



## INFORME FINAL



**ELABORACIÓN DE ESTUDIO DE RIESGO (AMENAZA Y VULNERABILIDAD)  
Y DISEÑO DE OBRAS DE ESTABILIZACIÓN EN LA VEREDA CARACOL,  
MUNICIPIO DE GARAGOA, JURISDICCIÓN 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.....	13
1.1 PRESENTACION (JUSTIFICACION Y ALCANCE).....	13
1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO .....	14
1.2.1. Objetivo General.....	14
1.2.2 Metodología .....	15
1.3 LOCALIZACIÓN. ....	16
1.4 PERSONAL .....	17
1.5 DESCRIPCION DE ACTIVIDADES REALIZADAS.....	18
1.6 18	
1.7 18	
1.5.1. Trabajo de campo .....	18
1.6. ANÁLISIS DE LABORATORIO.....	20
1.6.1. Trabajos de Oficina .....	21
1.7. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y SUS POSIBLES CAUSAS .....	21
1.8 ESTADO DE LA INFORMACIÓN .....	22
2 ASPECTOS CLIMATICOS E HIDROLOGICOS.....	23
2.1. ANÁLISIS HIDROLÓGICO .....	24
2.2. BALANCE HÍDRICO.....	24
2.2.1. Tipos de recarga.....	25
2.3. ESTIMACIÓN DE LA ESCORRENTÍA .....	27
2.4. ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN. ....	33
2.4.1. Mapas de Isoyetas generados a partir de los datos de Precipitación. 40	
2.4.2. ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP). 48	
2.4.2.1. Formula de J. B. García y J.D. López. ....	48
2.4.3. Estimación del Balance Hídrico.....	50

2.4.4.	Metodología.....	51
2.4.5.	RESULTADOS OBTENIDOS .....	55
2.5.	CALCULO DE CAUDAL DE DISEÑO A PARTIR DE LAS CURVAS IDF 59	
2.5.1.	Resultados.....	59
2.6.	MORFOMETRÍA DE LA CUENCA .....	60
2.7.	USO ACTUAL Y COBERTURA DEL SUELO.....	64
2.7.1.	DESCRIPCIÓN REGIONAL.....	66
2.7.2.	COBERTURA Y USO DE SUELO PARA EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL ESTUDIO .....	68
2.7.3.	ÁREAS Y PORCENTAJES DE LAS COBERTURAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO .....	94
2.7.4.	UNIDADES DE COBERTURA VEGETAL.....	96
3	GEOLOGIA .....	100
3.1.	GEOLOGÍA HISTÓRICA .....	101
3.2.	GEOLOGIA LOCAL.....	101
3.2.1.	Formación Fόμεque (Kif).....	101
3.2.2.	Depósitos Cuaternarios.....	102
3.3.	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL .....	103
3.3.1.	Estructuras Plegadas.....	103
4	GEOMORFOLOGÍA.....	105
4.1	GEOMORFOLOGÍA LOCAL.....	106
4.2	ANÁLISIS FOTOGEOLÓGICO.....	107
4.3	PROCESOS MORFODINÁMICOS.....	108
4.3.1	Desprendimientos .....	108
4.4	INCLINACIÓN DE LAS PENDIENTES .....	110
4.5	UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS.....	112
4.5.1	Geoformas de Origen Denudacional.....	113
4.6	EROSIÓN .....	115
4.6.1	Algunas Formas de Erosión.....	118
4.6.2	Factores externos .....	118
4.6.3	Factores internos .....	118

4.6.4	Morfodinámica - intensidad de erosión .....	119
5	HIDROGEOLOGÍA.....	121
5.1	Unidades Hidrogeológicas.....	121
5.1.1	Acuífero.....	121
5.1.2	Acuitardo.....	121
5.1.3	Acuicierres. ....	122
5.2	MARCO HIDROGEOLÓGICO GENERAL.....	122
5.2.1	UNIDAD I (Permeabilidad Alta).....	122
5.2.2	UNIDAD III (Permeabilidad Baja).....	123
6	GEOELECTRICA.....	124
6.1	ESTUDIO GEOELECTRICO (TOMOGRAFIA ELECTRICA RESISTIVA).....	124
6.2	INTRODUCCION.....	124
6.3	OBJETIVO.....	126
6.4	PRINCIPIO DEL METODO GEOFISICO.....	127
6.4.1	Resistividad Aparente: .....	127
6.4.2	Dispositivos:.....	129
6.5	METODOLOGIA.....	130
6.5.1	TOMOGRAFIA N°1 .....	132
6.5.2	TOMOGRAFIA N°2.....	135
6.5.3	RESULTADOS.....	137
7	GEOTECNIA.....	138
7.1	EXPLORACIÓN DE CAMPO.....	138
7.1.1	Sondeos geotécnicos.....	138
7.2	CARACTERIZACIÓN DEL SUELO Y SUBSUELO .....	141
7.2.1	Trabajos de Laboratorio.....	141
7.2.2	Trabajos de Laboratorio.....	141
7.2.3	Resumen de resultados .....	146
7.3	Clasificación del Macizo Rocoso. ....	147
7.3.1	Índice de Calidad de la Roca (RQD):.....	147
7.3.2	Clasificación Según el RMR:.....	150

7.3.3	Clasificación Según el Índice Geológico de Resistencia (GSI): .....	152
7.4	CINEMÁTICA DE LOS MOVIMIENTOS .....	154
7.5	CAUSAS DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA .....	154
7.5.1	Causas Reales.....	154
7.5.2	Causas Inmediatas .....	155
7.6	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y MODELACIÓN GEOTÉCNICA .....	155
7.6.1	Análisis estructuralmente controlado .....	159
7.6.2	Análisis estructuralmente no controlado .....	162
8	ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA.....	166
8.1	DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DE AMENAZAS .....	166
8.2	RESULTADO DE ANALISIS.....	169
8.3	ANÁLISIS DE AMENAZA .....	170
8.4	Evaluación de Vulnerabilidad .....	172
9	ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD .....	174
9.1	ANÁLISIS Y GRAFICAS ESTADÍSTICAS DE LAS ENCUESTAS REALIZADAS EN EL MUNICIPIO DE GARAGOA VEREDA CARACOL .....	175
10	OBRAS RECOMENDADAS .....	186
11	BIBLIOGRAFÍA.....	187

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tabla general para la determinación de número de curva (CN).....	29
Tabla 2. Escorrentía Estación Garagoa, suelo tipo CL.....	31
Tabla 3. Escorrentía Estación Garagoa, suelo tipo CL.....	32
Tabla 4. Estación pluviométrica utilizada en la estimación de la precipitación para el área de estudio.....	33
Tabla 5. Precipitación media multianual mensual por estación.....	35
Tabla 6. Precipitación media multianual mensual por estación.....	36
Tabla 7. Precipitación media multianual mensual por estación.....	37
Fuente: Resultado del estudio.....	40
Tabla 8. Rangos de temperatura Garagoa.....	49
Tabla 9. Valores de Evapotranspiración.....	50
Tabla 10. Calculo de Infiltración, basado en los valores de escorrentía (R) y precipitación (P). Estación Garagoa.....	53
Tabla 11. Calculo de Infiltración, basado en los valores de escorrentía (R) y precipitación (P). Estación Garagoa.....	54
Tabla 12. Estimación del Balance Hídrico.....	56
Tabla 13. Estimación del Balance Hídrico.....	57
Tabla 14. Valores de parámetros morfométricos para la cuenca local.....	64
Tabla 15. AREAS METRICAS DE LAS COBERTURAS.....	95
Tabla 16. Unidades de cobertura vegetal.....	98
Tabla 17. Clasificación de las pendientes.....	111
Tabla 18. Descripción geomorfológica.....	115
Tabla 19. Resistividades de algunos suelos y rocas.....	129
Tabla 20. Resistividades de los materiales presentes en el área de estudio.....	133
Tabla 21. Resistividades de los materiales presentes en el área de estudio.....	135
Tabla 22. Coordenadas de los sondeos realizados.....	139
Tabla 23. Resumen de resultados ensayos de laboratorio.....	149
Tabla 24. Resumen de Resultados de la Clasificación RMR.....	152
Tabla 25. Coeficientes de aceleración sísmica para el departamento Boyacá....	158
Tabla 26. Coeficientes de reducción de coeficientes de aceleración sísmica.....	158
Tabla 27. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla planar.....	160
Tabla 28. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.....	160
Tabla 29. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.....	160
Tabla 30. Valores de Propiedades Físicas y Mecánicas Utilizadas en los Modelos de estabilidad.....	163
Tabla 31. Factores de seguridad para el modelo perfil A-A'.....	165
Tabla 32. Parámetros físicos y naturales estimados para la Identificación de Zonas Inestables (Deslizamientos).....	167

Tabla 33. Categorización de amenazas por FRM .....	169
Tabla 34. Categorización de amenaza por (FRM) según nsr-10.....	170

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización geográfica.....	16
Figura 2. Gráfico de precipitación media multianual mensual.....	38
Figura 3. Gráfico de precipitación media multianual.....	39
Figura 4. Isoyetas mes de Enero y Febrero.....	40
Figura 5. Isoyetas mes de Marzo y Abril.....	41
Figura 6. Isoyetas mes de Mayo y Junio.....	43
Figura 7. Isoyetas mes de Julio y Agosto.....	44
Figura 8. Isoyetas mes de Septiembre y Octubre.....	46
Figura 9. Isoyetas mes de Noviembre y Diciembre.....	47
Figura 10. Comportamiento de las Curvas del Balance Hídrico.....	58
Figura 11. Imagen ilustrativa de la cuenca local Garagoa.....	63
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). .....	67
Figura 13. Criterios para la clasificación de los bosques.....	84
Figura 14. Mapa cobertura vegetal y uso de suelo.....	94
Figura 15. Porcentaje áreas de coberturas.....	96
Figura 16. Imagen mapa geológico área de estudio.....	100
Fuente: Resultado del estudio.....	100
Figura 17. Ventana extraida del mapa regional de Consultoría para la Homologación y Estructuración de la Información Cartográfica Base.....	105
Fuente: CORPOCHIVOR para ser integrada al SIAT.....	105
Figura 18. Fotografías pertenecientes al vuelo 2803- 264,263 tomadas por el IGAC, durante los años 90.....	108
Figura 19. Esquema del Proceso de Desprendimiento.....	109
Figura 20. Esquema del movimiento, perfil desprendimiento.....	110
Figura 21. Imagen del Mapa de inclinación de las pendientes.....	111
Figura 22. Imagen del Mapa geomorfológico.....	112
Figura 23. Imagen del Mapa erosión.....	120
Figura 24. Imagen del Mapa Hidrogeológico del área de estudio.....	122
Figura 25. Principio teórico de operación de las TER's.....	125
Figura 26. Rangos de resistividad para diferentes materiales.....	125
Figura 27. Dispositivo Wenner.....	130
Figura 28. Localización líneas de tomografía.....	132
Figura 29. Perfil 1 tomografía.....	134
Figura 30. Perfil litológico 1.....	134
Figura 31. Perfil 2 tomografía.....	136
Figura 32. Perfil litológico 2.....	136
Figura 33. Perfil Geotécnico S1.....	143

Figura 34. Límites de Atterbeg .....	144
Figura 35. Guía para la definición del Índice geológico de resistencia (GSI). ....	153
Figura 36. Análisis cinemático, falla por volcamiento .....	161
Figura 37. Análisis cinemático falla planar .....	161
Figura 38. Análisis cinemático falla por cuña .....	162
Figura 39. Perfil geológico AA' .....	164
Figura 40. Modelo de análisis perfil A-A' .....	164
Figura 41. Imagen Mapa de Amenazas.....	171
Figura 42. Imagen Mapa de Vulnerabilidad Física y Social .....	173

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1.	Exploración directa del subsuelo (SPT).....	19
Fotografía 2.	Georeferenciacion area de estudio. ....	66
Fotografía 3.	Tejido urbano discontinuo .....	73
Fotografía 4.	Tejido artificializado de nivel 4 red vial 122 C.L.C. ....	74
Fotografía 5.	Musa sapientum L.J .....	77
Fotografía 6.	Cultivos agroforestales .....	78
Fotografía 7.	Pastos limpios presente en la zona de estudio. ....	79
Fotografía 8.	Pastos enmalezados. ....	81
Fotografía 9.	Pastos arbolados.....	82
Fotografía 10.	Bosque denso bajo de tierra firme. ....	85
Fotografía 11.	CUPRESSACEAE .....	87
Fotografía 12.	Eucaliptos presentes en la zona de estudio.....	88
Fotografía 13.	Arbustal Abierto Mesofilo .....	90
Fotografía 14.	Herbazal .....	92
Fotografía 15.	Zonas arenosas .....	93
Fotografía 16.	Parte media del deslizamiento.....	133
Fotografía 17.	Parte media del deslizamiento.....	135
Fotografía 18.	Perforación realizada en la zona de estudio .....	140
Fotografía 19.	Prueba de Penetrometro de Bolsillo .....	141
Fotografía 20.	Muestra fallada en el ensayo de compresión no confinada. ...	145
Fotografía 21.	Muestras a las que se les realizo la prueba de corte directo. .	146
Fotografía 22.	Parte superior del movimiento .....	163
Fotografía 23.	Vista de la parte media del movimiento. ....	175
Fotografía 24.	Vía de acceso al movimiento en masa. ....	176
Fotografía 25.	vivienda deshabitada del sector evaluado. ....	178
Fotografía 26.	Zona en movimiento .....	181
Fotografía 27.	Vista de la parte baja del movimiento. ....	182
Fotografía 28.	Vista de la parte baja del movimiento .....	183

		<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>
---	--	---	---

## 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 Caracol Municipio de Garagoa.

 <p>COMPROCHIVOR Comité 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>
---	--	---	---

## 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



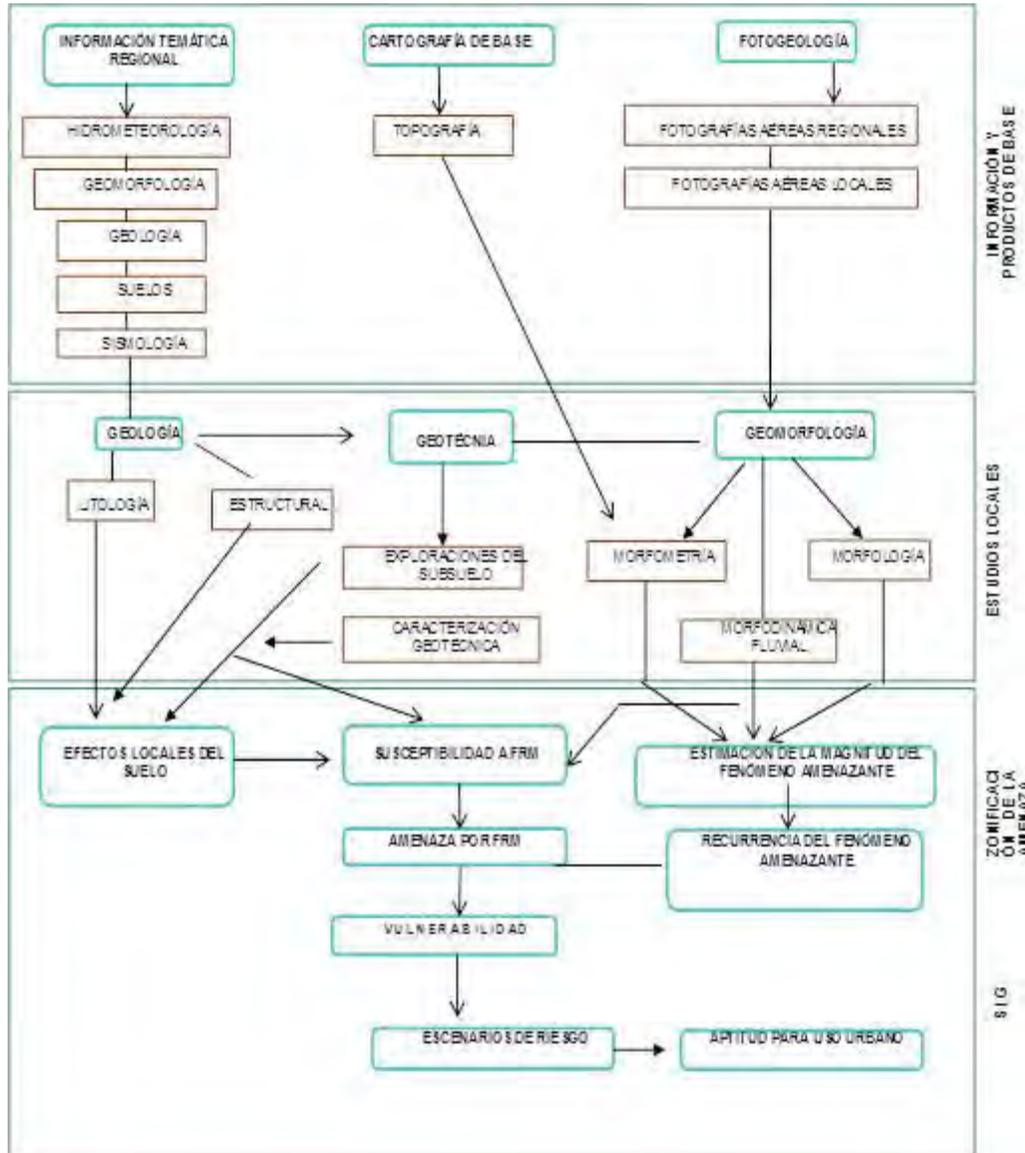
como detonantes, las precipitaciones, la actividad sísmica y antrópica, por lo que igualmente se hará una revisión de aspectos endógenos como la ocurrencia, magnitud y posibles áreas de afectación de los sismos asociados.

