



## INFORME FINAL



**ELABORACIÓN DE ESTUDIO DE RIESGO (AMENAZA Y VULNERABILIDAD)  
Y DISEÑO DE OBRAS DE ESTABILIZACION EN LA VEREDA LA PALMA  
QUEBRADA CLAVELINA, MUNICIPIO DE LA CAPILLA, 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 .....	19
1.7. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y SUS POSIBLES CAUSAS .....	20
1.8 ESTADO DE LA INFORMACIÓN .....	21
2 ASPECTOS CLIMATICOS E HIDROLOGICOS.....	21
2.1. ANÁLISIS HIDROLÓGICO.....	23
2.2. BALANCE HÍDRICO.....	23
2.2.1. Tipos de recarga.....	24
2.3. ESTIMACIÓN DE LA ESCORRENTÍA.....	26
2.4. ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN.....	32
2.4.1. Mapas de Isoyetas generados a partir de los datos de Precipitación. .	35
2.4.2. ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP). 43	
2.4.2.1. Formula de J. B. García y J.D. López. ....	43
2.4.3. Estimación del Balance Hídrico.....	45
2.4.4. Metodología.....	46
2.4.5. RESULTADOS OBTENIDOS .....	50

2.5.	CALCULO DE CAUDAL DE DISEÑO A PARTIR DE LAS CURVAS IDF.....	54
2.5.1.	Resultados.....	54
2.6.	MORFOMETRÍA DE LA CUENCA .....	56
2.6	USO ACTUAL Y COBERTURA DEL SUELO.....	59
2.6.1	DESCRIPCIÓN REGIONAL.....	61
2.6.2	BOSQUE HÚMEDO PRE – MONTANO (bh – PM) .....	63
2.6.3	BOSQUE HÚMEDO MONTANO BAJO (bh – MB) .....	63
2.6.4	COBERTURA Y USO DE SUELO PARA EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL ESTUDIO .....	65
2.6.5	BOSQUES .....	81
2.6.6	ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA Y/O ARBUSTIVA .....	84
2.6.7	ÁREAS Y PORCENTAJES DE LAS COBERTURAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO .....	89
2.6.8	UNIDADES DE COBERTURA VEGETAL.....	91
3	GEOLOGIA .....	94
3.2.	GEOLOGÍA HISTÓRICA .....	95
3.3.	GEOLOGIA LOCAL.....	95
3.3.1.	Formación Fόμεque (Kif).....	95
3.3.2.	Depósitos Cuaternarios.....	96
3.4.	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL .....	96
3.4.1.	Estructuras Plegadas. ....	97
3.4.2.	Fallas.....	97
4	GEOMORFOLOGÍA.....	98
4.1	GEOMORFOLOGÍA LOCAL.....	99
4.2	ANÁLISIS FOTOGEOLÓGICO.....	100
4.3	PROCESOS MORFODINÁMICOS.....	101
4.3.1	Desprendimiento.....	101
4.4	INCLINACIÓN DE LAS PENDIENTES .....	103
4.5	UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS.....	105
4.5.1	Geoformas de Origen Denudacional.....	106
4.6	EROSIÓN .....	109

4.6.1	Algunas Formas de Erosión.....	111
4.6.2	Factores externos .....	112
4.6.3	Factores internos .....	112
4.6.4	Morfodinámica - intensidad de erosión .....	113
5	HIDROGEOLOGÍA.....	115
5.1	Unidades Hidrogeológicas.....	115
5.1.1	Acuífero.....	115
5.1.2	Acuitardo.....	115
5.1.3	Acuicierres. ....	116
5.2	MARCO HIDROGEOLÓGICO GENERAL.....	116
5.2.1	UNIDAD I (Permeabilidad Alta).....	116
5.2.2	UNIDAD III (Permeabilidad Baja).....	117
6	GEOELECTRICA .....	118
6.1	ESTUDIO GEOELECTRICO (TOMOGRAFIA ELECTRICA RESISTIVA).....	118
6.2	INTRODUCCION.....	118
6.3	OBJETIVO.....	120
6.4	PRINCIPIO DEL METODO GEOFISICO.....	121
6.4.1	Resistividad Aparente: .....	121
6.4.2	Dispositivos:.....	123
6.5	METODOLOGIA.....	124
6.5.1	TOMOGRAFIA N°1 .....	126
6.5.2	TOMOGRAFIA N°2.....	129
6.5.3	RESULTADOS.....	131
7	GEOTECNIA .....	132
7.1	EXPLORACIÓN DE CAMPO.....	132
7.1.1	Sondeos geotécnicos.....	132
7.2	CARACTERIZACIÓN DEL SUELO Y SUBSUELO .....	135
7.2.1	Trabajos de Laboratorio .....	135
7.2.2	Trabajos de Laboratorio .....	135
7.2.3	Resumen de resultados .....	140

7.3	Clasificación del Macizo Rocoso.....	141
7.3.1	Índice de Calidad de la Roca (RQD):.....	141
7.3.2	Clasificación Según el RMR:.....	144
7.3.3	Clasificación Según el Índice Geológico de Resistencia (GSI): .....	146
7.4	CINEMÁTICA DE LOS MOVIMIENTOS .....	148
7.5	CAUSAS DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA .....	148
7.5.1	Causas Reales.....	148
7.5.2	Causas Inmediatas .....	149
7.6	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y MODELACIÓN GEOTÉCNICA .....	150
7.6.1	Análisis estructuralmente no controlado .....	154
8	ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA.....	158
8.1	DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DE AMENAZAS.....	158
8.2	RESULTADO DE ANALISIS.....	161
8.2.1	ANALISIS DE AMENAZA.....	162
8.2.2	Evaluación de Vulnerabilidad.....	164
9	EVALUACIÓN Y ANALISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO.....	166
9.1	ANÁLISIS Y GRAFICAS ESTADÍSTICAS DE LAS ENCUESTAS REALIZADAS EN EL MUNICIPIO DE LA CAPILLA VEREDA PALMA ABAJO.....	167
10	OBRAS RECOMENDADAS .....	180
11	CONCLUSIONES.....	181
12	RECOMENDACIONES. ....	182
13	BIBLIOGRAFÍA.....	183

## LISTA DE TABLAS

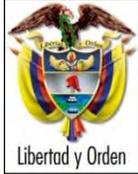
Tabla 1. Tabla general para la determinación de número de curva (CN). .....	28
Tabla 2. Escorrentía Estación La Capilla, suelo tipo CL .....	30
Tabla 3. Escorrentía Estación La Capilla, suelo tipo CL .....	31
Tabla 4. Estación pluviométrica utilizada en la estimación de la precipitación para el área de estudio. ....	32
Fuente: Resultado del estudio .....	43
Tabla 5. Rangos de temperatura La Capilla. ....	45
Tabla 6. Valores de Evapotranspiración .....	45
Tabla 7. Calculo de Infiltración, basado en los valores de escorrentía (R) y precipitación (P). Estación La Capilla. ....	48
Tabla 8. Calculo de Infiltración, basado en los valores de escorrentía (R) y precipitación (P). Estación La Capilla. ....	49
Tabla 9. Estimación del Balance Hídrico .....	51
Tabla 10. Estimación del Balance Hídrico .....	52
Tabla 11. Valores de parámetros morfométricos para la cuenca regional.....	59
Tabla 12. Áreas métricas de las coberturas. ....	89
Tabla 13. Unidades de cobertura vegetal. ....	92
Tabla 14. Clasificación de las pendientes. ....	104
Tabla 15. Descripción geomorfológica. ....	109
Tabla 16. Resistividades de algunos suelos y rocas. ....	123
Tabla 17. Resistividades de los materiales presentes en el área de estudio. ....	127
Tabla 18. Resistividades de los materiales presentes en el área de estudio. ....	129
Tabla 19. Coordenadas de los sondeos realizados .....	133
Tabla 20. Resumen de resultados ensayos de laboratorio.....	143
Tabla 21. Resumen de Resultados de la Clasificación RMR .....	146
Tabla 22. Coeficientes de reducción de coeficientes de aceleración sísmica .....	152
Tabla 23. Coeficientes de aceleración sísmica para el departamento Boyacá....	153
Tabla 24. Valores de Propiedades Físicas y Mecánicas Utilizadas en los Modelos de estabilidad. ....	154
Tabla 25. Factores de seguridad para el modelo perfil A-A'. ....	157
Tabla 26. Parámetros físicos y naturales estimados para la Identificación de Zonas Inestables (Deslizamientos) .....	159
Tabla 27. Categorización de amenazas por FRM .....	161
Tabla 28. Categorización de amenaza por (FRM) según nsr-10.....	162

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización geográfica.....	15
Figura 2. Tipo de vegetación.....	28
Figura 3. Gráfico de precipitación media multianual.....	34
Figura 4. Isoyetas mes de Enero y Febrero.....	35
Figura 5. Isoyetas mes de Marzo y Abril.....	36
Figura 6. Isoyetas mes de Mayo y Junio.....	38
Figura 7. Isoyetas mes de Julio y Agosto.....	39
Figura 8. Isoyetas mes de Septiembre y Octubre.....	41
Figura 9. Isoyetas mes de Noviembre y Diciembre.....	42
Figura 10. Comportamiento de las Curvas del Balance Hídrico.....	53
Figura 11. Imagen ilustrativa de la cuenca regional La capilla.....	58
Figura 12. Posiciones aproximadas de las Líneas gula de las regiones latitudinales y las fajas altitudinales del sistema mundial de zonas de vida de Holdridge, (basado en una tasa de cambio de .6°C por,cada 1000m). .....	62
Figura 13. Criterios para la clasificación de los bosques.....	82
Figura 14. Mapa cobertura vegetal y uso de suelo.....	89
Figura 15. Porcentaje áreas de coberturas. ....	90
Figura 16. Imagen mapa geológico área de estudio.....	94
Figura 17. Ventana extraída del mapa regional de Consultoría para la Homologación y Estructuración de la Información Cartográfica Base.....	98
Figura 18. Imagen del Mapa de inclinación de las pendientes. ....	103
Figura 19. Imagen del Mapa geomorfológico. ....	105
Figura 20. Imagen del Mapa erosión.....	114
Figura 21. Imagen del Mapa Hidrogeológico del área de estudio.....	116
Figura 22. Principio teórico de operación de las TER's.....	119
Figura 23. Rangos de resistividad para diferentes materiales.....	119
Figura 24. Dispositivo Wenner. ....	124
Figura 25. Localización líneas de tomografía.....	126
Figura 26. Perfil 1 tomografía.....	128
Figura 27. Perfil litológico 1.....	128
Figura 28. Perfil 2 tomografía.....	130
Figura 29. Perfil litológico 2.....	130
Figura 30. Perfil Geotécnico S1.....	137
Figura 31. Límites de Atterbeg.....	138
Figura 32. Guía para la definición del Índice geológico de resistencia (GSI). ....	147
Figura 33. Perfil geológico AA'.....	155
Figura 34. Modelo de análisis perfil A-A'.....	156
Figura 35. Imagen Mapa de Amenazas.....	163
Figura 36. Imagen Mapa de Vulnerabilidad Física y Social.....	165

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1.	Exploración directa del subsuelo (SPT).....	18
Fotografía 2.	Georeferenciación área de estudio. ....	61
Fotografía 3.	Tejido urbano discontinuo .....	70
Fotografía 4.	Tejido artificializado de nivel 4 red vial 122 C.L.C. ....	72
Fotografía 5.	Psidium guajava .....	73
Fotografía 6.	Musa sapientum L.J .....	76
Fotografía 7.	Cultivo agroforestal .....	77
Fotografía 8.	Pastos limpios presente en la zona de estudio. ....	79
Fotografía 9.	Pastos enmalezados. ....	80
Fotografía 10.	Bosque denso bajo de tierra firme. ....	83
Fotografía 11.	Bosque ripario.....	84
Fotografía 12.	Arbustal Abierto Mesofilo .....	86
Fotografía 13.	Herbazal .....	87
Fotografía 14.	Rio presente en el área de estudio. ....	88
Fotografía 15.	Parte alta del deslizamiento.....	127
Fotografía 16.	Parte baja del deslizamiento.....	129
Fotografía 17.	Perforación realizada en la zona de estudio .....	134
Fotografía 18.	Prueba de Penetrometro de Bolsillo .....	135
Fotografía 19.	Muestra fallada en el ensayo de compresión no confinada. ...	139
Fotografía 20.	Muestras a las que se les realizó la prueba de corte directo. .	140
Fotografía 21.	Parte superior del movimiento .....	155
Fotografía 22.	vista del municipio desde el área evaluada. ....	167
Fotografía 23.	vivienda en donde habitan Adultos mayores. ....	168
Fotografía 24.	vivienda de adulta mayor.....	169
Fotografía 25.	vivienda de donde habitan menores de edad. ....	170
Fotografía 26.	Adulta mayor.....	171
Fotografía 27.	Pisos agrietados en una vivienda. ....	172
Fotografía 28.	Muros agrietados en una vivienda. ....	174
Fotografía 29.	Vivienda abandonada del sector.....	176
Fotografía 30.	Corral para cuidado de cerdos.....	177
Fotografía 31.	Camino hacia las viviendas. ....	178



**MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO  
SOSTENIBLE**  
**FONDO DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL FCA**  
**CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR**  
**-CORPOCHIVOR**



**EJECUTOR  
CONVENIO No.  
038/2012.**

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

## 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 La Palma Quebrada Clavelina Municipio de La Capilla.

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

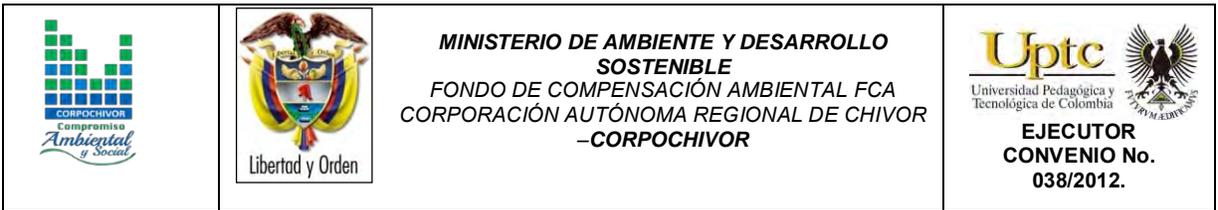
## 1 GENERALIDADES

### 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.



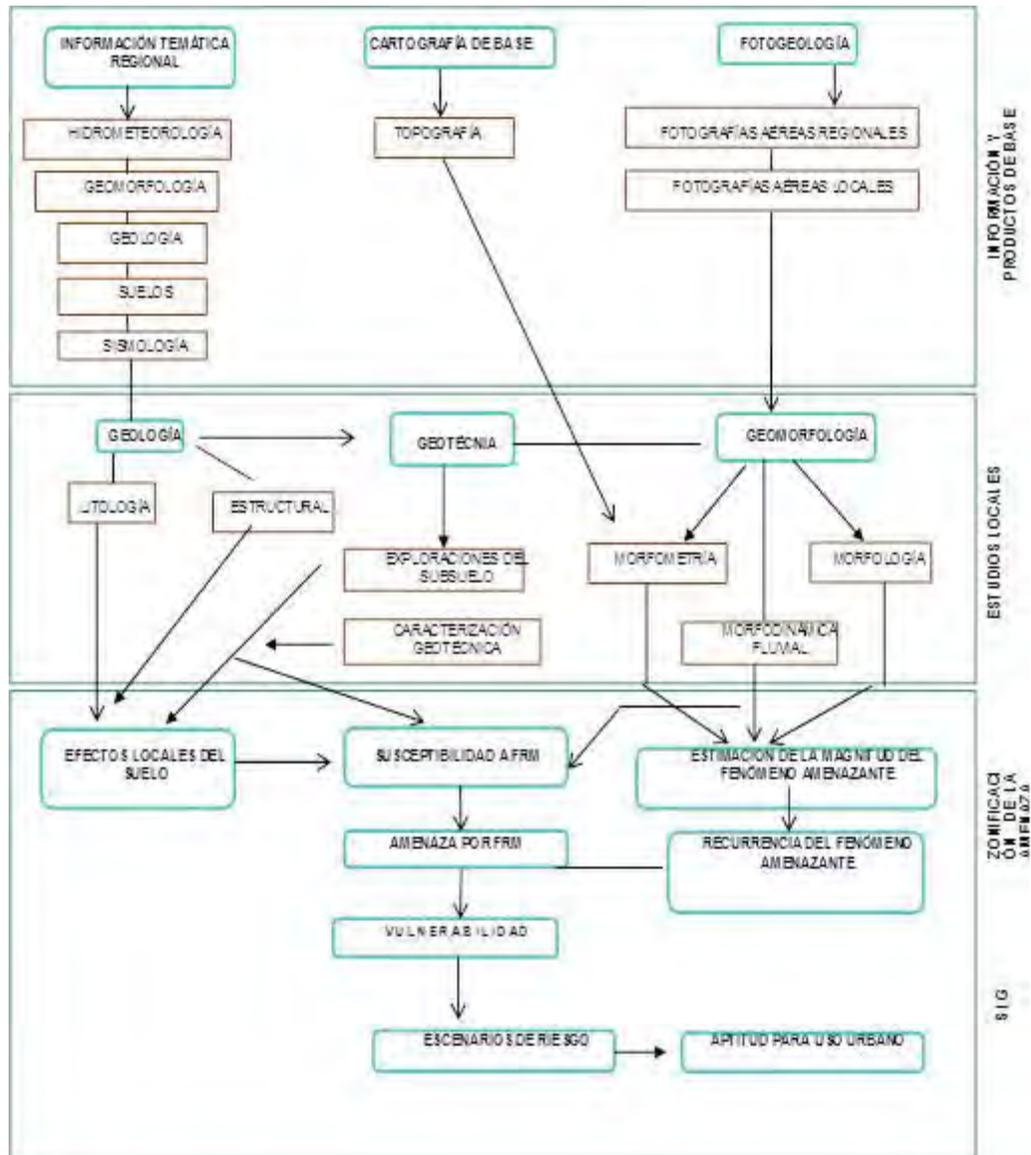
Se aclara que, la metodología de evaluación de amenazas propuesto, involucra como detonantes, las precipitaciones, la actividad sísmica y antrópica, por lo que igualmente se hará una revisión de aspectos endógenos como la ocurrencia, magnitud y posibles áreas de afectación de los sismos asociados.

## **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 La Palma Quebrada Clavelina en el Municipio de La Capilla, área afectada por Fenómenos de Remoción en Masa (FRM). Municipio de la Jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Chivor CORPOCHIVOR.

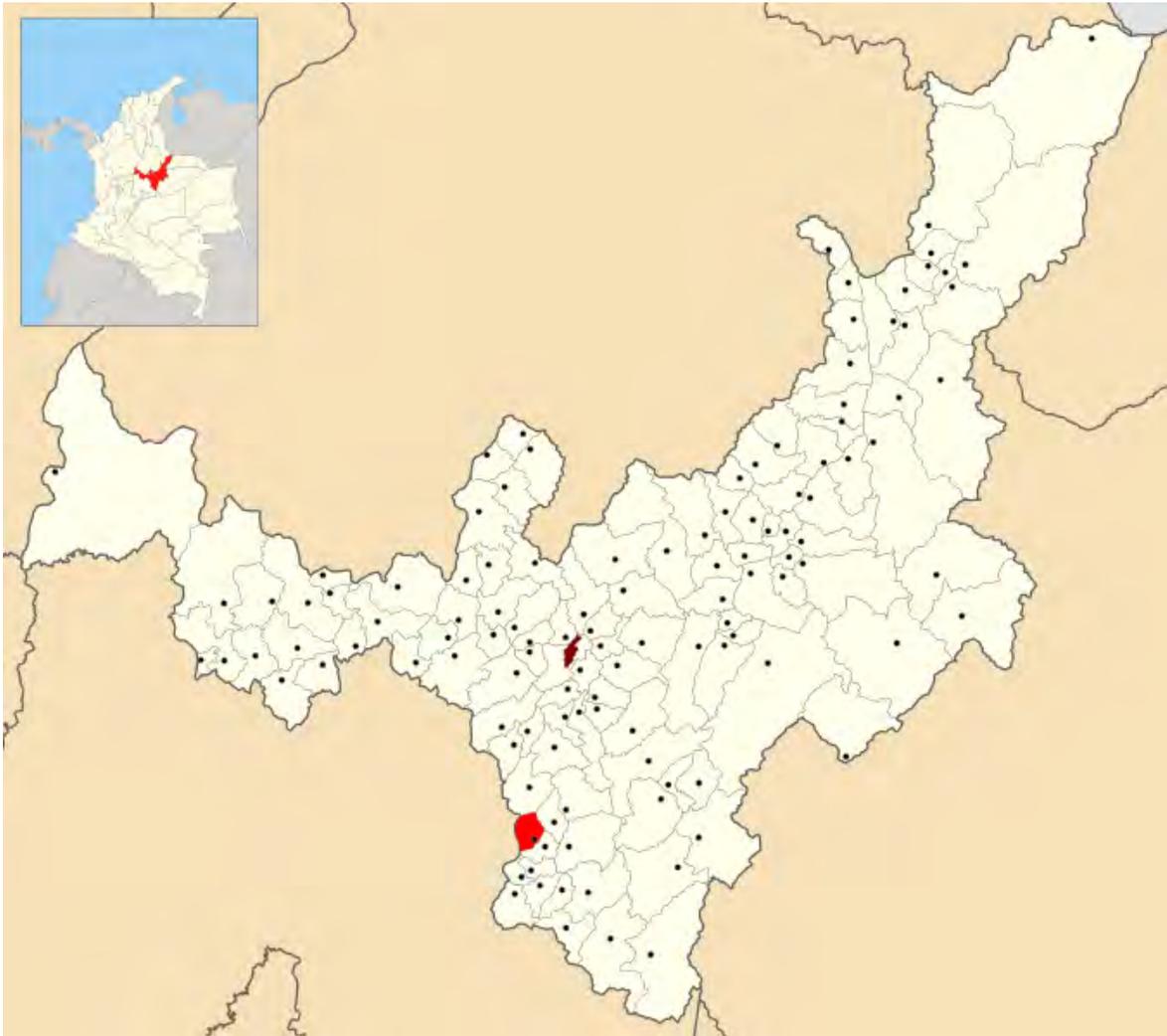
## 1.2.2 Metodología



ELABORACIÓN DE ESTUDIO DE RIESGO (AMENAZA Y VULNERABILIDAD) Y DISEÑO DE OBRAS DE ESTABILIZACIÓN EN LA VEREDA LA PALMA QUEBRADA CLAVELINA, MUNICIPIO DE LA CAPILLA JURISDICCIÓN DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR (CORPOCHIVOR).

### 1.3 LOCALIZACIÓN.

Figura 1. Localización geográfica.

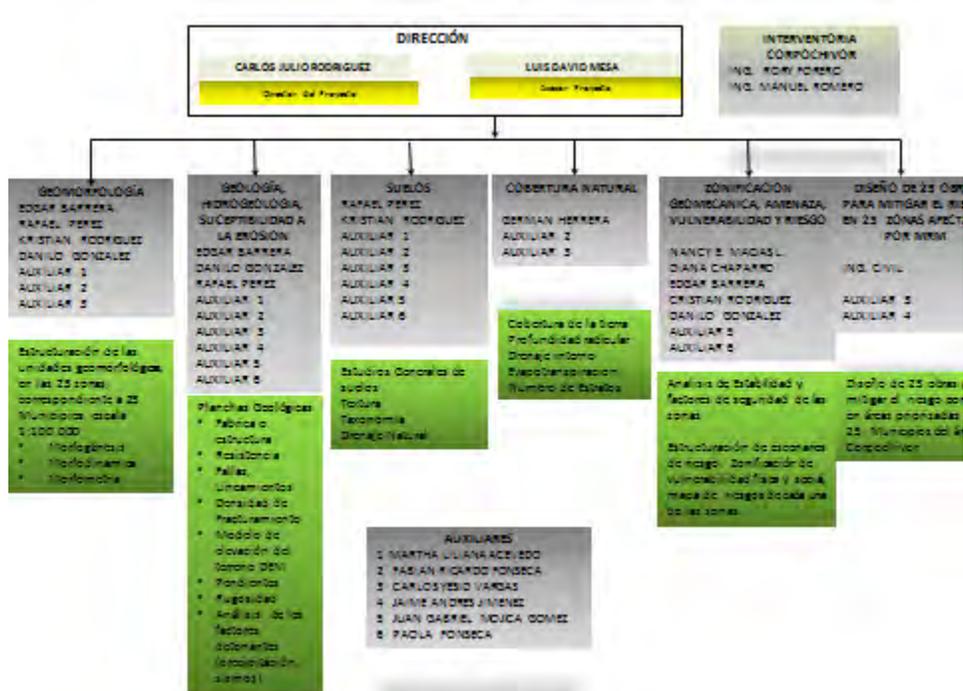


Fuente: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colombia - Boyaca - La Capilla .svg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colombia_-_Boyaca_-_La_Capilla_.svg)

El área de Estudio se encuentra en las coordenadas N1055947, E 1069865, a una altura de 1814 msnm; en la Provincia del Oriente, en el Municipio de La Capilla, en la vereda La Palma Quebrada Clavelina.

## 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 Rodriguez, 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.



ORGANIGRAMA

 <p>COMISIÓN Ambiental y Social</p>	 <p>Libertad y Orden</p>	<p>MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE FONDO DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL FCA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR -CORPOCHIVOR</p>	 <p>Uptc Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia</p> <p>EJECUTOR CONVENIO No. 038/2012.</p>
--	--	--	---

## 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 sondeo manual 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 (anexo 2).

**Diagnóstico estructural de viviendas.** Se realizó un inventario de tres (3) viviendas, cualificando 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 1984 a 2012, de las estaciones de Valle Grande, Pachavita, Sutatenza.

