios, así como de los suelos, con fines de análisis, tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas, y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica.

7.1.1.4 Propiedades mecánicas de los suelos

Compresión no confinada: El objetivo primario del ensayo de compresión no confinada es obtener rápidamente un valor aproximado de la resistencia a la compresión de los suelos que tienen suficiente cohesión para ser sometidos a dicho ensayo.

Fotografía 14. Muestra fallada en el ensayo de compresión no confinada.

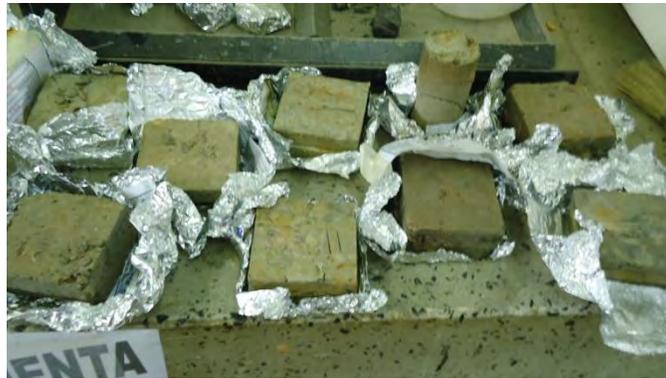


Fuente: Resultado del estudio.

Corte directo: Con el ánimo de establecer la resistencia al corte de algunos de los materiales más débiles dentro del área de estudio, se llevaron a cabo pruebas de corte directo en los suelos presentes para establecer las condiciones de resistencia disponible en la zona y llegar a realizar el análisis con respecto a las fuerzas actuantes.

Nota (*): Debido al grado de alteración se optó por realizar las pruebas de corte directo con muestras remoldeadas, esto tanto como para las pruebas de corte directo como para compresión no confinada.

Fotografía 15. Muestras a las que se les realizó la prueba de corte directo.



Fuente: Resultado del estudio.

7.2.2. Resumen de resultados

En general los ensayos realizados reflejan la particularidad de materiales finos en el subsuelo según la Carta de Clasificación de Casagrande, los suelos fueron clasificados dentro del grupo CL (material limoso de baja plasticidad) correspondientes al material de relleno, arcillas limosas, con peso unitario de 1.8 – 2.46 gr/cm³, con límite líquido < 48% e IP entre 11% y 26%.

Los resultados de las propiedades mecánicas reflejan una resistencia a la compresión simple de 1.35 kg/cm², cohesión de 0.24 – 0.6 Kgf/cm², ángulos de fricción de 17°. Estos resultados de las propiedades físicas y mecánicas se utilizaron para el análisis de estabilidad. En el anexo 4, se presentan los formatos correspondientes a los ensayos de laboratorio, de los cuales se presenta una tabla resumen (Tabla 21).

7.3. Clasificación del macizo rocoso

7.3.1. Clasificación Según el Índice Geológico de Resistencia (GSI):

Clasificación de macizos propuesta por Hoek y Brown, como un parámetro de condición del macizo rocoso en función de la condición estructural y del estado de las discontinuidades, para la aplicación del criterio generalizado de Hoek y Brown (2002), con el fin de establecer la envolvente de resistencia del macizo rocoso. Para su determinación se propone la utilización de la Figura 35.

Figura 35. Guía para la definición del Índice geológico de resistencia (GSI).

INDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICA (GSI)	Condición de la superficie				
	Disminución en calidad de superficie				
	Muy buena	Buena	Mediocre	Escasa	Muy mala
 INTACTA O MASIVA - macizo rocoso con pocas discontinuidades, carente de planos de deformación.	80	75			
 POCO FOLIADA - macizo rocoso parcialmente fracturado con hasta tres sistemas de discontinuidades. Puede contener intercalaciones de rocas foliadas.	60	50			
 MODERADAMENTE FOLIADA - macizo rocoso fracturado constituido por intercalaciones de rocas foliadas y no foliadas en proporciones semejantes.			40	30	
 BRECHADA - macizo rocoso muy alterado tectónicamente con aspecto brechoso.				20	10
 MUY FOLIADA - macizo rocoso plegado, altamente fracturado, constituido básicamente por rocas muy foliadas.	N/A	N/A			5

Fuente: Resultados de la investigación.

		<p style="text-align: center;">MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE FONDO DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL FCA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR –CORPOCHIVOR</p>	 <p style="text-align: center;">EJECUTOR CONVENIO No. 038/2012.</p>
---	---	---	---

Dada la sencillez de la guía para la determinación del GSI, y en cierta medida su subjetividad se propone para valores de GSI mayores que 25 que este pueda ser establecido a partir del valor de clasificación RMR89, teniendo en cuenta que se debe tomar el valor RMR sin corrección por orientación de discontinuidades y una valuación de condiciones de agua subterránea igual a 15. De acuerdo a lo anterior el valor de GSI 52 respectivamente como se observa en la Tabla 21