## 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 Caracol en el Municipio de Garagoa, área afectada por Fenómenos de Remoción en Masa (FRM). Municipio de la Jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Chivor CORPOCHIVOR.

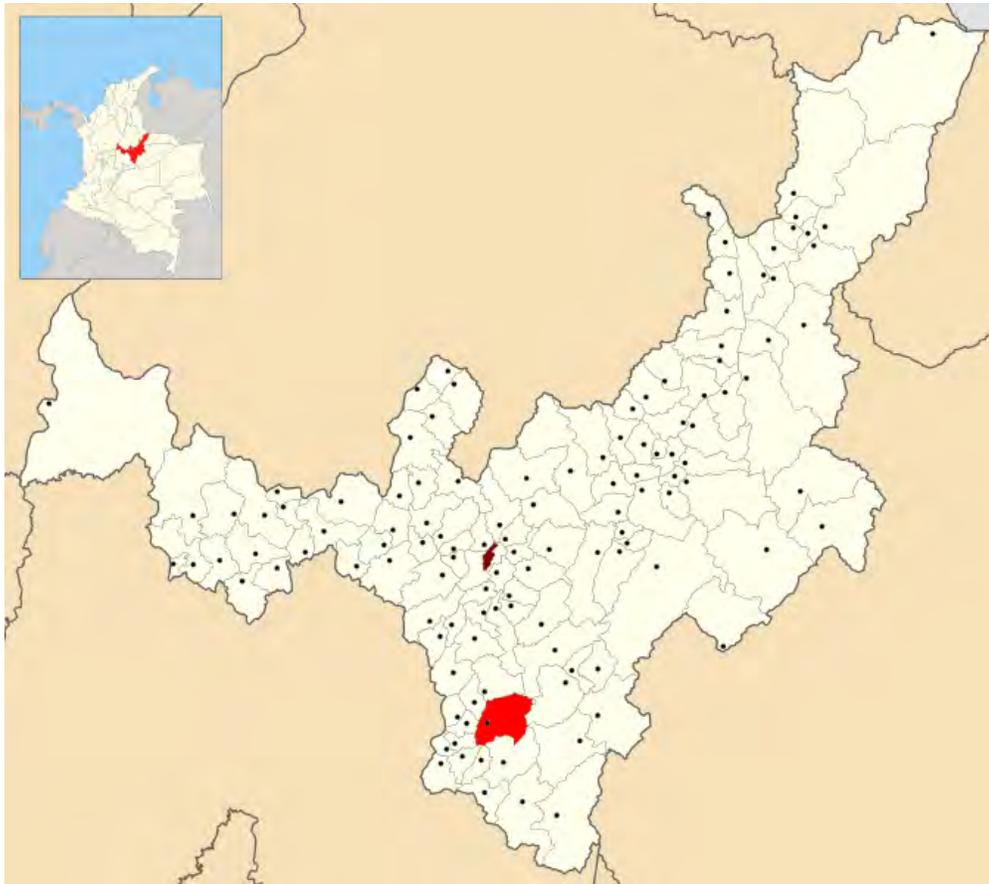
## 1.2.2 Metodología



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

### 1.3 LOCALIZACIÓN.

Figura 1. Localización geográfica.

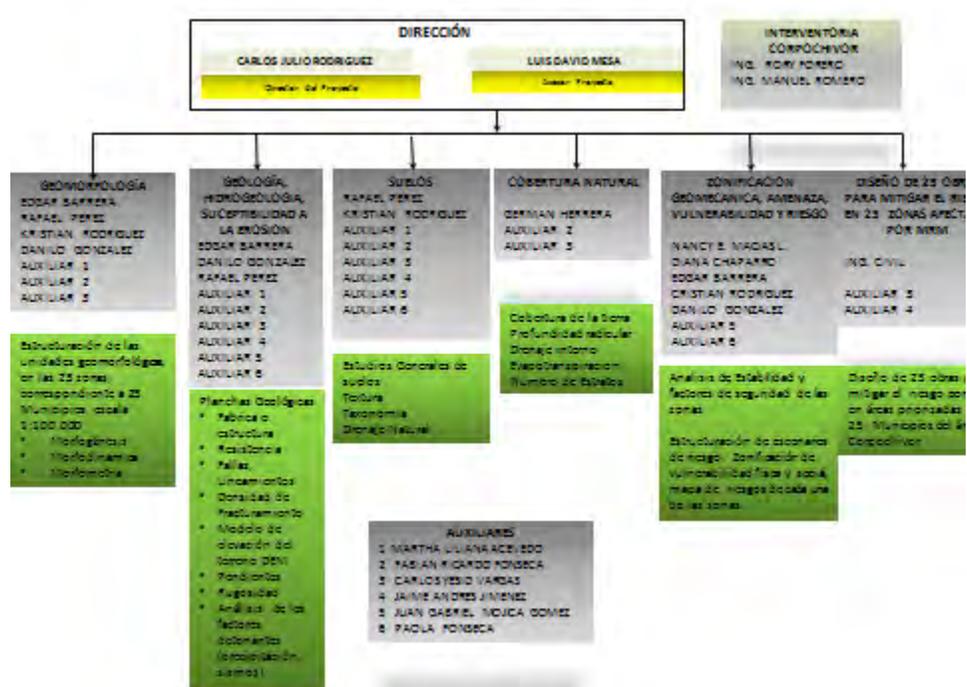


Fuente: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colombia - Boyaca - Garagoa.svg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colombia_-_Boyaca_-_Garagoa.svg)

El área de Estudio se encuentra en las coordenadas N 1050797, E 1076603, a una altura de 1429 msnm; en la Provincia de Márquez, en el Municipio de Garagoa, en la Vereda Caracol.

### 1.4 PERSONAL

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



ORGANIGRAMA



## 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 1959 a 2012, de la estación de Garagoa.

### 1.7. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y SUS POSIBLES CAUSAS

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



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

## 1.8 ESTADO DE LA INFORMACIÓN

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

La información recopilada tuvo en cuenta aspectos tales como:

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

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

 <p>COMPROCHIVOR Compendio 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>Uptc Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia</p> <p><b>EJECUTOR CONVENIO No. 038/2012.</b></p>
--	--	---	--

## 2 ASPECTOS CLIMATICOS E HIDROLOGICOS

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

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

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

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



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

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

## **2.1. ANÁLISIS HIDROLÓGICO**

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

## **2.2. BALANCE HÍDRICO.**

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



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

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

### **2.2.1. Tipos de recarga**

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

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

1. Recarga directa o recarga difusa, proveniente del agua lluvia.



2. Recarga concentrada o indirecta, producto de cauces permanentes, estacionales y efímeros.

3. Flujos laterales, procedentes de otros acuíferos

4. Retorno de riegos, excesos de riegos o las pérdidas en los canales de distribución

5. Recarga Urbana, producto de fugas de redes de desabastecimiento y redes de alcantarillado.

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

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

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

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



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

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

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

### 2.3. ESTIMACIÓN DE LA ESCORRENTÍA

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

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



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

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

**Dónde:**

**S**= (25400/CN)-254

**P**= Precipitación

**CN**= Número de curva (tablas)

**Q**= Escorrentía

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

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

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

Tipo de vegetación	Tratamiento	Condición Hidrológica	Tipo de suelo			
			A	B	C	D
<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 aterrizados (terrazas abiertas con desagüe para la conservación de suelos).

Tabla 2. Escorrentía Estación Garagoa, suelo tipo CL

P	R	S CL (C)	CN
8,70833333	0,60234162	75,8701299	77
63,45833333	18,7780187		
59,6666667	16,4469052		
90,4166667	37,4650995		
77,58333333	28,1670343		
104,808333	48,5443725		
112,083333	54,3549279		
98,58333333	43,6786611		
210,25	140,450942		
252,083333	179,442806		
185,3	117,655713		
226,833333	155,808959		
237	165,291927		
238,25	166,461076		
150,583333	86,7840276		
121,25	61,8431064		
184,083333	116,555355		
126,75	66,4148132		
101,666667	46,0756913		
105	48,6958077		
104,333333	48,1694795		

Fuente: Resultado del estudio

Tabla 3. Escorrentía Estación Garagoa, suelo tipo CL

95,5833333	41,3724085
108,0833333	51,1444968
108,25	51,2775183
114,466667	56,2849541
116,341667	57,8119092
93,325	39,6541421
116,416667	57,8731407
107,6333333	50,7856716
102,141667	46,4472739
86,98333333	34,9173637
56,4166667	14,5240814
130,741667	69,7661675
96,3166667	41,933711
111,45	53,8441647
115,491667	57,1187717
110,1333333	52,7852237
119,575	60,462066
89,65833333	36,8988914
129,516667	68,7348144
111,875	54,1868144
118,725	59,7633388
98,48333333	43,6013647
110,15	52,7986032
121,9	62,3804851
131,216667	70,1667451
108,541667	51,5104654
129	68,3005718
111,3833333	53,7904527
110,766667	53,2940937
90,225	37,3218096
115,6333333	57,2341896
152,5583333	88,5067066
139,391667	77,1162686

Fuente: Resultado del estudio

#### 2.4. ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN.

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

Con el fin de conocer el comportamiento de este parámetro hidroclimatológico se utilizaron los datos de 1 estación climatológica (Tabla 4) las cuales se encuentran ubicadas dentro y en áreas colindantes del área de estudio del presente convenio. Con el propósito de obtener el valor (mm) de precipitación media mensual multianual de la zona de estudio se utilizaron los datos mensuales de las estaciones seleccionadas para un periodo de 53 años (1959-2012), estos se utilizaron junto con los datos promedio mensuales multianuales de escorrentía y evapotranspiración para estimar el balance hídrico de las subcuencas del área de estudio.

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

CODIGO	NOMBRE ESTACION	CORRIENTE	NOMBRE DEPARTAMENTO	NOMBRE MUNICIPIO
3507008	GARAGOA	RIO GARAGOA	BOYACA	GARAGOA

Fuente: Resultado del estudio



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.



Tabla 5. Precipitación media multianual mensual por estación.

NOMBRE ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
GARAGOA									INICIA REGISTROS		77,5	27,0	1959
GARAGOA	8,0	0,0	34,5	58,5	43,0	114,5	189,0	137,5	59,0	36,5	30,0	51,0	1960
GARAGOA	9,0	1,0	29,0	88,5	78,5	136,0	110,0	77,5	43,0	88,5	48,0	7,0	1961
GARAGOA	2,0	7,0	96,0	19,0	156,0	177,0	236,0	148,0	101,0	33,0	90,0	20,0	1962
GARAGOA	5,0	33,0	2,0	103,0	112,0	177,0	180,0	129,0	70,0	54,0	58,0	8,0	1963
GARAGOA	0,0	0,0	0,0	91,0	149,0	183,0	204,0	184,5	215,2	121,0	81,0	29,0	1964
GARAGOA	16,0	23,0	45,0	96,0	250,0	164,0	252,0	182,0	90,0	137,0	71,0	19,0	1965
GARAGOA	13,0	5,0	111,0	52,0	93,0	234,0	158,0	144,0	102,0	50,0	125,0	96,0	1966
GARAGOA	25,0	7,0	57,0	297,0	291,0	392,0	279,0	325,0	211,0	227,0	254,0	158,0	1967
GARAGOA	102,0	69,0	126,0	339,0	293,0	522,0	481,0	301,0	350,0	242,0	150,0	50,0	1968
GARAGOA	71,6	55,0	79,0	242,0	325,0	245,0	379,0	285,0	71,0	236,0	150,0	85,0	1969
GARAGOA	105,0	68,0	111,0	209,0	383,0	269,0	374,0	370,0	302,0	253,0	124,0	154,0	1970
GARAGOA	74,0	105,0	184,0	232,0	467,0	278,0	422,0	351,0	222,0	210,0	195,0	104,0	1971
GARAGOA	124,0	59,0	170,0	285,0	425,0	440,0	356,0	274,0	330,0	194,0	167,0	35,0	1972
GARAGOA	33,0	19,0	84,0	158,0	344,0	204,0	187,0	241,0	198,0	131,0	138,0	70,0	1973
GARAGOA	26,0	40,0	45,0	164,0	214,0	197,0	249,0	164,0	149,0	129,0	74,0	4,0	1974
GARAGOA	6,0	42,0	112,0	166,0	226,0	272,0	224,0	348,0	188,0	351,0	184,0	90,0	1975
GARAGOA	5,0	31,0	50,0	198,0	204,0	266,0	243,0	165,0	135,0	70,0	96,0	58,0	1976
GARAGOA	0,0	12,0	38,0	86,0	178,0	160,0	168,0	151,0	222,0	49,0	156,0	0,0	1977

Fuente: Resultado del estudio.

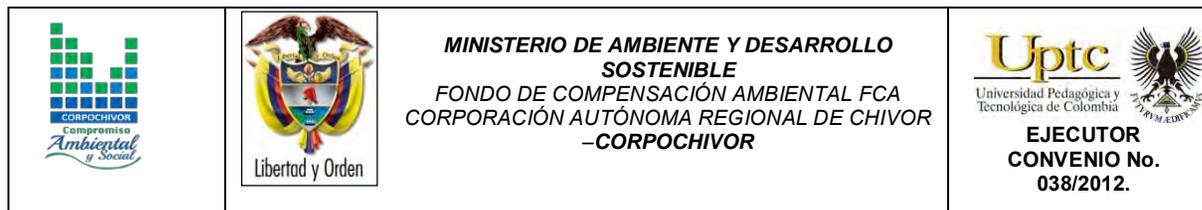


Tabla 6. Precipitación media multianual mensual por estación.

GARAGOA	0,0	0,0	67,0	188,0	173,0	163,0	144,0	223,0	113,0	146,0	15,0	28,0	1978
GARAGOA	7,0	0,0	14,0	131,0	113,0	148,0	170,0	202,0	75,0	99,0	211,0	82,0	1979
GARAGOA	6,0	5,0	62,0	70,0	175,0	293,0	194,0	142,0	86,0	99,0	12,0	3,0	1980
GARAGOA	5,0	68,0	30,0	148,0	238,0	192,0	157,0	107,0	171,0	95,0	52,0	34,0	1981
GARAGOA	28,6	17,6	77,6	162,3	156,6	129,6	167,6	278,6	112,6	80,6	62,6	24,6	1982
GARAGOA	9,6	127,8	84,6	187,6	120,6	125,9	250,6	209,6	79,6	109,6	36,0	32,0	1983
GARAGOA	12,6	34,6	2,9	133,5	138,6	289,6	241,6	227,6	181,6	33,1	63,6	36,6	1984
GARAGOA	15,6	9,6	39,6	61,6	124,5	188,1	132,5	161,6	138,6	137,3	81,3	29,5	1985
GARAGOA	3,1	80,4	84,9	123,2	175,9	245,9	233,0	128,8	88,9	138,1	67,4	27,3	1986
GARAGOA	0,6	60,9	64,6	117,8	162,5	148,0	182,4	217,3	130,4	121,2	46,5	39,3	1987
GARAGOA	0,8	16,2	23,5	121,8	178,6	173,0	165,5	106,9	136,4	168,4	95,5	39,1	1988
GARAGOA	22,7	18,0	41,5	56,2	188,5	140,1	203,6	66,5	117,3	99,6	79,5	10,3	1989
GARAGOA							182,2	144,9	130,3	82,1	62,0	75,5	1990
GARAGOA	2,9	14,9	174,3	71,5	162,7	166,2	283,0	404,4	97,9	89,5	99,6	2,0	1991
GARAGOA	12,8	26,0	19,2	98,1	117,1	137,3	246,7	219,0	117,2	58,4	87,7	16,2	1992
GARAGOA	31,9	14,6	80,2	117,7	204,9	195,8	226,4	101,9	120,1	59,2	146,8	37,9	1993
GARAGOA	12,3	19,0	50,6	100,3	211,7	167,8	226,2	246,7	101,8	136,8	79,0	33,7	1994
GARAGOA	35,2	0,5	46,7	190,1	185,3	221,8	154,8	150,1	110,8	131,9	63,5	30,9	1995
GARAGOA	26,9	48,8	42,8	74,7	181,6	200,1	213,4	199,1	161,7	155,4	71,7	58,7	1996

Fuente: Resultado del estudio



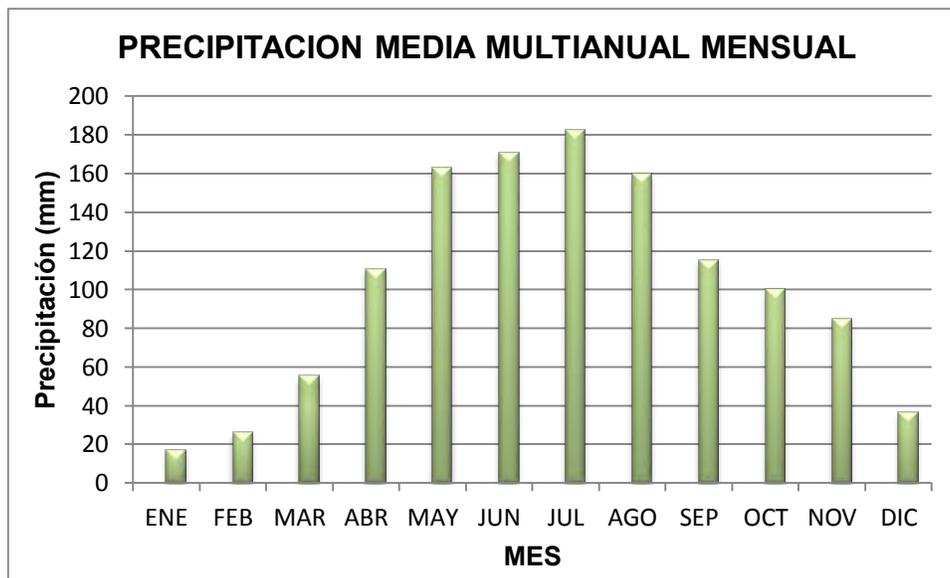
Tabla 7. Precipitación media multianual mensual por estación.