## **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.

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

## 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.

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

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 La Capilla 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 general para la determinación de número de curva (CN).

Figura 2. Tipo de vegetación	Tratamiento	Condición Hidrológica	Tipo de suelo			
			A	B	C	D
<b>Barbecho</b>	Desnudo	-	77	86	91	94
	CR	Pobre	76	85	90	93
	CR	Buena	74	83	88	90
<b>Cultivos alineados</b>	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
	<b>Cultivos no alineados, o con surcos pequeños o mal definidos</b>	R	Pobre	65	76	84
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
<b>Cultivos densos de leguminosas o prados en alternancia</b>	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
<b>Pastizales o pastos naturales</b>	-	Pobres	68	79	86	89
	-	Regulares	49	69	79	84
	-	Buenas	39	61	74	80
<b>Pastizales</b>	C	Pobres	47	67	81	88
	C	Regulares	25	59	75	83
	C	Buenas	6	35	70	79
<b>Prados permanentes</b>	-	-	30	58	71	78
<b>Matorral-herbazal, siendo el matorral preponderante</b>	-	Pobres	48	67	77	83
	-	Regulares	35	56	70	77
	-	Buenas	≤30	48	65	73
<b>Combinación de arbolado y herbazal, cultivos agrícolas leñosos</b>	-	Pobres	57	73	82	86
	-	Regulares	43	65	76	82
	-	Buenas	32	58	72	79
<b>Montes con pastos (aprovechamiento silvopastorales)</b>	-	Pobres	45	66	77	83
	-	Regulares	36	60	73	79
	-	Buenas	25	55	70	77
<b>Bosques</b>	-	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
<b>Caseríos</b>	-	-	59	74	82	86
<b>Caminos en tierra</b>	-	-	72	82	87	89
<b>Caminos con firme</b>	-	-	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).

Escorrentía Estación La Capilla, suelo tipo CL

P	R	S CL (C)	CN
114,61389	56,404579	75,87013	77
95,316667	41,168699		
108,81667	51,730286		
185,25833	117,61801		
96,6	42,151008		
96,325	41,940099		
99,508333	44,394996		
124,36111	64,422344		
112,74722	54,891294		
107,49444	50,675022		
106,14444	49,601953		
96,211111	41,852818		
99,25	44,194696		
79,713889	29,665936		
83,433333	32,327421		
83,969444	32,715527		
72,308333	24,543009		
99,630556	44,489827		
82,841667	31,900381		
83,977778	32,721568		
105,45278	49,053914		

Fuente: Resultado del estudio.

Escorrentía Estación La Capilla, suelo tipo CL

104,18056	48,049022
103,05556	47,163878
91,358333	38,17086
108,05	51,117901
95,369445	41,209
101,45556	45,910738
111,76389	54,097194
113,63889	55,613214
100,28333	44,997015
99,2125	44,165636
106,55833	49,930464
104,35833	48,189196
93,675	39,919407
110,27083	52,895624
107,625	50,779031
114,41667	56,244337
107,49167	50,672809
112,75	54,89354
89,208333	36,563819
105,65	49,210061
103,775	47,729555
124,21667	64,302198
107,2	50,440598
104,925	48,636539
94	40,166068
111,09167	53,555581
81,241667	30,752443
97,058333	42,503019
151,40833	87,503056
160,55	95,523372

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 3 estaciones climatológicas (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 28 años (1984-2012), 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.

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

CODIGO	NOMBRE ESTACION	CORRIENTE	NOMBRE DEPARTAMENTO	NOMBRE MUNICIPIO
3507055	VALLE GRANDE	RIO GARAGOA	BOYACA	TENZA
3507021	PACHAVITA	RIO GARAGOA	BOYACA	PACHAVITA
3507502	SUTATENZA	RIO GARAGOA	BOYACA	SUTATENZA

Fuente: Resultado del estudio

 <p>COMISIÓN Ambiental y Social</p>	 <p>Libertad y Orden</p>	<p><b>MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE</b> FONDO DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL FCA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR -CORPOCHIVOR</p>	 <p><b>EJECUTOR CONVENIO No. 038/2012.</b></p>
--	--	---	---

En la Tabla 5 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 Fómeque (Kif) que se delimito y que hace parte del área del presente convenio.

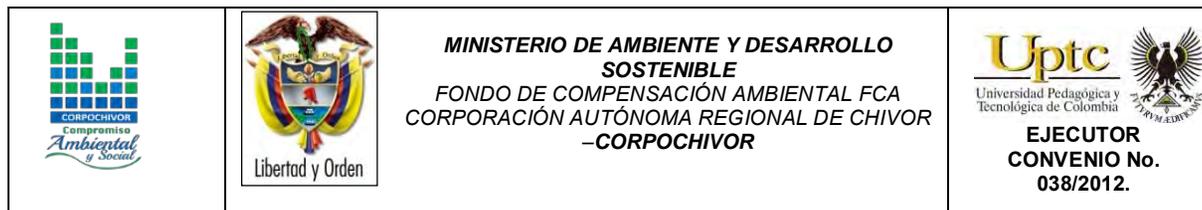
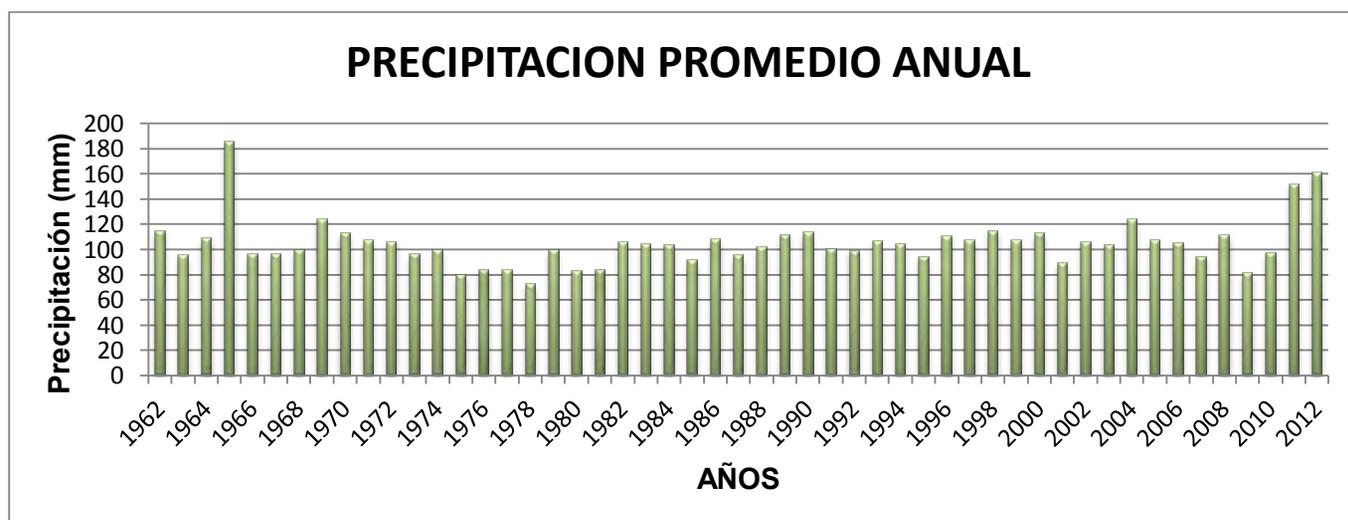


Figura 3. Gráfico de precipitación media multianual.

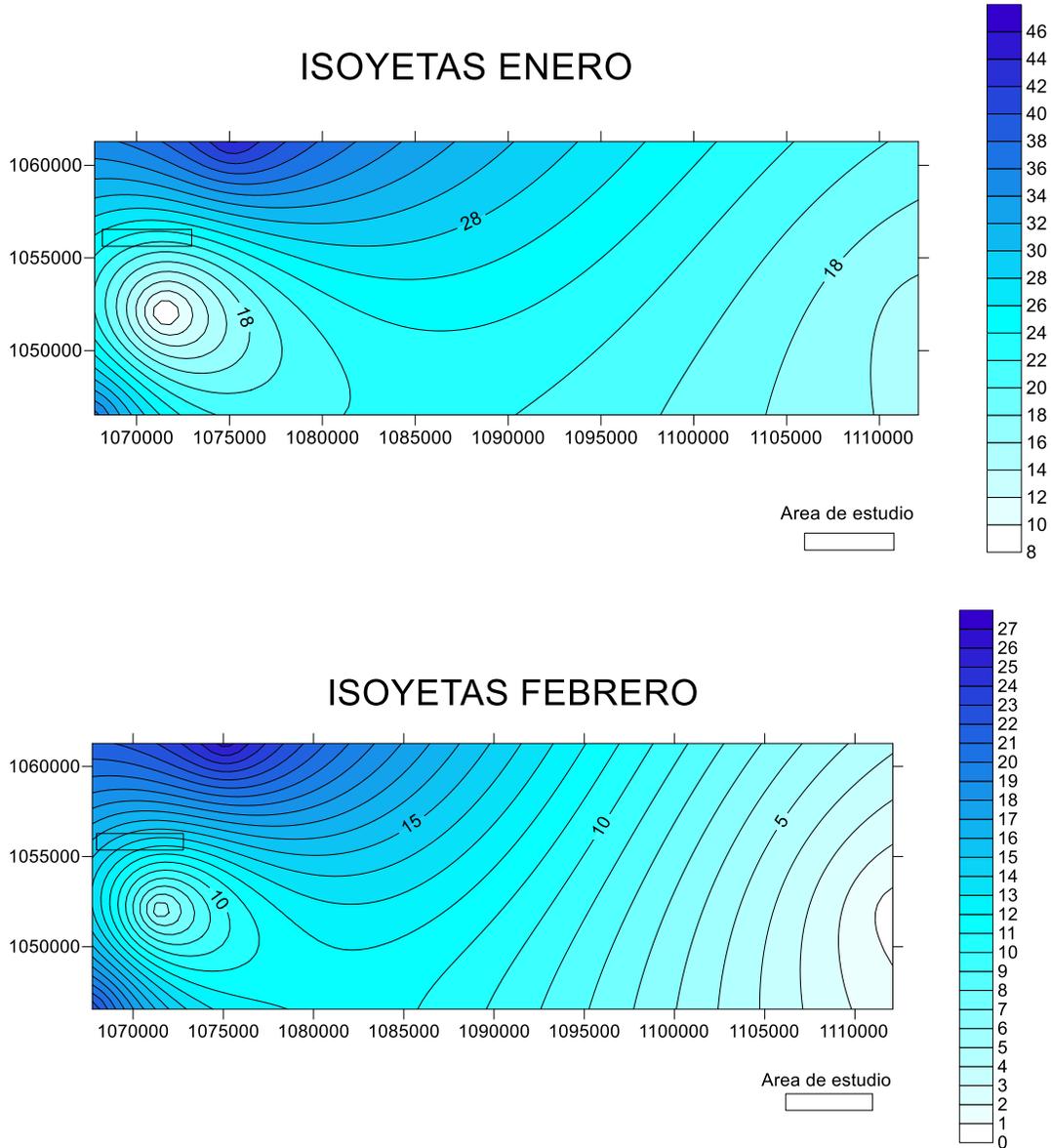


Fuente: Resultado del estudio

El comportamiento de la precipitación promedio anual, para los años 1976, 1978, 1986, 1991, 1996, 2010 (Figura 3) se encuentran valores que varían entre los 50 - 80 mm, en los años 1962 -1970 -1980 – 1982 – 1986 – 1994 – 2006 - 2008 se encuentran valores que varían entre los 90 - 130 mm y los años restantes se presentan valores que varían entre 140 - 190 mm.

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

Figura 4. Isoyetas mes de Enero y Febrero

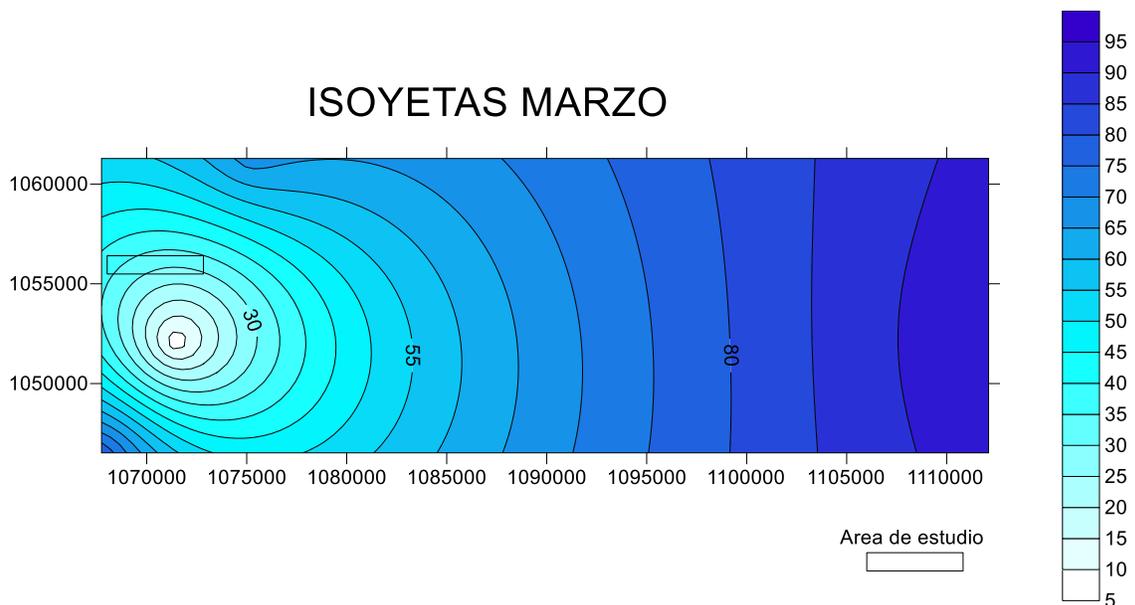


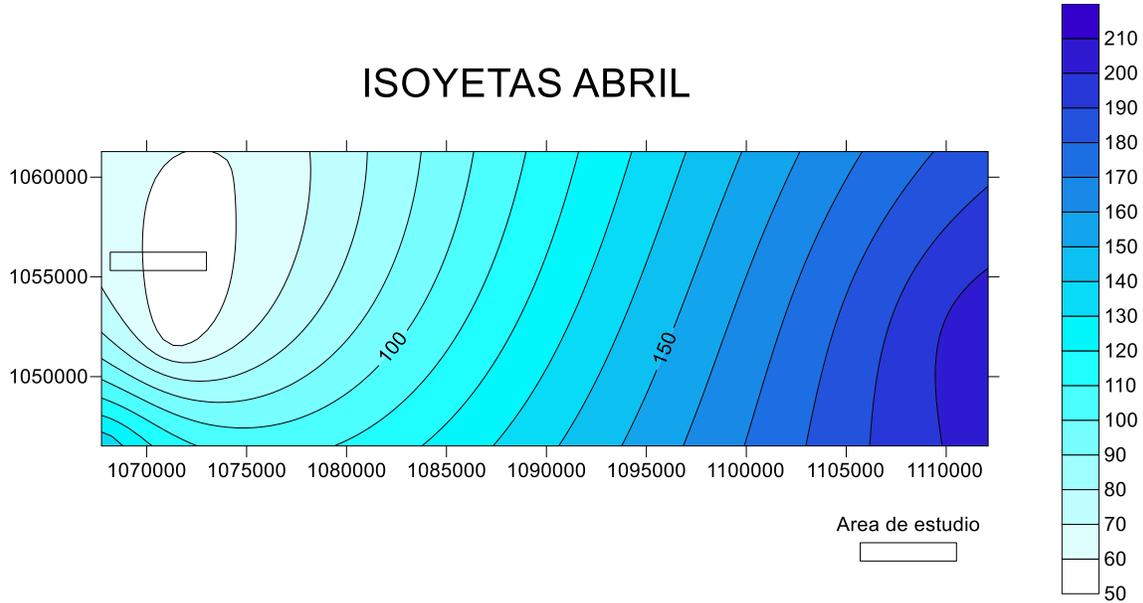
Fuente: Resultado del estudio

El comportamiento de la precipitación para el mes de Enero correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 18 y 28 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Febrero correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 6y 15 mm.

Figura 5. Isoyetas mes de Marzo y Abril



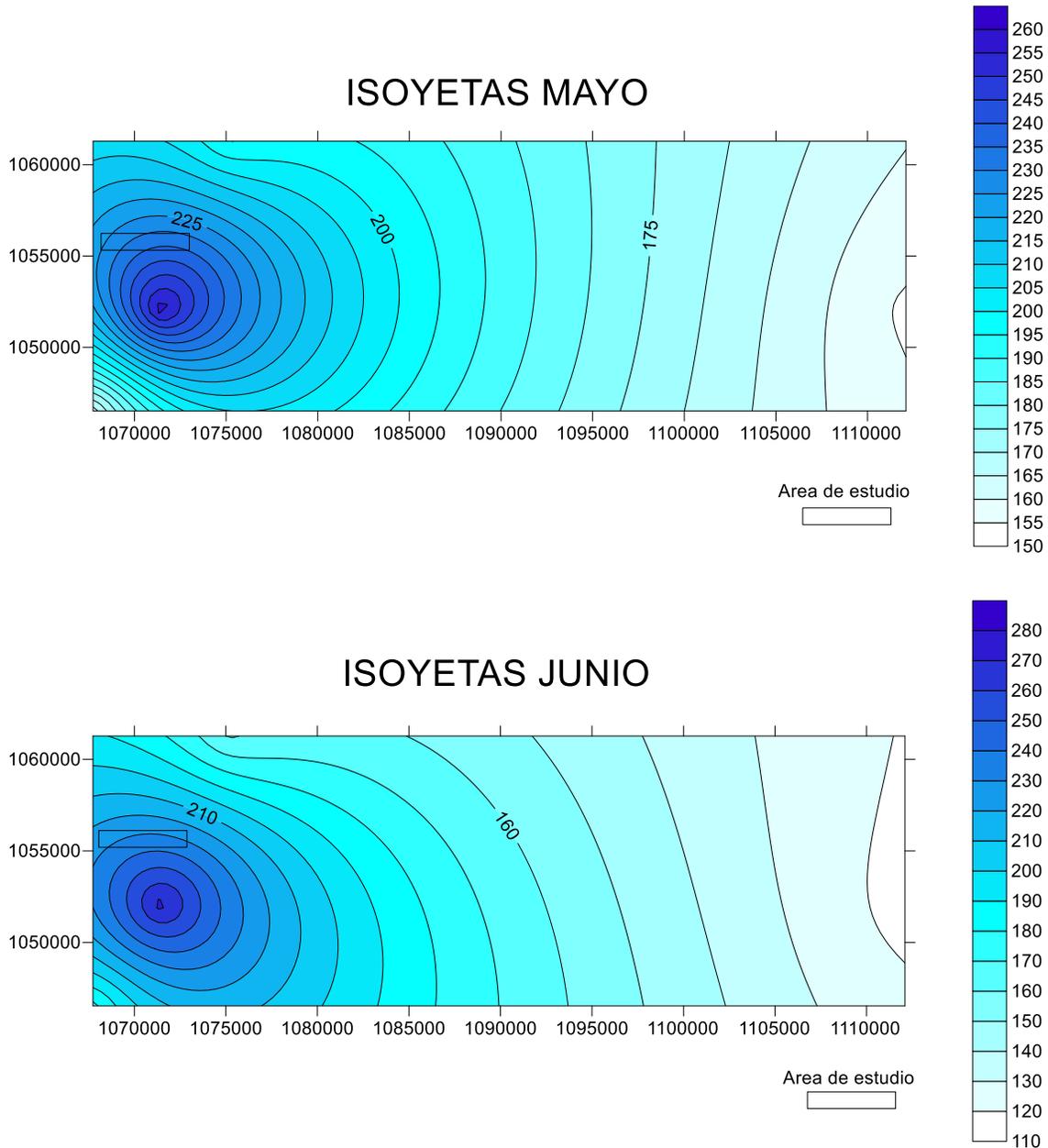


Fuente: Resultado del estudio

El comportamiento de la precipitación para el mes de Marzo correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 20 y 35 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Abril correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 60 y 90 mm.

Figura 6. Isoyetas mes de Mayo y Junio

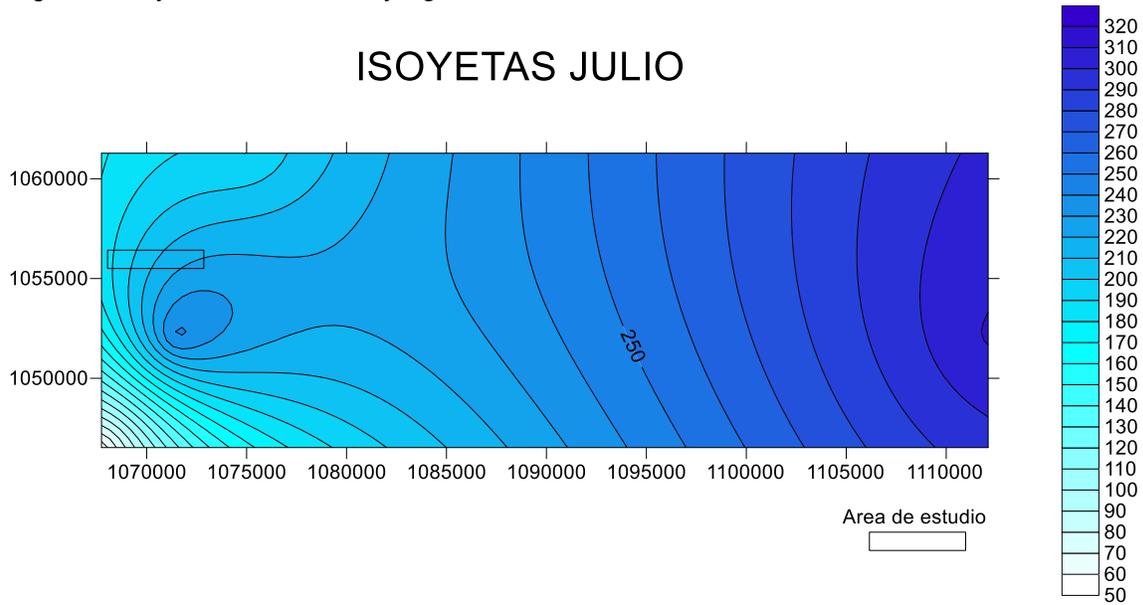


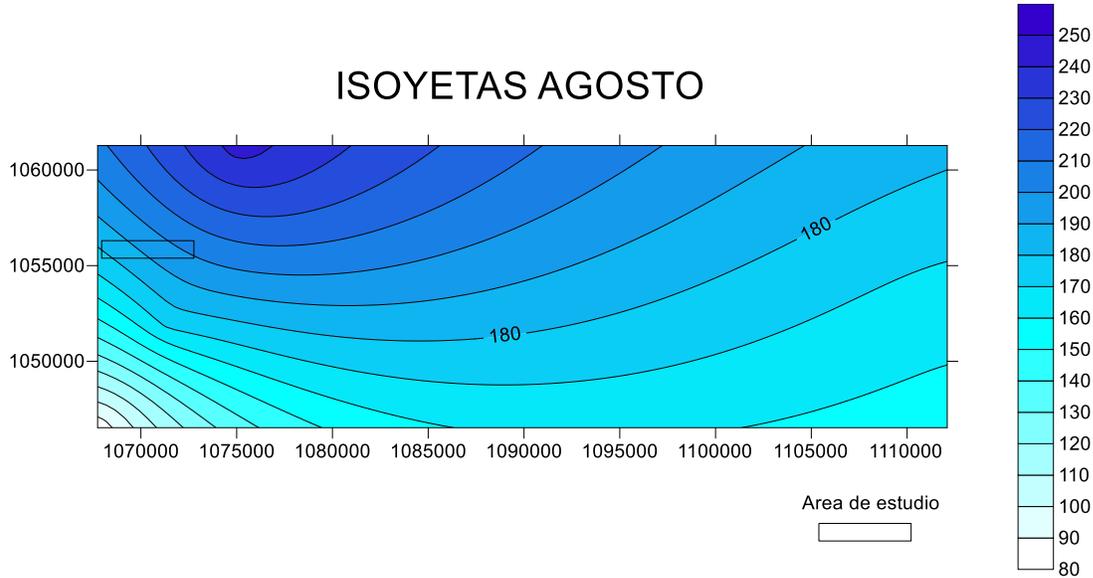
Fuente: Resultado del estudio

El comportamiento de la precipitación para el mes de Mayo correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 210 y 225 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Junio correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 210 y 230 mm.