Tabla 21. Resumen de resultados ensayos de laboratorio

UNIVERSIDAD PEDAGOGICA Y TECNOLOGICA DE COLOMBIA																		
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS																		
SECCIONAL SOGAMOSO																		
MEMORIA DE SONDEOS																		
PROYECTO:		ESTUDIO DE AMENAZA Y VULNERABILIDAD MUNICIPIO DE SANTA MARIA																
PERFORACION:		SONDEOS 1 - 2																
LOCALIZACION:		MUNICIPIO DE SANTA MARIA																
FECHA:		SEPTIEMBRE DE 2013																
inalterada																		
alterada																		
										RESISTENCIA AL CORTE DE LOS SUELOS								
		COORDENADAS				PROPIEDADES FISICAS SUELOS				CORTE DIRECTO		λ HUMEDO		λ SECO		COMPRESION INCONFINADA		PENETROMETRO
SONDEO / APIQUE N°	MUESTRA N°	TIPO DE MUESTRA	PROF. (m)	E	N	Wn (%)	LL	LP	IP	CLASIF. (U.S.C.)	P.T.N° 200 (%)	φ	C	Peso Unitario	Peso Unitario	qu	C	BOLSILLO Kg/cm²
S 1	1		1,00	1,091,699	1,028,563	7,72	48,2	21,95	26,25	CL	3,243			1,8417	1,6783	1,1531	0,57655	4
	2		1,90	1,091,699	1,028,563	8,50	40,26	21,59	18,67	CL	3,84			2,0277	1,8568	1,2475	0,62375	4
	3		2,90	1,091,699	1,028,563	7,16	42,65	18,60	24,05	CL	2,651	17,328	1,402	1,9798	1,7742	1,2381	0,61905	4,5
	4		3,50	1,091,699	1,028,563	15,61	34,62	18,42	16,20	CL	3,044			1,867	1,6801	0,4959	0,24795	4,5
	5		4,40	1,091,699	1,028,563	14,44	36,75	16,28	20,47	CL	3,036			2,46	2,1368	1,1028	0,5514	4,5
	6		5,50	1,091,699	1,028,563	18,99	34,63	15,38	19,25	CL	4,422			1,9798	1,6868	1,2727	0,63635	4
	7		6,80	1,091,699	1,028,563	14,79	28,73	15,38	13,35	CL	2,335			2,2087	1,9455	1,3204	0,6602	4,5
S2	1		0,70	1,091,660	1,028,525	10,31												4,5
	2		1,80	1,091,660	1,028,525	10,58	30,06	11,56	18,50	CL	2,805			2,1474	1,936	1,3419	0,67095	4
	3		2,70	1,091,660	1,028,525	25,83	36,29	16,67	19,62	CL	4,16	17,952	1,287	2,0059	1,7701	1,3534	0,6767	3,5
	4		4,50	1,091,660	1,028,525	13,97	28,37	16,38	11,99	CL	2,964			2,0044	1,5992	0,8328	0,4164	4
	5		5,70	1,091,660	1,028,525	16,64	32,73	20,00	12,73	CL	2,617			1,9233	1,6867	0,9539	0,47695	4,5
	6		7,00	1,091,660	1,028,525	28,69	33,7	20,45	13,25	CL	1,96			2,0047	1,5808	0,8378	0,4189	4,5

Fuente: Resultados de la investigación.



7.4. CINEMÁTICA DE LOS MOVIMIENTOS

El comportamiento cinemático de los movimientos complejo y depende de varios factores (Pellegrino y otros, 2000):

El volumen o caudal de suelo en movimiento. Este volumen puede ser suministrado por un deslizamiento o por varios deslizamientos.

La pendiente o canal sobre el cual fluye el suelo.

El contenido de agua.

7.5. CAUSAS DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA

7.5.1. Causas Reales

Las causas directas de los fenómenos de remoción en masa corresponden a aquellos factores inherentes a la naturaleza del terreno, que lo hace potencialmente inestable. La ocurrencia generalmente está relacionada con la saturación de los materiales subsuperficiales. Algunos suelos absorben agua muy fácilmente y la saturación conduce a la formación del movimiento, también la susceptibilidad geomorfológica dadas las altas pendientes de algunos sectores, el tipo de material por tratarse de material coluvial, la condición de los materiales rocosos subyacentes al suelo, que se encuentra muy fracturado como producto del intenso fallamiento presente.

7.5.2. Causas Inmediatas

Las causas inmediatas son también conocidas como detonantes de la inestabilidad, y corresponden a aquellos factores exógenos que producen en ultimas los movimientos del terreno.

Como detonantes de los eventos se han establecido los siguientes:

La baja capacidad de capturar agua del material pero no de trasmitirla lo cual hacer que se generen grandes presiones las cuales generan la fuerza indicada para el desplazamiento del movimiento.

El agua proveniente de las precipitaciones, que aunque no son frecuentes, han ocurrido en épocas que están asociadas a los mayores movimientos ocurridos.

La baja resistencia al corte o de fricción del material en el cual se produce la superficie de falla.

El mal uso de suelo, la ocupación de drenajes naturales para regadío de cultivos, tala y pastoreo.

Los eventos sísmicos con alguna influencia en la zona se constituyen también en factores detonantes.

Existen otros factores detonantes de menor importancia que pueden mencionarse, como las vibraciones y sobrecargas provenientes del tránsito vehicular, las sobrecargas asociadas a los botaderos y el mal uso del suelo.

7.6. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y MODELACIÓN GEOTÉCNICA

La modelación geotécnica tiene como objetivo verificar las condiciones actuales de estabilidad de la vereda piedra larga, el cual afecta las viviendas presentes en la zona.

Los modelos constituyen simplificaciones de problemas complejos acorde con la realidad, que permiten comprender mejor el funcionamiento de un sistema, son muy utilizados en todas las ciencias, aunque adquieren una gran relevancia en la Ingeniería Geológica, para este modelamiento se deben tener en cuenta tres aspectos fundamentales, Modelo Geológico, Modelo Geomecánico, para así poder llegar al Modelos Geotécnico del comportamiento del terreno (Modelo Numérico). El modelamiento geotécnico se establece con estos criterios, La exploración del subsuelo y las condiciones geológicas encontradas vistas en los numerales anteriores. Debido a la complejidad del fenómeno de remoción en masa se sectorizo en tres partes a las cuales se le realizo su respectivo análisis mostrado en los perfiles de plano de exploración geotécnica.

La modelación se realizó con el programa de estabilidad de taludes Slide V.6, desarrollado por la firma Rocscience de Canadá, el cual trabaja con el método de equilibrio límite y dovelas. Dentro de los métodos de análisis se consideraron el método de fellenius, el método de Bishop simplificado, y el método de Janbu Simplificado y Corregido.