GARAGOA	20,1	45,6	18,5	79,4	151,8	165,5	215,5	171,9	53,7	43,9	77,0	33	1997
GARAGOA	0,8	28,4	65,4	144	236,5	229,1	317	132,6	130,9	83,6	88,4	97,5	1998
GARAGOA	22,1	69,4	71,5	173,1	141,7	181,4	183,2	76,1	172,3	116,2	101,3	34,2	1999
GARAGOA	31,0	9,6	60,3	61,9	216,7	167,5	231,4	249,0	188,0	116,9	56,9	35,5	2000
GARAGOA	8,1	8,0	25,9	72,8	141,5	138,8	172,9	146,1	188,8	105,0	68,5	105,4	2001
GARAGOA	3,8	23,5	57,3	118,4	218,3	173,4	180,5	224,8	148,3	91,7	69,0	12,8	2002
GARAGOA	1,7	12,5	79,1	128,4	197,7	192,5	239,2	175,3	121,4	92,2	156,9	65,9	2003
GARAGOA	11,5	57,8	64,3	145,8	307,7	266,1	241,2	214,2	83,0	91,5	69,9	21,6	2004
GARAGOA	25,0	55,3	23,1	122,9	246,3	153,1	89,9	156,4	157,6	134,7	133,1	5,1	2005
GARAGOA	45,3	0,9	162,3	145,1	140,8	334,0	177,5	154,3	89,7	178,5	101,8	17,8	2006
GARAGOA	1,1	25,7	61,6	113,4	290,3	188,9	82,9	189,5	161,1	102,9	73,3	45,9	2007
GARAGOA	15,3	13,7	46,0	50,9	182,8	281,4	218,1	113,2	127,1	98,9	166,8	15	2008
GARAGOA	21,8	17,1	82,4	116,0	91,9	181,3	140,0	191,8	76,8	111,2	47,1	5,3	2009
GARAGOA	1,7	28,9	95,3	138,4	232,3	137,8	234,5	106,7	56,6	114,3	186,1	55	2010
GARAGOA	16,0	79,3	102,4	177,9	242,6	225,6	152,5	131,1	196,9	183,9	263,7	58,8	2011
GARAGOA	16,4	52,7	142,6	244,0	153,6	155,5	321,6	268,8	104,5	116,7	76,9	19,4	2012

Fuente: Resultado del estudio

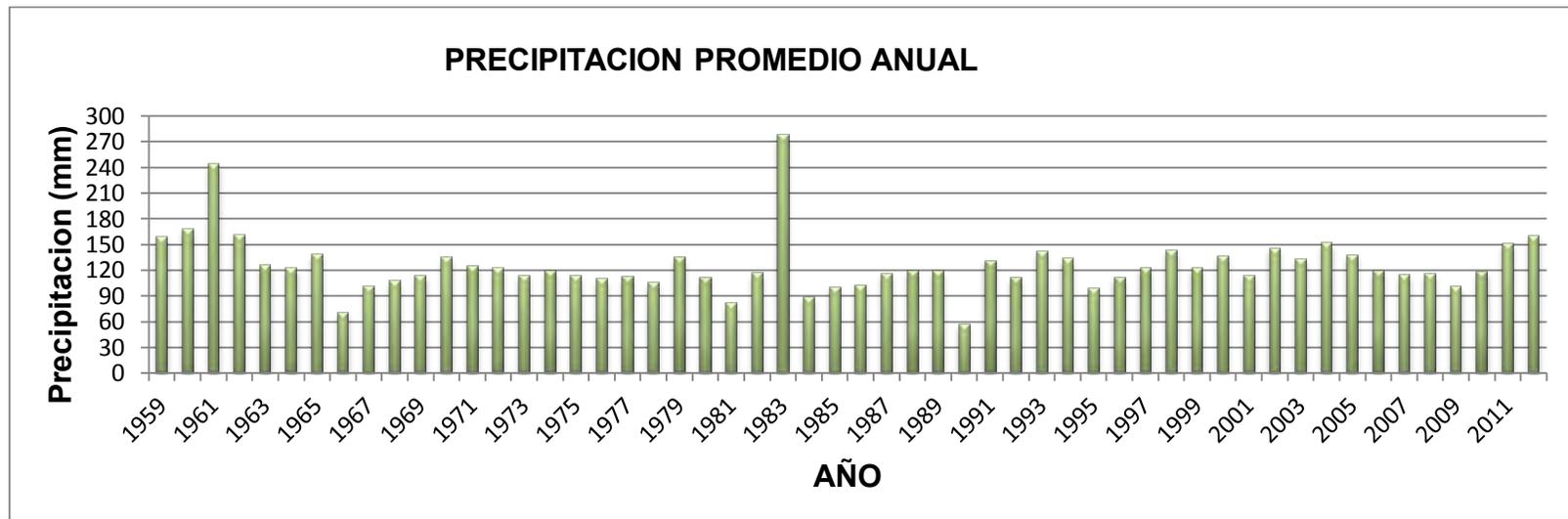
La precipitación media del área de estudio presenta un comportamiento bimodal, que muestra dos periodos de precipitación alta comprendidos en los meses Mayo-Junio y Julio-Agosto (Figura 2) y dos periodos de sequía comprendidos en los meses Noviembre – Diciembre, Enero- Febrero.

Figura 2. Gráfico de precipitación media multianual mensual.



Fuente: Resultado del estudio.

Figura 3. Gráfico de precipitación media multianual.

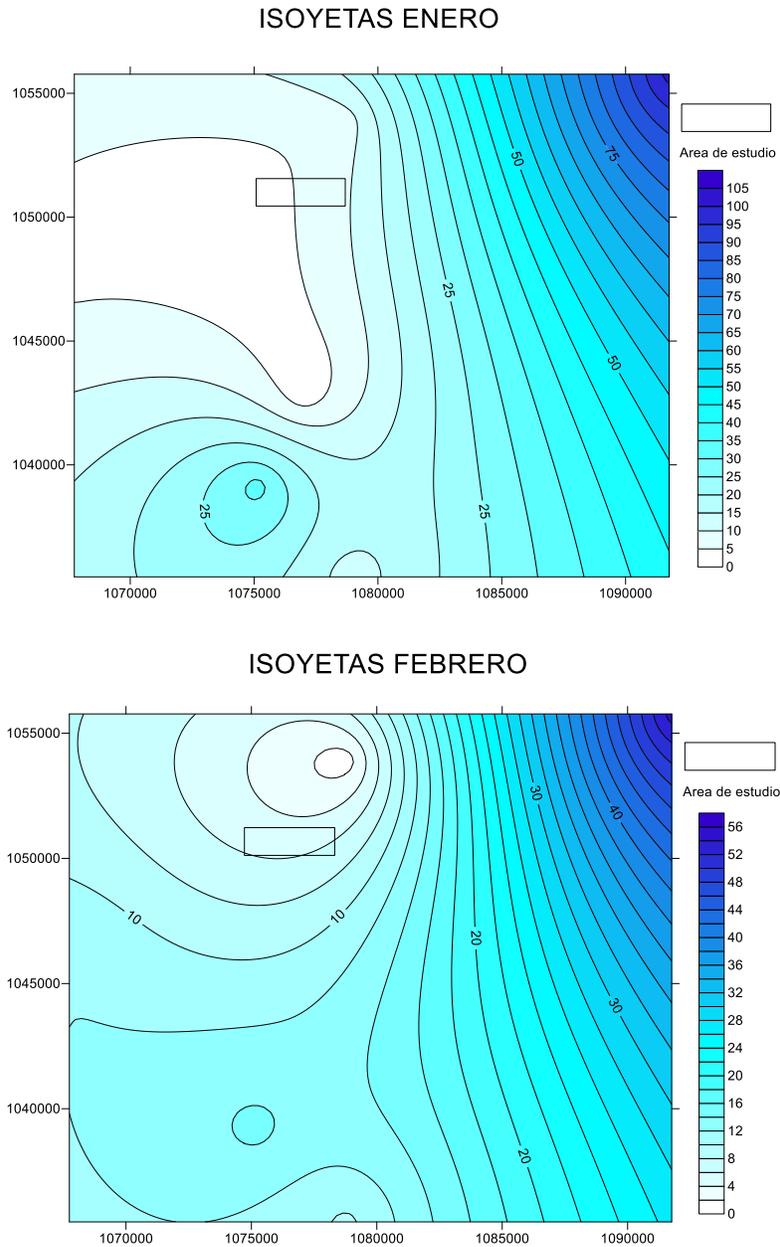


Fuente: Resultado del estudio

El comportamiento de la precipitación promedio anual, para los años 1967, 1981, 1983, 1991, 1985, 1996 (Figura 3) se encuentran valores que varían entre los 30 - 60 mm, en los años 1963 - 1965 - 1971 - 1975 - 1980 - 1989 - 1998 - 2003 - 2008 - 2011 - 2012 se encuentran valores que varían entre los 90 - 120 mm y los años restantes se presentan valores que varían entre 140 - 270 m.

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

Figura 4. Isoyetas mes de Enero y Febrero

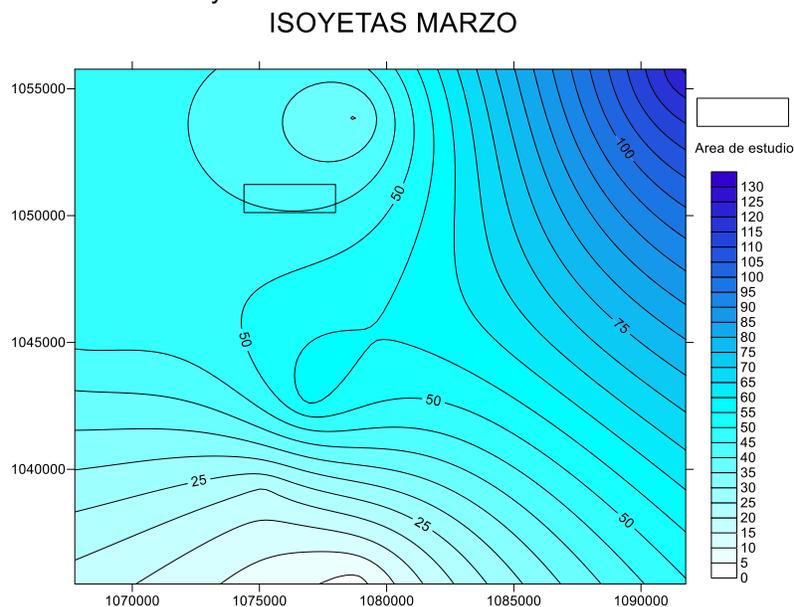


Fuente: Resultado del estudio

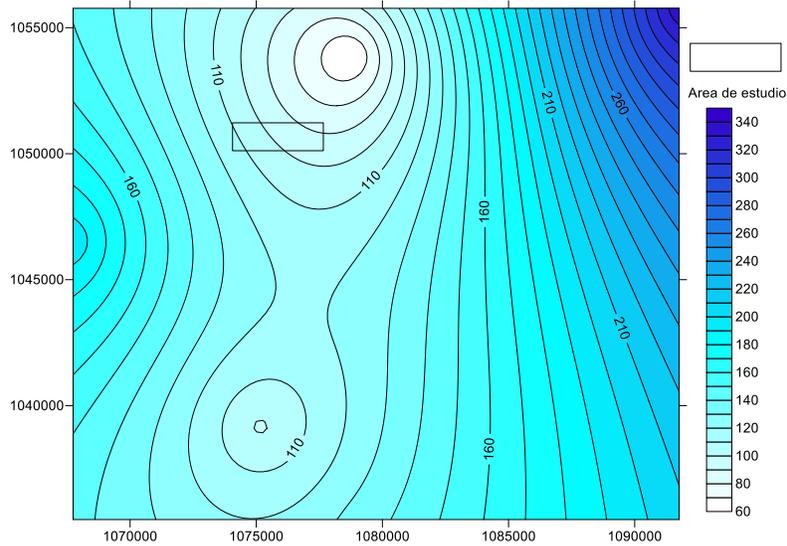
El comportamiento de la precipitación para el mes de Enero correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 10 y 25 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Febrero correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 8 y 10 mm.

Figura 5. Isoyetas mes de Marzo y Abril



### ISOYETAS ABRIL

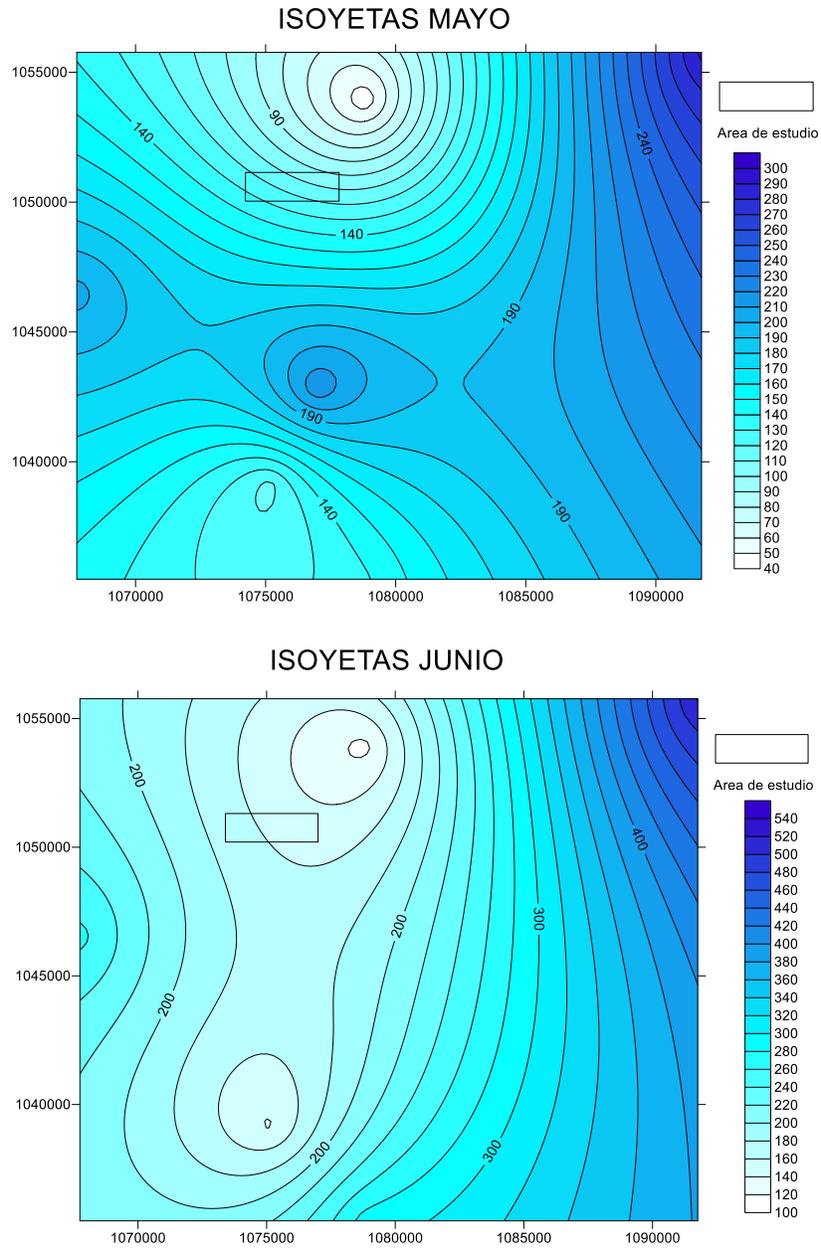


Fuente: Resultado del estudio

El comportamiento de la precipitación para el mes de Marzo correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 35 y 50 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Abril correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 80 y 110 mm.