Figura 7. Isoyetas mes de Julio y Agosto



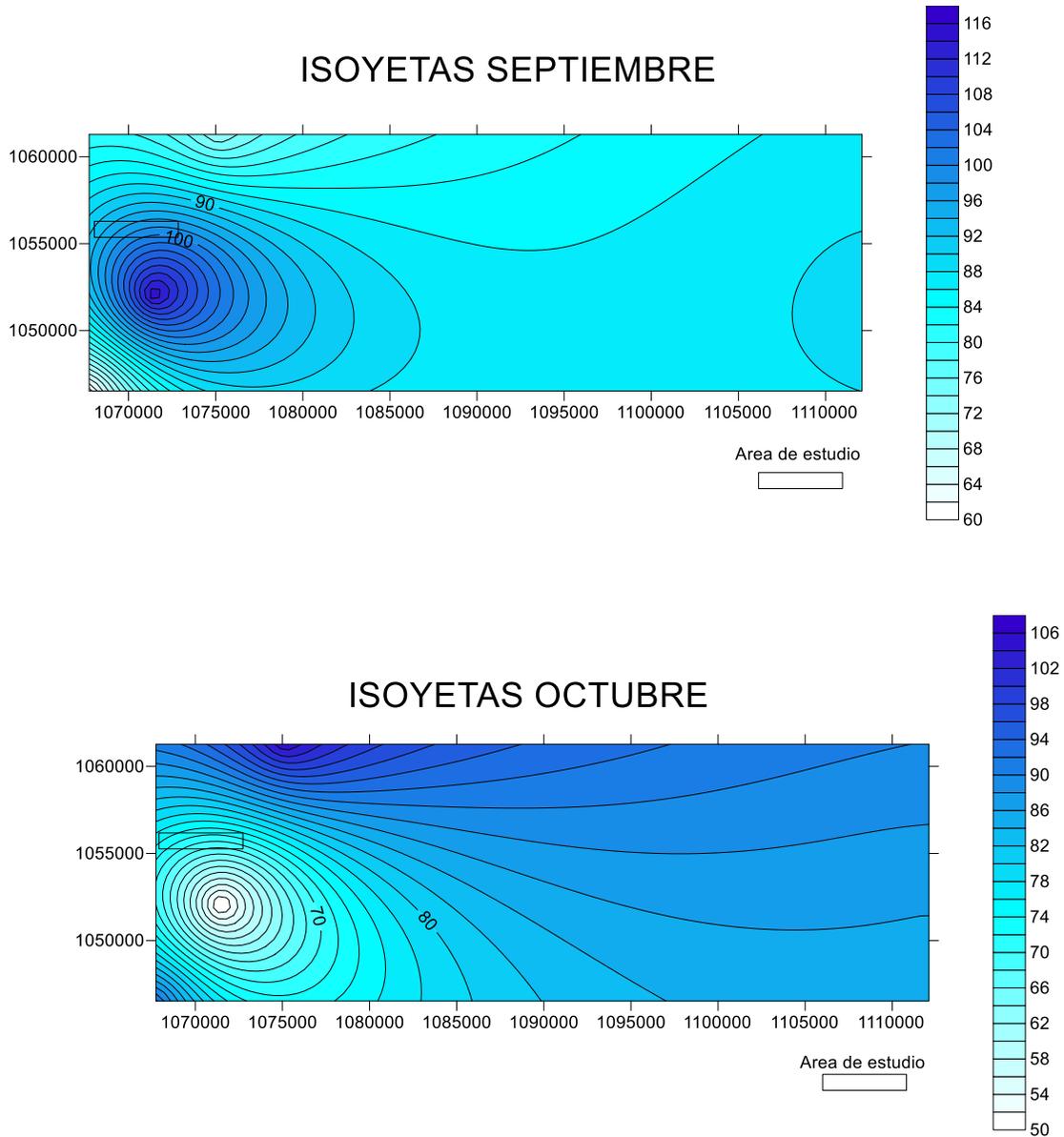


Fuente: Resultado del estudio

El comportamiento de la precipitación para el mes de Julio correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 160 y 220 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Agosto correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 160 y 190 mm.

Figura 8. Isoyetas mes de Septiembre y Octubre

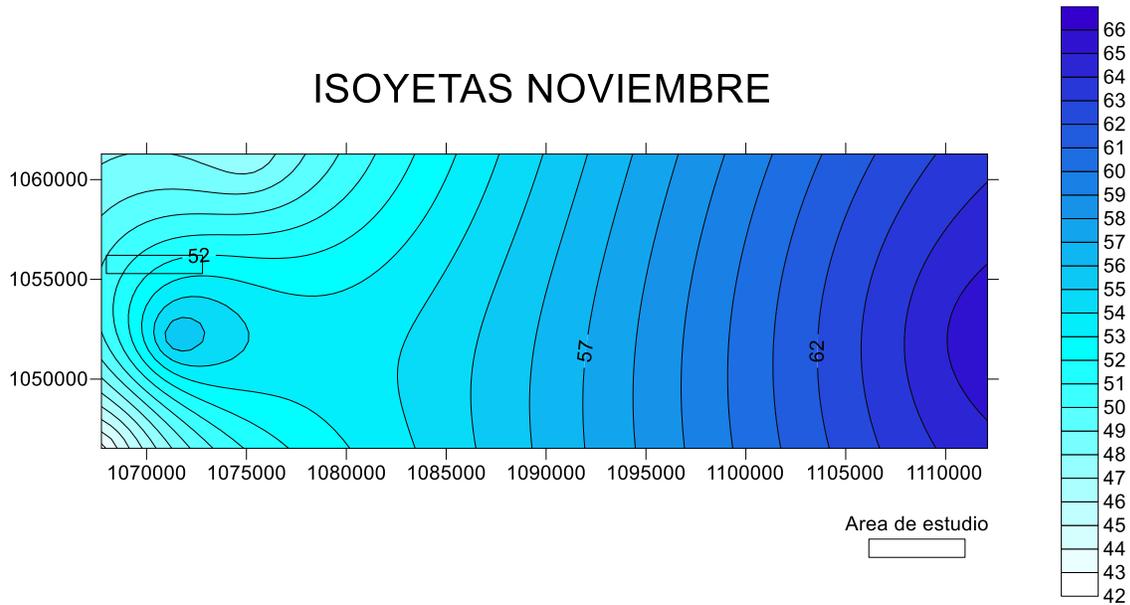


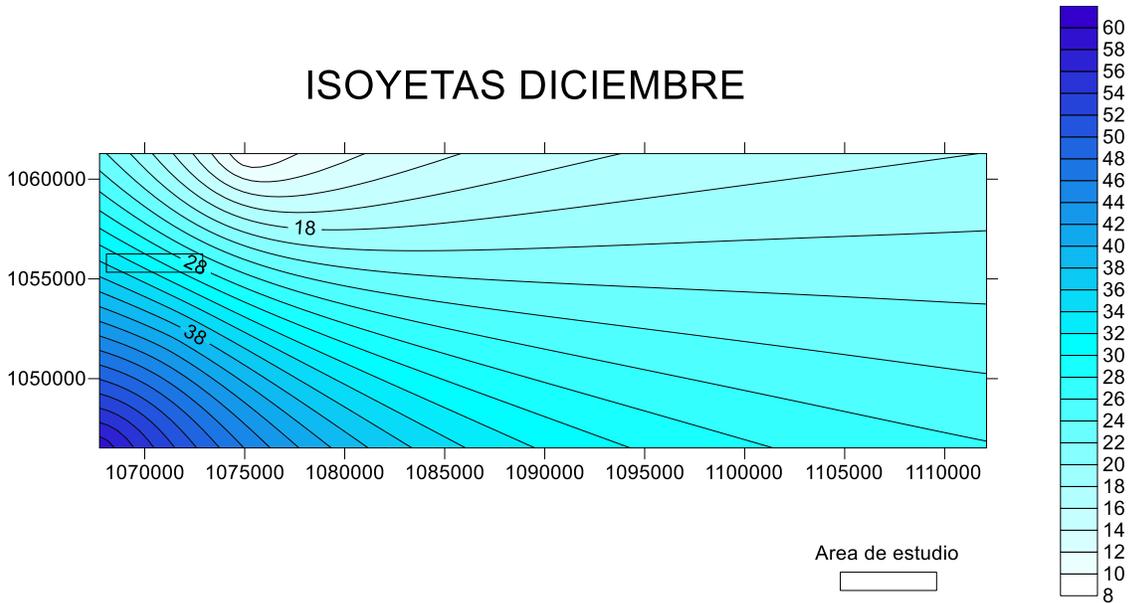
Fuente: Resultado del estudio

El comportamiento de la precipitación para el mes de Septiembre correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 90 y 100 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Octubre correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 62 y 74 mm.

Figura 9. 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 50 y 54 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Diciembre correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 24 y 36 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 fórmula 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.

▮ Rangos de temperatura La Capilla.

	Temperatura (°C)
<b>Periodo 1</b>	16.7
<b>Periodo 2</b>	18.3
<b>Periodo 3</b>	17.7

Fuente: Resultado del estudio

El valor de la humedad relativa (HR) se toma del POT del municipio de La Capilla, que corresponde al valor del 79 %. De donde obtenemos:

▮ Valores de Evapotranspiración

ETP1	ETP2	ETP3
4,95871158	5,69458886	5,41447128

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 Garagoa, 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 escurrentía para cada categoría y microcuenca, que utiliza el número de curva de escurrentía 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.

Calculo de Infiltración, basado en los valores de escorrentía (R) y precipitación (P). Estación La Capilla.

P	R	I	ETP
114,613889	56,404579	53,250598	4,95871158
95,3166666	41,1686994	49,189256	4,95871158
108,816667	51,7302863	52,127669	4,95871158
185,258333	117,618011	62,681611	4,95871158
96,6	42,1510075	49,490281	4,95871158
96,325	41,9400986	49,42619	4,95871158
99,5083333	44,3949963	50,154626	4,95871158
124,361111	64,422344	54,980056	4,95871158
112,747222	54,8912941	52,897217	4,95871158
107,494444	50,6750215	51,860711	4,95871158
106,144444	49,601953	51,58378	4,95871158
96,2111111	41,8528183	49,399581	4,95871158
99,25	44,1946958	50,096593	4,95871158
79,7138889	29,6659363	45,089241	4,95871158
83,4333333	32,3274213	46,1472	4,95871158
83,9694444	32,7155266	46,295206	4,95871158
72,3083333	24,5430088	42,806613	4,95871158
99,6305555	44,4898273	49,446139	5,69458886
82,8416667	31,9003812	45,246697	5,69458886
83,9777778	32,721568	45,561621	5,69458886
105,452778	49,0539144	50,704275	5,69458886

Fuente: Resultado del estudio

Calculo de Infiltración, basado en los valores de escorrentía (R) y precipitación (P). Estación La Capilla.

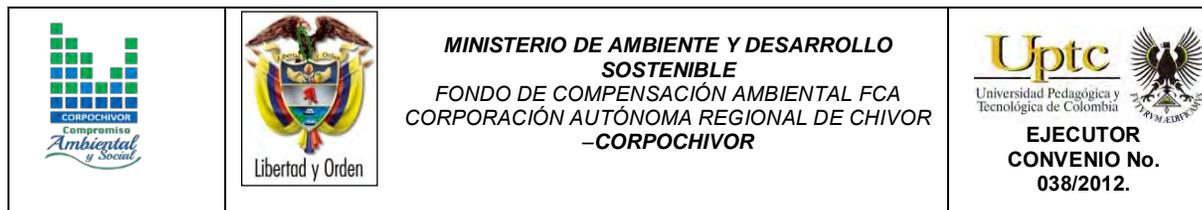
104,180556	48,0490224	50,436944	5,69458886
103,055556	47,1638777	50,197089	5,69458886
91,3583333	38,1708603	47,492884	5,69458886
108,05	51,1179005	51,237511	5,69458886
95,3694446	41,2089998	48,465856	5,69458886
101,455556	45,910738	49,850229	5,69458886
111,763889	54,0971936	51,972106	5,69458886
113,638889	55,6132138	52,331086	5,69458886
100,283333	44,9970153	49,591729	5,69458886
99,2125	44,1656355	49,352276	5,69458886
106,558333	49,9304639	50,933281	5,69458886
104,358333	48,1891963	50,474548	5,69458886
93,675	39,919407	48,061004	5,69458886
110,270833	52,8956235	51,960738	5,41447128
107,625	50,7790313	51,431497	5,41447128
114,416667	56,2443374	52,757858	5,41447128
107,491667	50,6728093	51,404386	5,41447128
112,75	54,8935404	52,441988	5,41447128
89,2083333	36,5638187	47,230043	5,41447128
105,65	49,2100607	51,025468	5,41447128
103,775	47,729555	50,630974	5,41447128
124,216667	64,3021978	54,499998	5,41447128
107,2	50,4405981	51,344931	5,41447128
104,925	48,6365394	50,873989	5,41447128
94	40,1660677	48,419461	5,41447128
111,091667	53,5555809	52,121615	5,41447128
81,2416667	30,7524427	45,074753	5,41447128
97,0583333	42,5030186	49,140843	5,41447128
151,408333	87,503056	58,490806	5,41447128
160,55	95,5233717	59,612157	5,41447128

Fuente: Resultado del estudio



#### **2.4.5. RESULTADOS OBTENIDOS**

Los valores obtenidos dentro del balance hídrico se encuentran resumidos en la Figura 10 y expresados esquemáticamente en la Tabla 9.



### Estimación del Balance Hídrico

AÑO	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970
PRECIPITACION PROMEDIO	114,613889	95,3166666	108,816667	185,258333	96,6	96,325	99,5083333	124,361111	112,747222
ESCORRENTIA	56,404579	41,1686994	51,7302863	117,618011	42,1510075	41,9400986	44,3949963	64,422344	54,8912941
EVAPOTRANSPIRACION	4,95871158	4,95871158	4,95871158	4,95871158	4,95871158	4,95871158	4,95871158	4,95871158	4,95871158
DELTA	53,25059842	49,18925562	52,12766912	62,68161042	49,49028092	49,42618982	50,15462542	54,98005542	52,89721632
ALMACENAMIENTO	53,2505984	49,1892556	52,1276691	62,6816104	49,4902809	49,4261898	50,1546254	54,9800554	52,8972163
DEFICIT									
RECARGA	53,2505984	49,1892556	52,1276691	62,6816104	49,4902809	49,4261898	50,1546254	54,9800554	52,8972163

AÑO	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
PRECIPITACION PROMEDIO	107,494444	106,144444	96,2111111	99,25	79,7138889	83,4333333	83,9694444	72,3083333	99,6305555	82,8416667	83,9777778
ESCORRENTIA	50,6750215	49,601953	41,8528183	44,1946958	29,6659363	32,3274213	32,7155266	24,5430088	44,4898273	31,9003812	32,721568
EVAPOTRANSPIRACION	4,95871158	4,95871158	4,95871158	4,95871158	4,95871158	4,95871158	4,95871158	4,95871158	5,69458886	5,69458886	5,69458886
DELTA	51,86071092	51,58377942	49,39958122	50,09659262	45,08924102	46,14720042	46,29520622	42,80661292	49,44613934	45,24669664	45,56162094
ALMACENAMIENTO	51,8607109	51,5837794	49,3995812	50,0965926	45,089241	46,1472004	46,2952062	42,8066129	49,4461393	45,2466966	45,5616209
DEFICIT											
RECARGA	51,8607109	51,5837794	49,3995812	50,0965926	45,089241	46,1472004	46,2952062	42,8066129	49,4461393	45,2466966	45,5616209

AÑO	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
PRECIPITACION PROMEDIO	105,452778	104,180556	103,055556	91,3583333	108,05	95,3694446	101,455556	111,763889	113,638889	100,283333	99,2125
ESCORRENTIA	49,0539144	48,0490224	47,1638777	38,1708603	51,1179005	41,2089998	45,910738	54,0971936	55,6132138	44,9970153	44,1656355
EVAPOTRANSPIRACION	5,69458886	5,69458886	5,69458886	5,69458886	5,69458886	5,69458886	5,69458886	5,69458886	5,69458886	5,69458886	5,69458886
DELTA	50,70427474	50,43694474	50,19708944	47,49288414	51,23751064	48,46585594	49,85022914	51,97210654	52,33108634	49,59172884	49,35227564
ALMACENAMIENTO	50,7042747	50,4369447	50,1970894	47,4928841	51,2375106	48,4658559	49,8502291	51,9721065	52,3310863	49,5917288	49,3522756
DEFICIT											
RECARGA	50,7042747	50,4369447	50,1970894	47,4928841	51,2375106	48,4658559	49,8502291	51,9721065	52,3310863	49,5917288	49,3522756

Fuente: Resultado del estudio

ELABORACIÓN DE ESTUDIO DE RIESGO (AMENAZA Y VULNERABILIDAD) Y DISEÑO DE OBRAS DE ESTABILIZACION EN LA VEREDA LA PALMA QUEBRADA CLAVELINA, MUNICIPIO DE LA CAPILLA JURISDICCIÓN DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR (CORPOCHIVOR).



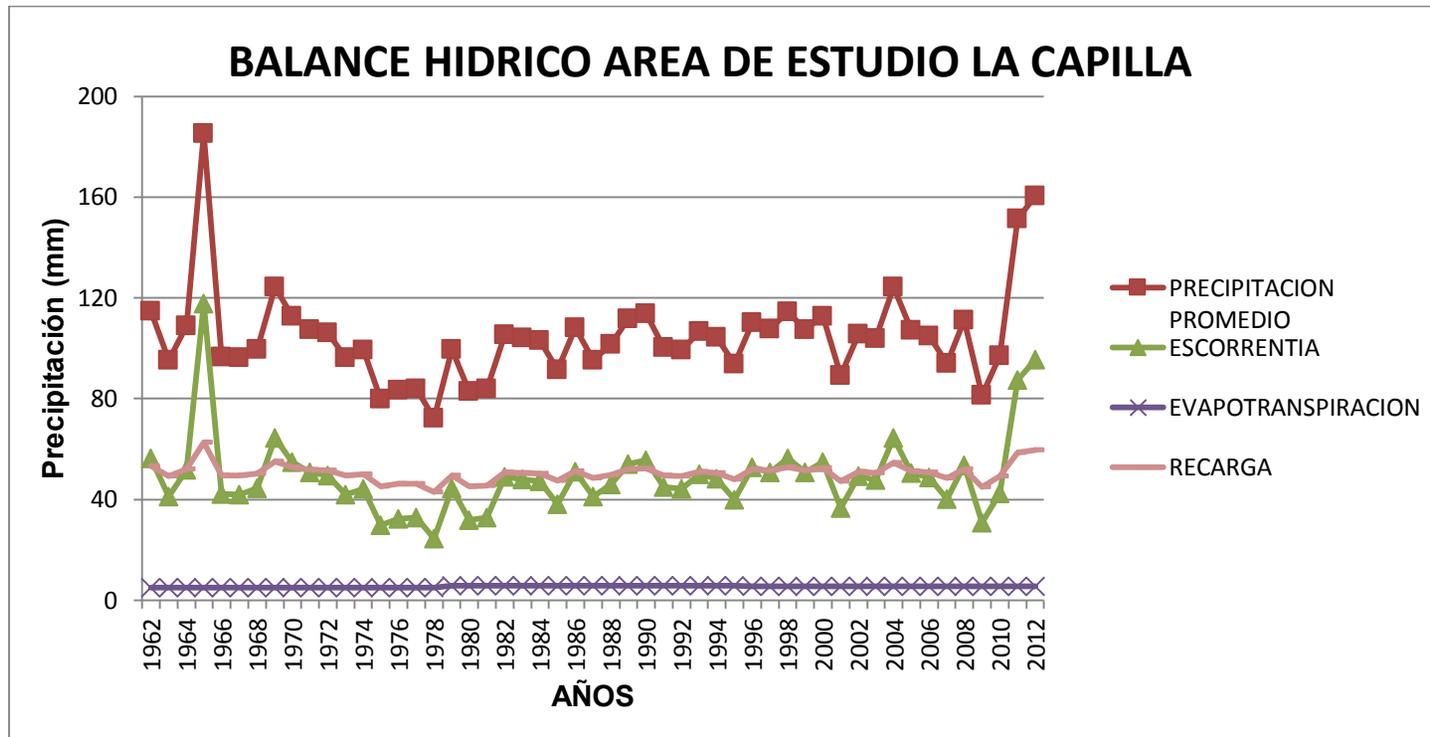
### Estimación del Balance Hídrico

AÑO	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
PRECIPITACION PROMEDIO	106,558333	104,358333	93,675	110,270833	107,625	114,416667	107,491667	112,75	89,2083333	105,65	103,775
ESCORRENTIA	49,9304639	48,1891963	39,919407	52,8956235	50,7790313	56,2443374	50,6728093	54,8935404	36,5638187	49,2100607	47,729555
EVAPOTRANSPIRACION	5,69458886	5,69458886	5,69458886	5,41447128	5,41447128	5,41447128	5,41447128	5,41447128	5,41447128	5,41447128	5,41447128
DELTA	50,93328024	50,47454784	48,06100414	51,96073822	51,43149742	52,75785832	51,40438642	52,44198832	47,23004332	51,02546802	50,63097372
ALMACENAMIENTO	50,9332802	50,4745478	48,0610041	51,9607382	51,4314974	52,7578583	51,4043864	52,4419883	47,2300433	51,025468	50,6309737
DEFICIT											
RECARGA	50,9332802	50,4745478	48,0610041	51,9607382	51,4314974	52,7578583	51,4043864	52,4419883	47,2300433	51,025468	50,6309737

AÑO	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
PRECIPITACION PROMEDIO	124,216667	107,2	104,925	94	111,091667	81,2416667	97,0583333	151,408333	160,55
ESCORRENTIA	64,3021978	50,4405981	48,6365394	40,1660677	53,5555809	30,7524427	42,5030186	87,503056	95,5233717
EVAPOTRANSPIRACION	5,41447128	5,41447128	5,41447128	5,41447128	5,41447128	5,41447128	5,41447128	5,41447128	5,41447128
DELTA	54,49999792	51,34493062	50,87398932	48,41946102	52,12161482	45,07475272	49,14084342	58,49080572	59,61215702
ALMACENAMIENTO	54,4999979	51,3449306	50,8739893	48,419461	52,1216148	45,0747527	49,1408434	58,4908057	59,612157
DEFICIT									
RECARGA	54,4999979	51,3449306	50,8739893	48,419461	52,1216148	45,0747527	49,1408434	58,4908057	59,612157

Fuente: Resultado del estudio

Figura 10. 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	153,0
2	228,0
3	362,0
4	275,0
5	2273,0
6	276,0
7	204,0
8	228,0
9	178,0
10	179,0
11	293,0
12	362,0

Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov:

m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom Lineal	Delta
1	153,0	0,0769	0,3680	0,2513	0,2911
2	178,0	0,1538	0,3881	0,2812	0,2342
3	179,0	0,2308	0,3889	0,2824	0,1581
4	204,0	0,3077	0,4088	0,3131	0,1011
5	228,0	0,3846	0,4279	0,3430	0,0433
6	228,0	0,4615	0,4279	0,3430	0,0336
7	275,0	0,5385	0,4648	0,4017	0,0737
8	276,0	0,6154	0,4656	0,4030	0,1498
9	293,0	0,6923	0,4787	0,4241	0,2136
10	362,0	0,7692	0,5306	0,5075	0,2387
11	362,0	0,8462	0,5306	0,5075	0,3156
12	2273,0	0,9231	0,9902	0,9990	0,0671



-----  
----

-----  
Ajuste con momentos ordinarios:  
-----

Como el delta teórico 0,3156, es menor que el delta tabular 0,3926. 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 ( $\mu$ )= 152,8376

Parámetro de escala (alfa)= 458,66

Con momentos lineales:

Parámetro de posición ( $\mu_l$ )= 247,9239

Parámetro de escala (alfal)= 293,9273

-----  
Caudal de diseño:  
-----

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 2 años, es 320,94

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 5 años, es 840,80

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 10 años, es 1184,99

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 25 años, es 1619,88

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 50 años, es 1942,50

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 75 años, es 2130,02

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 100 años, es 2262,74

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 500 años, es 3002,77

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

Coeficiente de compacidad (C).

Coeficiente 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 Km<sup>2</sup>.



▪ **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.

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

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

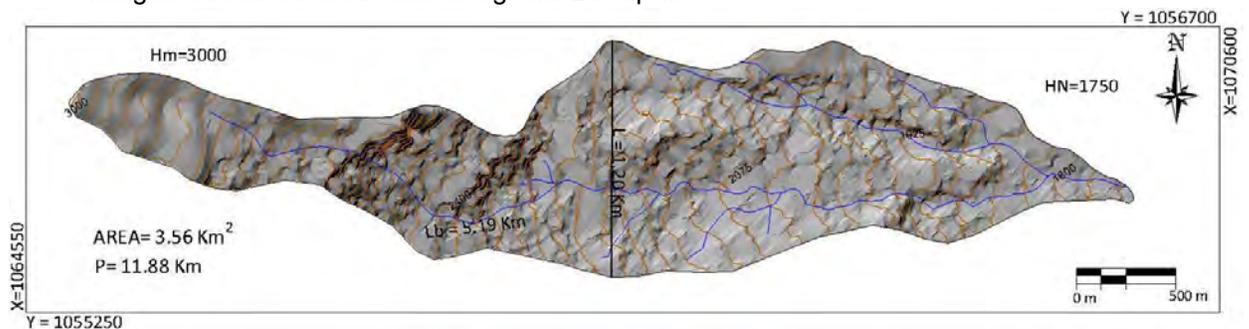
▪ **Tiempo de concentración (TC)** Es el tiempo que gasta una gota de agua en recorrer el sitio más lejano de la cuenca a la desembocadura del cauce principal.

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

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 11 el resultado de los cálculos morfométricos a la cuenca regional de La Capilla analizadas para el presente estudio.

Figura 11. Imagen ilustrativa de la cuenca regional La capilla



Fuente: Resultado del estudio

Valores de parámetros morfométricos para la cuenca regional

NOMBRE CUENCA	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 Garagoa	3.56	11.88	5.19	1.20	10.03	3000
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 Ic % (Ic)	Índice de Alargamiento (Ia)
1750	1.25	0.24	2.00	0.56	24.08	4.34
COEFICIENTE DE COMPACIDAD (C). FORMA Y SUSCEPTIBILIDAD		COEFICIENTE DE REDONDEZ (K). FORMA Y SUSCEPTIBILIDAD		DENSIDAD DE DRENAJE (Dd)		TIEMPO DE CONCENTRACIÓN en horas (TC)
1.89	rectángulo – oblonga	1.89	Semiredonda	2.82	Densidad 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
0.69	crítico	0.41	ALARGADA	0.57	Irregular	3

Fuente: Resultado del estudio

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

## 2.6 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 pérdida 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.

### 2.6.1 DESCRIPCIÓN REGIONAL

Fotografía 2. Georeferenciación área de estudio.



Fuente: Registro fotográfico.