Modelamiento del comportamiento hidráulico.

Respecto al agua subterránea, a pesar que en las exploraciones no se encontró un nivel freático, se consideró su efecto con el coeficiente R_u , coeficiente que se define como:

		<p style="text-align: center;">MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE FONDO DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL FCA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR –CORPOCHIVOR</p>	 <p style="text-align: center;">EJECUTOR CONVENIO No. 038/2012.</p>
---	---	---	---

$$Ru = \frac{u}{\sigma_v}$$

u: Presión de poros en la base de la dovela.

σ_v : Esfuerzo vertical total en la base de la dovela.

El coeficiente Ru tiene un rango de variación de 0 (terreno seco) hasta 0,5 (terreno saturado).

Efecto de la Aceleración Sísmica en el Modelo.

El Municipio de Santa María se encuentra en una zona de Amenaza Sísmica Alta, de acuerdo a la Norma Colombiana Sismorresistente, por tanto el efecto sísmico es un aspecto relevante en la estabilidad de taludes. El efecto sísmico fue considerado con la aplicación de un análisis Pseudoestático a partir de la siguiente expresión:

$$\sum F = m * a$$

Donde,

F: Fuerzas.

m: Masa de la dovela.

a: aceleración.

La aceleración aplicada a cada masa, corresponde a un porcentaje de la aceleración de la gravedad, el cual se define de acuerdo a los coeficientes de aceleración horizontal y vertical propuestos en la norma sismorresistente y a un coeficiente de reducción del coeficiente de aceleración, de acuerdo a las características del terreno. Para el Municipio de Santa María los coeficientes de aceleración horizontal (A_a) y vertical (A_d) son iguales a 0.14 y 0.06

respectivamente, de acuerdo a la NSR-10, sin embargo la versión vigente del código colombiano sismorresistente, indica que los coeficientes se tomen igual al valor mayor, en este caso 0.20 y 0.20. El coeficiente de reducción de los coeficientes de aceleración para suelos y macizos rocosos con R.Q.D menores a 50%, es igual a 0.8 (Tabla 22).

Tabla 22. Coeficientes de aceleración sísmica para el departamento Boyacá

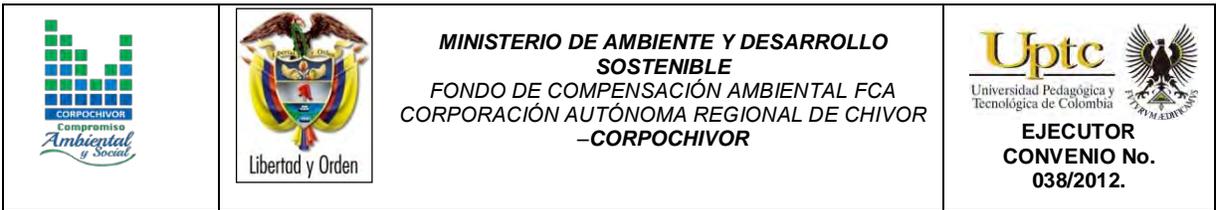
Nº	Municipio	Código	Aa	Av	Zona de Amenaza Sísmica	Ae	Ad
1	Tunja	15001	0.20	0.20	Intermedia	0.15	0.07
2	Almeida	15022	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
88	Santa María	15690	0.30	0.25	Alta	0.16	0.08
122	Viracachá	15879	0.20	0.25	Alta	0.16	0.08
123	Zetaquirá	15897	0.20	0.25	Alta	0.16	0.08

Fuente: Título A NSR – 10

Tabla 23. Coeficientes de reducción de coeficientes de aceleración sísmica

MATERIAL	Kst/amax Mínimo	Análisis de Amplificación mínimo
Suelos enrocados y macizos rocosos muy fracturados (RQD<50%)	0.8	Ninguno
Macizos rocosos (RQD>50%)	1	Ninguno
Todos los materiales terrosos	0.67	Amplificación de onda unidimensional en dos columnas
Todos los materiales terrosos	0.5	Amplificación de onda bidimensional

Fuente: Tabla H.5.2-1 Título H NSR – 2010.



Por tanto el coeficiente de aceleración para análisis pseudoestático resulta:

$$k = k_{ST} * A_a = 0.8 \times 0,20 = 0,16$$

El método de cálculo utilizado para el caso fue el de equilibrio límite que define el factor de seguridad (F.S.) como:

$$F.S. = \frac{\text{Fuerzas resistentes}}{\text{Fuerzas actuantes}}$$

Con estos elementos se procedió a evaluar las condiciones de estabilidad de la zona.

7.6.1. Análisis estructuralmente no controlado

Este análisis se consideró para el sitio donde ya se evidencio el movimiento en la parte de los depósitos, aunque no obstante también se consideran las rocas que intervienen. En este análisis se observan el siguiente A–A’.

Las propiedades Físico-mecánicas utilizadas son resultado de los diferentes ensayos realizados donde se utilizaron los datos más bajos obtenidos ya que estos reflejan las condiciones críticas del movimiento y en algunos casos se aplicó factores de reducción a los resultados ya algunas pruebas de resistencia se realizaron sobre muestras re moldeadas, esto con el fin de poder llegar a contempla un modelo que se acerque a la verdad y no diciendo que este sea igual.

Tabla 24. Valores de Propiedades Físicas y Mecánicas Utilizadas en los Modelos de estabilidad.

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	UCS (kPa)	m	s	a	Water Surface	Ru
Qc		18	Mohr-Coulomb	20	17					None	0.5
Kilm		22	Generalised Hoek-Brown			3500	2.52129	0.00482795	0.504991	None	0.5
Klaj		22	Generalised Hoek-Brown			2500	1.8664	0.00539533	0.504656	None	0

Fuente: Resultados del Proyecto.