Figura 6. Isoyetas mes de Mayo y Junio

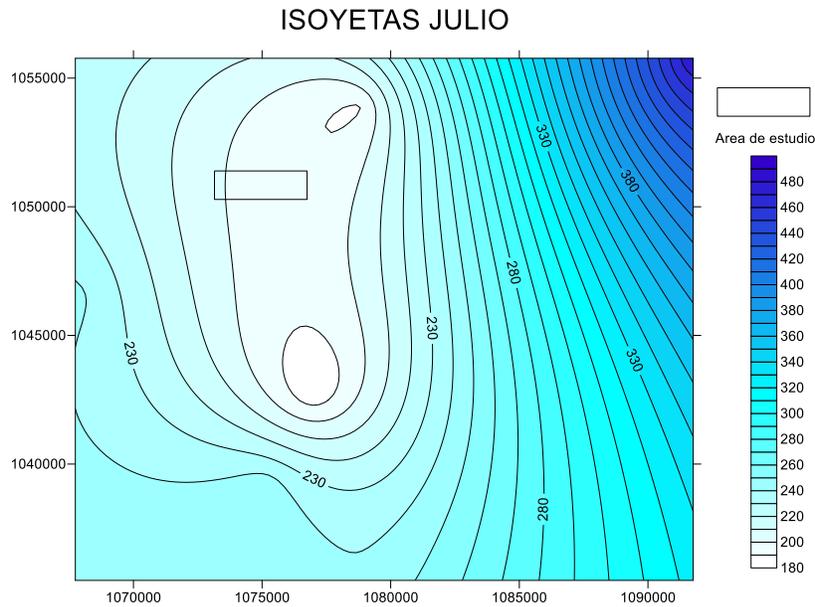


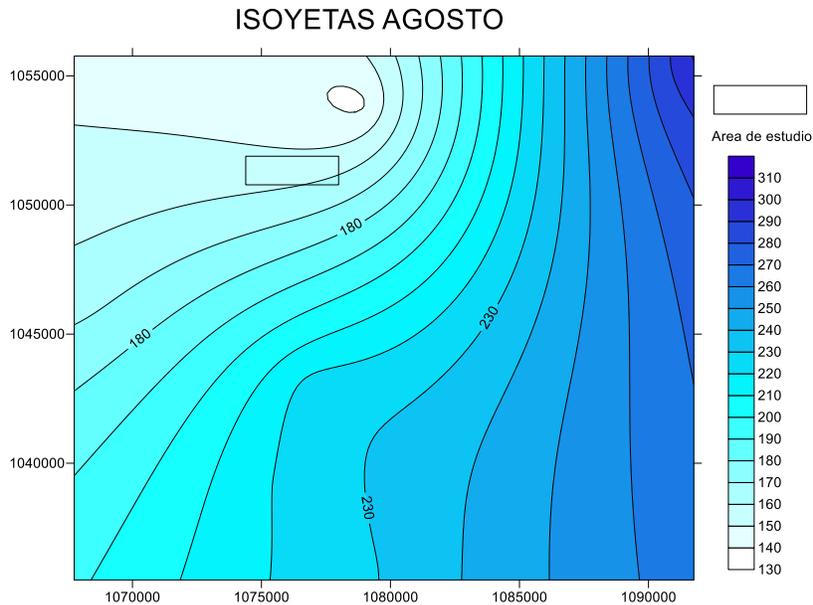
Fuente: Resultado del estudio

El comportamiento de la precipitación para el mes de Mayo correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 90 y 140 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Junio correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 140 y 180 mm.

Figura 7. Isoyetas mes de Julio y Agosto



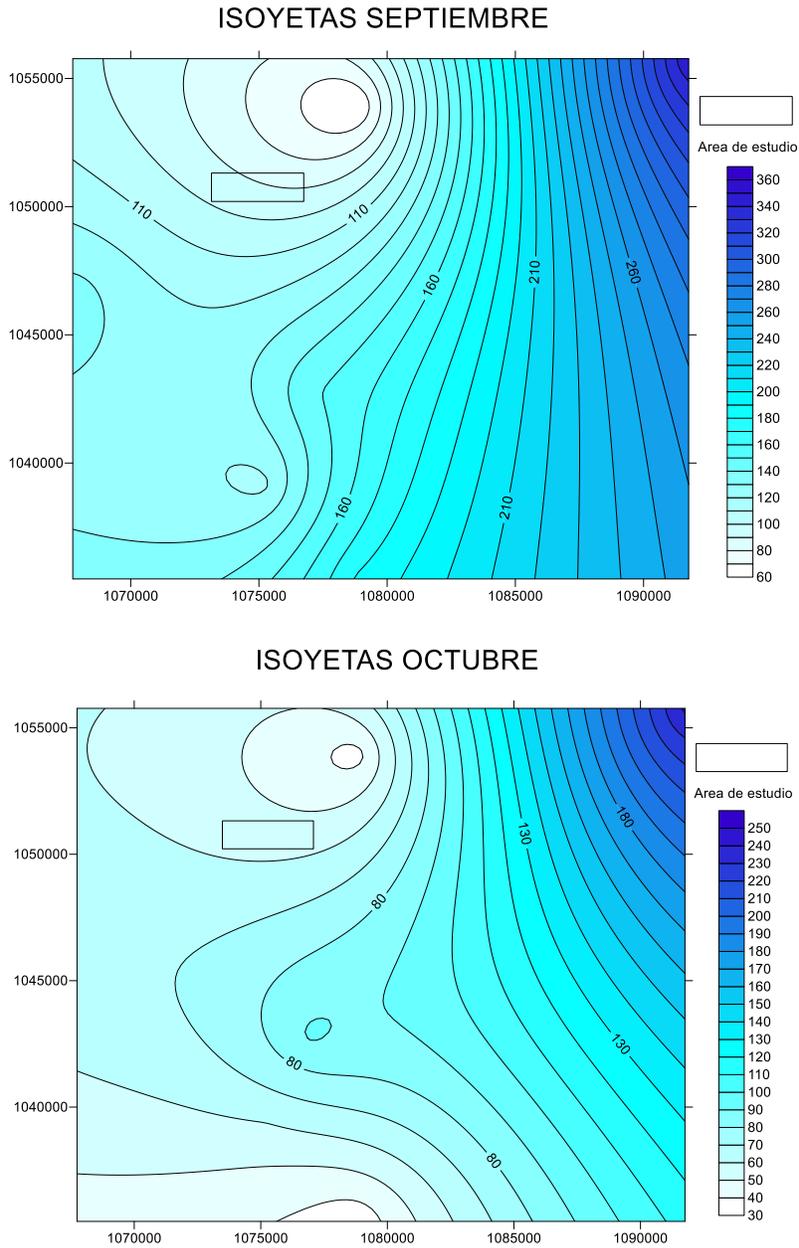


Fuente: Resultado del estudio

El comportamiento de la precipitación para el mes de Julio correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 180 y 220 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Agosto correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 140 y 180 mm.

Figura 8. Isoyetas mes de Septiembre y Octubre

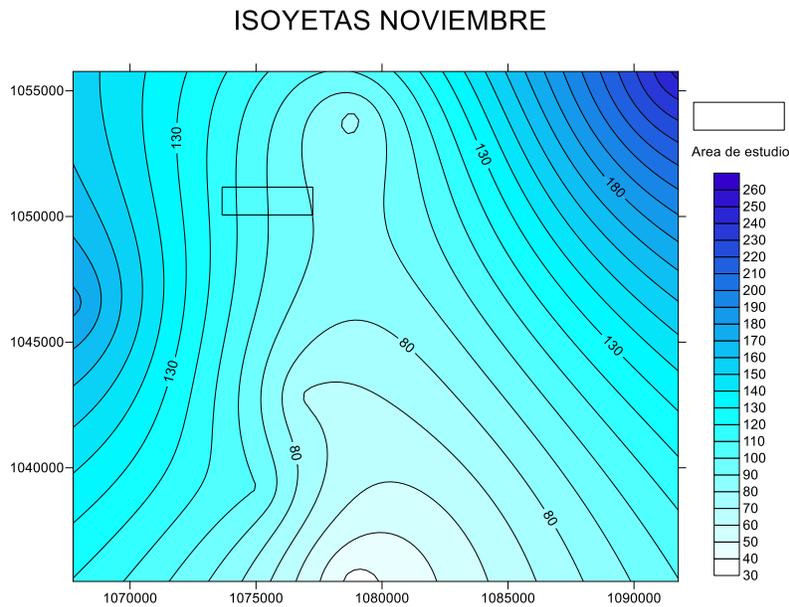


Fuente: Resultado del estudio

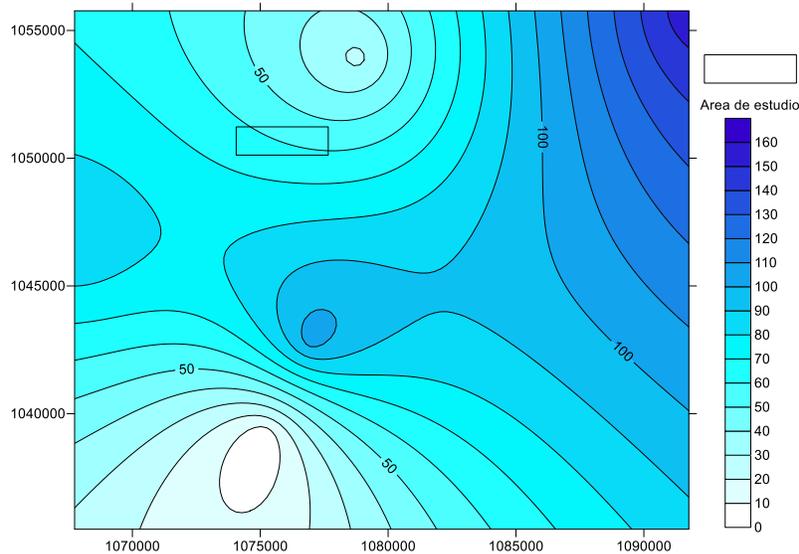
El comportamiento de la precipitación para el mes de Septiembre correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 80 y 110 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Octubre correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 40 y 70 mm.

Figura 9. Isoyetas mes de Noviembre y Diciembre



### ISOYETAS 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 80 y 130 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Diciembre correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 30 y 50 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.

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

Dónde:

ETP: Evapotranspiración

T: Temperatura media del aire en grados Celsius

HR: Humedad relativa media (%)

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

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

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.

Tabla 8. Rangos de temperatura Garagoa.

	Temperatura (°C)
<b>Periodo 1</b>	16
<b>Periodo 2</b>	17
<b>Periodo 3</b>	18

Fuente: Resultado del estudio



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

Tabla 9. Valores de Evapotranspiración

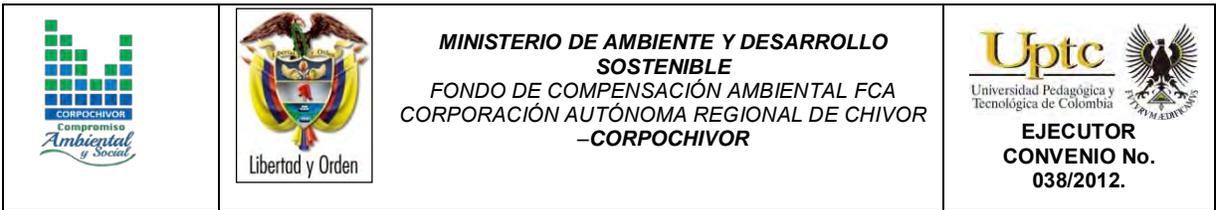
ETP1	ETP2	ETP3
5,090928	5,365074	5,928509

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 escorrentía para cada categoría y microcuenca, que utiliza el número de curva de escorrentía y la precipitación media mensual como variables.
- Se realiza un balance hídrico, con los datos de precipitación, escorrentía, evapotranspiración para encontrar la cantidad de recarga, siguiendo las normas del IDEAM.

Cálculo del balance hídrico.



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

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

**P**= precipitación

**ESC** = escorrentía

**ETR**= evapotranspiración

**ΔS**= cambios en el contenido de humedad del suelo

**REC**= recarga o infiltración potencial

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

$$I = P - ETR - R$$

Dónde:

**P** = precipitación media por el método de las isoyetas.

**ETR** = evapotranspiración real.

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

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

AÑO	P	R	I	ETP
1959	8,708333333	0,602341622	3,46015445	4,645837
1960	63,45833333	18,77801865	40,0344774	4,645837
1961	59,66666667	16,44690519	38,5739242	4,645837
1962	90,41666667	37,46509946	48,30573	4,645837
1963	77,58333333	28,16703425	44,7704618	4,645837
1964	104,8083333	48,54437253	51,6181235	4,645837
1965	112,0833333	54,3549279	53,0825682	4,645837
1966	98,58333333	43,67866107	50,258835	4,645837
1967	210,25	140,4509424	65,1532203	4,645837
1968	252,0833333	179,4428061	67,99469	4,645837
1969	185,3	117,6557132	62,9984496	4,645837
1970	226,8333333	155,8089593	66,3785367	4,645837
1971	237	165,2919273	67,0622355	4,645837
1972	238,25	166,4610762	67,1430865	4,645837
1973	150,5833333	86,78402764	59,1534684	4,645837
1974	121,25	61,84310642	54,7610563	4,645837
1975	184,0833333	116,5553546	62,8821414	4,645837
1976	126,75	66,41481322	55,6893495	4,645837
1977	101,6666667	46,07569129	50,498891	5,09208
1978	105	48,69580769	51,2121079	5,09208
1979	104,3333333	48,16947947	51,0717694	5,09208
1980	95,58333333	41,37240845	49,1188405	5,09208
1981	108,0833333	51,14449684	51,8467521	5,09208
1982	108,25	51,27751834	51,8803972	5,09208
1983	114,4666667	56,28495407	53,0896282	5,09208

Fuente: Resultado del estudio

Tabla 11. Calculo de Infiltración, basado en los valores de escorrentía (R) y precipitación (P).  
Estación Garagoa.

1984	116,3416667	57,81190924	53,437673	5,09208
1985	93,325	39,65414211	48,5787735	5,09208
1986	116,4166667	57,87314072	53,4514415	5,09208
1987	107,6333333	50,78567159	51,7555773	5,09208
1988	102,1416667	46,44727388	50,6023084	5,09208
1989	86,98333333	34,91736372	46,9738852	5,09208
1990	56,41666667	14,52408139	36,8005009	5,09208
1991	130,7416667	69,76616754	55,8834147	5,09208
1992	96,31666667	41,93371096	49,2908713	5,09208
1993	111,45	53,84416472	52,5137509	5,09208
1994	115,4916667	57,11877165	53,2808106	5,09208
1995	110,1333333	52,78522367	51,79627	5,55184
1996	119,575	60,46206598	53,5610944	5,55184
1997	89,65833333	36,89889135	47,2076024	5,55184
1998	129,5166667	68,7348144	55,2300126	5,55184
1999	111,875	54,1868144	52,136346	5,55184
2000	118,725	59,76333881	53,4098216	5,55184
2001	98,48333333	43,60136468	49,330129	5,55184
2002	110,15	52,79860317	51,7995572	5,55184
2003	121,9	62,38048506	53,9676753	5,55184
2004	131,2166667	70,16674513	55,4980819	5,55184
2005	108,5416667	51,51046542	51,4793616	5,55184
2006	129	68,30057179	55,1475886	5,55184
2007	111,3833333	53,79045266	52,041041	5,55184
2008	110,7666667	53,29409367	51,9207334	5,55184
2009	90,225	37,32180959	47,3513508	5,55184
2010	115,6333333	57,23418956	52,8473041	5,55184
2011	152,5583333	88,50670661	58,4997871	5,55184
2012	139,3916667	77,1162686	56,7235584	5,55184

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 12.

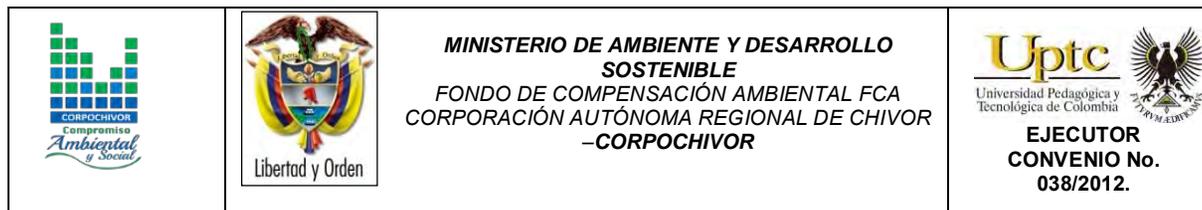


Tabla 12. Estimación del Balance Hídrico

AÑO	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970
PRECIPITACION PROMEDIO	8,708333333	63,45833333	59,66666667	90,41666667	77,58333333	104,8083333	112,0833333	98,58333333	210,25	252,0833333	185,3	226,8333333
ESCORRENTIA	0,602341622	18,77801865	16,44690519	37,46509946	28,16703425	48,54437253	54,3549279	43,67866107	140,4509424	179,4428061	117,6557132	155,8089593
EVAPOTRANSPIRACION	4,645837	4,645837	4,645837	4,645837	4,645837	4,645837	4,645837	4,645837	4,645837	4,645837	4,645837	4,645837
DELTA	3,460154711	40,03447768	38,57392448	48,30573021	44,77046208	51,61812377	53,0825684	50,25883526	65,1532206	67,9946902	62,9984498	66,378537
ALMACENAMIENTO	3,46015471	40,0344777	38,5739245	48,3057302	44,7704621	51,6181238	53,0825684	50,2588353	65,1532206	67,9946902	62,9984498	66,378537
DEFICIT												
RECARGA	3,46015471	40,0344777	38,5739245	48,3057302	44,7704621	51,6181238	53,0825684	50,2588353	65,1532206	67,9946902	62,9984498	66,378537

AÑO	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
PRECIPITACION PROMEDIO	237	238,25	150,5833333	121,25	184,0833333	126,75	101,6666667	105	104,3333333	95,58333333	108,0833333
ESCORRENTIA	165,2919273	166,4610762	86,78402764	61,84310642	116,5553546	66,41481322	46,07569129	48,69580769	48,16947947	41,37240845	51,14449684
EVAPOTRANSPIRACION	4,645837	4,645837	4,645837	4,645837	4,645837	4,645837	5,09208	5,09208	5,09208	5,09208	5,09208
DELTA	67,0622357	67,1430868	59,15346866	54,76105658	62,8821417	55,68934978	50,49889541	51,21211231	51,07177383	49,11884488	51,84675646
ALMACENAMIENTO	67,0622357	67,1430868	59,1534687	54,7610566	62,8821417	55,6893498	50,4988954	51,2121123	51,0717738	49,1188449	51,8467565
DEFICIT											
RECARGA	67,0622357	67,1430868	59,1534687	54,7610566	62,8821417	55,6893498	50,4988954	51,2121123	51,0717738	49,1188449	51,8467565