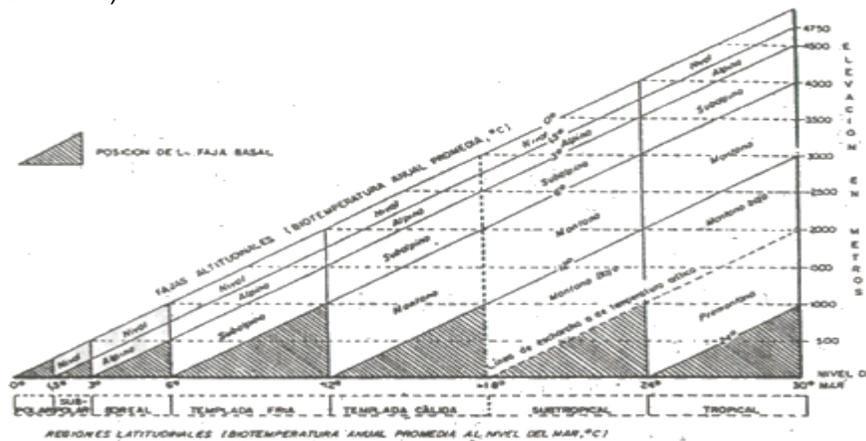
#### 3.2.1.1. VEGETACIÓN

Se presenta una descripción del sistema basado en las zonas de vida desarrollado desde 1947 por L.R. Holdridge. La descripción tiene un carácter anatómico; es decir, se describe la estructura, las partes del sistema y sus conexiones, sin

detenerse en aspectos fisiológicos ni las bases filosóficas que se describen en el final de este capítulo en un una caracterización vegetal general. Se describe la estructura de las zonas de vida (primer nivel del sistema), refiriéndose pa ello a los elementos del diagrama respectivo. Se describen también asociaciones, que constituyen asociaciones del segundo nivel del sistema, y se mencionan el uso de la tierra, trabajado con la nomenclatura Corine Land Cover.

Para la descripción regional el sistema de clasificación basado en zonas de vida contempla regiones latitudinales y, dentro de cada región, se contemplan fajas o pisos altitudinales como se observan a continuación:

Figura 12. Posiciones aproximadas de las Líneas guía de las regiones latitudinales y las fajas altitudinales del sistema mundial de zonas de vida de Holdridge, (basado en una tasa de cambio de .6°C por,cada 1000m).



Fuente: Holdridge, L., 1987.

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 en el municipio existen las siguientes unidades bioclimáticas:

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

### 2.6.2 BOSQUE HÚMEDO PRE – MONTANO (bh – PM)

En general esta formación tiene como límites climáticos una biotemperatura media aproximada entre 17 y 24°C, un promedio anual de lluvias de 1000 a 2000 mm y pertenece a la provincia de humedad húmeda.

La situación andina del (bh – Pm) se refleja bien en la variedad de paisajes geomorfológicos, sus terrenos presentan algunos valles aluviales, topografía variada y laderas desde suavemente inclinadas hasta fuertemente quebradas. La vegetación original ha sido modificada en parte, resultando lógico del hecho de haber sido estas áreas explotadas por el hombre en una forma intensiva, ya que en esta zona predomina altamente el minifundismo. En esta zona crecen en las cercas: sauces (*Salix humboltiana*), eucaliptos (*Eucalyptus globulus*), mangles (*Escallonia pendula*) y el rascador (*Mauria ovalifolia*), entre otros.

### 2.6.3 BOSQUE HÚMEDO MONTANO BAJO (bh – MB)

En general esta formación tiene como índices climáticos, una biotemperatura media aproximada entre 12 a 17°C, un promedio anual de lluvias de 1000 a 2000mm y pertenece a la provincia de humedad húmeda. Sus paisajes geomorfológicos van desde pequeñas llanuras hasta flancos cordilleranos con quebradas de ásperas vertientes como la Guaya, Madrejuana y Cañatoque.

El monte nativo en su mayoría está transformado y predominan los pastos y pequeños rastrojos como matorrales dispersos entre los pastizales. En esta zona se encuentra una gran diversidad de especies de árboles indicadores del bosque original como: tunos, encenillos, raques, trompeto, espino, salvio, romero, junco, mortiño, laurel, cucharo, pegamosco, y mano de oso, gualmente, helechos, orquideas y quiches.

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

Fisionómicamente predominan estratos arbóreos, arbustivos y herbáceos, el epifitismo es una condición media presente (musgos, quichés, líquenes, orquídea, uva camaronera, lianas y bejucos). Previo recorrido de campo, se observaron especies arbóreas de los siguientes géneros como: mano de oso *Oreopanax spp.*, Aguacatillo *Ocotea sp.*, Cedro *Cedrela sp.*, guamo *Inga sp.*, granizo *Hediosmun sp.*, arrayán *Myrsianthes spp.*, Canelo *Drymis sp.*, garrocho *Viburnum sp.*, Encenillo *Weinmannia tomentosa*, Drago *Croton sp.*, las anteriores especies son de escasa frecuencia para la región y nula para la mayoría del territorio.

#### BOSQUE MUY HÚMEDO MONTANO (bmh – M)

Se presenta rodeando el bh – M a nivel local, en colinas y laderas de la Capilla hacia la zona alta, recibe la influencia de las montañas por el aumento de la lluvia en zona de sub – páramo, hace su aparición en hondonadas, laderas de las cumbres montañosas locales hacia Pachavita, Umbita y Cundinamarca.

Biotemperatura media entre 6 y 12 °C, con promedio anual de lluvias, 1000 a 2000mm, provincia de humedad sub húmedo, ocupa faja altimétrica entre los 2800 a 3420 m.s.n.m con variaciones locales. Las oscilaciones de temperatura entre el día y la noche a veces son fuertes y ocasionalmente se presentan heladas. (Fuente: IDEAM, HOLDRIGDE).

El bmh – M es variable, con pequeños valles, suaves ondulados y ásperas vertientes. La situación geográfica hace que la topografía presente sea variada, aparece por donde descienden pequeñas quebradas y en mesetas onduladas, donde hoy se presentan cultivos limpios como papa y densos como pastos de poa con matorrales o rastrojos naturales de conservación de la zona.



En su mayoría está transformada por la acción antrópica y predominan los pastos y pequeños rastrojos como matorrales dispersos entre los pastizales. Para el municipio de la Capilla, se encuentra una gran diversidad de especies de árboles indicadores del bosque original como: Tunos *Miconia salicifolia*, encenillos *Weinmannia tomentosa*, gaques *Vallea stipularis*, espino *tabe Xilosma spiculiferum*, aliso *Alnus acuminata*, romero *Diplostephyum tenuifolium.*, angelito *Monochateum myrtoideum*, Upacon *Montanoa ovalifolia*, Cardón *Eryngium sp.*, Puya *sp.* Salvia *Salvia sp.* Romero *Baccharis sp.*, juco *Viburnum tinoides*, Arrayán *Myrsianthes spp* mortiño *Hespersomeles heterophylla* pegamosco *Befaria sp.* Igual caminaderas *Lycopodium sp.* Helechos *Polypodium sp.*, orquídeas *Epidendrum sp.* *Elleanthus sp.* *Stelis sp.* Uva camaronera *Macleania rupestres* y quichés *Tillandsia spp.* Fisionómicamente predominan estratos, Arbóreos, arbusto y herbáceo, el epifitismo es una condición media presente (musgos, quichés, líquenes, orquídeas, lianas y bejucos como *Meuehlenbechia tamnifolia* chivo).

#### **2.6.4 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.

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

### 3.2.1.2. 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.
- Diversidad florística
- Índices de calificación e importancia ecológica.
- Importancia económica y cultural de algunas especies.

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

- 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.

### **3.2.1.3. 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:

### TEJIDO URBANO DISCONTINUO

En la zona de estudio se observan espacios conformados por edificaciones de carácter social como viviendas, granjas, iglesia y una institución educativa estatal además de zonas verdes. Las edificaciones, vías e infraestructura construida cubren la superficie del terreno de manera dispersa y discontinua, ya que el resto del área está cubierta por vegetación. Esta unidad puede presentar dificultad para su delimitación cuando otras coberturas de tipo natural y seminaturales se mezclan con áreas clasificadas como zonas urbanas.

Fotografía 3. Tejido urbano discontinuo

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



**Fuente:** Registro fotográfico.

### 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.

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

Fotografía 4. 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.

### CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS

Cobertura principalmente ocupada por cultivos de hábito arbóreo, diferentes de plantaciones forestales maderables o de recuperación, como pera, ciruela, durazno, etc.

### GUAYABA

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

Es un arbusto siempre verde de la familia de las *Myrtáceas*, frondoso que alcanza de 5 a 6 metros de altura en promedio, pero si se maneja adecuadamente con podas, no sobrepasa los 3 m, la temperatura ideal para su desarrollo oscila entre 23° y 28°C, con lluvias bien distribuidas, principalmente en la fase de brotación, floración y desarrollo de frutos para que los mismos sean de buena calidad. No tolera heladas fuertes y prolongadas. Los suelos deben ser de los tipos arenociloso, profundos, bien drenados y con buen contenido de materia orgánica. © FAO, 2006

Fotografía 5. *Psidium guajava*



Fuente: Registro fotográfico.

## CULTIVOS PERMANENTES HERBÁCEOS

---

ELABORACIÓN DE ESTUDIO DE RIESGO (AMENAZA Y VULNERABILIDAD) Y DISEÑO DE OBRAS DE ESTABILIZACIÓN EN LA VEREDA LA PALMA QUEBRADA CLAVELINA, MUNICIPIO DE LA CAPILLA JURISDICCIÓN DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR (CORPOCHIVOR).

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

Cobertura compuesta principalmente por cultivos permanentes de hábito herbáceo como cana de dulce y plátano, Las herbáceas son plantas que no presentan órganos leñosos, son verdes y con ciclo de vida vegetativo anual.

### PLÁTANO

Cobertura predominantemente compuesta por cultivo de banano *Musa sapientum* L.J, planta herbácea perene gigante de la familia Musáceas, Como las demás especies de *Musa*, *M. balbisiana* carece de verdadero tronco. En su lugar, posee vainas foliares que se desarrollan formando estructuras llamadas *pseudotallos*, similares a fustes verticales de hasta 30 cm de diámetro basal, aunque no son leñosos. Alcanzan los 7 m de altura, de color verde o amarillo verdoso intenso, que permite distinguirlo con facilidad de *M. x paradisiaca*, más clara; la parte distal de las vainas presenta marcas negras, mientras que la basal se orla de rojo. Ambas son glaucas y pruinosas.

Produce numerosos retoños a partir de rizomas superficiales o subterráneos, que son la principal forma de difusión de los híbridos o variedades triploides; los retoños reemplazan al tallo principal después de florecer y morir éste. Las hojas son lisas, tiernas, oblongas, con el ápice trunco y la base redonda o ligeramente cordiforme, verdes por el haz y más claras y normalmente glaucas por el envés, con las nervaduras amarillentas. Dispuestas en espiral, se despliegan hasta alcanzar 3 m de largo y 60 cm de ancho; el pecíolo tiene hasta 60 cm, cóncavo por la parte superior, con los extremos casi tocándose por encima del canal adaxial. Sus márgenes son poco visibles en la parte superior y más pronunciada junto a la vaina, muchas veces orlados de negro.

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

Las flores forman inflorescencias pendulosas, con el pedúnculo y el raquis glabros; toman forma de espigas terminales, de las cuales las 10 a 15 primeras hileras son de flores femeninas, con las masculinas en la parte superior. Los floras masculinos forman capullos ovoides a elípticos, con las brácteas imbricándose en el ápice trunco. Son una 20 por bráctea, en dos filas. El tépalo compuesto alcanza los 5 cm de largo y los 1,2 de ancho; es blanquecino o más raramente violáceo por el interior, con el color trasluciéndose a la vista desde fuera como una delicada tonalidad purpúrea. Su parte superior es amarilla a naranja, con los dientes de unos 5 mm de largo, los dos más externos con un apéndice filiforme de hasta 2 mm de largo. El tépalo libre es aproximadamente de la mitad de tamaño, blanco o rosáceo, obtuso o trunco, con la apícula mucronada y corta.

El fruto es una falsa baya de forma lineal o falcada, de 7 a 15 cm de largo y hasta 4 de diámetro, que forma un racimo compacto. Está cubierta por un pericarpo coriáceo verde en el ejemplar inmaduro y amarillo intenso al madurar. El extremo basal se estrecha abruptamente hacia un pedicelo e 1 a 2 cm. La pulpa es blanca, rica en almidón y dulce. Puntos negros que motean la pulpa son el resto de los óvulos no desarrollados. Las semillas son negras, globosas o irregulares, con la superficie rugosa, de hasta 6 x 5 mm de tamaño, y están incrustadas en la pulpa. A mayor cantidad de semillas, el fruto se hace de mayor tamaño.

Fotografía 6. Musa sapientum L.J



Fuente: Registro fotográfico.

### CULTIVOS AGROFORESTALES

Zonas ocupadas por arreglos o combinaciones de cultivos de diferentes especies, con otros de hábitos herbáceos, arbustivos y arbóreos, donde la característica principal de la cobertura es que el aumento en el detalle no implica la subdivisión en unidades puras, porque estas se encuentran combinadas en la misma área, alternadas por surcos a hileras de árboles con cultivos o de árboles con pastos.

Fotografía 7. Cultivo agroforestal



Fuente: Registro fotográfico.

## 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.

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

## PASTOS LIMPIOS

Esta cobertura comprende las tierras ocupadas por pastos limpios con un porcentaje de cubrimiento alto, la realización de prácticas de manejo (Limpieza, encalamamiento 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 8. 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.

### **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 9. Pastos enmalezados.



Fuente: Registro fotográfico.



### 2.6.5 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.

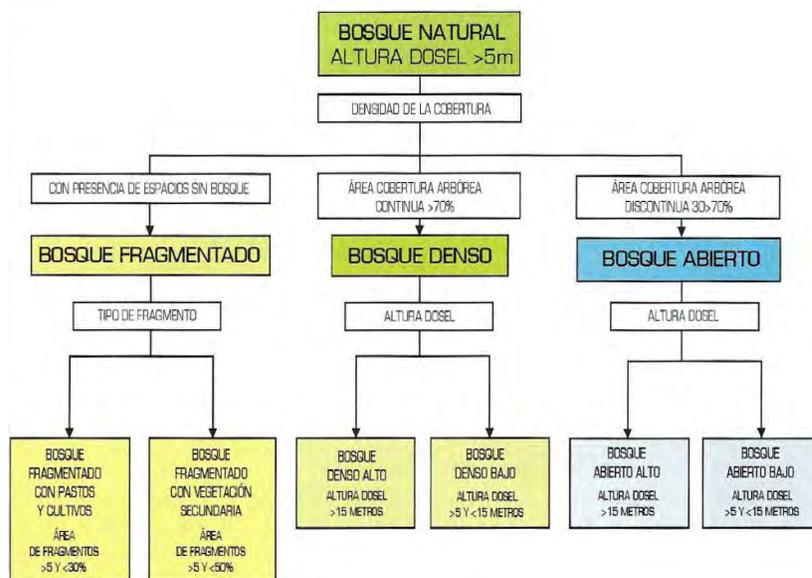
Para efectos de clasificación los bosques son determinados por la presencia de árboles que deben alcanzar una altura del dosel superior a los cinco metros.

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 13. Criterios para la clasificación de los bosques



Fuente: Corine Land Cover 2010.

## 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.

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

### 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 10. Bosque denso bajo de tierra firme.



Fuente: Registro fotográfico.

## BOSQUE DE GALERÍA Y RIPARIO

Se refiere a las coberturas constituidas por vegetación arbórea ubicada en las márgenes de cursos de agua permanentes o temporales. Este tipo de cobertura está limitada por su amplitud, ya que bordea los cursos de agua y los drenajes naturales. Cuando la presencia de estas franjas de bosques ocurre en regiones de sabanas se conoce como bosque de galería o canadas, las otras franjas de bosque en cursos de agua de zonas andinas son conocidas como bosque ripario.

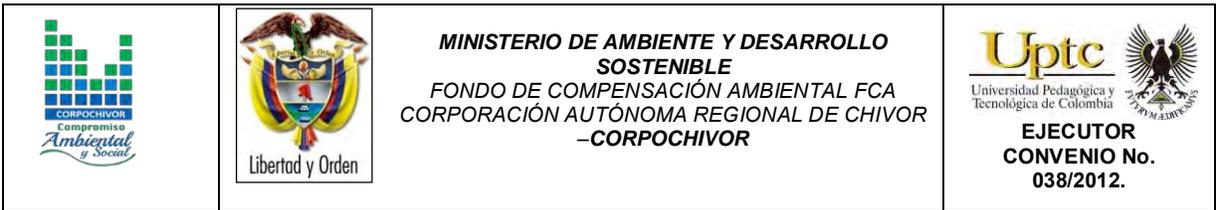
Fotografía 11. Bosque ripario



Fuente: Registro fotográfico.

### 2.6.6 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:

#### ARBUSTAL

Comprende los territorios cubiertos por vegetación arbustiva desarrollados en forma natural en diferentes densidades y sustratos. Un arbusto es una planta perenne, con estructura de tallo leñoso, con una altura entre 0,5 y 5 m, fuertemente ramificado en la base y sin una copa definida (FAD, 2001).

#### ARBUSTAL ABIERTO MESOFILO

Este tipo de arbustal abierto está caracterizado por presentar una vegetación mesofila compuesta por una comunidad vegetal donde predominan los arbustos achaparrados y arboles pequeños, que se localizan en zonas húmedas, caracterizadas por su considerable precipitación y humedad atmosférica durante casi todo el año. Esta cobertura hace referencia principalmente a las formaciones arbustivas andinas y altoandinas, aledañas a las paramos y bosques de niebla.

Fotografía 12. Arbustal Abierto Mesofilo



Fuente: Registro fotográfico.

## 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.

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

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 13. Herbazal



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.

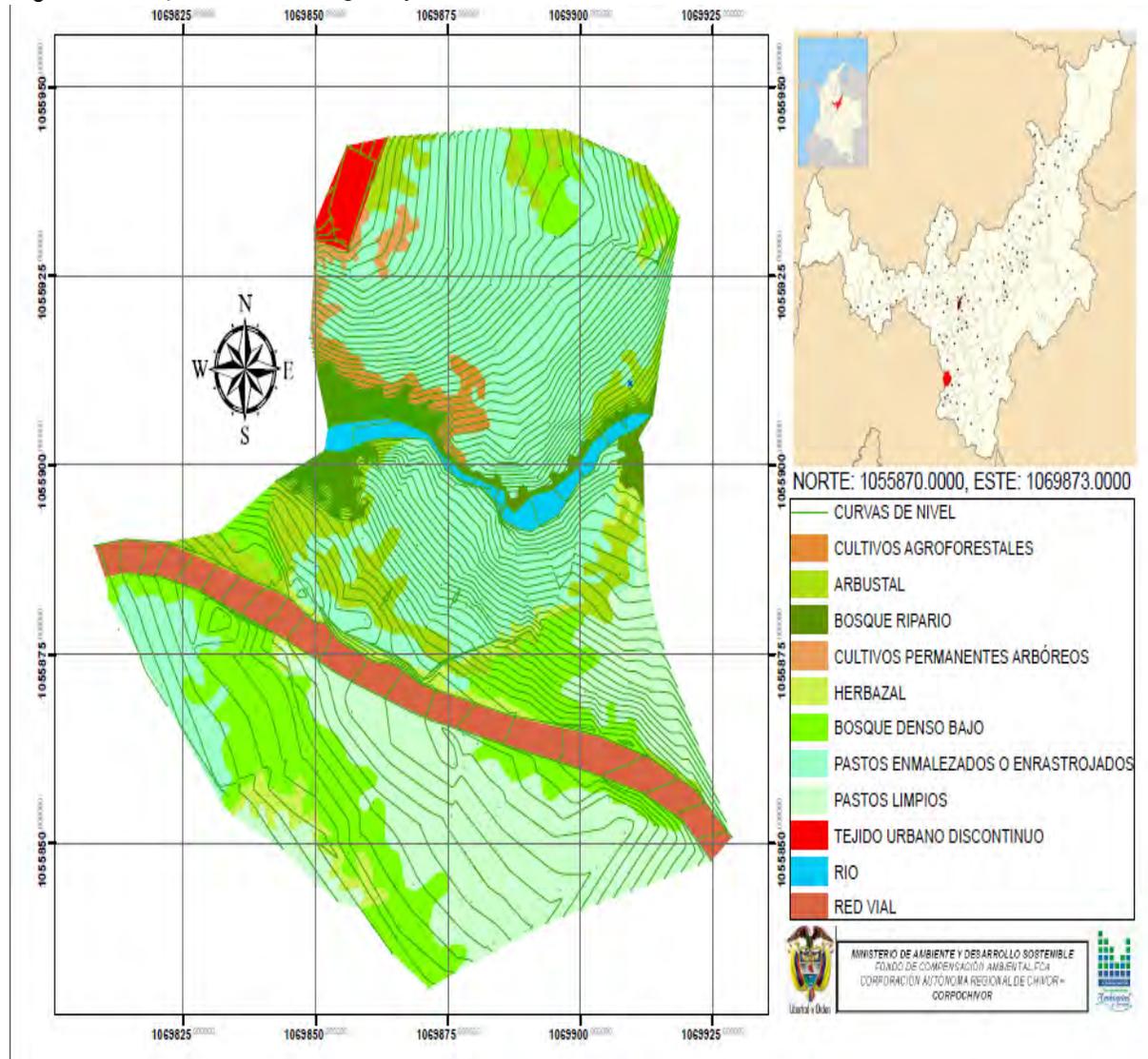
Fotografía 14. Río presente en el área de estudio.



Fuente: Registro fotográfico.

## 2.6.7 ÁREAS Y PORCENTAJES DE LAS COBERTURAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Figura 14. Mapa cobertura vegetal y uso de suelo



Fuente: Resultado del estudio.

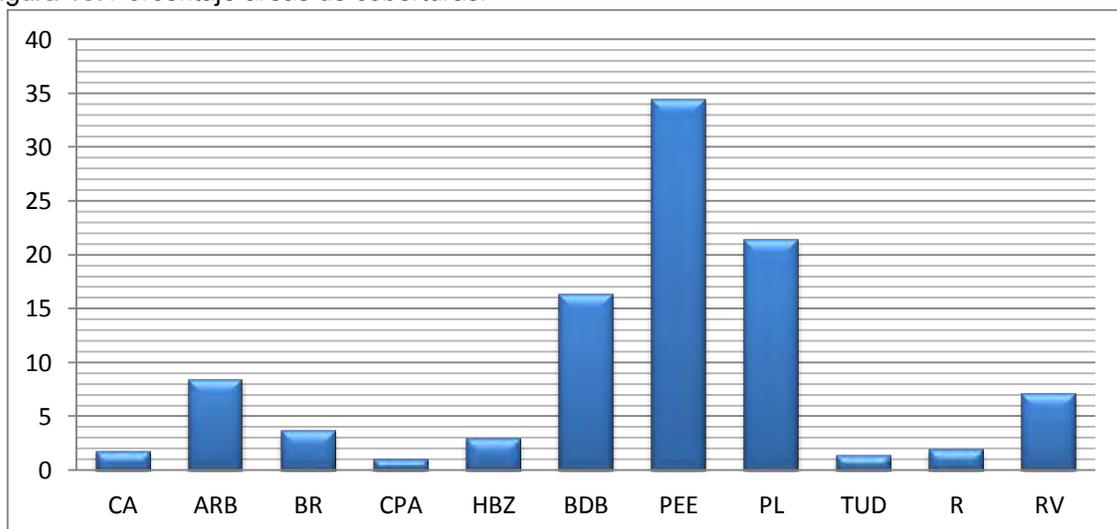
Áreas métricas de las coberturas.

ELABORACIÓN DE ESTUDIO DE RIESGO (AMENAZA Y VULNERABILIDAD) Y DISEÑO DE OBRAS DE ESTABILIZACIÓN EN LA VEREDA LA PALMA QUEBRADA CLAVELINA, MUNICIPIO DE LA CAPILLA JURISDICCIÓN DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR (CORPOCHIVOR).

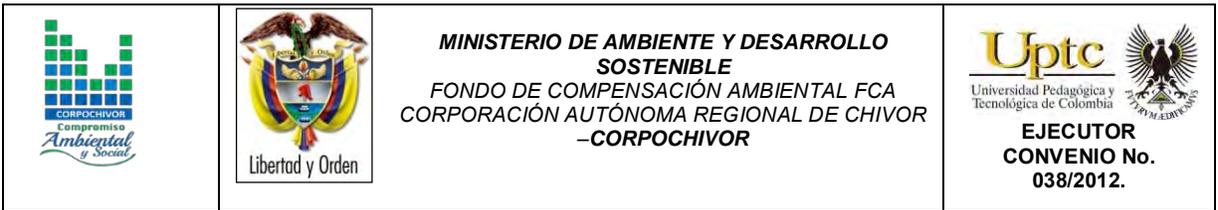
<b>COBERTURA</b>	<b>ÁREA m2</b>
CULTIVOS AGROFORESTALES (CA)	140
ARBUSTAL (ARB)	688
BOSQUE RIPARIO (BR)	294
CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS (CPA)	82
HERBAZAL (HBZ)	239
BOSQUE DENSO BAJO (BDB)	1337
PASTOS ENMALEZADOS O ENRASTROJADOS (PEE)	2817
PASTOS LIMPIOS (PL)	1744
TEJIDO URBANO DISCONTINUO (TUD)	108
RIO ( R)	154
REC VIAL (RV)	580

Fuente: Resultado del estudio.

Figura 15. Porcentaje áreas de coberturas.



Fuente: Resultado del estudio.



## 2.6.8 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.

Unidades de cobertura vegetal.