La parte superior del deslizamiento se observa en la Fotografía 16

Fotografía 16. Parte superior del movimiento

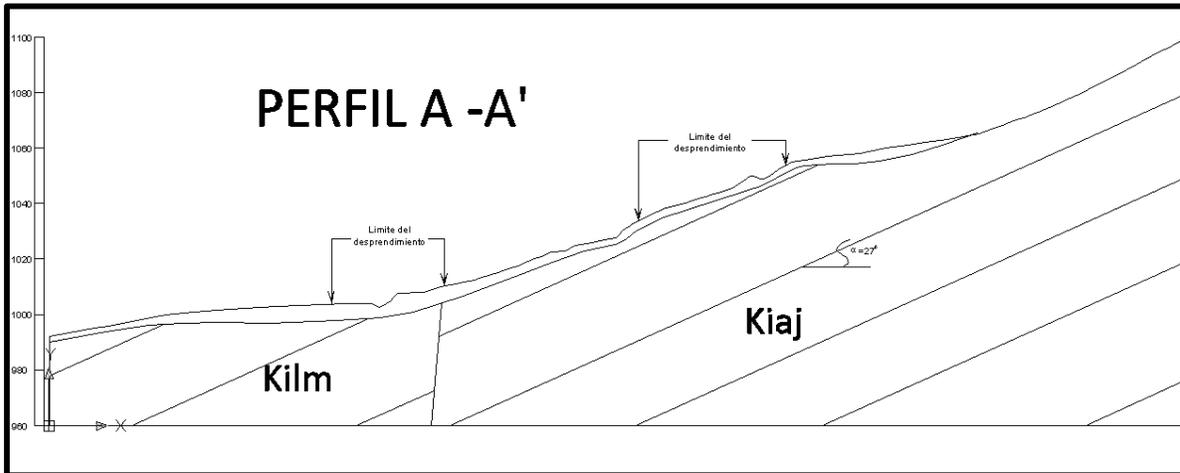


Fuente: Registro fotográfico.

El modelo grafico el modelo analizado relaciona los datos obtenidos de la campaña de exploración geológica y geotécnica. La parte de geología aporta el perfil geológico y los parámetros mecánicos se obtienen en de los resultados de los diferentes ensayos anteriormente relacionados en el trabajo de laboratorio.

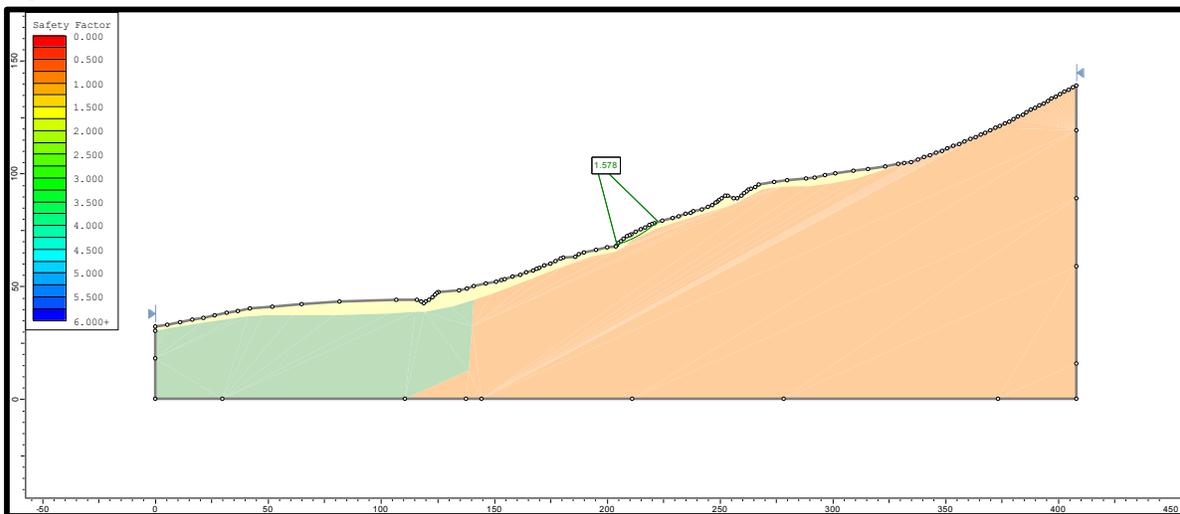
Para este caso se analizado el perfil AA' ya que este refleja el comportamiento del deslizamiento como tal.

Figura 36. Perfil geológico AA'



Fuente: Resultados del estudio.

Figura 37. Modelo de análisis perfil A-A'



Fuente: Resultados del estudio.

Los resultados de este análisis se relacionan en las siguientes tablas.

Tabla 25. Factores de seguridad para el modelo perfil A-A

Condición del modelo	Factor de Seguridad			
	Met. Fellenious	Met. Bishop Simplificado	Metodo de Janbu Simple	Metodo de Janbu Corregido
Condición de agua subterránea normal ($R_u = 0.1$)	1.741	1.709	1.702	1.769
Condición de agua subterránea crítica ($R_u = 0.3$)	1.578	1.491	1.489	1.535
Condición de agua subterránea media ($R_u = 0.5$) y sismo (análisis pseudoestático)	1.220	1.201	1.198	1.2.18

Fuente: Resultados del estudio.

Como resultado de este capítulo se realiza el mapa Geomecánico que representa las zonas con condiciones homogéneas de resistencia de suelos, clasificación de las rocas, además de involucrar los factores de seguridad de los perfiles analizados y las zonas donde se observa los potenciales mecanismos de falla. Debido a la complejidad del movimiento es complicado establecer un modelo en dos dimensiones que refleje la realidad de mismo por tal motivo los modelos geotécnicos aquí presentados no representan la realidad del movimiento.