AÑO	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
PRECIPITACION PROMEDIO	108,25	114,4666667	116,3416667	93,325	116,4166667	107,6333333	102,1416667	86,98333333	56,41666667	130,7416667	96,31666667	111,45
ESCORRENTIA	51,27751834	56,28495407	57,81190924	39,65414211	57,87314072	50,78567159	46,44727388	34,91736372	14,52408139	69,76616754	41,93371096	53,84416472
EVAPOTRANSPIRACION	5,09208	5,09208	5,09208	5,09208	5,09208	5,09208	5,09208	5,09208	5,09208	5,09208	5,09208	5,09208
DELTA	51,88040166	53,08963263	53,43767746	48,57877789	53,45144598	51,75558171	50,60231282	46,97388961	36,80050528	55,88341916	49,29087571	52,51375528
ALMACENAMIENTO	51,8804017	53,0896326	53,4376775	48,5787779	53,451446	51,7555817	50,6023128	46,9738896	36,8005053	55,8834192	49,2908757	52,5137553
DEFICIT												
RECARGA	51,8804017	53,0896326	53,4376775	48,5787779	53,451446	51,7555817	50,6023128	46,9738896	36,8005053	55,8834192	49,2908757	52,5137553

Fuente: Resultado del estudio



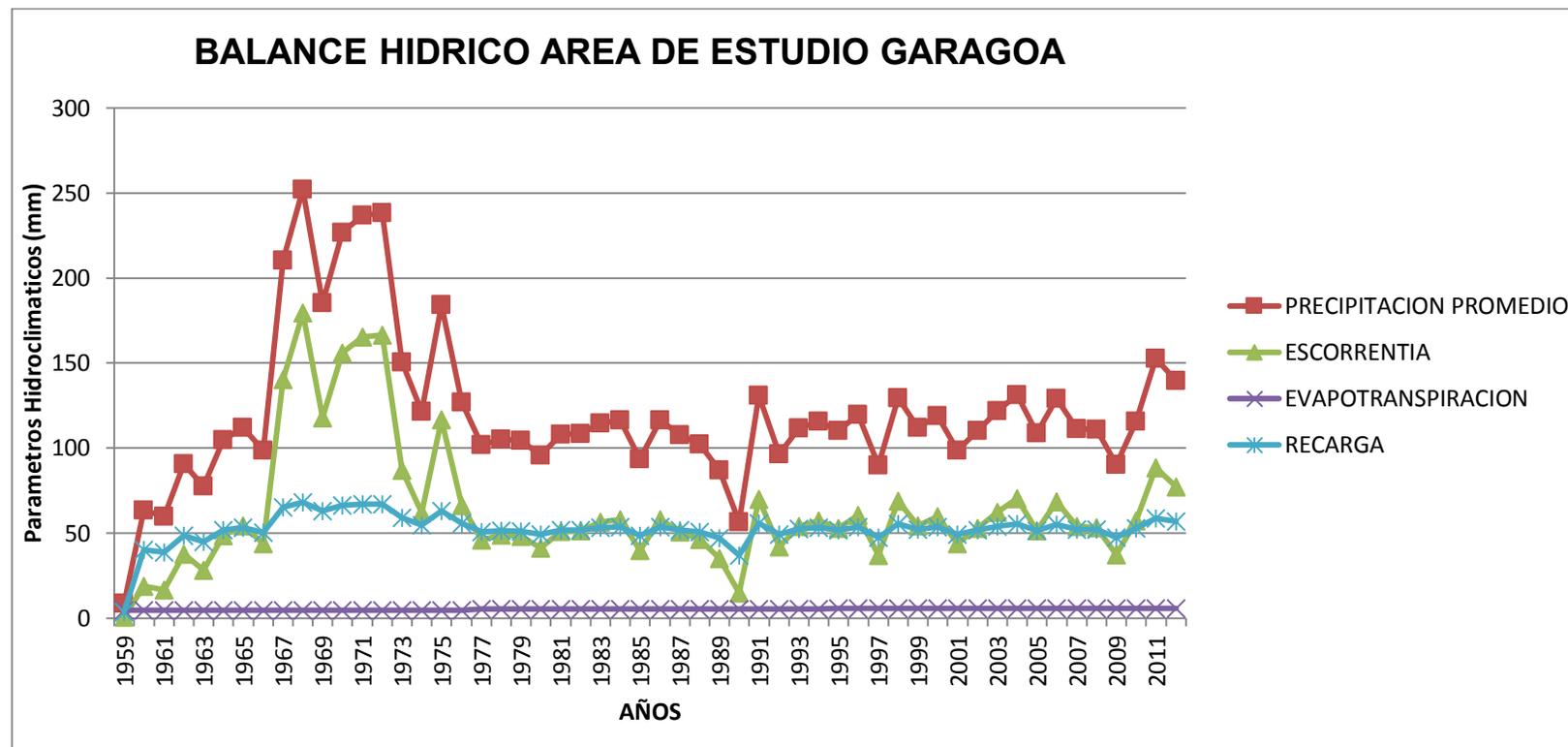
Tabla 13. Estimación del Balance Hídrico

AÑO	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
PRECIPITACION PROMEDIO	115,4916667	110,1333333	119,575	89,65833333	129,5166667	111,875	118,725	98,48333333	110,15	121,9	131,2166667	108,5416667
ESCORRENTIA	57,11877165	52,78522367	60,46206598	36,89889135	68,7348144	54,1868144	59,76333881	43,60136468	52,79860317	62,38048506	70,16674513	51,51046542
EVAPOTRANSPIRACION	5,09208	5,55184	5,55184	5,55184	5,55184	5,55184	5,55184	5,55184	5,55184	5,55184	5,55184	5,55184
DELTA	53,28081505	51,79626963	53,56109402	47,20760198	55,2300123	52,1363456	53,40982119	49,33012865	51,79955683	53,96767494	55,49808157	51,47936128
ALMACENAMIENTO	53,2808151	51,7962696	53,561094	47,207602	55,2300123	52,1363456	53,4098212	49,3301287	51,7995568	53,9676749	55,4980816	51,4793613
DEFICIT												
RECARGA	53,2808151	51,7962696	53,561094	47,207602	55,2300123	52,1363456	53,4098212	49,3301287	51,7995568	53,9676749	55,4980816	51,4793613

AÑO	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
PRECIPITACION PROMEDIO	129	111,3833333	110,7666667	90,225	115,6333333	152,5583333	139,3916667
ESCORRENTIA	68,30057179	53,79045266	53,29409367	37,32180959	57,23418956	88,50670661	77,1162686
EVAPOTRANSPIRACION	5,55184	5,55184	5,55184	5,55184	5,55184	5,55184	5,55184
DELTA	55,14758821	52,04104064	51,92073303	47,35135041	52,84730374	58,49978669	56,7235581
ALMACENAMIENTO	55,1475882	52,0410406	51,920733	47,3513504	52,8473037	58,4997867	56,7235581
DEFICIT							
RECARGA	55,1475882	52,0410406	51,920733	47,3513504	52,8473037	58,4997867	56,7235581

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

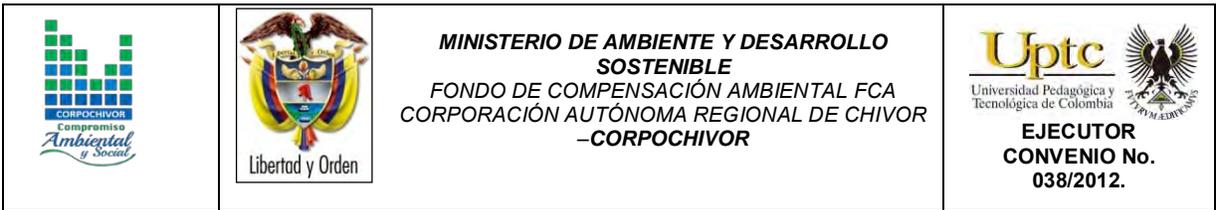
Ajuste de una serie de datos a la distribución Gumbel

Serie de datos X:

N°	X
1	188,0
2	224,0
3	239,0
4	307,0
5	246,0
6	334,0
7	290,0
8	281,0
9	191,0
10	234,0

Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov:

m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom Lineal	Delta
1	188,0	0,0909	0,0421	0,0679	0,0488
2	191,0	0,1818	0,0536	0,0818	0,1283
3	224,0	0,2727	0,2946	0,3212	0,0218
4	234,0	0,3636	0,3914	0,4092	0,0277
5	239,0	0,4545	0,4396	0,4526	0,0149
6	246,0	0,5455	0,5052	0,5115	0,0403
7	281,0	0,6364	0,7630	0,7484	0,1266
8	290,0	0,7273	0,8080	0,7917	0,0807
9	307,0	0,8182	0,8729	0,8560	0,0547
10	334,0	0,9091	0,9356	0,9218	0,0265



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

Como el delta teórico 0,1283, es menor que el delta tabular 0,4301. 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 ( $\mu$ )= 231,5857

Parámetro de escala (alfa)= 37,7922

Con momentos lineales:

Parámetro de posición ( $\mu_l$ )= 229,3059

Parámetro de escala (alfal)= 41,742

-----  
Caudal de diseño:  
-----

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 2 años, es 245,44

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 5 años, es 288,27

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 10 años, es 316,63

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 25 años, es 352,47

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 50 años, es 379,05

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 75 años, es 394,50

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 100 años, es 405,44

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 500 años, es 466,41

## 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

		<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>	
---	---	---	---

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.
- **Coeficiente 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 semioxal 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

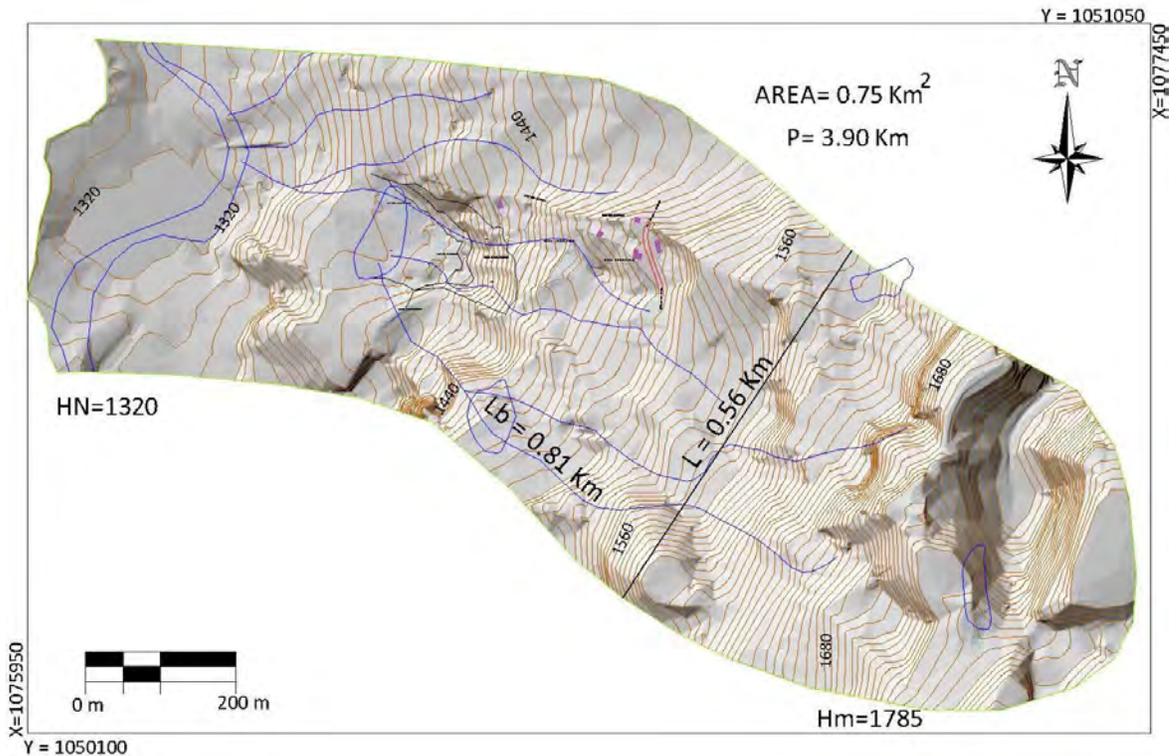
▪ **Tiempo de concentración (TC)** Es el tiempo que gasta una gota de agua en recorrer el sitio más lejano de la cuenca a la desembocadura del cauce principal.

$$Tc = 0.0663 \left( \frac{Lb}{\sqrt{A}} \right)^{0.07}$$

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 14 el resultado de los cálculos morfométricos a la cuenca local de Garagoa analizadas para el presente estudio.

Figura 11. Imagen ilustrativa de la cuenca local Garagoa.



Fuente: Resultado del estudio.

Tabla 14. Valores de parámetros morfométricos para la cuenca local

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	0.75	3.90	0.81	0.56	4.82	1785
Cota Mínima de la Cuenca(Hn)	Diferencia de Altura Km (Hc)	Razón de Relieve (Rr)	Número de Corrientes(Nc)	Frecuencia de Corrientes (Cauces/Km2)	Pendiente media de Corriente lc % (lc)	Índice de Alargamiento (Ia)
1320	0.47	0.58	2.00	2.65	57.69	1.45
COEFICIENTE DE COMPACIDAD (C). FORMA Y SUSCEPTIBILIDAD		COEFICIENTE DE REDONDEZ (K). FORMA Y SUSCEPTIBILIDAD		DENSIDAD DE DRENAJE (Dd)		TIEMPO DE CONCENTRACIÓN en horas (TC)
0.22	SEMI REDONDA	0.22	Irregular	6.39	Densidad Muy Alta	0.07
AMPLITUD DE LA CUENCA (W). TIEMPO DE CONCENTRACIÓN DE ESCORRENTÍA		ELONGACIÓN DE LA CUENCA (RE). FORMA		ÍNDICE DE HOMOGENEIDAD (IH). FORMA		SUSCEPTIBILIDAD
0.93	crítico	1.22	Semiredonda	1.68	RECTANGULAR	3

Fuente: Resultado del estudio

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

## 2.7. USO ACTUAL Y COBERTURA DEL SUELO

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

		<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>
---	---	---	---

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.

### 2.7.1. DESCRIPCIÓN REGIONAL

Fotografía 2. Georeferenciación área de estudio.



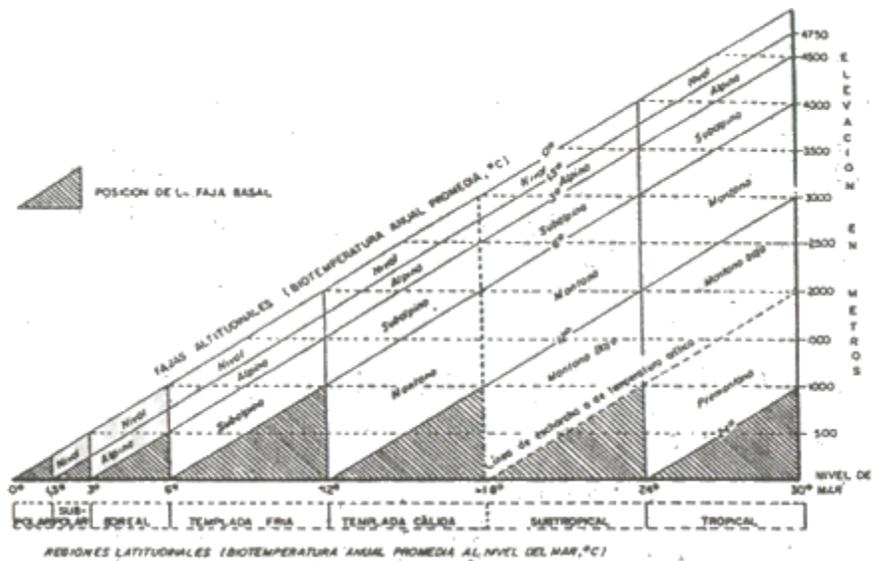
Fuente: Registro Fotográfico.

#### 4.5.1.1. 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 una caracterización vegetal general. Se describe la estructura de las zonas de vida (primer nivel del sistema), refiriéndose para 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 la zona de estudio del municipio existe la siguiente unidad bioclimática:



## BOSQUE SECUNDARIO Y RASTROJO (Bmp)

La vegetación de esta unidad presenta un alto grado de intervención y se encuentra distribuido en la mayor parte del territorio municipal y se encuentra ubicada en la rivera de los ríos, y bordeando relictos de vegetación nativa. Corresponden a un estadio posterior del bosque primario y se encuentran como testigos de la invasión de la frontera agrícola.

### 2.7.2. COBERTURA Y USO DE SUELO PARA EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL ESTUDIO

Dentro del programa CORINE (Coordination of information on the environment) promovido por la Comisión de la Comunidad Europea fue desarrollado el proyecto de cobertura de la tierra “CORINE Land Cover” 1990 (CLC90), el cual definió una metodología específica para realizar el inventario de la cobertura de la tierra. Actualmente, su base de datos constituye un soporte para la toma de decisiones en políticas relacionadas con el medio ambiente y el ordenamiento territorial, aceptada por la Unión Europea. Hoy en día se aplica sobre la totalidad del territorio europeo a través del proyecto CLC2000.