<b>FAMILIA</b>	<b>NOMBRE CIENTÍFICO</b>	<b>NOMBRE COMÚN</b>
<i>Lauraceae</i>	<i>Persea americana</i>	Aguacate
<i>Solanácea</i>	<i>Lycopersicon sculentum Mill.</i>	Tomate larga vida invernadero
<i>Asterácea</i>	<i>Lactuca sativa L.</i>	Lechuga
<i>Myrsinaceae</i>	<i>Myrsine guianensis</i>	Cucharó
<i>Myrtaceae</i>	<i>Psidium guajava</i>	Guayaba
<i>Melastomatácea</i>	<i>Miconia ligustina</i>	Tuno
<i>Rutaceae</i>	<i>Citrus Aurantifolia</i>	Limón mandarina
<i>Salicácea</i>	<i>Salix humboltiana</i>	Sauces
<i>Myrtaceae</i>	<i>Eucalyptus globulus</i>	Eucaliptos
<i>Escalloniaceae</i>	<i>Escallonia pendula</i>	Mangles
<i>Anacardiaceae</i>	<i>Mauria ovalifolia</i>	Rascador
<i>Fabaceae</i>	<i>Phaseolus vulgaris L.</i>	Frijol cargamanto
<i>Quenopodiáceas</i>	<i>Beta vulgaris var</i>	Acelga
<i>Fabaceaea</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Habichuela
<i>Rubiáceae</i>	<i>Coffea arabica L</i>	Café
<i>Myrtaceae</i>	<i>Feijoa sellowiana</i>	Feijoa
<i>Poaceae</i>	<i>Saccharum officinarum</i>	Caña de azúcar
<i>Musáceae</i>	<i>Musa sapientum L.J</i>	Plátano
<i>Poaceae</i>	<i>Axonopus scoparius</i>	Imperial

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

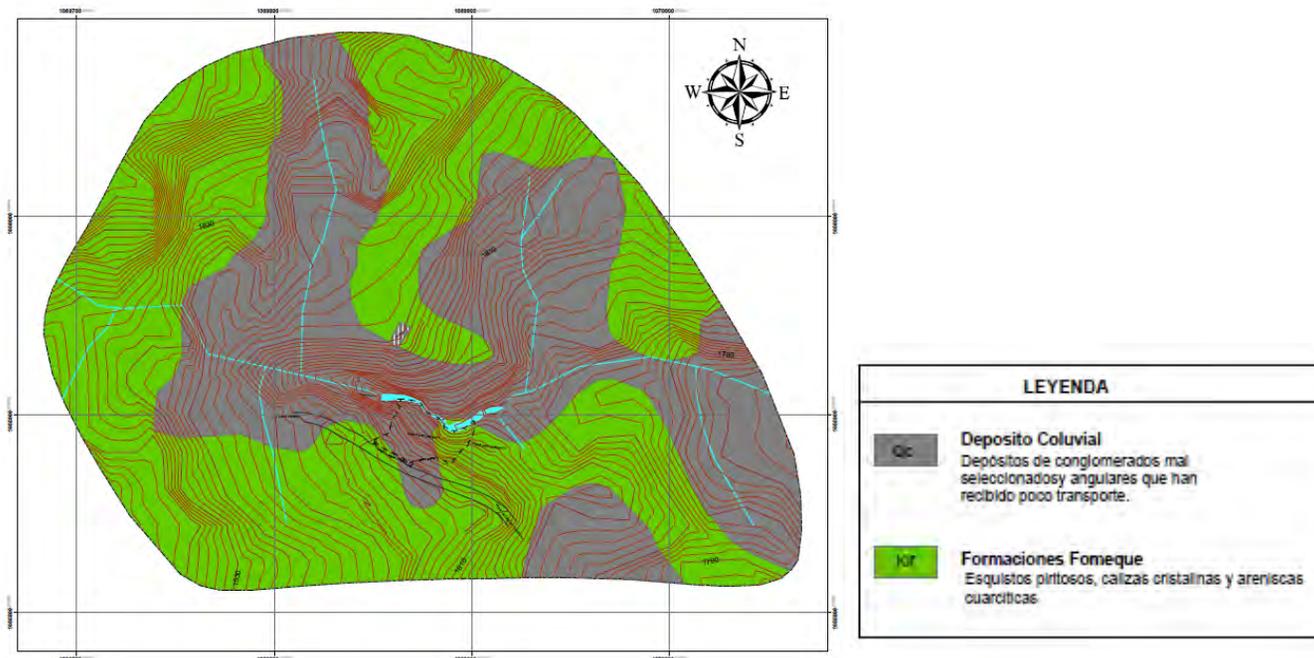
<i>Bromeliaceae</i>	<i>Racinaetha tetrantha</i> (ruiz & Pav) M.A. Spencer & L.B. Sm.	Bromelia, quinche
<i>Myrsinaceae</i>	<i>Myrsine guianensis</i>	Cucharo
<i>Melastomataceae</i>	<i>Miconia ligustrina</i>	Tuno
<i>Myrtaceae</i>	<i>Myrsianthes leucoxylla</i>	Arrayan
<i>Poaceae</i>	<i>Chusquea scandens kumth</i>	Chusque, carrizo
<i>Amarillidaceae</i>	<i>Orthrosanthus chimboracens</i>	Espadilla
<i>Asteraceae</i>	<i>plantafo australis</i>	Plantago
<i>Melastomatáceae</i>	<i>Tibouchina lepidota</i> (Bonpl.) Baill	Siete cueros
<i>Melastomatáceae</i>	<i>Monochaetum myrtoideum</i>	Angelito
<i>Bromeliaceae</i>	<i>Racinaetha tetrantha</i> (ruiz & Pav) M.A. Spencer & L.B. Sm.	Bromelia, quinche
<i>Euphorbiaceae</i>	<i>Crotón sp.</i>	
<i>Myrtaceae</i>	<i>Eucalyptus globulus</i>	eucaliptos

Fuente: trabajo en campo

### 3 GEOLOGIA

En el sector afloran rocas de edad cretácica de origen marino, hasta depósitos recientes con materiales depositados en ambientes continentales, denominados Cuaternarios (Qc) (Coluviales y de Talus).

Figura 16. Imagen mapa geológico área de estudio



Fuente: Resultado del estudio.

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

### 3.2. GEOLOGÍA HISTÓRICA

Las rocas encontradas en el municipio de la Capilla, fueron depositadas en ambientes sedimentarios marinos, cuando existía una cuenca oceánica antigua, en la que variaciones del nivel del mar se sedimentaron, acumularon y litificaron diferentes tipos de rocas, originando de esta forma las formaciones presentes a lo largo de la cordillera Oriental.

Así las rocas que encontramos en el municipio, tienen edades que van desde el Cretáceo (Formaciones, Une, Chipaque, Plaeners, Labor y Tierna), las cuales fueron depositadas en un ambiente marino, luego encontramos depósitos terciarios de transición (Formación Guaduas (Ktg), depositada en un ambiente de carácter marino poco profundo a continental), Terciarios continentales (Formación Guaduas), hasta llegar a los depósitos más recientes denominados Cuaternarios derivados en su mayoría de eventos glaciáricos y fluviales.

### 3.3. GEOLOGIA LOCAL.

#### 3.3.1. Formación Fόμεque (Kif).

Esta formación está constituida por lutitas grises oscuras a negras, interestratificadas con margas, limolitas grises y lentejones de calizas, grises oscuras a negras, con frecuentes intercalaciones de areniscas cuarzosas, de coloración gris claro, de grano fino, micáceas, estratificadas en bancos de pocos centímetros hasta 3 m de espesor. En la región occidental del Anticlinal de los Farallones, se le calculo a esta unidad, por medio de cortes geológicos, un espesor de 1200 m, mientras que en el área oriental alcanza un espesor de 800 m.

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

### 3.3.2. Depósitos Cuaternarios.

Los depósitos recientes en la zona están representados por coluviones (Qc), depósitos de Talus (Qt) y algunos derrubios.

#### 3.3.2.1. Depósitos Coluviales (Qc).

Son formados en las laderas de los ríos y quebradas. Corresponden a conglomerados polimicticos, con cantos de limolita, areniscas y en menor proporción lodolitas en una matriz areno arcillosa muy poco compacta. Los bloques presentan angularidad en las aristas. Se presentan principalmente a lo largo de los márgenes de las Quebradas Agua Blanca, Mazamorra, Guaya, Madre Juana, Molino, Clavelina, Honda , Gusba y Los Puentes, formando un extenso deposito Coluvial que cubre la parte central del municipio, incluyendo el sitio donde actualmente se funda el casco urbano. Están conformados por bloques angulares de cuarzo arenitas, con diámetros de hasta 3m embebidos en una matriz limo arcillosa.

### 3.4. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Amplios sinclinales en cuyo núcleo se presentan secuencias principalmente, anticlinales estrechos alargados y tectónicamente complejos y asimetría de los pliegues, son algunas de las características en la geología estructural del municipio de La Capilla.

En casi todos los sinclinales, el flanco oriental (occidentales de los Anticlinales) es abrupto, mientras que el occidente es suave. Una falla de rumbo transversal, corta principalmente a los plegamientos. Presencia de estructuras de colapso,

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

originadas por gravedad, son etapas finales de fuertes plegamientos, cuando las rocas alcanzan posiciones de intensidad.

### **3.4.1. Estructuras Plegadas.**

#### **3.4.1.1. Anticlinal Tibirita.**

Es una estructura geológica con orientación aproximada de N45°E, que afecta rocas de la Formación Fómeque. En el sector donde se localiza esta estructura, la mayor parte se encuentra cubierta por un depósito cuaternario. Hacia el NE es apreciable un cabeceo de dicha estructura.

#### **3.4.1.2. Sinclinal de Ubaneca.**

Al igual que la anterior estructura, su dirección es NE. Se presenta en el sureste del municipio, afectando rocas de la Formación Fómeque. La parte más NE se encuentra cubierta por depósitos de carácter coluvial.

### **3.4.2. Fallas.**

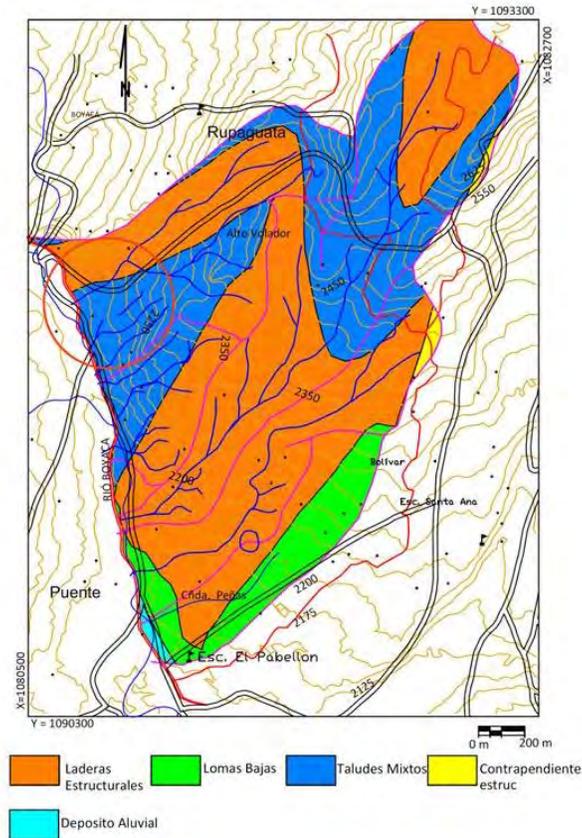
#### **3.4.2.1. Lineamiento La Guaya.**

Corresponde a un lineamiento fotogeológico, con una orientación perpendicular a la dirección preferencial de los pliegues. Aunque esta enmascarada por un depósito cuaternario, muestra un desplazamiento relativo, por el que se puede inferir que se trata de una falla de rumbo.

#### 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 geoformas y procesos involucrados para el municipio de La Capilla, 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 17.

Figura 17. 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;"><b>MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE</b> FONDO DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL FCA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR –CORPOCHIVOR</p>	 <p style="text-align: center;"><b>EJECUTOR CONVENIO No. 038/2012.</b></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.

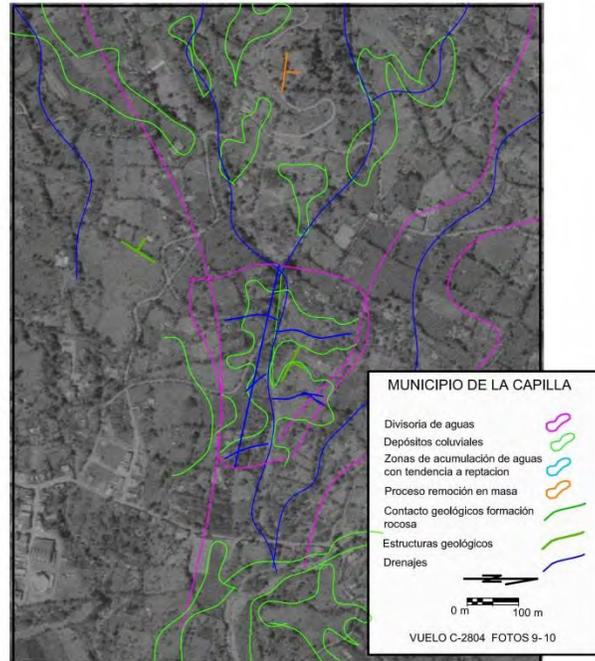
#### 4.2 ANÁLISIS FOTOGEOLOGÍCO

Revisión y fotointerpretación de fotografías aéreas del área de estudio, para determinar las Unidades Geológicas Superficiales (unidades de roca, suelos residuales y transportados) y geformas 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 1. Fotografías pertenecientes al vuelo 2804- 9,10 tomadas por el IGAC, durante los años 90.**



Fuente: Resultado del estudio.

### 4.3 PROCESOS MORFODINÁMICOS

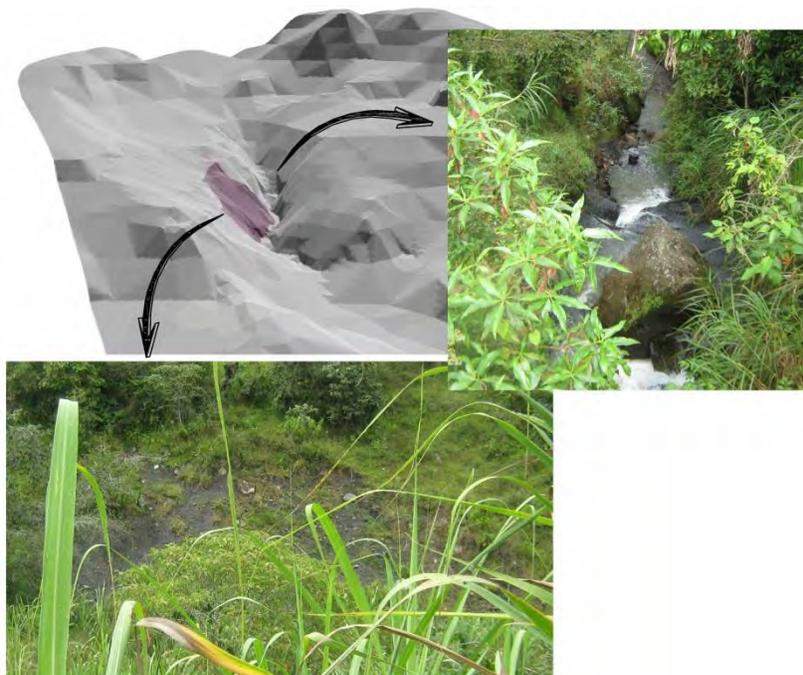
En el Plano de Geomorfología se localizaron los diferentes procesos morfodinámicos observados en la zona. A continuación, se describe en forma general las características de estos de acuerdo a la clasificación de Varnes. Las Fichas de Inventario de procesos se presentan en el anexo de estas.

#### 4.3.1 Desprendimiento

Es un movimiento en masa en el cual se identifica roca y suelo desprendido de ladera con cierto grado de inclinación de la pendiente, tiene comportamiento remontante, causados por socavación de taludes debido a la acción del hombre (cortes anti técnicos del talud), provocando el retroceso del material del talud perdiendo apoyo en su base, se van desplomando progresivamente, en el área

predomina una vegetación rala y pequeña, incapaz de retener el suelo, donde facilita la inestabilidad de proceso.

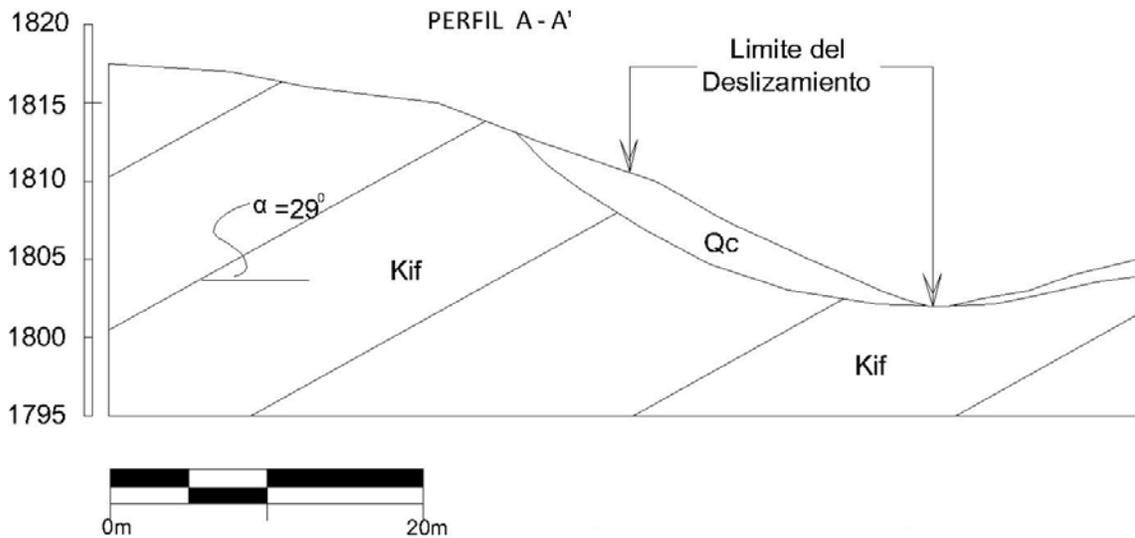
**Figura 2. Esquema del Proceso de Desprendimiento**



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 3. Esquema del movimiento, perfil desprendimiento**

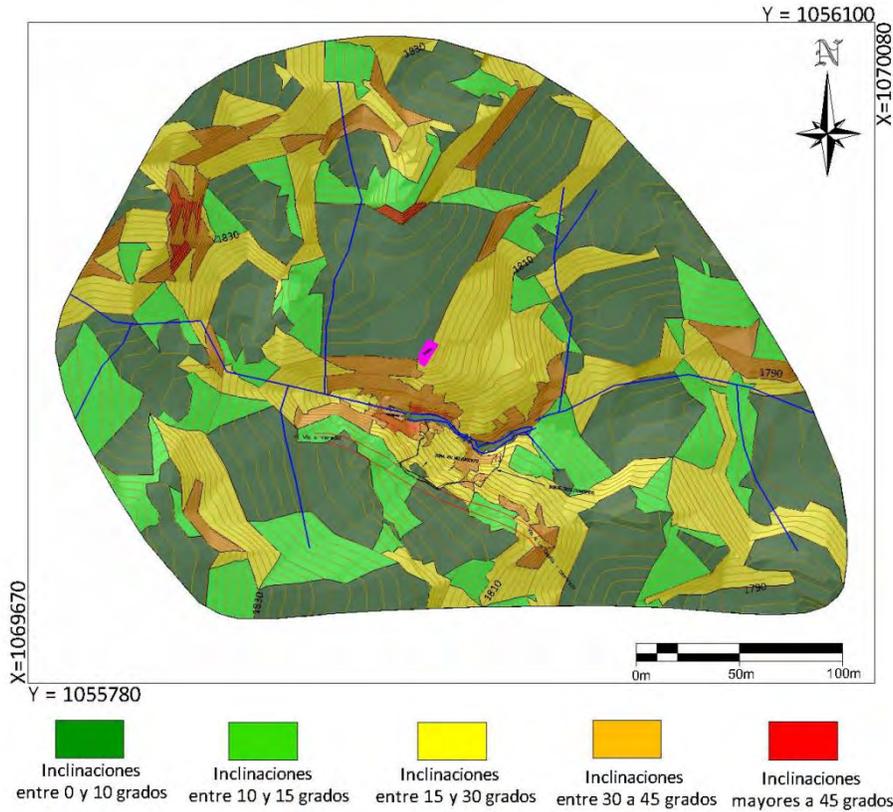


Fuente: Resultado del estudio

#### 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 18.

Figura 18. Imagen del Mapa de inclinación de las pendientes.



Fuente: Resultado del estudio

**Clasificación de las pendientes.**

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

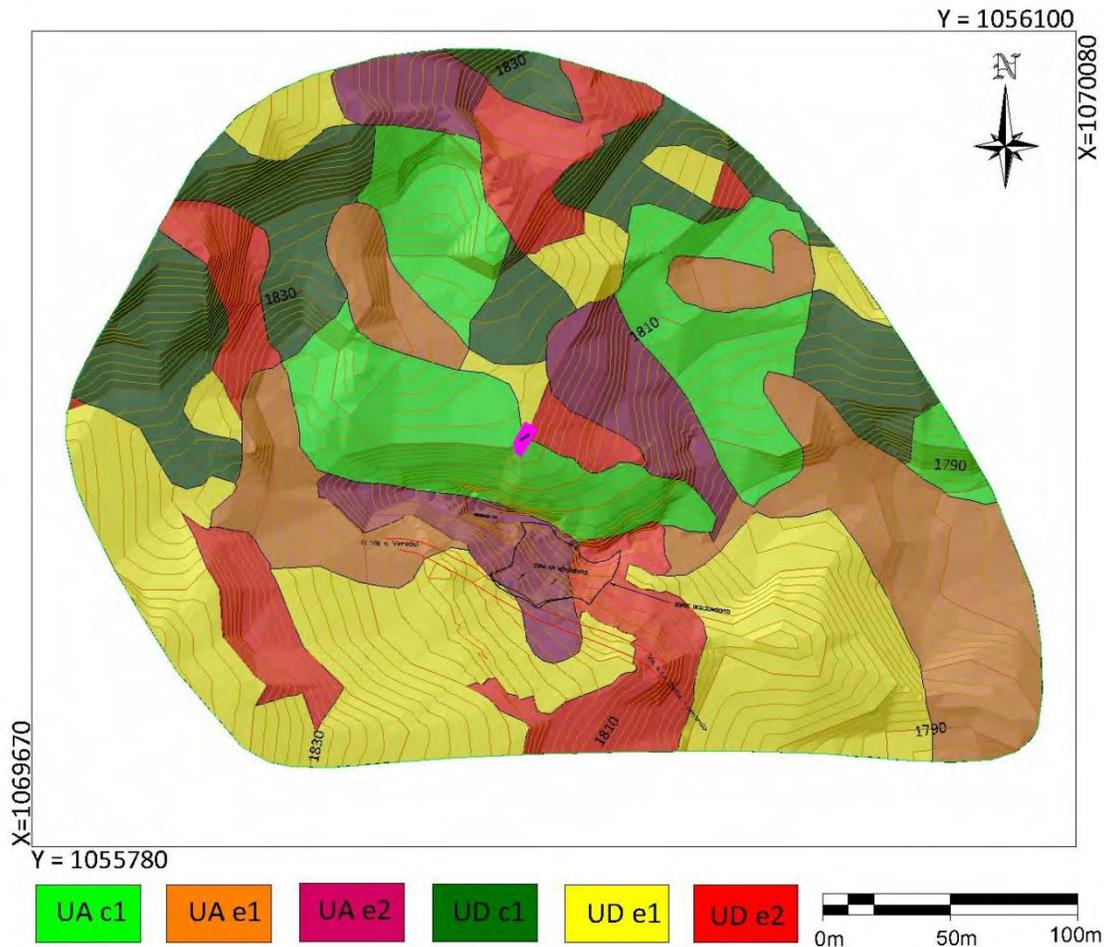
Fuente: Resultado del estudio.



#### **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 seis (6) unidades geomorfológicas de carácter local denominadas como:

Figura 19. Imagen del Mapa geomorfológico.



Fuente: Resultado del estudio.

#### 4.5.1 Geformas de Origen Denudacional.

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

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

#### **4.3.1.1. Unidad agradacional con inclinaciones entre 0 y 30 grados en ladera en contra pendiente (UA c1)**

Dicha unidad está compuesta por depósitos coluviales, los cuales yacen sobre estratificaciones en contra a la dirección de las pendientes presenta un área de 1.71 ha. Siendo susceptible a reptaciones y desprendimientos.

#### **4.3.1.2. Unidad agradacional con inclinaciones entre 0 y 30 grados en ladera estructural (UA e1)**

Dicha unidad está compuesta por depósitos coluviales y formaciones rocosas, los cuales yacen sobre estratificaciones en contra a la dirección de las pendientes presenta un área de 1.13 ha, de las cuales el 0.44 % presenta inestabilidad. Es la unidad más susceptible a movimientos en masa.

#### **4.3.1.3. 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 0.72 ha, de las cuales el 7.87 % presenta inestabilidad.

#### **4.3.1.4. Unidad degradacional con inclinaciones entre 0 y 30 grados en ladera en contra pendiente (UD c1)**

Dicha unidad está compuesta por formaciones rocosas, cuyas estratificaciones se encuentran en contra a la dirección de las pendientes, presenta un área de 1.65 ha.

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

#### **4.3.1.5. Unidad degradacional con inclinaciones entre 0 y 30 grados en ladera estructural (UD e1)**

Dicha unidad está compuesta por depósitos coluviales y formaciones rocosas, los cuales yacen sobre estratificaciones en contra a la dirección de las pendientes presenta un área de 2.01 ha, de las cuales el 0.18 % presenta inestabilidad.