		<p style="text-align: center;">MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE FONDO DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL FCA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR –CORPOCHIVOR</p>	 <p style="text-align: center;">EJECUTOR CONVENIO No. 038/2012.</p>
---	---	---	---

8 ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA

8.1 DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DE AMENAZAS

Se entiende como amenaza por fenómenos de remoción en masa, la probabilidad de ocurrencia de movimientos del terreno potencialmente perjudiciales en un área dada en un periodo específico. Usualmente una zonificación de amenazas es el resultado de la evaluación de parámetros topográficos, geológicos, geomorfológicos, climáticos, hídricos, agrologicos y geotécnicos, de donde se obtiene la susceptibilidad; luego, si a ello se agrega el potencial efecto de factores detonantes tales como el agua en sus diversas formas (precipitaciones, infiltraciones, fugas, escorrentía), las sobrecargas de origen antrópico o natural y los sismos, entonces se llega a establecer la amenaza.

- **Amenaza;** es la probabilidad de ocurrencia de un evento potencialmente dañino, caracterizado por una cierta intensidad, dentro de un periodo dado y en un área determinada.
- **Vulnerabilidad;** es el sistema de condiciones y procesos resultado de los factores físicos, sociales, económicos, culturales y ambientales, que aumentan o disminuyen la susceptibilidad de una comunidad o infraestructura al impacto de las amenazas.

- **Riesgo**; es la probabilidad de que se produzcan pérdidas socio-económicas en un determinado momento y en un área del territorio determinada, a causa de una amenaza.

Existen amenazas por inundación, erosión hídrica y fenómenos de remoción en masa, las cuales es importante identificar y caracterizar, para tomar medidas de mitigación que permitan la disminución de la vulnerabilidad y la complementación de los planes de emergencia para cada sector.

Tabla 26. Parámetros físicos y naturales estimados para la Identificación de Zonas Inestables (Deslizamientos)¹

TIPOLOGÍA DE INDICADORES POR SU NATURALEZA	INDICADORES (ANTECEDENTES)	INDICADORES POTENCIALES
Geológicos	Afloramiento de rocas alteradas (diaclassadas), estructuras de formas irregulares.	Planos de fracturamiento a favor de la pendiente, estructuras rocosas de formas irregulares, material poco consolidado o deleznable.
Geomorfológicos	Terreno con pequeñas depresiones, relieve ondulado, existencia de escarpes y/o contrapendientes.	Pequeñas depresiones, relieve ondulado, apertura de grietas en el terreno
Hidrogeológicos	Abundancia relativa de agua (zonas de mayor vertimiento hídrico), suelos saturados, régimen cambiante de corrientes	Abundancia relativa de agua y zonas de surgencia hídrica. Suelos con alto porcentaje de

¹ (Adaptación Grupo de investigaciones UPTC, Metodología para el análisis de los riesgos naturales, (MET-ALARN) Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación).

	hídricas, acumulación o estancamiento de agua en proximidades a zonas inestables, desviación de ríos.	humedad o mojados en tiempo continuo.
Vegetales	Existencia de plantas típicas de zonas húmedas, troncos torcidos y/o inclinados, rotura de raíces y raíces tensas, discontinuidades repentinas en la cobertura vegetal.	Existencia de plantas típicas de zonas húmedas, raíces tensas. Árboles tumbados en la parte baja del tronco.
Estructurales	Postes inclinados, cables tensos o flojos, casas o construcciones agrietadas o inclinadas, grietas u ondulaciones en los pavimentos o capas de rodadura, cercos desplazados.	
Toponimia	Nombres de lugares que pueden sugerir inestabilidad del terreno como Cerro Agua Blanca, Vereda Volcaneras.	
Históricos	Testimonios o documentos de eventos pasados.	

Fuente: Resultados del estudio.

La metodología empleada está enmarcada dentro del tipo de información disponible, así como la escala y finalidad de trabajo, en tal sentido el presente estudio se basa en:

- Revisión de la cartografía básica existente (topográfica, geológica, geomorfológica, geotécnica, usos del suelo, cobertura vegetal).
- Selección de la base topográfica para la elaboración y presentación de los planos solicitados.
- Identificación de unidades geológicas superficiales, geomorfología y procesos morfodinámicos activos o potenciales a través de visitas a campo.

- Elaboración de información temática complementaria como cobertura y usos del suelo, precipitaciones, sismicidad, factor antrópico (cortes, rellenos, manejo de aguas de escorrentía y superficiales).
- Elaboración del modelo geológico-geotécnico (determinación de los aspectos intrínsecos, factores contribuyentes y detonantes).
- Determinación de las posibles zonas homogéneas, mecanismos de falla, caracterización del drenaje y su relación con los fenómenos de inestabilidad potenciales y activos.

8.2 RESULTADO DE ANALISIS

Para la clasificación de la amenaza de la zona se utilizaron como criterios de categorización los presentados en la Tabla 27, teniendo en cuenta los parámetros de la Metodología de Leone.

Tabla 27. Categorización de amenazas por FRM.

CATEGORÍA DE AMENAZA	F.S. CONDICIONES NORMALES	F.S. CONDICIONES EXTREMAS
BAJA	> 1.9	> 1.3
MEDIA	1.2 – 1.9	1.0 – 1.3
ALTA	< 1.2	< 1.0

Fuente: Resultados del estudio.

Se realiza una evaluación de la amenaza a partir de la norma NSR-10, donde se establecen los factores de seguridad para taludes los cuales se presentan en la Tabla 28.