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



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

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

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



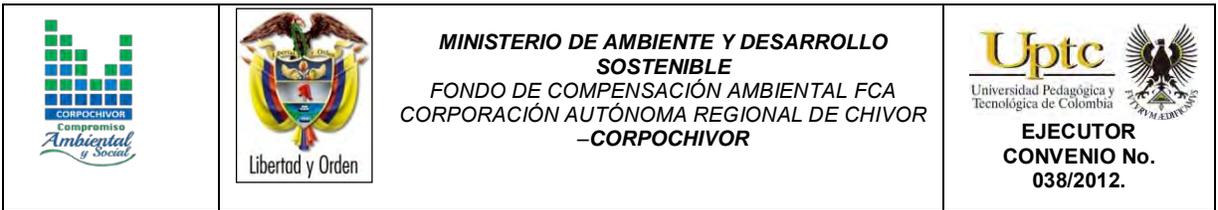
Los productos del proyecto, representados en el mapa de las coberturas vegetales y usos de suelos de la zona de estudio, en la metodología y en leyenda adaptadas al territorio colombiano y en este caso para la jurisdicción de Corpochivor, proveerán las características temáticas y cartográficas que la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

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

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

#### **4.5.1.2. 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.
- 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:

		<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>
---	---	---	---

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

#### **4.5.1.3. 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



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>	
---	---	---	---

## 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 conexas y las instalaciones asociadas tales como: estaciones de servicios, andenes, terraplenes y áreas verdes.

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



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>	
---	---	---	---

## 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.

## CULTIVOS PERMANENTES HERBÁCEOS

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.

## PLATANO

Cobertura predominantemente compuesta por cultivo de banano *Musa sapientum* L.J, planta herbácea perene gigante de la familia Musácea, 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.

		<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>	
---	---	---	---

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.

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,

		<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>	
---	---	---	---

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 5. *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 6. Cultivos agroforestales



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>	 <p style="text-align: center;"><b>EJECUTOR CONVENIO No. 038/2012.</b></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, enclamiento 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 7. 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 8. Pastos enmalezados.



Fuente: Registro Fotográfico.

### PASTOS ARBOLADOS

Cobertura que incluye las tierras cubiertas con pastos, en las cuales se han estructurado potreros con presencia de árboles de altura superior a cinco metros, distribuidos en forma dispersa. La cobertura de árboles debe ser mayor a 30% y menor a 50% del área total de la unidad de pastos.

Fotografía 9. Pastos arbolados



Fuente: Registro Fotográfico.

## 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.

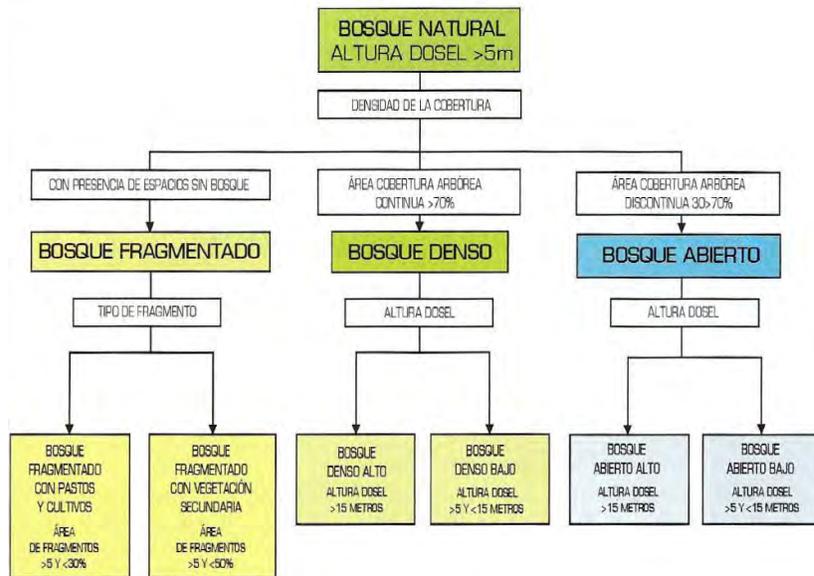
Para efectos de la caracterización de la densidad se definió como el porcentaje de cobertura de la copa. Por su parte, la cobertura de la copa, en este documento, corresponde al porcentaje del suelo o del terreno ocupado por la proyección perpendicular de la vegetación en su conjunto, o por uno de sus 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.

### 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.

		<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>
---	---	---	---

## 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

## PLANTACIÓN FORESTAL

Son coberturas constituidas por plantaciones de vegetación arbórea, realizada por la intervención directa del hombre con fines de manejo forestal. En este proceso se constituyen rodales forestales, establecidos mediante la plantación y/o la siembra durante el proceso de forestación o reforestación, para la producción de madera (plantaciones comerciales) o de bienes y servicios ambientales (plantaciones protectoras).



Esta cobertura presenta en la imagen de satélite un patrón geométrico regular, constituido por las hileras de árboles generalmente de la misma edad. Para su identificación se requiere del apoyo de información secundaria como fotografías aéreas, mapas temáticos y control de campo.

### CUPRESSACEAE

Son árboles o arbustos resinosos, con hojas simples, aciculares o en forma de escama, enteras, que se sitúan en disposición opuesta o en verticilios, por 3 ó 4 y habitualmente perennes. Las cupresáceas no tienen verdaderas flores y sus órganos reproductores pueden ser monoicos (en la misma planta los dos sexos) o dioicos (en distinta planta).

La polinización es anemófila. Producen conos masculinos y femeninos, con escamas enfrentadas o en verticilios, que pueden ir en la misma planta o en plantas de distinto sexo. Los conos masculinos están constituidos por diversos verticilios de estambres, cada uno de éstos tiene forma de escama y lleva en el envés de 3 a 7 sacos polínicos; las escamas tienen, a veces, forma de parasol y otras veces son casi planas y más o menos triangulares. Los conos femeninos suelen ser globosos u ovoides y tienen, por lo general, las dos brácteas soldadas en una sola, indiferenciadas; hay generalmente de 2 a 15 rudimentos seminales por escama. La mayoría de los géneros producen fructificaciones leñosas a modo de piñas esféricas (gálbulos leñosos), las inflorescencias femeninas del género *Juniperus*, en cambio, dan lugar a una estructura carnosa denominada gábullo carnoso, originada por la concrecencia de las tres hojas escumiformes superiores.

Los géneros más importantes son Cupressus (cipreses), Juniperus (enebros y sabinas), Chamaecyparis (cedro blanco de Oregón), Calocedrus (cedro blanco de California) y Thuja (árbol de la vida).

Fotografía 11. CUPRESSACEAE



Fuente: Registro Fotográfico

## MYRTACEAE

Esta es una familia en donde sus miembros son plantas dicotiledóneas. Entre sus características generales podemos decir que todas las especies son arboladas, presentan aceites esenciales, y la flor casi siempre presenta sus verticilos en múltiplos de cuatro o cinco. Una característica representativa de esta familia es que liber está situado en ambos lados del xilema exterior, difiriendo con el resto de las plantas.

		<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>
---	---	---	---

Estos árboles presentan hojas perenes, alternas y normalmente con el margen de sus hojas no dentado, estípulas efímeras o ausentes, con puntuaciones glandulares, aromáticas.

En muchas ocasiones podemos observar un tallo tipo exfoliativo o de textura áspera, aunque no siempre se cumple con esta característica. Poseen un fruto por lo general capsular como por ejemplo en los siguientes ejemplares: *Eucalipto*, *Corymbia*, *Angophora*, *Leptospermum*, *Melaleuca*, *Metrosideros*. Aunque también se pueden presentar en forma de baya, capsula o drupa.

Fotografía 12. Eucaliptos presentes en la zona de estudio



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>
---	---	---	---

## 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 13. Arbustal Abierto Mesofilo

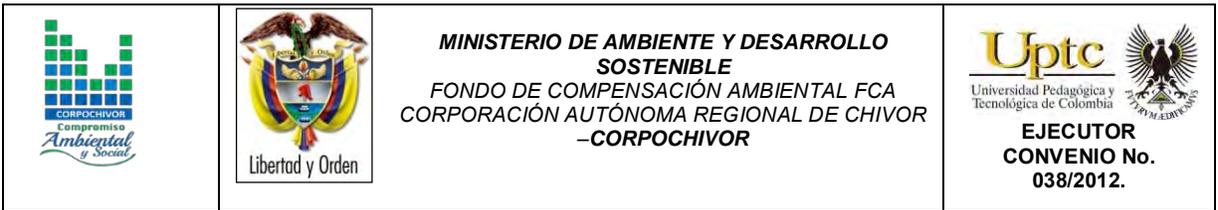


Fuente: Registro Fotográfico

## 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.

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 14. Herbazal



Fuente: Registro Fotográfico

### ÁREAS ABIERTAS, SIN O CON POCA VEGETACIÓN

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

#### ZONAS ARENOSAS NATURALES

Son terrenos bajos y planos constituidos principalmente por suelos arenosos y pedregosos, generalmente desprovistos de vegetación o cubiertos por una vegetación de matorral ralo y bajo. Se encuentran principalmente conformando playas litorales, playas de ríos, bancos de arena de los ríos y campos de dunas.

Fotografía 15. Zonas arenosas



Fuente: Registro Fotográfico

## AGUAS CONTINENTALES

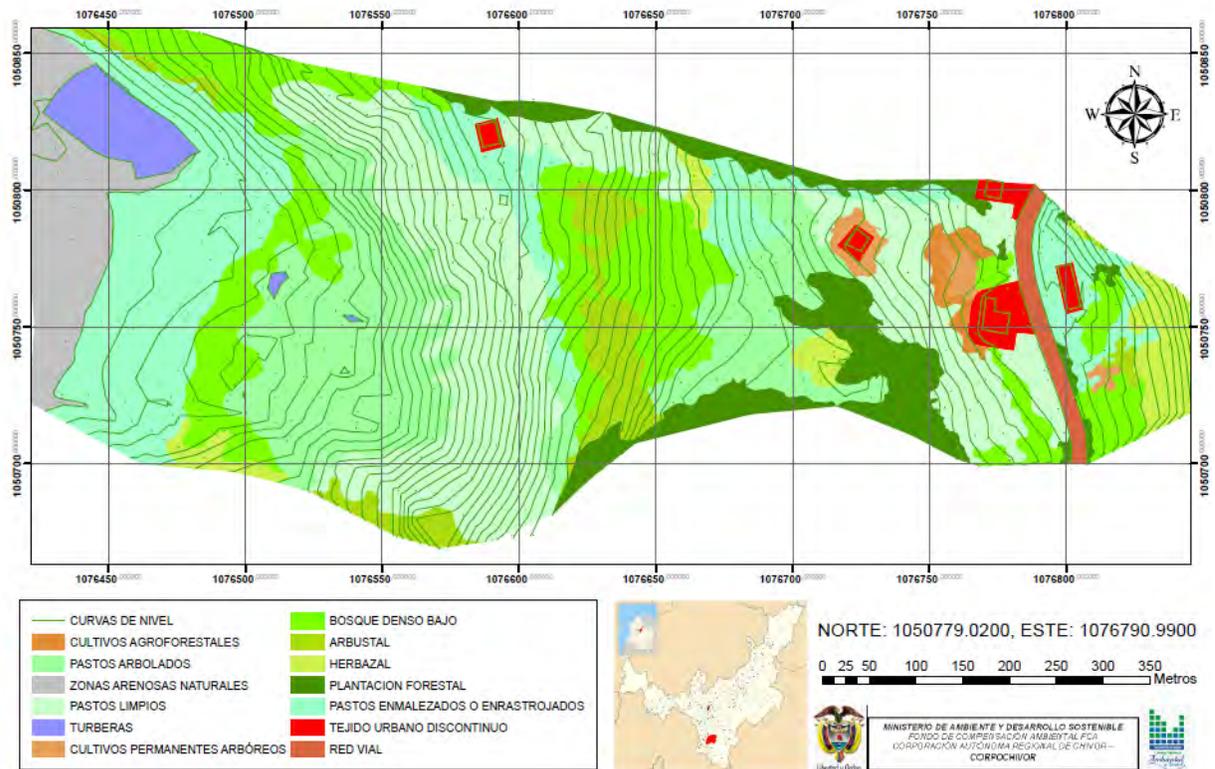
Son cuerpos de aguas permanentes, intermitentes y estacionales que comprenden lagos, lagunas, ciénagas, depósitos y estanques naturales o artificiales de agua dulce (no salina), embalses y cuerpos de agua en movimiento, como los ríos y canales.

## TURBERAS

Son terrenos bajos de tipo pantanoso, de textura esponjosa, cuyo suelo está compuesto principalmente por musgos y materias vegetales descompuestas.

### 2.7.3. ÁREAS Y PORCENTAJES DE LAS COBERTURAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Figura 14. Mapa cobertura vegetal y uso de suelo



Fuente: Resultado del estudio

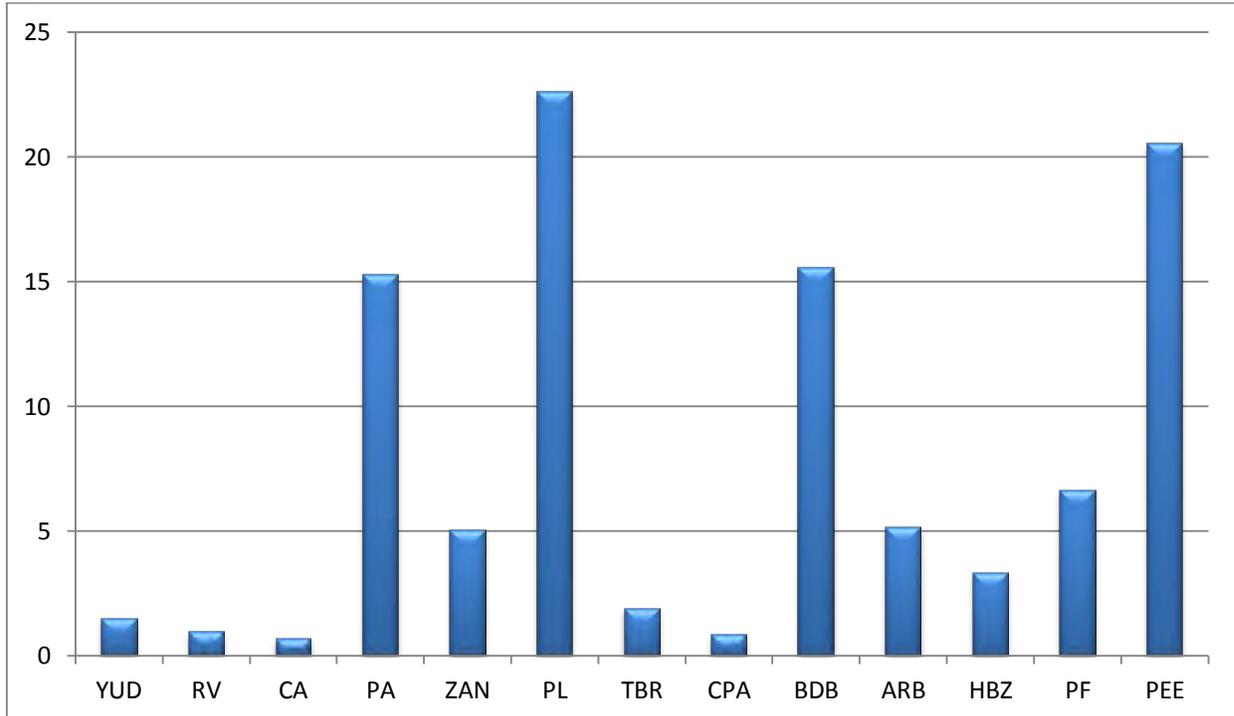
		<p style="text-align: center;"><b>MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE</b> FONDO DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL FCA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR –CORPOCHIVOR</p>	 <p style="text-align: center;"><b>EJECUTOR CONVENIO No. 038/2012.</b></p>
---	---	---	---

Tabla 15. AREAS METRICAS DE LAS COBERTURAS

COBERTURA	ÁREA m2
TEJIDO URBANO DISCONTINUO (TUD)	957
RED VIAL (RV)	631
CULTIVOS AGROFORESTALES (CA)	443
PASTOS ARBOLADOS (PA)	9858
ZONAS ARENOSAS NATURALES (ZAN)	3251
PASTOS LIMPIOS (PL)	14594
TUEBERAS (TRB)	1226
CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS (CPA)	546
BOSQUE DENSO BAJO (BDB)	10055
ARBUSTAL (ARB)	3309
HERBAZAL (HBZ)	2144
PLANTACION FORESTAL (PF)	4268
PASTOS ENMALEZADOS O ENRASTROJADOS (PEE)	13263

Fuente: Resultado del estudio

Figura 15. Porcentaje áreas de coberturas.



Fuente: Resultado del estudio

#### 2.7.4. 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.

		<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>
---	---	---	---

Tabla 16. Unidades de cobertura vegetal.

FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
<i>Ericaceae</i>	<i>Macleania rupestris</i>	Uva camaronera
<i>Moraceae</i>	<i>Ficus sp</i>	Higuerón
<i>Miricaceae</i>	<i>Myrica pubescens Humb. &amp; Bonpl. ex Willdenow</i>	Laurel
<i>Musáceae</i>	<i>Musa sapientum L.J</i>	Plátano
<i>Aracaceae</i>	<i>Archontophoenix cunninghamiana</i>	Palma rey
<i>Agaváceae</i>	<i>Furcraea bedinghausii</i>	Maguey
<i>Pteridofitaceae</i>	<i>Lophosaria quadripinnata</i>	Helecho paragua
<i>Cononiaceae</i>	<i>Weinmannia tomentosa L.F</i>	Encenillo
<i>Cyatheaceae</i>	<i>Cyathea medullaris</i>	Helecho
<i>Poaceae</i>	<i>Zea Mays</i>	Maíz
<i>Myrsinaceae</i>	<i>Myrsine guianensis</i>	Cucharó
<i>Myrtaceae</i>	<i>Psidium guajava</i>	Guayaba
<i>Asteráceae</i>	<i>Archibaccharis serratifolia (Kunth) S. F. Blake</i>	
<i>Bromeliaceae</i>	<i>Racinaetha tetrantha (ruiz &amp; Pav) M.A. Spencer &amp; L.B. Sm.</i>	Bromelia, quinche
<i>Asteráceae</i>	<i>Eupatorium arsenei</i>	
<i>Poaceae</i>	<i>Chusquea scandens kumth</i>	Chusque, carrizo
<i>Melastomataceae</i>	<i>Miconia ligustrina</i>	Tuno
<i>Melastomataceae</i>	<i>Miconia sp</i>	Tuno
<i>Mimosaceae</i>	<i>Albizzia Lophanta</i>	Acacia
<i>Asteraceae</i>	<i>Euphrosyne partheniifolia</i>	

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

		<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</b> <b>CONVENIO No.</b> <b>038/2012.</b>
---	---	--	---

<i>Melastomataceae</i>	<i>Heterocentron axillare</i> Naudin	Caña agria
<i>Fabaceae</i>	<i>Erythrina rubrinervia</i> Kunth	Chocho
<i>Poaceae</i>	<i>Pennisetum clandestinum</i>	Pasto
<i>Rosaceae</i>	<i>Polylepis quadrifuga</i>	Colorado
<i>Papilionáceae</i>	<i>Vinga trilobata</i>	Vinga
<i>Myrtaceae</i>	<i>Eucalyptus pellita</i>	Eucalipto
<i>Poaceae</i>	<i>Axonopus scoparius</i>	Imperial
<i>Verbenáceae</i>	<i>Duranta mutissii</i>	Espino
<i>Moráceae</i>	<i>Ficus soatensis</i>	Caucho sabanero
<i>Clusiaceae</i>	<i>Clusia multiflora</i> Kunth	Gaque
<i>Asteraceae</i>	<i>Bidens</i> sp.	Bernada
<i>Cupresáceas</i>	<i>Cupressus sempervirens</i> L.	Ciprés
<i>Asteraceae</i>	<i>Chromolaena scabra</i> (L. f.) R.M. King & H. Rob.	
<i>Asteráceae</i>	<i>Taraxacum officinale</i>	Diente de león
<i>Cupresáceas</i>	<i>Pinus halepensis</i>	pino de piña
<i>Dennstaedtiaceae</i>	<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn	Helecho marranero
<i>Poaceae</i>	<i>Andropogon rufus</i> (Nees) Kunth	
<i>Fabáceae</i>	<i>Acacia decurrens</i>	Acacia Blanca
<i>Melastomataceae</i>	<i>Miconia squamulosa</i> Triana	Tuno
<i>Musáceae</i>	<i>Musa sapientum</i> L.J	Maduro
<i>Myrtaceae</i>	<i>Eucalyptus grandis</i>	Eucalipto
<i>Poaceae</i>	<i>Holcus lanatus</i> L.	Pasto
<i>Myrtaceae</i>	<i>Eucalyptus globulus</i>	Eucalipto
<i>Poaceae</i>	<i>Pennisetum setaceum</i>	Catalán

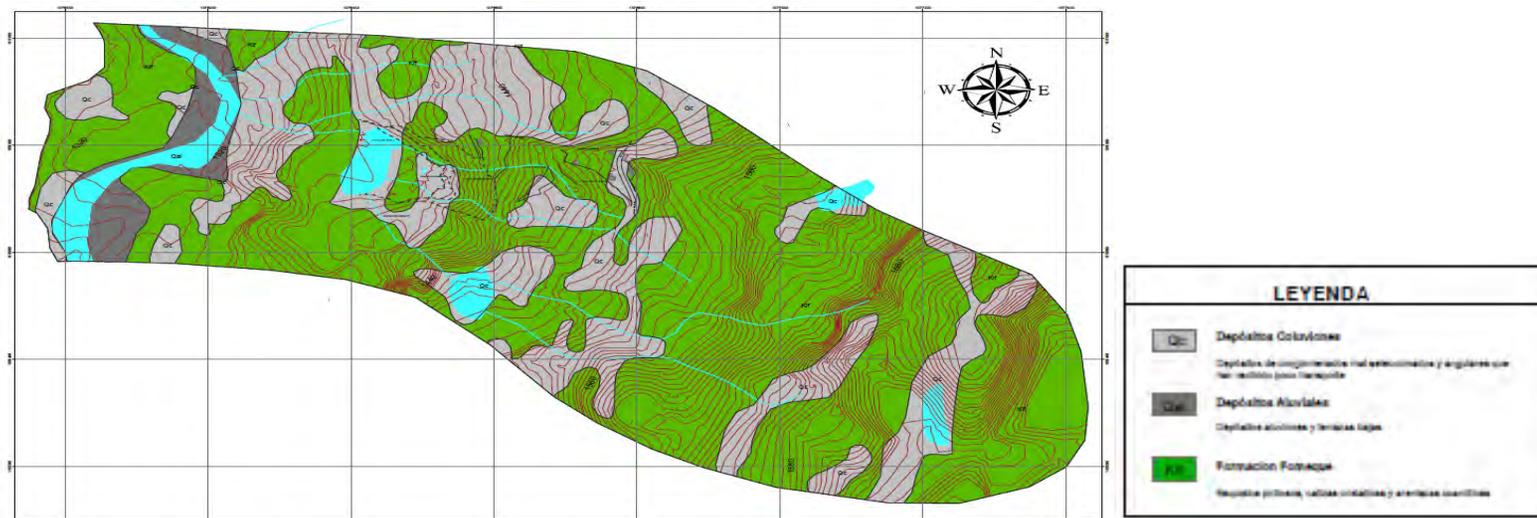
Fuente: trabajo en campo.

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

### 3 GEOLOGIA

En el área del municipio de Garagoa, afloran tres Formaciones que pertenecen al Cretáceo Inferior; Formación Areniscas de las Juntas (Kiaj), Formación Fómeque (Kif) y la Formación Une (Kiu); además se encuentran extensas áreas cubiertas por depósitos cuaternarios; estas unidades litoestratigráficas tienen las siguientes características.

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>
---	---	---	---

### 3.1. GEOLOGÍA HISTÓRICA

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

### 3.2. GEOLOGIA LOCAL.

#### 3.2.1. Formación Fómeque (Kif).

Se ubica al suroriente del casco urbano, veredas como Bancos, Aradas, Caracol, Fumbaque, Resguardos, Quiguas, Guarumal, parte de Valbanera y Tablon, Guanica Grande y Senda en la parte infercliior de los flancos del Sinclinal de Mamapacha y en los flancos del Anticlinal de Garagoa, al sur del área urbana, La Formación Fomeque se encuentra plegada dando lugar a unos pliegues secuenciales de anticlinales y sinclinales, con dirección predominante NE buzamiento hacia el NW y SE.

		<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 Formación Fόμεque está constituida a la base por lutitas grises oscuras a negras intercaladas con margas, limolitas grises y lentejones de calizas grises oscuras a negras; la parte superior está compuesta por una alternancia en paquetes hasta de tres metros de espesor de areniscas conglomeráticas, areniscas cuarzosas y niveles arenosos intercalados con lutitas y arcillolitas negras con algunos niveles oolíticos.

La Formación Fomeque tiene un espesor aproximado de 800 metros para el sector, el contacto inferior es concordante con la Formación Areniscas de las Juntas (Kiaj) y el superior es concordante con la Formación Une (Kiu); la edad calculada para esta Formación es Barremiano – Albiano.

### **3.2.2. Depósitos Cuaternarios.**

El municipio de Garagoa se caracteriza por presentar terrenos quebrados, con predominio de pendientes entre 12% -25%, con valles angostos, profundos y rocas generalmente cuarzosas de las Formaciones Une (Kiu) y Arenisca de las Juntas (Kiaj).

Estos depósitos se originan a partir de procesos de meteorización, erosión, y transporte, son producto de la morfodinamica local; están compuestos por materiales heterogéneos provenientes de las rocas que constituyen las Formaciones adyacentes, por lo tanto predominan ellos, bloques y cantos de areniscas inmersos en una matriz arcillosa que se caracteriza por la presencia de fragmentos de arcillolita y lutita en proceso de desintegración.

		<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 gran mayoría de los depósitos son tipo de coluvial; en los sectores bajos de los cauces, la actividad aluvial ha ejercido influencia en el origen de los depósitos, principalmente por que dichos cauces se caracterizan por vencer altas pendientes en tramos longitudinales en tramos longitudinales relativamente cortos, con lo cual alcanzan características fluviotorrenciales que transportan y depositan materiales tanto de las Formaciones antiguas como de los mismos depósitos localizados aguas arriba; la diferenciación de las zonas de origen mixto (coluvial y aluvial), es compleja. Igualmente es muy probable que la actividad glaciárica haya incidido en el origen de los depósitos localizados en los sectores topográficamente altos del municipio, por lo tanto algunos de los cuaternarios podrían clasificarse como glaciáricos y/o fluvio-glaciáricos, pueden ser utilizados como fuente de materiales pétreos.

### **3.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL**

El territorio del municipio se caracteriza por la ausencia de fallas regionales y locales, las Formaciones presentan continuidad y el sistema de fallas se encuentra ubicado al sur y sureste en los alrededores del municipio de Santa María.

#### **3.3.1. Estructuras Plegadas.**

##### **4.5.1.4. Anticlinal de Garagoa.**

Estructura regional, simétrica, su eje tiene una dirección N30°E, su buzamiento promedio es de 35° al SE en el flanco oriental y 35° al NW en el flanco occidental, en el núcleo afloran rocas de la Formación Areniscas de las Juntas (Kiaj) y sus flancos están compuestos por rocas de la Formación Fómeque, al sur del municipio el anticlinal es un pliegue continuo y al norte su seno se encuentra erosionado.

		<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>
---	---	---	---

#### **4.5.1.5. Anticlinal de Garagoa.**

Es una estructura local, simétrica, secuencial al anticlinal del mismo nombre, su eje tiene una dirección sur – norte, se aprieta y cierra al norte del municipio; en el flanco oriental las rocas buzanan al NW y en occidental al SE; es un pliegue en rocas de la Formación Fómeque y sus evidencias se observan en el sector de las Juntas en el margen de la carretera a Santa María y al sur, en alrededores de la zona urbana.

#### **4.5.1.6. Anticlinal de Ribatoque.**

Estructura local, simétrica, su eje tiene una dirección NE, es secuencial al Sinclinal de Garagoa, se presenta en rocas de la Formación Fómeque y su seno se encuentra excavado.

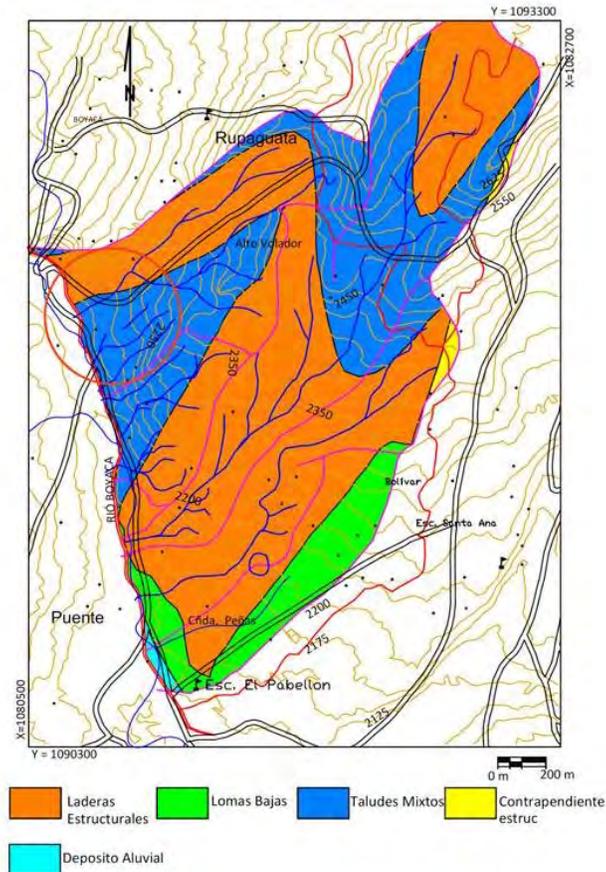
#### **4.5.1.7. Sinclinal de Quigua.**

Estructura local, simétrica, su eje tiene una dirección NE, hace parte del replegamiento en rocas de la Formación Fómeque (Kif), cierra y termina al noreste del municipio en rocas de la Formación Une (Kiu)

#### 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 Garagoa, 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 geomorfológico del área de estudio y las fichas de los Inventarios de los procesos.

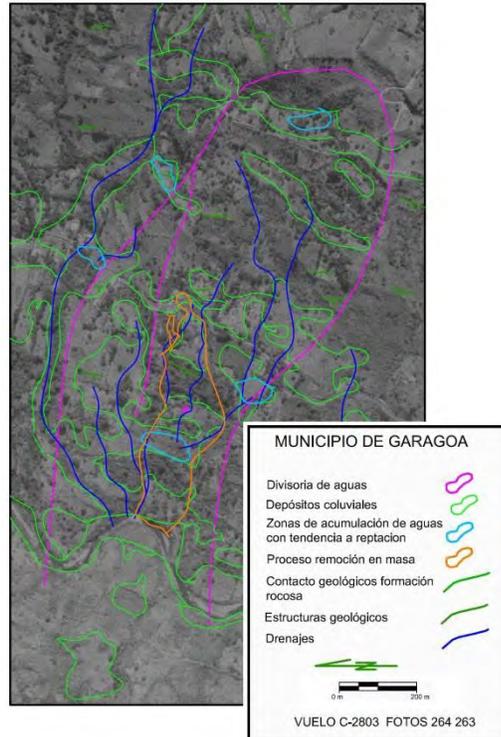
#### 4.2 ANÁLISIS FOTOGEOLÓGICO

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

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

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

Figura 18. Fotografías pertenecientes al vuelo 2803- 264,263 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 Desprendimientos

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.

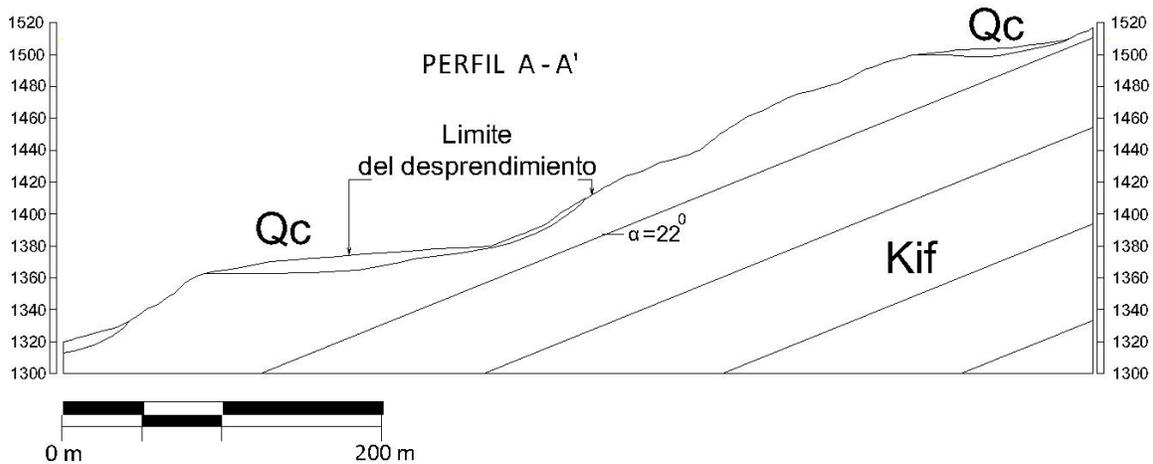
Figura 19. Esquema del Proceso de Desprendimiento



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 20. Esquema del movimiento, perfil desprendimiento

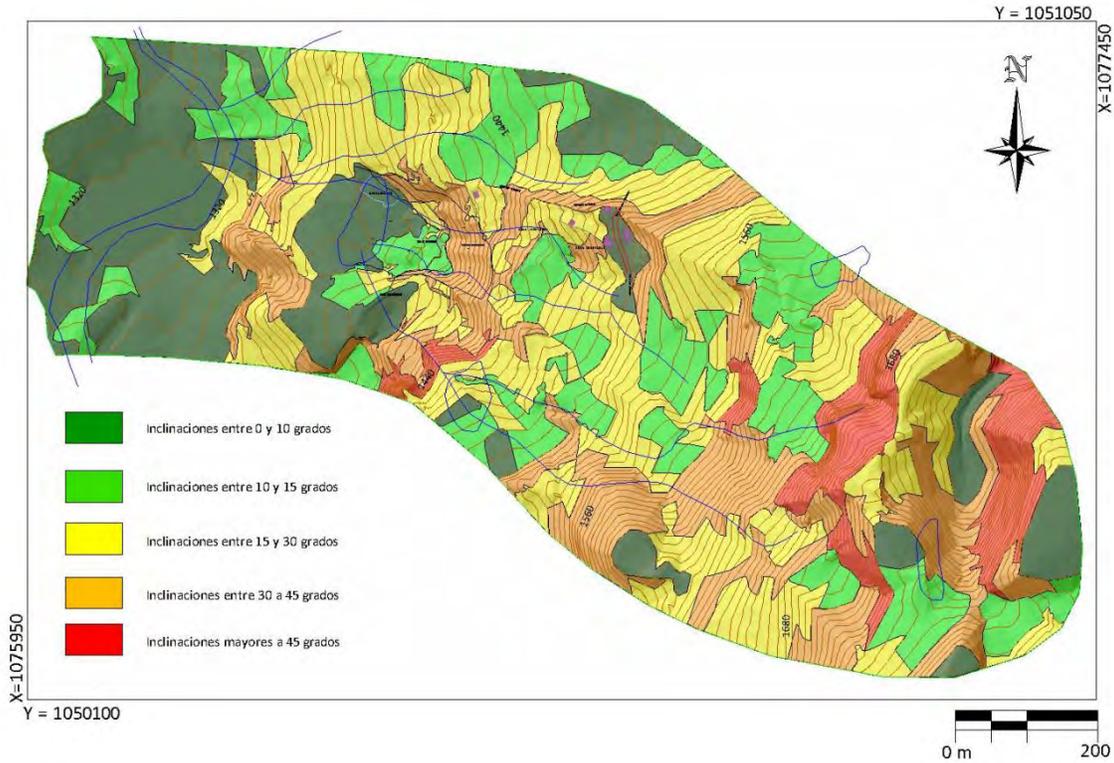


Fuente: Resultado del estudio

#### 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 21.

Figura 21. Imagen del Mapa de inclinación de las pendientes.