#### **4.3.1.6. Unidad degradacional con inclinaciones mayores a 30 grados en ladera estructural (UD e2)**

Dicha unidad está compuesta por formaciones rocosas, los cuales yacen sobre estratificaciones en contra a la dirección de las pendientes presenta un área de 0.98 ha, de las cuales el 2.80 % presenta inestabilidad.

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

**Descripción geomorfológica.**

ORIGEN	ESTRUCTURA	MORFOMETRIA	MORFODINAMICA	SÍMBOLO
Unidad agradacional	ladera en contra pendiente	con inclinaciones entre 0 y 30 grados	Presenta reptaciones y desprendimientos	UA c1
	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 en contra pendiente	con inclinaciones entre 0 y 30 grados		UD c1
	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.

**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.

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

**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.

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

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.

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.

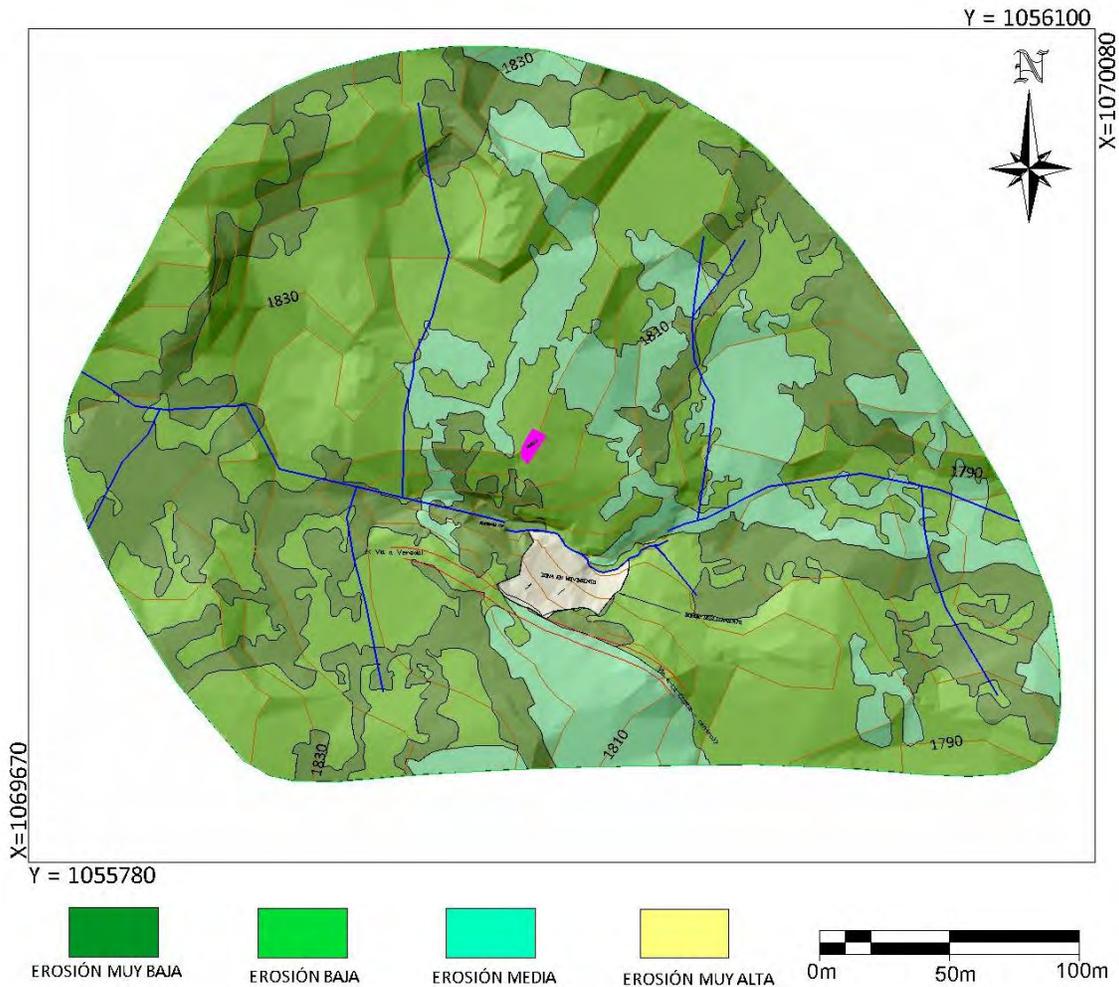
El mapa de erosión fue realizado con el procesamiento digital de imágenes mediante una clasificación supervisada, resultado de un agrupamiento en la distribución de los píxeles hechos en una clasificación resultado de la mayor o menor cobertura vegetal presente en el área.

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 20).

Figura 20. Imagen del Mapa erosión.



Fuente: Resultado del estudio.

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

## 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 La Capilla, 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.

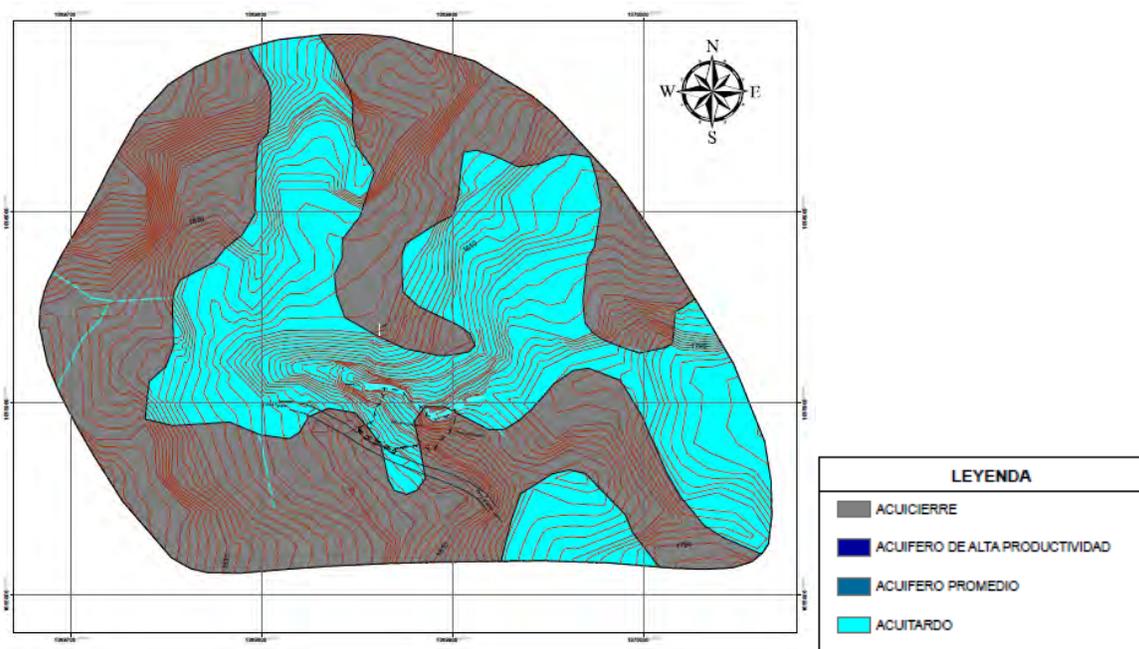
#### 5.1.2 Acuitardo.

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 Acuíferos.

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

Figura 21. 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 depósitos de tipo coluvial (Qc), con alta porosidad y permeabilidad primaria, debido a la distribución de los poros que se encuentran conectados entre sí, lo que genera que los fluidos se transmitan más rápidamente.

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

### 5.2.2 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 capas de arcillas, presentes en la Formación Fomeque (Kif), las cuales se clasifican como acuícierres.

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

## 6 GEOELECTRICA

### 6.1 ESTUDIO GEOELECTRICO (TOMOGRAFIA ELECTRICA RESISTIVA)

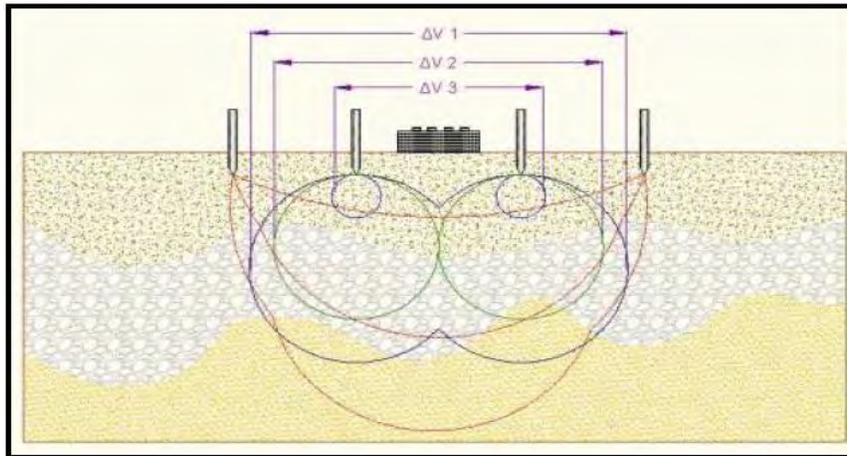
#### 6.2 INTRODUCCION

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 ( $\Delta V$ ) producto de las variaciones en resistencia que resultan de cada tipo de material o estrato de suelo (Figura 22); 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 23). 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

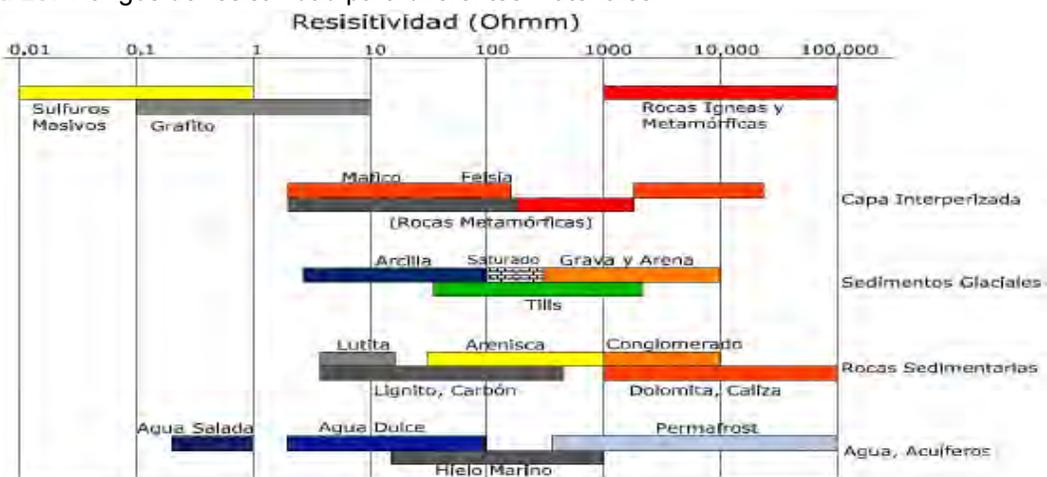
dentro del material de estudio. Durante décadas, los Estudios de Resistividad Eléctrica han sido utilizados en investigaciones sobre hidrogeología, geotecnia y también actualmente en estudios ambientales (Loke 2004).

Figura 22. Principio teórico de operación de las TER's.

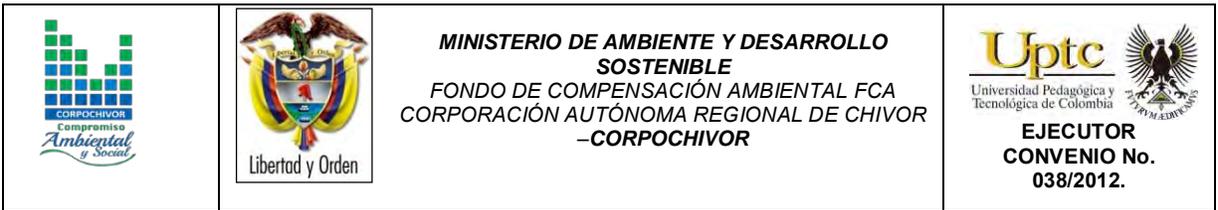


Fuente: aplicación de la tomografía eléctrica para la caracterización de un deslizamiento de ladera en un vertedero, Aracil Avila, Jose Angel.

Figura 23. 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.

### **6.3 OBJETIVO**

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

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

## 6.4 PRINCIPIO DEL METODO GEOFISICO.

### 6.4.1 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 ( $\Omega$ ). 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 ,  $\Delta V$  es la diferencia de potencial medido sobre el terreno, e  $I$  la corriente inyectada.

### **Su relación con los elementos del Subsuelo.**

En la Tabla 16, 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 16 se encuentra un conjunto de valores típicos de resistividad de geomateriales.

Resistividades de algunos suelos y rocas.

Material	Resistividad ( $\Omega\text{m}$ )
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: Exploracion Geotecnica-Relaciones Geoelectricas- DANIEL EDUARDO ARIAS.

#### 6.4.2 Dispositivos:

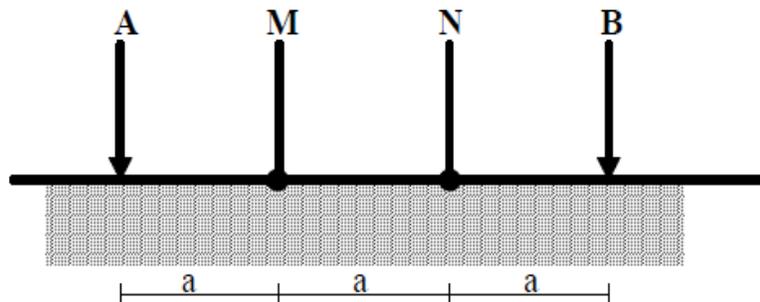
Un dispositivo es un arreglo de electrodos formado con dos pares de electrodos, dos emisores y dos receptores. A través de los electrodos emisores C1C2 se inyecta la corriente continua al terreno midiendo su intensidad con un miliamperímetro en serie, y a través del segundo par se mide la diferencia 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:

#### 4.3.1.1. Dispositivo Wenner.

Los electrodos se disponen equidistantes sobre una línea en el orden AMNB (Figura 24).

Figura 24. 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  $K = 2\pi a$

## 6.5 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;"><b>MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE</b> FONDO DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL FCA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR -CORPOCHIVOR</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:

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

Donde:

d= Distancia entre electrodos

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.

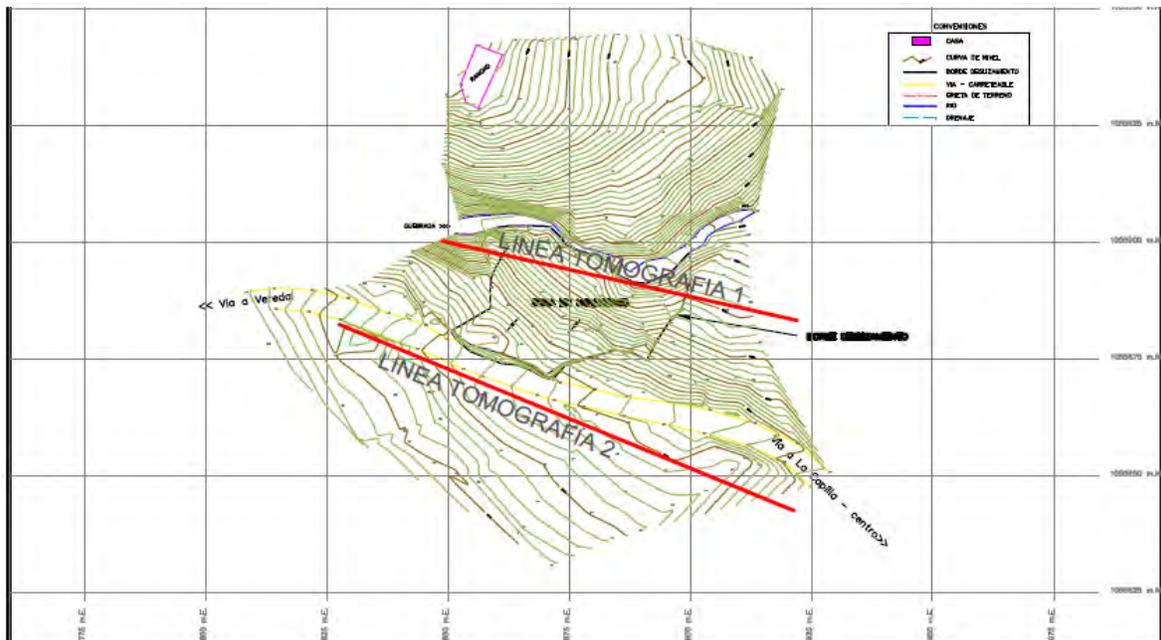
El resultado final de este tipo de estudio es una sección distancia-profundidad con la distribución de la resistividad real del subsuelo, fácilmente comprensible en términos geológicos o geotécnicos. Para obtener estos resultados se procede a insertar los parámetros para el cálculo y la medición de las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

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

### 6.5.1 TOMOGRAFIA N°1

Localizada en la parte alta del deslizamiento, Coordenadas parte inicial X: 1069840, Y: 1055900, parte final X: 1069922, Y: 1055883, orientación N85°W, con una longitud de 82 mts., profundidad obtenida de 14.8 mts., y los electrodos conectados a una distancia de 2.0 mts cada uno.

Figura 25. Localización líneas de tomografía.



Fuente: Resultado del estudio.

Fotografía 15. Parte alta del deslizamiento.



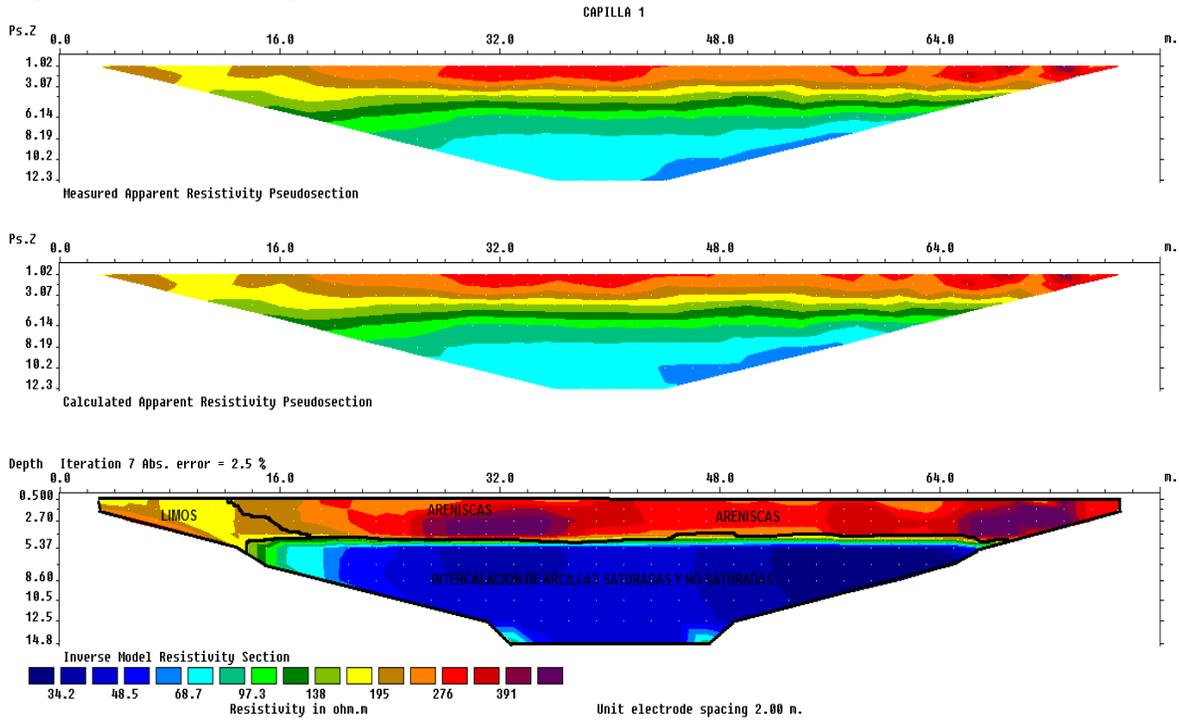
Fuente: Registro fotográfico.

Resistividades de los materiales presentes en el área de estudio.

MATERIAL	PROFUNDIDAD (m)	RESISTIVIDAD ( $\Omega \cdot m$ )	INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA
1	5.37 – 14.8	34.2 – 138	Intercalación de Arcillas saturadas y no saturadas
2	0.500 – 5.37.	140 - 195	Limos
3	0.500 – 5.37	196 - 391	Areniscas

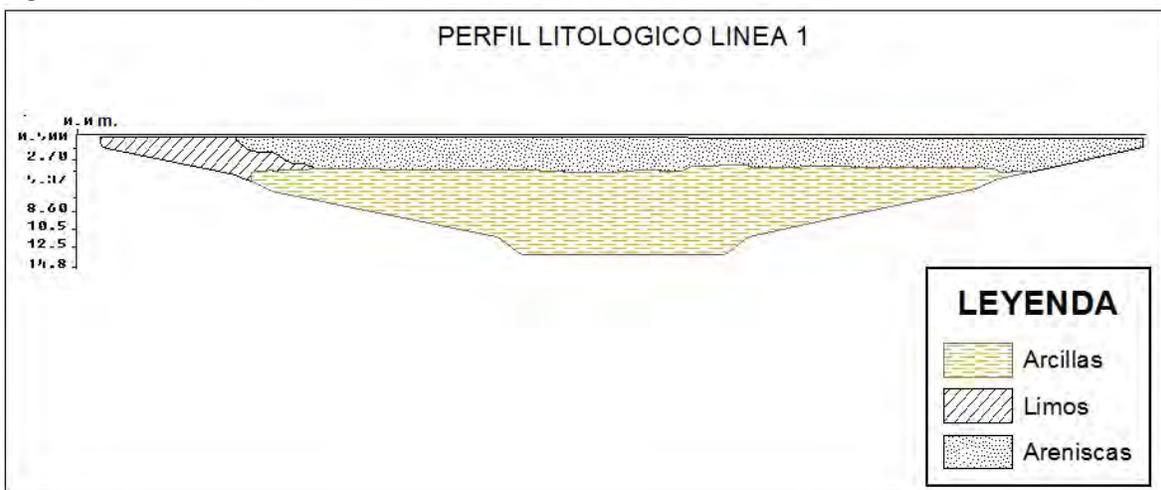
Fuente: Resultado del estudio.

Figura 26. Perfil 1 tomografía.



Fuente: Resultado del estudio.

Figura 27. Perfil litológico 1



Fuente: Resultado del estudio.

### 6.5.2 TOMOGRAFIA N°2

Localizada en la parte alta del deslizamiento Coordenadas parte inicial X: 1069827, Y: 1055882, parte final X: 1055842, Y: 1069921, orientación N80°W, con una longitud de 82 mts, profundidad obtenida de 14.8 mts, y los electrodos conectados a una distancia de 2.0 mts cada uno.

Fotografía 16. Parte baja del deslizamiento.



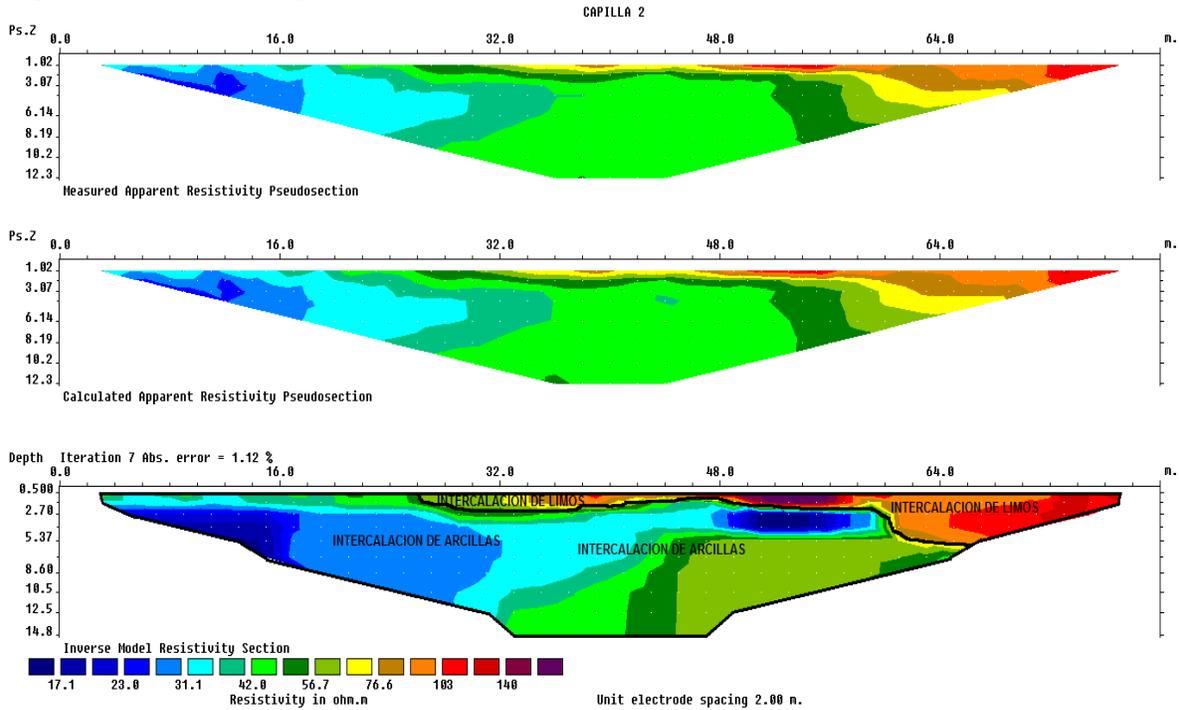
Fuente: Registro fotográfico.