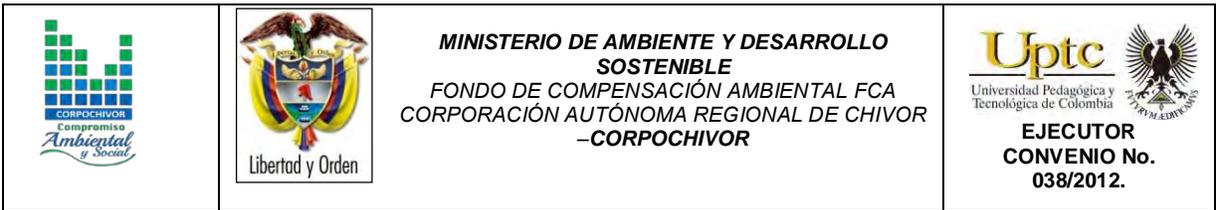


Tabla 28. Categorización de amenaza por (FRM) según nsr-10

CONDICION	F.S. BASICOS MINIMOS DIRECTOS
TALUDES - CONDICION ESTATICA Y AGUA SUBTERRANEA NORMAL	1.5
TALUDES – CONDICION SEUDO – ESTATICA CON AGUA SUBTERRANEA NORMAL Y COEFICIENTE SISMICO DE DISEÑO	1.02

Fuente: Resultados del estudio.

8.3 ANALISIS DE AMENAZA

Para la zona estudiada se establecieron las unidades indicadas en el anexo 1, mapas temáticos, Plano 7. La imagen de este mapa temático se encuentra a continuación.



8.4 Evaluación de Vulnerabilidad

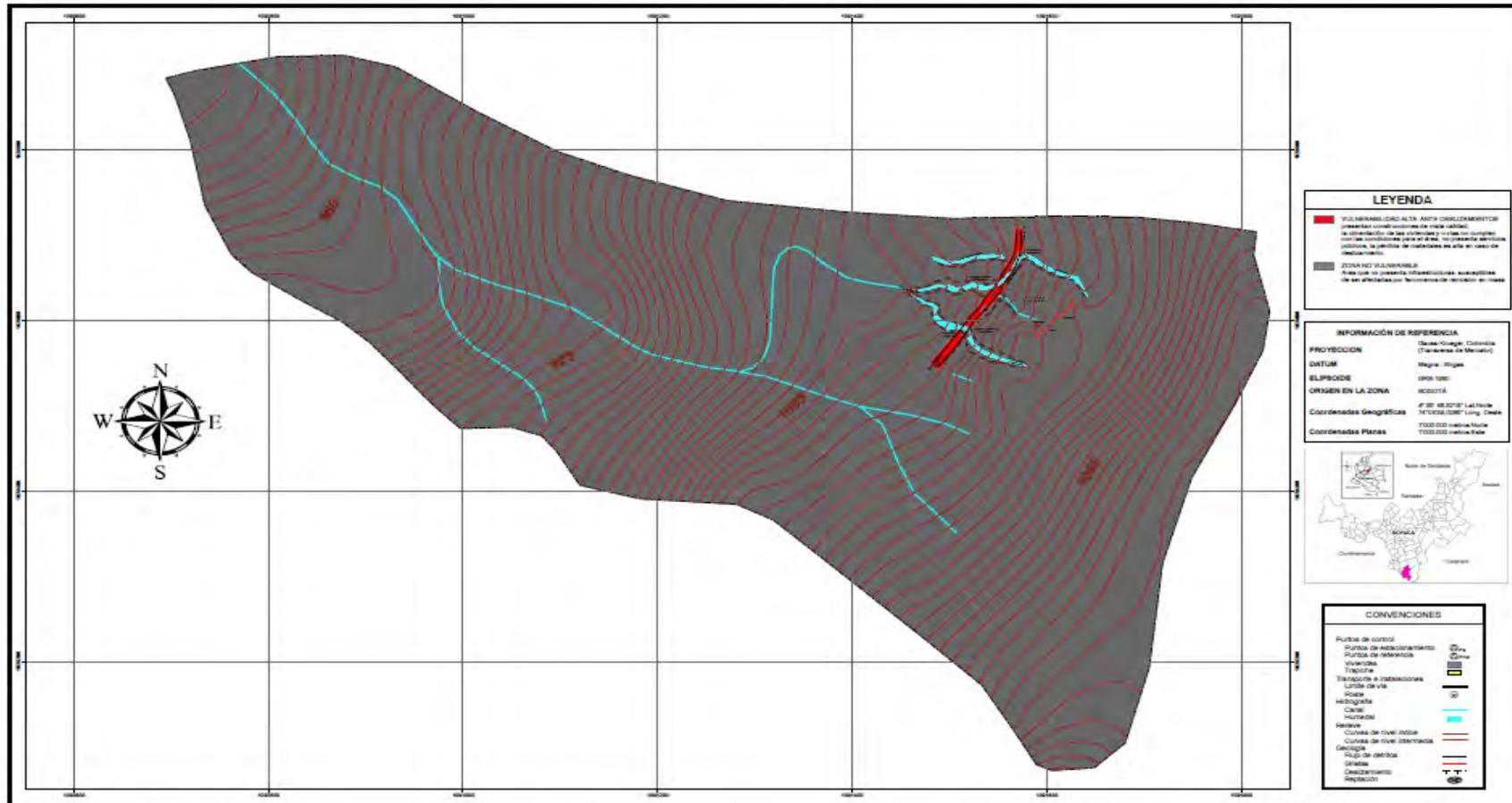
Para determinar la vulnerabilidad de las edificaciones ante deslizamientos, se empleó el cálculo del denominado Índice de Vulnerabilidad Física (IVF), utilizando para tal efecto la metodología propuesta por Leone y modificada por Soler . En resumen, el trabajo consiste en calcular los índices de vulnerabilidad física (IVF), dependiendo del tipo de movimiento, la intensidad de las sollicitaciones y las características del elemento expuesto (edificaciones y demás construcciones existentes).