Resistividades de los materiales presentes en el área de estudio.

MATERIAL	PROFUNDIDAD (m)	RESISTIVIDAD ( $\Omega \cdot m$ )	INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA
1	0.500 – 14.8	17.1 – 76.6	Intercalación de Arcillas
2	0.500 – 5.37	76.7 – 140	Intercalación de limos

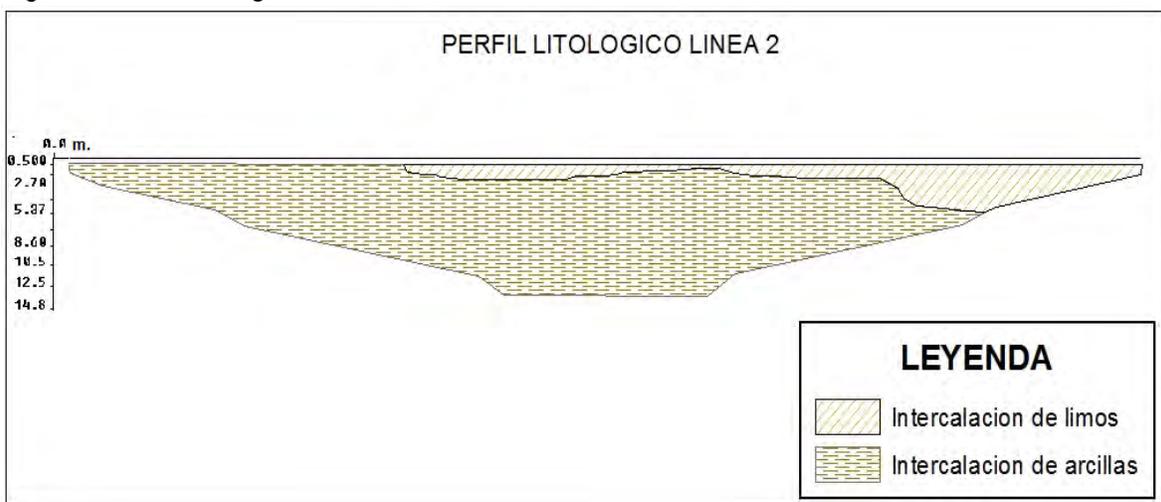
Fuente: Resultado del estudio.

Figura 28. Perfil 2 tomografía.



Fuente: Resultado del estudio.

Figura 29. Perfil litológico 2



Fuente: Resultado del estudio.

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

### 6.5.3 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, en la línea 1 se observa que el área está conformada por tres unidades Geoelectricas bien definidas, donde encontramos niveles de arcillas saturadas y no saturadas con rangos de resistividades que oscilan entre 34.2 – 138  $\Omega^*m$ , limos saturadas con resistividades que van desde 140 - 195  $\Omega^*m$ , y un tercer material compuesto por areniscas con resistividades entre 196 – 391  $\Omega^*m$ , ver Figura 26 y Figura 27. Por parte de la línea 2 se puede observar que está conformada por dos unidades Geoelectricas, el primer material compuesto por intercalaciones de arcillas con rangos de resistividades que van entre 17.1 – 76.6  $\Omega^*m$ , y el segundo son intercalaciones de limos, que poseen rangos de resistividades que van entre 76.7 – 140.1  $\Omega^*m$ , Figura 28 y Figura 29.

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

## 7 GEOTECNIA

En este capítulo se consignan los aspectos relacionados con la evaluación geotécnica de los fenómenos de remoción en masa (FRM) presentes en la vereda La Palma, municipio de La Capilla, 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

##### 4.3.1.7. Exploración indirecta del sub suelo

La exploración indirecta del sub suelo se realizó por medio de tomografías geoelectricas como se observa en el numeral **¡Error! No se encuentra el origen e la referencia.**, 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.

#### 4.3.1.8. 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 0.51 hasta los 9,65 metros de y sus ubicaciones se relacionan en la siguiente Tabla 19; de estos se realizaron los también ensayos de propiedades índices y propiedades mecánicas.

Coordenadas de los sondeos realizados

LA CAPILLA			
Sondeo	Coordenadas		Profundidad (metros)
	Este	Norte	
sondeo 1	1,081,244	1,092,166	9,53
Sondeo 2	1,081,339	1,092,234	7.45
sondeo 3	1,080,773	1,092,130	6.45

Fuente: Resultados de la Investigación

De estos se obtuvieron perfiles geotécnicos del sitio como se observa en la Figura 30.

Fotografía 17. 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 Fotografía 18.

Fotografía 18. Prueba de Penetrometro de Bolsillo



Fuente: Registro Fotográfico.

## 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 inconfiada y corte directo.

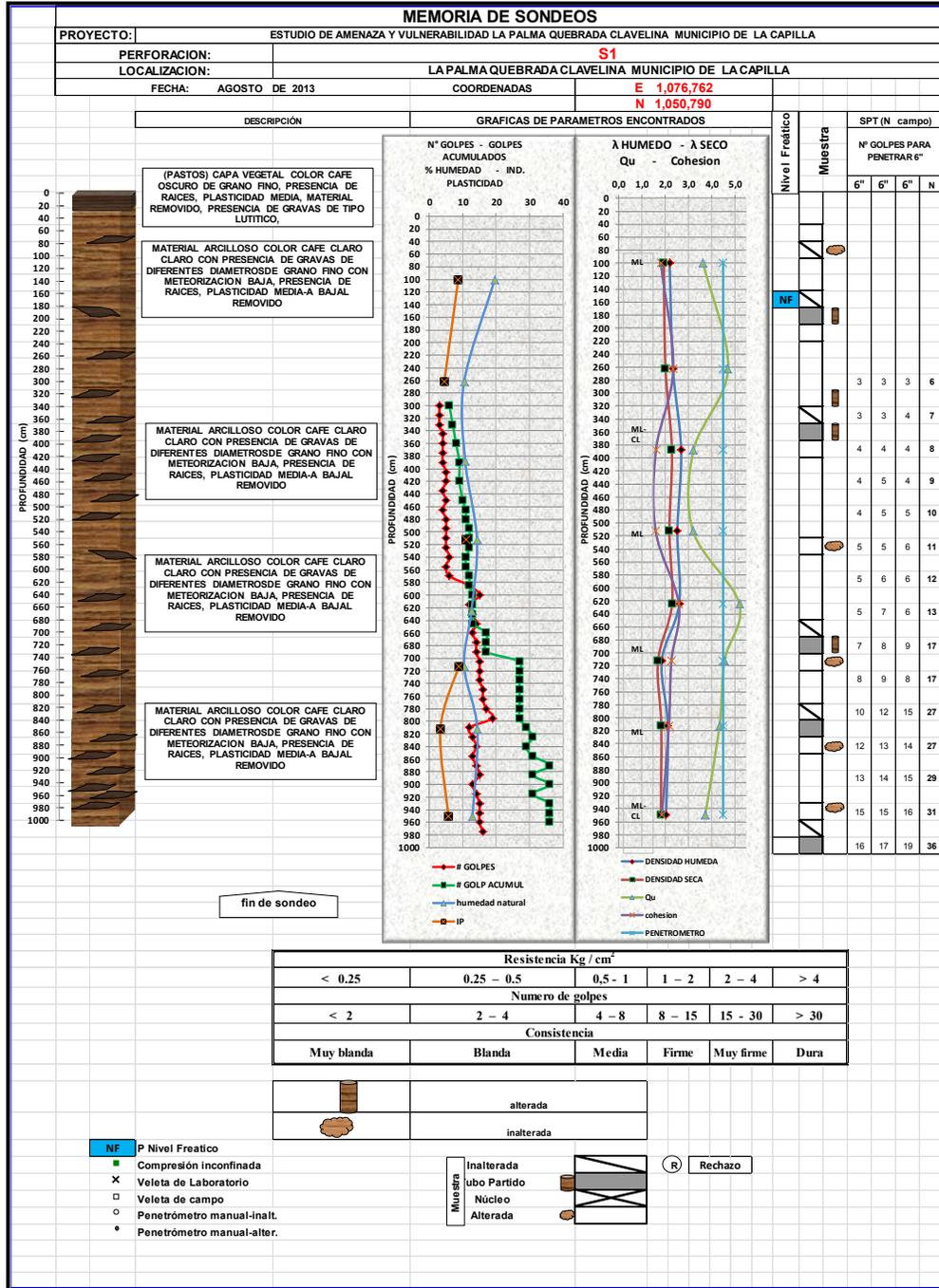
### 7.2.2 Trabajos de Laboratorio

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

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

de Atterberg, Granulometría, humedad natural, peso unitario), compresión inconfiada 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 30. Perfil Geotécnico S1



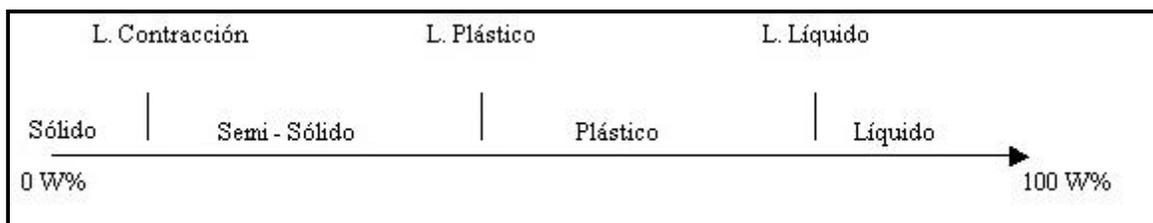
Fuente: Resultado del estudio

#### 4.3.1.9. 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 31. 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.

#### 4.3.1.10. 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 19. 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 20. Muestras a las que se les realizó la prueba de corte directo.



Fuente: Resultado del estudio.

### 7.2.3 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 1.5 – 22 gr/cm<sup>3</sup>, con limite líquido < 44% e IP entre 4% y 28%.



Los resultados de las propiedades mecánicas reflejan una resistencia a la compresión simple de 0.6 – 4.61 kg/cm<sup>2</sup>, cohesión de 0.3 – 2.31 Kgf/cm<sup>2</sup>, ángulos de fricción entre 7° y 34°. 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 20).

### **7.3 Clasificación del Macizo Rocoso.**

“Las clasificaciones de macizos rocosos fueron diseñadas u organizadas con la finalidad de obtener los parámetros geomecánicos que permitan un fácil manejo en el diseño de las obras de ingeniería. Los macizos rocosos, como medios discontinuos, presentan un comportamiento geomecánico complejo que, de una forma simplificada, puede ser estudiado y categorizado en función de su aptitud para distintas aplicaciones.” (González de Vallejo, 2002). Para el estudio fueron utilizadas las clasificaciones en función del R.Q.D., la clasificación geomecánica de Bienawski (R.M.R.), y la clasificación del índice geológico de resistencia (GSI) propuesto por Hoek y Brown.

#### **7.3.1 Índice de Calidad de la Roca (RQD):**

EL RQD determina el grado de fracturación del macizo rocoso. Este parámetro se puede determinar a partir de núcleos de roca recuperados en sondeos con longitud mayor de 10cm; a partir del número volumétrico de juntas ( $J_v$ ), como el número de discontinuidades por metro cúbico de macizo; ó, en función de la frecuencia de discontinuidades ( $\lambda$ ), que indica el número de juntas por metro lineal en el macizo. Para el proyecto se determinó por medio de la frecuencia de

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

discontinuidades obtenida del mapeo geológico y de la descripción de las perforaciones de exploración. La determinación del RQD a partir de la frecuencia de discontinuidades se puede realizar por medio de la siguiente expresión que proporciona el valor teórico mínimo del RQD:

$$RQD = 100exp^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$$

Donde,

$\lambda$ : Número de discontinuidades por distancia medida.

En profundidad se obtuvo el R.Q.D. por zona, a partir del registro detallado de las perforaciones. Los valores del parámetro RQD se representan en los siguientes rangos:

### Resumen de resultados ensayos de laboratorio

 Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia	<b>UNIVERSIDAD PEDAGOGICA Y TECNOLOGICA DE COLOMBIA</b> <b>LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS</b> <b>SECCIONAL SOGAMOSO</b>																																							
<b>MEMORIA DE SONDEOS</b>																																								
<b>PROYECTO:</b>		ESTUDIO DE AMENAZA Y VULNERABILIDAD LA PALMA QUEBRADA CLAVELINA MUNICIPIO DE LA CAPILLA																																						
<b>PERFORACION:</b>		<b>S1 - S2 - S3</b>																																						
<b>LOCALIZACION:</b>		SECTOR PUENTE CAMACHO DEL MUNICIPIO DE RAMIRIQUI - DEPARTAMENTO DE BOYACA																																						
<b>FECHA:</b>		ABRIL 4 DE 2013																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20px; text-align: center;"></td> <td style="width: 100px;">inalterada</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; text-align: center;"></td> <td style="width: 100px;">alterada</td> </tr> </table>			inalterada		alterada																																			
	inalterada																																							
	alterada																																							
<b>RESISTENCIA AL CORTE SUELOS</b>																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th rowspan="2">SONDEO / APIQUE N°</th> <th rowspan="2">MUESTRA N°</th> <th rowspan="2">TIPO DE MUESTRA</th> <th rowspan="2">PROF. (m)</th> <th colspan="2">COORDENADAS</th> <th colspan="7">PROPIEDADES FISICAS SUELOS</th> <th colspan="2">CORTE DIRECTO</th> <th colspan="2">λ HUMEDO</th> <th colspan="2">λ SECO</th> <th colspan="2">COMPRESION INCONFINADA</th> <th>PENETROMETRO</th> </tr> <tr> <th>X</th> <th>Y</th> <th>Wn (%)</th> <th>LL</th> <th>LP</th> <th>IP</th> <th>CLASIF (U.S.C.)</th> <th>PERMEABILIDAD KT</th> <th>P.T.N° 200 %</th> <th>φ</th> <th>C</th> <th>Peso Unitario</th> <th>Peso Unitario</th> <th>qu</th> <th>C</th> <th>BOLSILLO Kg/cm<sup>2</sup></th> </tr> </table>			SONDEO / APIQUE N°	MUESTRA N°	TIPO DE MUESTRA	PROF. (m)	COORDENADAS		PROPIEDADES FISICAS SUELOS							CORTE DIRECTO		λ HUMEDO		λ SECO		COMPRESION INCONFINADA		PENETROMETRO	X	Y	Wn (%)	LL	LP	IP	CLASIF (U.S.C.)	PERMEABILIDAD KT	P.T.N° 200 %	φ	C	Peso Unitario	Peso Unitario	qu	C	BOLSILLO Kg/cm <sup>2</sup>
SONDEO / APIQUE N°	MUESTRA N°	TIPO DE MUESTRA					PROF. (m)	COORDENADAS		PROPIEDADES FISICAS SUELOS							CORTE DIRECTO		λ HUMEDO		λ SECO		COMPRESION INCONFINADA		PENETROMETRO															
			X	Y	Wn (%)	LL		LP	IP	CLASIF (U.S.C.)	PERMEABILIDAD KT	P.T.N° 200 %	φ	C	Peso Unitario	Peso Unitario	qu	C	BOLSILLO Kg/cm <sup>2</sup>																					
1	1		0,80	1,081,244	1,092,166	29,0%	25,27	20,93	4,34	ML-CL		15,136			1,5641	1,3541	1,3683	0,68415	3,0																					
	2		2,20	1,081,245	1,092,167	34,0%	36,6500	27,78	8,87	ML-CL		33,338			1,9964	1,6736	1,4717	0,7358	4,0																					
	3		3,50	1,081,246	1,092,168	18,2%	41,4100	17,86	23,55	CL	4,91E-02	40,938			2,0322	1,6855	4,5418	2,2709	1,0																					
	4		4,75	1,081,247	1,092,169	14,4%	45,69	30,3	15,39	OL		29,312	7,06860	0,6205	1,9297	1,6959	1,9786	0,9893	1,3																					
	5		6,25	1,081,248	1,092,170	6,0%	32,8400	20	12,84	CL	3,30E-02	33,338			1,9651	1,6931	2,7691	1,3846	2,5																					
	6		8,75	1,081,249	1,092,171	5,2%	41,85	30,3	11,55	ML-CL		15,105	26,19719	0,9505	2,0125	1,7971	0,9839	0,4920	4,0																					
	7		9,53	1,081,250	1,092,172	10,4%	28,4	13,04	15,36	CL		23,892			2,0752	1,8887	4,2143	2,1071	4,5																					
2	1		1,20	1,081,337	1,092,232	13,67%	31,72	16,05	15,67	CL		23,762			1,9078	1,5733	1,1388	0,5694	3,0																					
	2		2,05	1,081,338	1,092,233	18,23%	24,19	16,98	7,21	CL		26,011			1,9631	1,6710	1,5388	0,7694	3,5																					
	3		3,25	1,081,339	1,092,234	25,13%	34,74	21,74	13,00	CL		22,165	34,99202	2,605	1,7930	1,5541	1,3560	0,6780	2,5																					
	4		4,05	1,081,340	1,092,235	16,91%	37,91	15,15	22,76	CL	2,12E-02	24,618			2,2044	1,9088	2,7302	1,3651	3,5																					
	5		5,00	1,081,341	1,092,236	29,03%	43,63	29,27	14,36	ML-CL		26,756	24,32297	1,4195	2,1237	1,8379	0,9504	0,4752	4,0																					
	6		6,00	1,081,342	1,092,237	23,75%	44,02	15,56	28,46	CL	1,08E-02	23,69			1,9920	1,5299	0,6812	0,3406	4,5																					
	7		7,45	1,081,343	1,092,238	55,79%	40,27	12,77	27,50	CL		17,321			2,0548	1,6079	0,7836	0,3918	4,5																					
3	1		1,90	1,080,772	1,092,128	26,32%	27,11	10,71	16,40	CL		22,413			2,0399	1,6958	1,4350	0,7175	4,0																					
	2		2,45	1,080,773	1,092,129	22,80%	30,37	14,29	16,08	CL		33,996	31,79891	0,73105	2,0490	1,6398	1,5350	0,7675	4,0																					
	3		4,45	1,080,774	1,092,130	15,31%	23,2	14,29	8,91	CL	1,97E-02	40,938			2,1876	1,7932	4,6186	2,3093	3,5																					
	4		5,50	1,080,775	1,092,131	17,56%	33,03	17,86	15,17	CL	4,20E-02	29,312			2,0694	1,7405	2,0515	1,0257	2,5																					
	5		6,45	1,080,776	1,092,132	27,12%	34,95	12,99	21,96	CL		32,605	29,24883	1,2195	2,0325	1,6850	2,8436	1,4218	1,5																					

Fuente: Resultados de la investigación.

ELABORACIÓN DE ESTUDIO DE RIESGO (AMENAZA Y VULNERABILIDAD) Y DISEÑO DE OBRAS DE ESTABILIZACION EN LA VEREDA LA PALMA QUEBRADA CLAVELINA, MUNICIPIO DE LA CAPILLA JURISDICCIÓN DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR (CORPOCHIVOR).

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

- 1: <25% : Muy Mala (MM)
2. 25-50: Mala (M)
3. 50-75: Regular(R)
- 4: 75-90: Buena (B)
- 5: 90-100: Muy Buena (MB)

Para las medidas superficiales tomadas en el mapeo geológico, se obtuvo un resultado de RQD dentro del rango **75-90%** para las rocas del Kif, lo cual indica una buena calidad del macizo según los rangos establecidos para esta caracterización.

### **7.3.2 Clasificación Según el RMR:**

Desarrollado por Bieniawski en 1973, con actualizaciones en 1979 y 1989, constituye un sistema de clasificaciones de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo. Esta clasificación tiene en cuenta los siguientes parámetros geotécnicos:

- Resistencia a la compresión uniaxial de la matriz rocosa.
- Grado de fracturación en términos del RQD.
- Espaciado de las discontinuidades.
- Condiciones de las discontinuidades.
- Condiciones de agua subterránea.



- Corrección por la orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación.

La incidencia de estos parámetros en el comportamiento geomecánico de un macizo rocoso se expresa por medio del **índice de calidad RMR, rock mass rating**, que varía de 0 a 100. (Gonzales de Vallejo, 2002).

Los rangos para la clasificación del **índice de la calidad RMR** son de acuerdo a las siguientes clases:

- I Muy Buena 100-81
- II Buena 80-61
- III Media 60-41
- IV Mala 40-21
- V Muy Mala menos a 20

Procesando los resultados de resistencia a compresión simple, de R.Q.D., de las condiciones de discontinuidades, de las condiciones de agua subterránea de acuerdo a lo observado en campo y, realizando la corrección correspondiente, fue posible realizar la clasificación geomecánica del macizo rocoso. En la siguiente tabla se muestra el resultado de la clasificación por el método RMR para los afloramientos presentes.

### Resumen de Resultados de la Clasificación RMR

Parámetro de clasificación		LA CAPILLA	
		LODOLITA	
		Parámetro	Valuación
Resistencia Compresión simple (MPa)		18	4
R.Q.D (%)		Regular	10
Separación de las discontinuidades		Mj	8
Estado de las discontinuidades	Rugosidad - JRC	Muy Rugosa	6
	Abertura	Cerrada	6
	Relleno	Duro	5
	Alteración	Mod. Alt.	3
Continuidad		1-3 m	3
Agua subterránea		LIG. HÚMEDO	12
VALORACIÓN RMR		57	
VALORACIÓN GSI		52	
VALORACION DE Q'		4,2	
Ajuste	Favorables/Medias	-5	-25
VALOR RMR		52	32
Clase		III Media	IV Mala

Fuente: Resultados de la investigación.

### 7.3.3 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 32.

Figura 32. 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	Moderada	Escasa	Muy escasa
 INTACTA O MASIVA - macizo rocoso con pocas discontinuidades, carente de planos de deformación.	80 70				
 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 brechoide.				20	10
 MUY FOLIADA - macizo rocoso plegado, altamente fracturado, constituido únicamente por rocas muy foliadas.	N/A	N/A			5

Fuente: Resultados de la investigación.

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 como se observa en la Figura 32.

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

## 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.

Las propiedades mecánicas de los materiales constitutivos del flujo, especialmente la resistencia y compresibilidad.

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.

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

### 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.

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

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

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

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

$\sigma_v$ : 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 La Capilla 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 La Capilla los coeficientes de aceleración horizontal (Aa) y vertical (Ad) 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).

**Coeficientes de reducción de coeficientes de aceleración sísmica**

<b>MATERIAL</b>	<b>Kst/amax Minimo</b>	<b>Análisis de Amplificación mínimo</b>
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 Titulo H NSR – 2010.

**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
46	Jericó	15368	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
47	La Capilla	15380	0.20	0.25	Alta	0.16	0.07
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

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 evidenció 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.

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

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Water Surface	Ru
Qc		18	Mohr-Coulomb	15	17	None	0
Kif		22	Mohr-Coulomb	20	25	None	0

Fuente: Registro fotográfico.

La parte superior del deslizamiento se observa en la Fotografía 21La cual afecta la bancada de la vía.

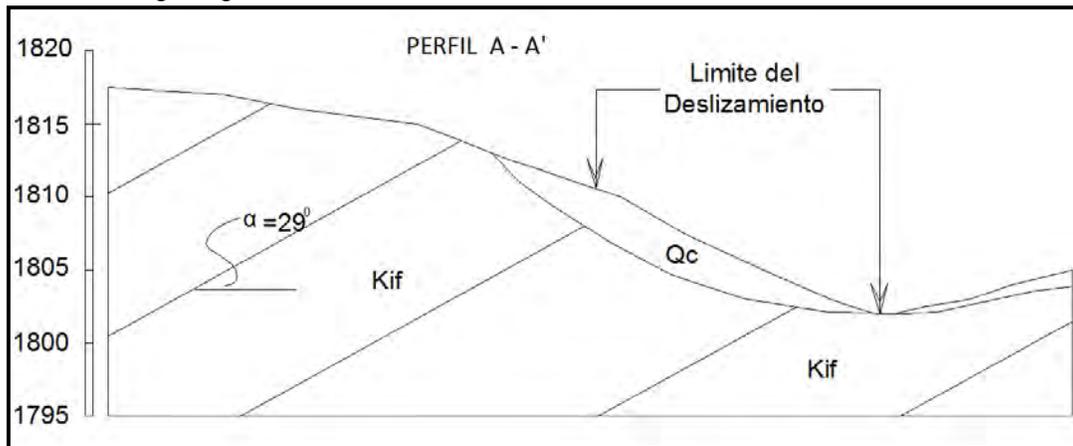
Fotografía 21. Parte superior del movimiento



Fuente: Registro fotográfico.

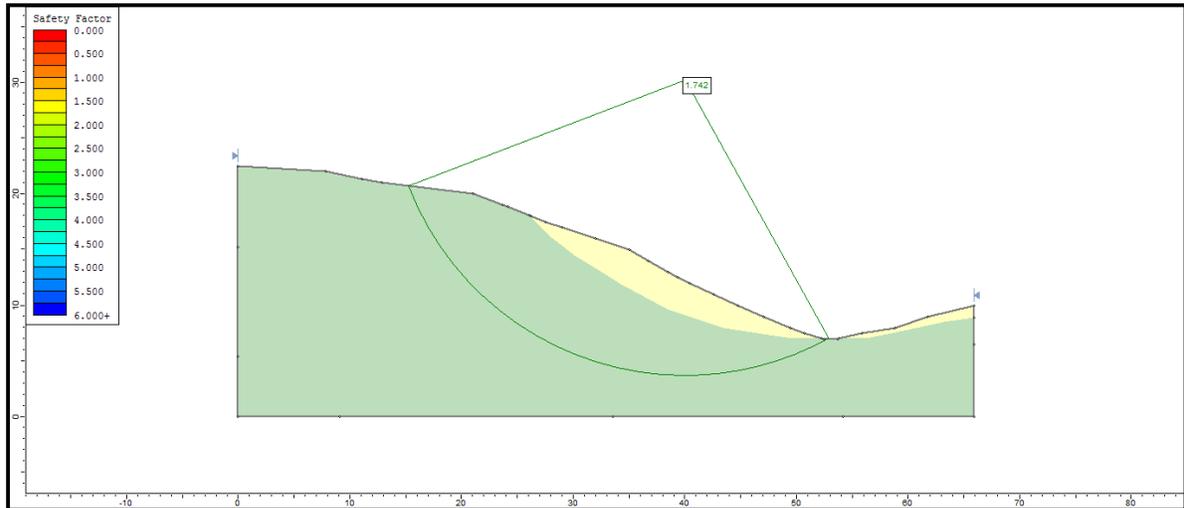
El modelo grafico el modelo analizado relaciona los datos obtenidos de la campaña de exploración geológica y geotécnica. La parte de geología aporta el perfil geológico y los parámetros mecánicos se obtienen en de los resultados de los diferentes ensayos anteriormente relacionados en el trabajo de laboratorio. Para este caso se analizaron el perfil AA' representado en la siguiente figura.