En forma general, la vulnerabilidad es una función tanto de la intensidad y magnitud del fenómeno como de la resistencia del elemento expuesto. La primera variable ya se tuvo en cuenta en la evaluación de la amenaza; para la segunda variable (resistencia del elemento expuesto), se obtendrá una tipificación de las edificaciones teniendo en cuenta criterios de resistencia de la estructura.

La clasificación de la tipología de la estructura, los rangos de velocidad utilizados y la matriz de daños empleada en el estudio se presentan en el Anexo 10, Diseño de Obras, en el documento síntesis correspondiente. Así mismo las unidades definidas se presentan en el mapa temático 8, que corresponde al Anexo 1 (Mapas Temáticos).

A continuación se presenta la imagen del mapa correspondiente a la vulnerabilidad Física y Social resultado de este estudio.

Figura 39. Imagen Mapa de Vulnerabilidad Física y Social



Fuente: Resultados del estudio.

9 EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO

Se define vulnerabilidad con relación a los siguientes aspectos:

La **vulnerabilidad estructural** ² o física describe el grado hasta el cual una estructura es susceptible de ser dañada o alterada en una situación de peligro.

La **vulnerabilidad humana** es la falta relativa de capacidad de una persona o comunidad para prever un peligro, hacerle frente, resistirlo y recuperarse de su impacto. Entre los factores que incrementan la vulnerabilidad humana a los desastres se encuentra la falta de planificación en el desarrollo o crecimiento de la infraestructura, el crecimiento demográfico, la falta de conocimientos acerca de cómo actuar frente a los efectos de los desastres y la pobreza.

De todos los factores, es probable que la pobreza constituya el origen de la vulnerabilidad de la mayoría de la gente, al impacto de la mayoría de las amenazas o peligros.

La vulnerabilidad es el nivel de pérdida de un conjunto dado de elementos, como resultado de la ocurrencia de un fenómeno. Los elementos que pueden ser afectados dentro de las áreas de ocurrencia de la amenaza; se tienen calles, edificaciones, población, cultivos entre otros.

² Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), Comité Coordinador para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central (CEPREDENAC). ANÁLISIS DE RIESGO POR INUNDACIONES Y DESLIZAMIENTOS DE TIERRA EN LA MICROCUENCA DEL ARENAL DE MONTSERRAT

9.1 INFORME DE VISITA DE EVALUACIÓN COMPONENTE SOCIAL, MUNICIPIO DE SANTA MARIA, VEREDA CARICHANA.

La caracterización de la población se realizó mediante una visita de campo al punto neurálgico de afectación por el movimiento en masa presentado y priorizado previamente por los entes administrativos del municipio de Santa María.

Fotografía 17. Vía a la vereda Carichana



Fuente: Registro Fotográfico.

El área evaluada se encuentra ubicada en la vereda Carichana, sector de la quebrada la Argentina, en la vía que comunica con la vereda el retiro. Al realizar una caminata observado el lugar, no se evidencio la presencia de casas de habitación de familias.

En entrevista con un transeúnte del lugar manifestó que la vía que se encuentra afectada por el movimiento en masa, servía de ruta alterna de comunicación con el municipio de San Luis de Gaceno, pero que hace unos meses este se encuentra sin funcionamiento por lo que la maleza ha tomado fuerza en el lugar.

Fotografía 18. Afectación en la vía. Vereda Carichana.



Fuente: Registro Fotográfico.

Fotografía 19. Alcantarilla destruida por el movimiento del terreno.



Fuente: Registro Fotográfico.

El fenómeno de remoción en masa en este sector afecta directamente una vía alterna de acceso y salida del municipio de Santa María hacia otras veredas y municipios, lo que genera dificultades para que las comunidades de veredas como el Retiro y Carichana especialmente, afectando el fácil acceso a los servicios de salud y administrativos en el centro urbano del municipio, así como en cuanto al transporte de alimentos que se cultivan en la región y se expende hacia otros lugares para ser comercializados.

Fotografía 20. Vista del movimiento del terreno.



Fuente: Registro Fotográfico.

En el recorrido por la zona se observó varias corrientes de agua que confluyen en la vía afectada desde la parte alta del sector. Lo que favorece el movimiento del terreno y el crecimiento de la maleza.

Fotografía 21. Aguas de escorrentía del sector.



Fuente: Registro Fotográfico.



10 OBRAS RECOMENDADAS

Los planes de prevención, mitigación, monitoreo y mantenimiento son presentados en detalle en el Anexo 10 (Diseño de Obras) , que forma parte de este documento.

El presupuesto general se encuentra adjunto en el anexo 11 (Presupuesto y especificaciones técnicas de obras) y los planos de ubicación y detalle de las obras propuestas para control y mitigación de los FRM se presentan en el anexo 12 de este documento (Planos Obras Recomendadas).

En la memoria digital del presente estudio se presenta una hoja de cálculo correspondiente al presupuesto de las obras propuestas y el análisis detallado APU. Dicha hoja puede ser modificada por la entidad contratante correspondiente para modificación de AIU, precios unitarios, costos de transporte a los sitios de obra y demás ajustes que sean considerados por dicha entidad.

		<p style="text-align: center;">MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE FONDO DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL FCA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR –CORPOCHIVOR</p>	 <p style="text-align: center;">EJECUTOR CONVENIO No. 038/2012.</p>
---	---	---	---

11 CONCLUSIONES.

- Se clasifica el proceso como deslizamiento compuesto ya que su control estructural resultando en superficies de ruptura irregulares incluye movimiento rotacional a lo largo de un escarpe principal seguido de un desplazamiento a lo largo de una superficie de debilidad casi horizontal, paralela a la estratificación, el proceso es activo remontante, y su velocidad es lenta, presenta un área aproximada de 13230,2 m² con una profundidad promedio de 4 m, las causas posibles pueden ser, por material plástico débil detonado por lluvias, por el mal manejo del suelo relacionado con matorrales, cultivos, uso agrícola, ganadería; los daños presentes en el área de las viviendas, áreas agrícolas y para pastoreo, erosión y deforestación son producto del desarrollo del deslizamiento

- El fenómeno de remoción en masa en este sector afecta directamente una vía alterna de acceso y salida del municipio de Santa María hacia otras veredas y municipios, lo que genera dificultades para que las comunidades de veredas como el Retiro y Carichana especialmente, afectando el fácil acceso a los servicios de salud y administrativos en el centro urbano del municipio, así como en cuanto al transporte de alimentos que se cultivan en la región y se expende hacia otros lugares para ser comercializados.

		<p style="text-align: center;">MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE FONDO DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL FCA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR –CORPOCHIVOR</p>	 <p style="text-align: center;">EJECUTOR CONVENIO No. 038/2012.</p>
---	---	---	---

12 RECOMENDACIONES.

- Debido al riesgo presentado en la vía que cruza todo el corredor del deslizamiento se deberá señalizar el corredor vial advirtiendo el riesgo.
- Se recomienda la construcción de estructuras de contención tipo muro en gaviones de tres niveles (H=3.0m)
- Se recomienda la construcción de cunetas para la captación de agua de escorrentía. (ver ubicación en Anexo 12).
- Se recomienda el manejo de flujos sub-superficiales de agua mediante sistemas de captación como trincheras drenantes y drenes horizontales.
- Los cruces de la vía sobre las quebradas deberá realizarse mediante estructuras tipo Box Culvert, las cuales deberán complementarse con la protección de los taludes adyacentes mediante el sistema de Tierra Armada, con el fin de evitar que fenómenos de socavación desestabilicen el suelo de fundación de los Box Culvert.
- Sin embargo se recomienda realizar un estudio hidráulico detallado del sector para determinar los perfiles de socavación y arrastre de partículas, con el fin determinar la necesidad de obras complementarias de carácter hidráulico.
- Se recomienda a las entidades competentes tomar las medidas necesarias para prevenir los riesgos físicos, económicos y sociales que afecten a las familias que aun habitan el área de influencia del deslizamiento.



13 BIBLIOGRAFÍA

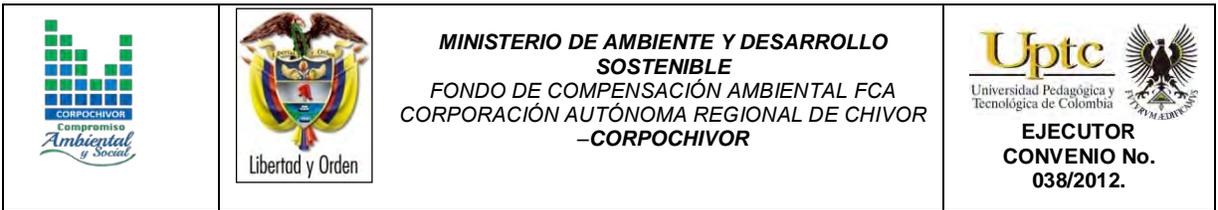
Cuello, N., T.J. Killeen, C.V. Antezana. 1991. Línea de intercepción, una metodología apropiada para el estudio de las sabanas tropicales. en: C. Miranda, D. Restrepo, y E. Castellano (Eds.). Memoria del Curso de Vegetación y Ecología Tropical con un énfasis en los métodos.

Metodología Corinel and Cover adaptada para Colombia 2010 Saunders, D.A., Hobbs, R.J. y Margules, C.R. 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. *Conservation Biology* 5: 18-32.

Foster, B. R., N. C. Hernández, E., E. K. Kakudidi y R. J. Burnham. 1995. Un método de transectos variables para la evaluación rápida de comunidades de plantas en los trópicos. Manuscrito no publicado. Chicago: Environmental and Conservation Programs, Field Museum of Natural History; and Washington, D. C.: Conservation Biology, Conservation International.

APG II. The Angiosperm Phylogenetic Group. 2003. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. *Botanical Journal of the Linnean Society* 141 (4): 399–436.

Freire Fierro, A. 2004. Botánica Sistemática Ecuatoriana. Missouri Botanical Garden, FUNDACYT, QCNE, RLB y FUNBOTANICA. Murray Print, St. Louis. 79-91.



León, J. 1987. Botánica de los cultivos tropicales. Inst. Interamericano de cooperación para la agricultura. 1-445.

Scagel, R.F.; Bandoni, R.J., Rouse; G.E., Schofield, W.B.; Stein, J.R. & T.M.C., Taylor.1983. El Reino Vegetal. Los grupos de plantas y sus relaciones evolutivas. Ediciones Omega, S.A. Barcelona. 1-659.

THOMSON, Eugene P. Odum, Gary W. Warret. *Fundamentos de Ecología*. 5ª Edición, 2006.

Adaptado de Leone (1996)

Cardona – Arboleda O. (1989). VULNERABILIDAD Y RIESGO POR DESASTRE – TERMINOS DE USO COMUN EN MANEJO DE RIESGO. Primer taller de planificación en manejo de desastres. ONAD – Colombia – Universidad Jorge Tadeo Lozano.

Cruden, D. y Varnes D. (1991) Landslides types and processes. Universidad de Alberta.

INGEOMINAS. Evaluación del Riesgo por Fenómenos de Remoción en Masa. - Guía Metodológica. 2001.

Leone, F (1999) Concept de Vulnerabilite Appliquea L'évaluation des risques generes par les phenomenes de mouvements de terrain. Tesis de Doctorado, Universidad de Grenoble.