Figura 33. Perfil geológico AA'



Fuente: Resultados del estudio.

Figura 34. Modelo de análisis perfil A-A'



Fuente: Resultados del estudio.

Los resultados de este análisis se relacionan en la siguiente tabla.

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 (Ru = 0.1)	2.010	2.12	1.937	2.08
Condición de agua subterránea crítica (Ru = 0.3)	1.74	1.79	1.62	1.749
Condición de agua subterránea media (Ru = 0.5) y sismo (análisis pseudoestático)	0.9	0.98	0.88	0.947

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

Parámetros físicos y naturales estimados para la Identificación de Zonas Inestables (Deslizamientos)<sup>1</sup>

TIPOLOGÍA DE INDICADORES POR SU NATURALEZA	INDICADORES (ANTECEDENTES)	INDICADORES POTENCIALES
Geológicos	Afloramiento de rocas alteradas (diaclasadas), 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,	Abundancia relativa de agua y zonas de surgencia hídrica.

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

		<b>MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE</b> <b>FONDO DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL FCA</b> <b>CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR</b> <b>–CORPOCHIVOR</b>	 <b>EJECUTOR CONVENIO No. 038/2012.</b>
---	---	--	---

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

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 26, teniendo en cuenta los parámetros de la Metodología de Leone.

█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: Resultado 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 27.

■ Categorización de amenaza por (FRM) según nsr-10

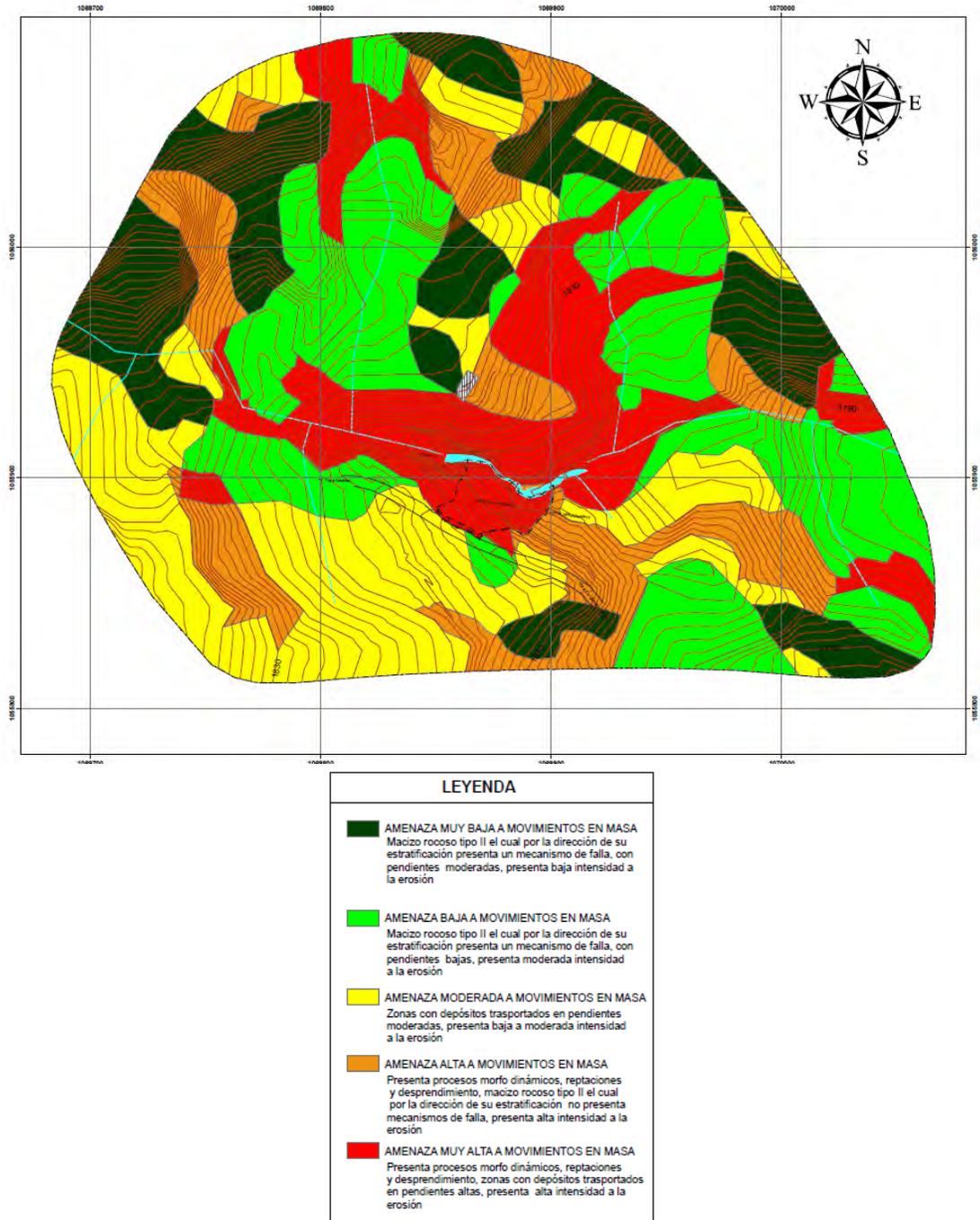
CONDICION	F.S. BASICOS MINIMOS DIRECTOS
TALUDES - CONDICION ESTATICA Y AGUA SUBTERRANEA NORMAL	1.5
TALUDES – CONDICION SEUDO – ESTATICA CON AGUA SUBTERRANEA NORMAL Y COEFICIENTE SISMICO DE DISEÑO	1.02

Fuente: Resultado del estudio

### 8.2.1 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.

Figura 35. Imagen Mapa de Amenazas.



Fuente: Resultado del estudio



## 8.2.2 Evaluación de Vulnerabilidad

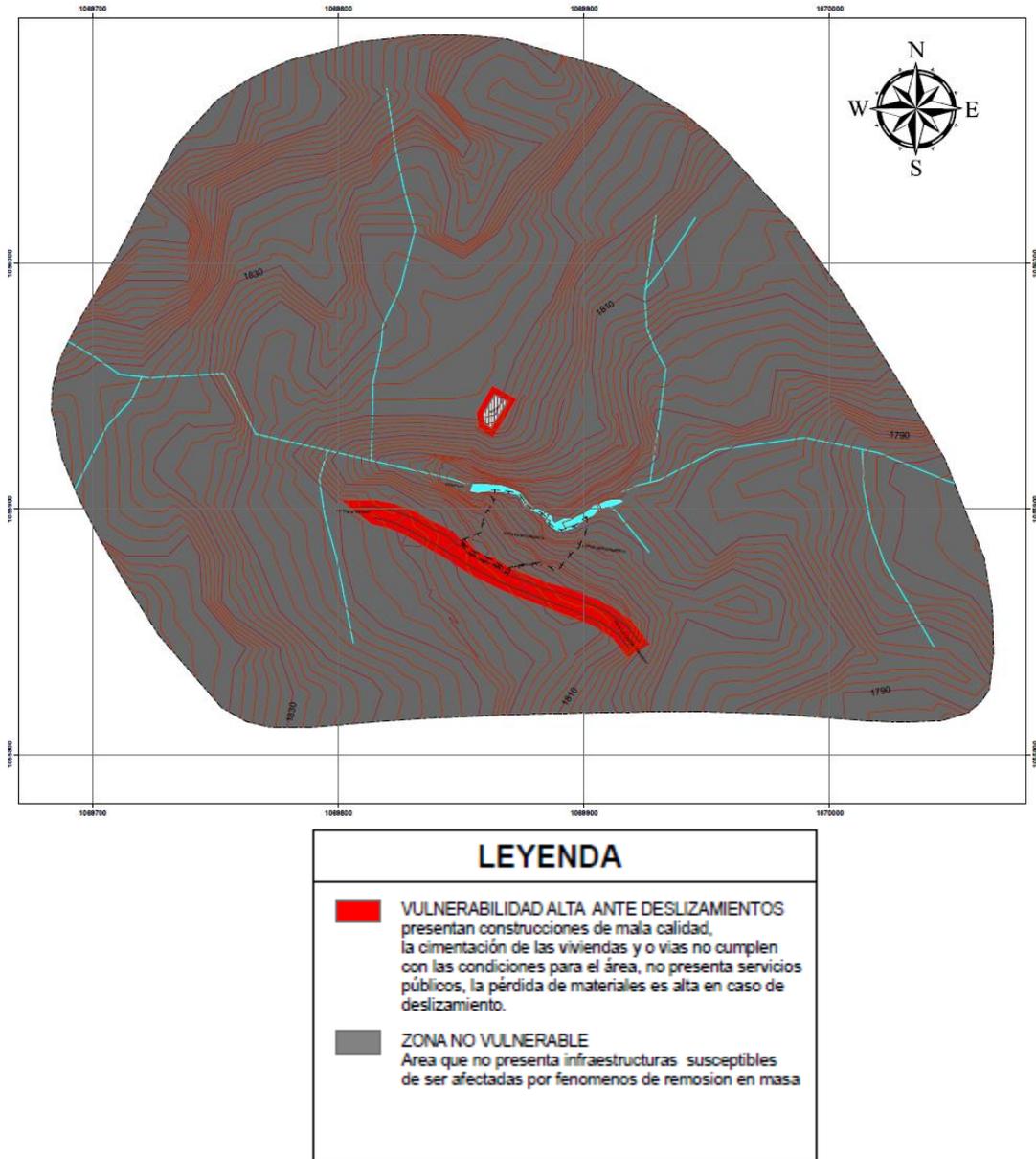
Para determinar la vulnerabilidad de las edificaciones ante deslizamientos, se empleó el cálculo del denominado Índice de Vulnerabilidad Física (IVF), utilizando para tal efecto la metodología propuesta por Leone y modificada por Soler . En resumen, el trabajo consiste en calcular los índices de vulnerabilidad 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 36. Imagen Mapa de Vulnerabilidad Física y Social



Fuente: Resultado del estudio

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

## 9 EVALUACIÓN Y ANALISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO

Se define vulnerabilidad con relación a los siguientes aspectos:

La **vulnerabilidad estructural** <sup>2</sup> 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.

---

<sup>2</sup> 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 (CEPRENAC). ANÁLISIS DE RIESGO POR INUNDACIONES Y DESLIZAMIENTOS DE TIERRA EN LA MICROCUENCA DEL ARENAL DE MONTSERRAT

## 9.1 Análisis y graficas estadísticas de las encuestas realizadas en el municipio de la capilla vereda palma abajo.

La caracterización de la población se realizó mediante el diseño y aplicación de una encuesta a las familias que habitan la zona de influencia del deslizamiento, buscando información primaria que permitiera conocer la percepción de la comunidad frente al riesgo y su capacidad de respuesta frente al mismo.

Fotografía 22. vista del municipio desde el área evaluada.



Fuente: Registro fotográfico.

### 1. Tipo de sector.

El sector evaluado se encuentra ubicado en la vereda palma abajo, sector rural del municipio, afectado por un movimiento en masa que ha venido progresando lentamente desde hace unos 20 años, pero que en estos últimos, se ha agudizado debido a los fuertes inviernos que se han presentado. Dentro del área evaluada se encuentran habitando dos familias no más, pues aunque existen otras viviendas estas están deshabitadas por ser antiguas y presentar daños graves en sus estructuras.

## 2. La vivienda

Las familias que habitan las viviendas en el área de influencia del movimiento son propietarias de las mismas, y manifiestan que aunque estas presentan averías en su estructura, aun no tienen pensado abandonarlas y esperan que por el contrario se les ayude en la recuperación de las mismas y sus terrenos.

Fotografía 23. vivienda en donde habitan Adultos mayores.



Fuente: Registro fotográfico.

## 3. Servicios.

Ambas viviendas habitadas cuentan con servicios básicos de agua y luz, los cuales se prestan de forma constante en el sector, por lo que manifiestan no tener quejas al respecto.

## 4. Acueducto.

Ambas familias cuentan con servicio de acueducto veredal, sin presentar inconvenientes en este aspecto.

## 5. Alcantarillado.

En el sector no existe servicio de alcantarillado, por lo que las aguas residuales son depositadas en pozo séptico y otras vertidas a los potreros cercanos.

## 6. seguridad social

Ambas familias habitantes del sector de influencia del deslizamiento cuentan con seguridad social del régimen subsidiado, lo que es muy favorable para ellas ya que en una de las viviendas habitan dos (2) adultos mayores y en la otra habitan dos (2) adultos mayores y tres (3) menores de edad, por lo que la prestación de servicios de salud es primordial.

## 7. Discapacidad

Dentro del área evaluada solo se hayo a un adulto mayor quien manifestó tener una discapacidad, a causa de presentar problemas de columna y artritis degenerativa.

Fotografía 24. vivienda de adulta mayor.



Fuente: Registro fotográfico.

## 8. Niños(as)

Una de las familias cuenta con la presencia de tres menores de edad, los cuales se hallan bajo el cuidado de su padre y abuelos paternos, siendo estos una niña de 12 años y 2 niños de 10 y 8 años.

## 9. Ocupación de los niños.

Los menores se encuentran escolarizados según lo manifestado por su abuela paterna quien se encontraba con ellos al momento de la visita, se observa buena funcionalidad familiar y responsabilidad y cuidado para con los menores.

Fotografía 25. vivienda de donde habitan menores de edad.



Fuente: Registro fotográfico.

## 10. Adultos mayores

Ambas familias visitadas cuentan con la presencia de adultos mayores, quienes manifiestan ser los jefes de hogar y aun estar activos en las labores del campo y de hogar con las cuales se sustentan a ellos mismos y a sus familias.

Fotografía 26. Adulta mayor.



Fuente: Registro fotográfico.

### 11. Estrato

Las viviendas que se encuentran dentro del área de influencia del movimiento del terreno pertenecen al estrato 1, según lo manifestado por las personas que las habitan.

### 12. Tipo de vivienda.

Ambas viviendas son de tipo unifamiliar, cumpliendo con las características propias de las viviendas del área rural, siendo estas amplias por lo que no se presentan problemas de hacinamiento dentro de ellas.

### 13. Área aproximada de las viviendas.

Una de las viviendas cuenta con alrededor de 80Mtrs de área construida y la otra con al menos 100Mtrs de área construida. Igualmente en ambas se evidencia que

se han realizado algunas adecuaciones o mejoras para hacerlas más habitables y estables.

#### **14. Pisos de la vivienda.**

Ambas viviendas son de un solo piso y no se tiene expectativas de realizar ningún tipo de ampliaciones a las mismas, según lo manifiestan sus dueños.

Fotografía 27.

Pisos agrietados en una vivienda.



Fuente: Registro fotográfico.

#### **15. Edad de la construcción.**

La construcción más nueva tiene entre 16 y 20 años de construida y la otra tiene más de 21 años de construida. Sin embargo la presencia de grietas en sus estructuras ha venido deteriorando su estabilidad, aunque estas no sean viviendas muy antiguas.

#### **16. La armazón de la vivienda es:**

La armazón de ambas viviendas es de bloque, por ser un material más económico y liviano.

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

**17. La cubierta de la vivienda es de:**

Las cubiertas de las viviendas habitadas de la zona, son en teja eternit, y algunas de ellas presentan afectaciones por el movimiento del terreno, lo que ha hecho que las paredes se fracturen y se pierda estabilidad.

**18. Los muros de la vivienda son en:**

Los muros de las viviendas son en material de bloque.

**19. El acabado de los pisos es de:**

En ambas viviendas predomina la presencia de pisos en cemento, los cuales presentan afectaciones por agrietamiento serias, ya que para el caso de una de las viviendas su área de patio se encuentra con bastantes fracturaciones e inclinaciones que antes no eran evidentes según lo manifiestan sus propietarios.

**20. El estado de la construcción es:**

Una de las viviendas presenta un estado de la construcción malo, y es importante resaltar la presencia de tres menores de edad y dos adultos mayores que la habitan; la otra presenta un estado bueno, sin mayores afectaciones a su estructura.

**21. La construcción anteriormente ha sufrido daño por:**

Los daños que han venido sufriendo las viviendas estructuralmente, se deben según las personas que las habitan al movimiento progresivo del terreno sobre el cual se hallan construidas.

## 22. El daño sufrido por la vivienda fue:

Una de las viviendas ha sufrido daños ligeros y la otra un daño fuerte a causa del movimiento del terreno, esto debido a que ninguna entidad se había apropiado de este problema, permitiendo su avance sin ningún tipo de estrategias de manejo ni ambiental, ni social, según lo manifiestan los habitantes de la zona.

## 23. La parte de la construcción más afectada fue:

La zona más afectada de las viviendas son los muros en donde se presentan fisuras en crecimiento progresivo más aun en épocas de invierno cuando más se presentan filtraciones en las mismas.

Fotografía 28. Muros agrietados en una vivienda.



Fuente: Registro fotográfico.

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

#### **24. La vivienda cuenta con bases:**

Las dos (2) viviendas cuentan con bases según lo manifiestan sus dueños, sin embargo esto ha sido un factor de seguridad para las mismas, ya que ambas en mayor y menor grado presentan afectaciones en sus estructuras.

#### **25. Causa de Inestabilidad del suelo:**

Los habitantes de las viviendas visitadas coinciden en que la inestabilidad del suelo es causada por el movimiento en masa que se presenta hace ya varios años en la zona al cual ninguna entidad le ha prestado verdadera atención.

#### **26. Ingresos económicos de la familia:**

Las familias que habitan la zona manifiestan contar con pocos recursos económicos, por lo que dicen vivir con menos de la mitad de un salario mínimo mensual, por lo que su mayor preocupación es tener que abandonar sus viviendas y tierras las cuales representan su única posesión material.

#### **27. Familia extensa**

Una de las familias si cuenta con familia extensa en la cual apoyarse en caso de una emergencia o necesidad y la otra manifiesta no contar con este tipo de red social de apoyo.

#### **28. Acciones implementadas para mitigar el riesgo.**

Ninguno de los dueños de las viviendas ha realizado ningún tipo de acción para contrarrestar los efectos del movimiento en masa sobre sus terrenos, especialmente por desconocimiento de las acciones que ellos pudieran hacer para minimizar estos efectos.

Fotografía 29. Vivienda abandonada del sector



Fuente: Registro fotográfico.

**29. Está capacitado para afrontar una situación de riesgo inminente.**

Ninguna de las personas se encuentra capacitada en prevención de riesgos de desastre por deslizamientos, desconociendo que hacer frente a este tema.

**30.Cuál sería su actuación frente a un evento catastrófico.**

Las dos familias manifiestan que en caso de presentarse un evento catastrófico su reacción sería salir corriendo, buscando la vía más cercana para salir del peligro.

**31. Tiempo que se presentó el deslizamiento.**

Dos (2) familias manifestaron que el deslizamiento se ha venido presentando hace años, pero el último año ha sido el que más ha afectado sus viviendas y terrenos.

**32. Conocía esta situación cuando comenzó a vivir aquí.**

La mayoría de las personas encuestadas llevan mucho tiempo viviendo en esta zona y manifiestan que anteriormente está era estable y no tenía los problemas de movimiento de tierra que tiene hace algunos años.

**33. Esta situación ha producido en su familia:**

Las personas que habitan las viviendas de la zona de influencia del deslizamiento, presentan un temor generalizado ante la posibilidad de que ocurra un evento catastrófico, pero aun así manifiestan que carecen de recursos para irse a vivir a otro lugar más seguro.

**34. Depende económicamente de este predio.**

Las dos (2) familias manifiestan que dependen económicamente de los terrenos que habitan, pues es allí en donde construyeron su vivienda y tienen la posibilidad cultivar alimentos para su consumo familiar y para la venta.

**35. Uso que tiene o tenía el predio.**

El uso de los predios es básicamente para vivienda y cultivos a pequeña escala, con los que se obtiene el sustento de las familias.

Fotografía 30. Corral para cuidado de cerdos.



Fuente: Registro fotográfico.

**36. El municipio brinda alguna capacitación en prevención de riesgos.**

Ninguna persona habitante de las viviendas manifestó tener conocimiento de que su municipio adelanta jornadas de capacitación en prevención de riesgos.

**37. Si tuviera que reubicarse en otro lugar le gustaría en:**

mantenerse en la misma vereda ya que es allí donde tiene sus terrenos cultivables, y la otra familia que cuenta con presencia de menores de edad manifiestan que les gustaría estar más cerca del sector urbano para facilitar el desplazamiento de los niños a su institución educativa.

**38. Ha tenido visita del consejo municipal de gestión del riesgo.**

Una familia manifiesta que en una ocasión la oficina de planeación los visito y les manifestó la necesidad de que pudieran trasladarse a un lugar más seguro, especialmente antes de que comenzara la época de lluvias nuevamente, la otra familia manifiesta no haber recibido ninguna visita de ninguna entidad.

Fotografía 31. Camino hacia las viviendas.



Fuente: Registro fotográfico.

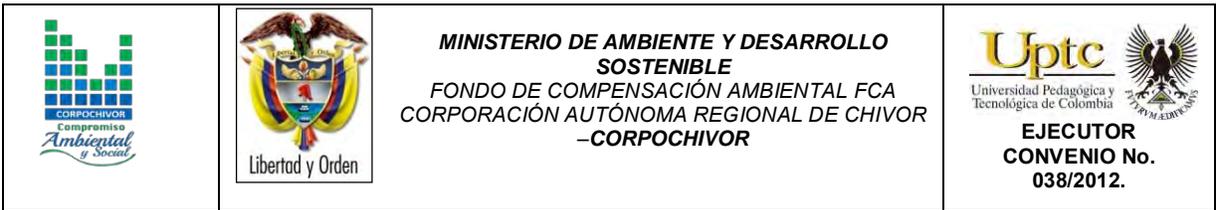


### **39. Que esperarían de la Alcaldía Municipal**

Una (1) de las familias esperarían que la alcaldía les ayude en cuanto a su reubicación y la otra en cuanto al manejo del riesgo para no tener que dejar su lugar de habitación.

### **40. Género:**

En la zona de influencia del deslizamiento se encuentran habitando cinco (5) Hombres y tres (3) mujeres en total, de los cuales tres (3) son menores de edad y cuatro (4) son adultos mayores, uno de ellos con discapacidad leve.



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

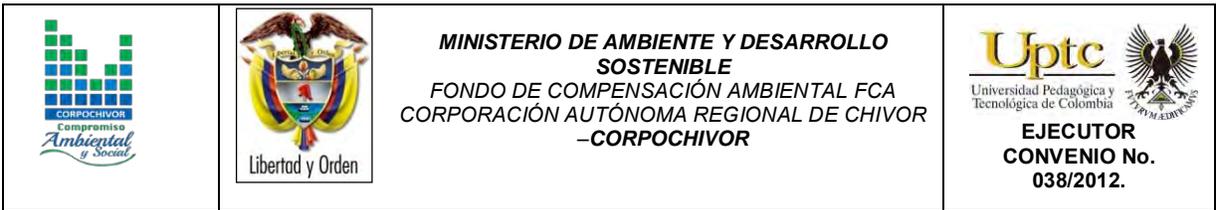
## 11 CONCLUSIONES.

- El FRM estudiado es un movimiento en masa en el cual se identifica roca y suelo desprendido de ladera con cierto grado de inclinación de la pendiente, tiene comportamiento remontante, causados por socavación de taludes debido a la acción del hombre (cortes anti técnicos del talud), provocando el retroceso del material del talud perdiendo apoyo en su base, se van desplomando progresivamente, en el área predomina una vegetación rala y pequeña, incapaz de retener el suelo, donde facilita la inestabilidad de proceso.
  
- Con ayuda del software Res2DIN VX64, se relacionaron datos de las respectivas resistividades de los materiales del área obtenidas por el equipo, resultando así el modelamiento del talud, en la línea 1 se observa que el área está conformada por tres unidades Geoelectricas bien definidas, donde encontramos niveles de arcillas saturadas y no saturadas con rangos de resistividades que oscilan entre 34.2 – 138  $\Omega \cdot m$ , limos saturadas con resistividades que van desde 140 - 195  $\Omega \cdot m$ , y un tercer material compuesto por areniscas con resistividades entre 196 – 391  $\Omega \cdot m$ .

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

## 12 RECOMENDACIONES.

- Debido a la vulnerabilidad estructural del rancho cercano a la quebrada se deberá realizar inspección estructural del mismo.
- Se recomienda realizar un análisis detallado de socavación lateral y de fondo en la quebrada, para determinar la incidencia de este fenómeno en posibles procesos de remoción en masa.
- Se recomienda la construcción de una estructura de contención en tierra armada en el margen de la quebrada para evitar la socavación lateral de los márgenes que puedan desencadenar fenómenos de remoción en masa.
- Se deberán amojonar puntos de la zona del deslizamiento para realizar control semestral de los desplazamientos del mismo.



### 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.