Fuente: Resultado del estudio.

Tabla 17. Clasificación de las pendientes.

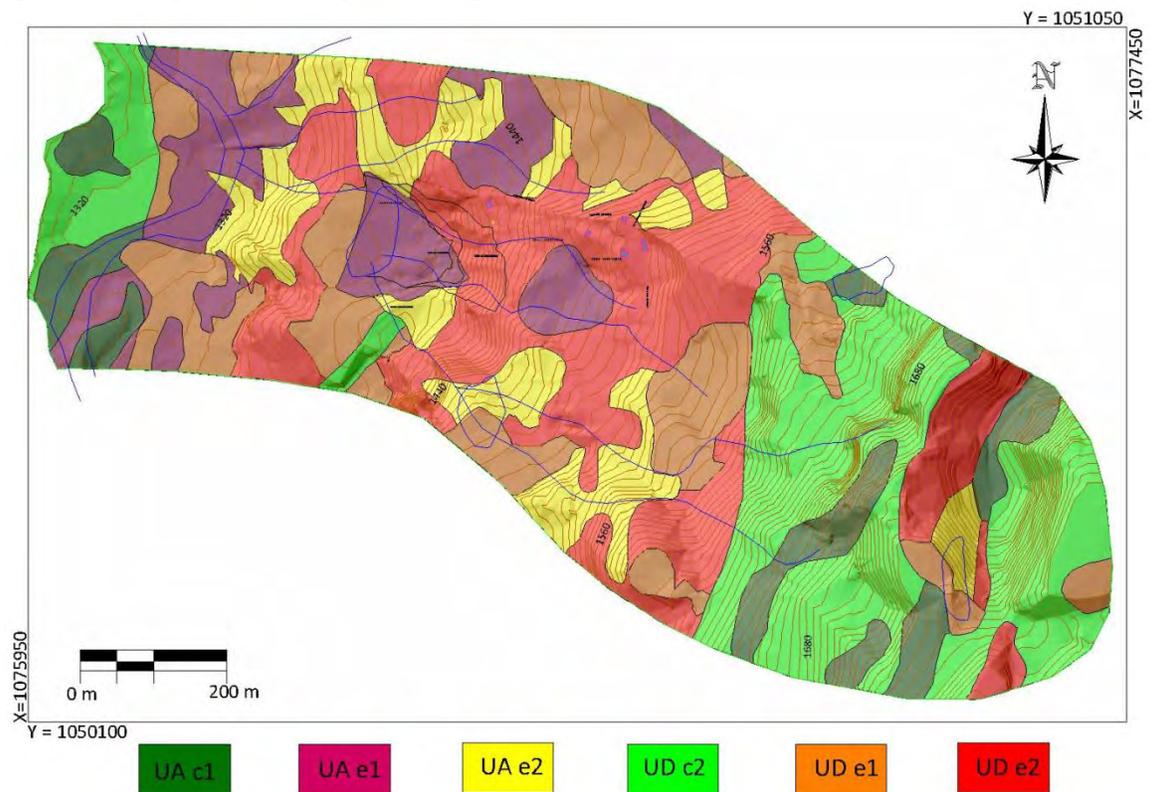
CLASIFICACIÓN DE LAS PENDIENTES	
UNIDAD CARTOGRÁFICA	GRADOS
Suavemente inclinada	0-10
Inclinada	10 15
Abrupta	15-30
Escarpada	30 - 45
Muy Escarpada	> 45

Fuente: Resultado del estudio.

#### 4.5 UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

Teniendo en cuenta, las necesidades de los análisis de estabilidad y amenaza por fenómenos de remoción en masa y la relación de estas con los procesos de inestabilidad, se delimitaron seis (6) unidades geomorfológicas de carácter local denominadas como:

Figura 22. Imagen del Mapa geomorfológico.



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>
---	---	---	---

#### 4.5.1 Geformas de Origen Denudacional.

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

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

Dicha unidad está compuesta por depósitos coluviales y aluviales, los cuales yacen sobre estratificaciones en contra a la dirección de las pendientes presenta un área de 5.94 ha.

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

Dicha unidad está compuesta por depósitos coluviales y aluviales, los cuales yacen sobre estratificaciones en contra a la dirección de las pendientes presenta un área de 10.33 ha, de las cuales el 11.18 % presenta inestabilidad.

##### 4.5.1.3. 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 10.74 ha, de las cuales el 0.72 % presenta inestabilidad.

##### 4.5.1.4. Unidad degradacional con inclinaciones mayores a 30 grados en ladera en contra pendiente (UD c2)

Dicha unidad está compuesta por formaciones rocosas, cuyas estratificaciones se encuentran en contra a la dirección de las pendientes, presenta un área de 19.1 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>	
---	---	---	---

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

Dicha unidad está compuesta por formaciones rocosas, los cuales yacen sobre estratificaciones en contra a la dirección de las pendientes presenta un área de 11.93 ha, de las cuales el 3.09 % presenta inestabilidad.

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

Dicha unidad está compuesta por formaciones rocosas, cuyas estratificaciones se encuentran en contra a la dirección de las pendientes, presenta un área de 17.32 ha, de las cuales el 5.06 % presenta inestabilidad.

A continuación describimos en la Tabla 18, la descripción y análisis de las unidades geomorfológicas

Tabla 18. Descripción geomorfológica.

ORIGEN	ESTRUCTURA	MORFOMETRIA	MORFODINAMICA	SÍMBOLO
Unidad agradacional	ladera en contra pendiente	con inclinaciones entre 0 y 30 grados		UA c1
	ladera estructural	con inclinaciones entre 0 y 30 grados		UA e1
		con inclinaciones mayores a 30 grados		UA e2
Unidad degradacional	ladera en contra pendiente	con inclinaciones mayores a 30 grados		UD c2
	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.

**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.

		<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>
---	---	---	---

#### 4.6.1 Algunas Formas de Erosión

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

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

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 23).

Figura 23. 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 Garagoa, analizar la presencia de posibles acuíferos, con el fin de conocer las condiciones que influyen en el deslizamiento.

### 5.1 Unidades Hidrogeológicas.

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

#### 5.1.1 Acuífero.

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

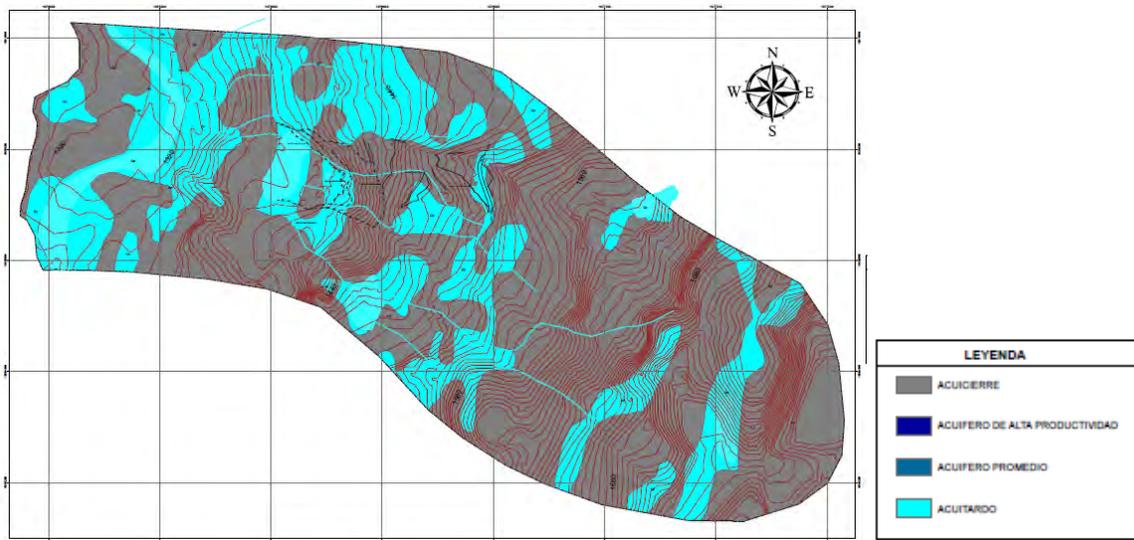
#### 5.1.2 Acuitardo.

Son aquellas rocas que almacenan una gran cantidad de agua pero la transmiten muy lentamente, siendo aptas solo para bajas captaciones, entre ellas están los materiales arcillo-arenosos. Se consideran como sinónimos de Acuicierre, ya que con el tiempo los espacios intergranulares tienden a sellarse formando estratos permeables que aunque pueden contener grandes cantidades de agua no permiten su flujo a través de sus poros.

### 5.1.3 Acuicierres.

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

Figura 24. 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 Fómeque (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)

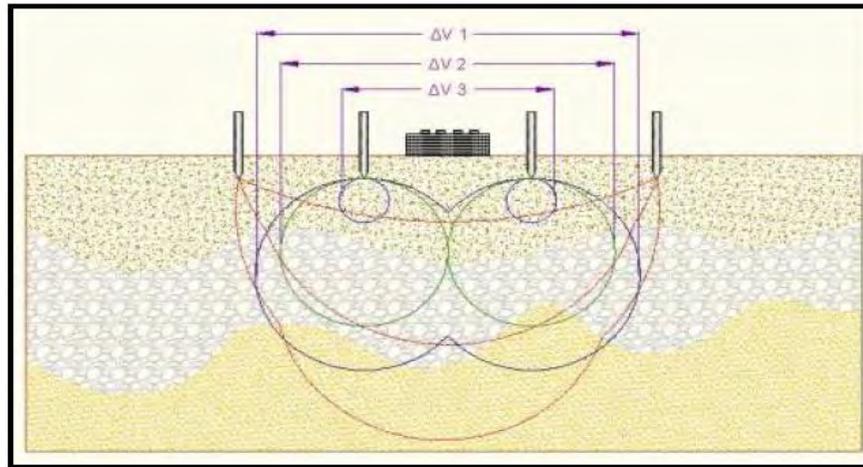
#### 6.2 INTRODUCCION

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 25); 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 26). 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

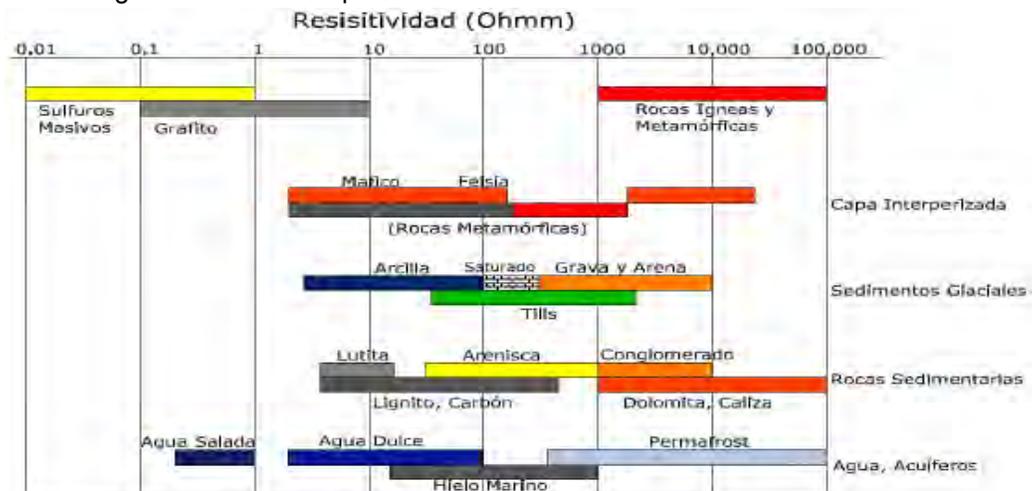
dentro del material de estudio. Durante décadas, los Estudios de Resistividad Eléctrica han sido utilizados en investigaciones sobre hidrogeología, geotecnia y también actualmente en estudios ambientales (Loke 2004).

Figura 25. 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 26. 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.

		<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>
---	---	---	---

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 Caracol, del municipio de Garagoa, se realiza un estudio geofísico con la finalidad de determinar el comportamiento del material y continuidad del mismo en profundidad.

## 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.

Tabla 19. Resistividades de algunos suelos y rocas.

Material	Resistividad ( $\Omega m$ )
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:

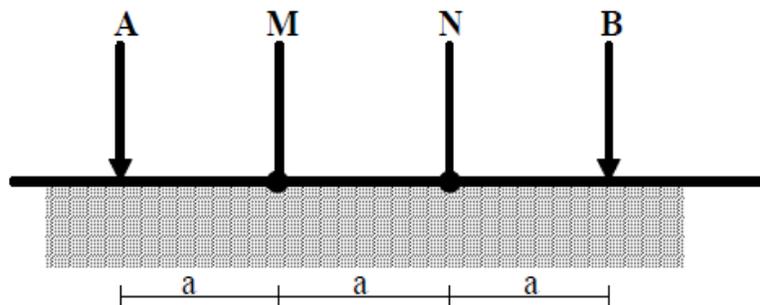
Un dispositivo es un arreglo de electrodos formado con dos pares de electrodos, dos emisores y dos receptores. A través de los electrodos emisores C1C2 se inyecta la corriente continua al terreno midiendo su intensidad con un miliamperímetro en serie, y a través del segundo par se mide la diferencia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

#### 4.5.1.7. Dispositivo Wenner.

Los electrodos se disponen equidistantes sobre una línea en el orden AMNB (Figura 27).

Figura 27. 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  $K = 2\pi(1/AM - 1/AN - 1/BM + 1/BN) \cdot (-1)$ , 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>	 <p style="text-align: center;"><b>EJECUTOR CONVENIO No. 038/2012.</b></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.

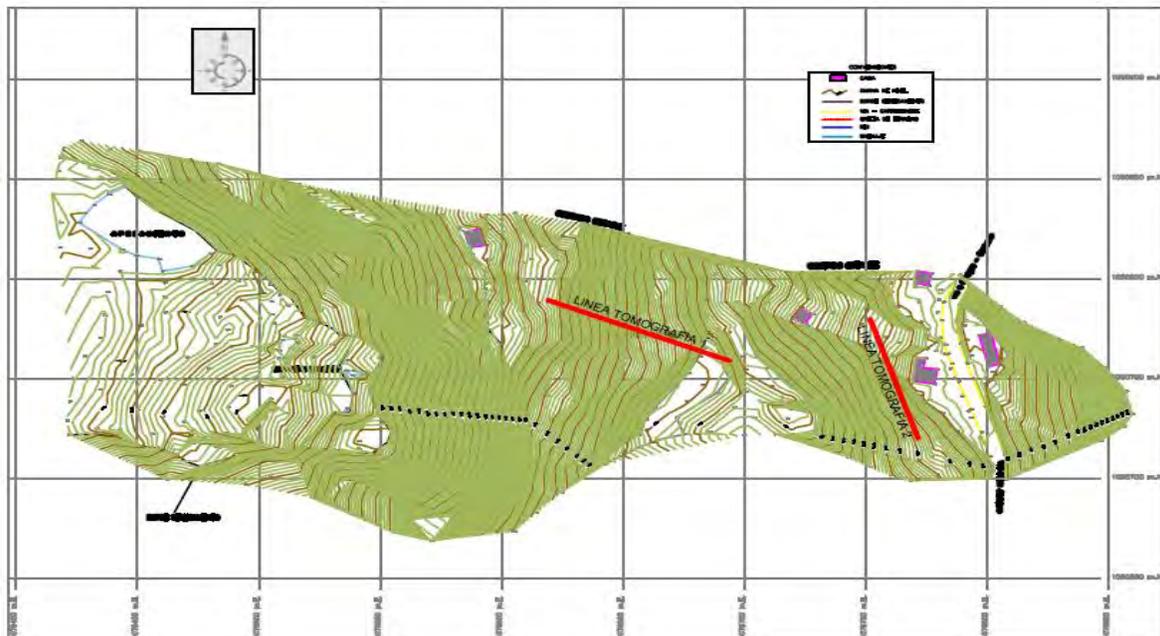
El resultado final de este tipo de estudio es una sección distancia-profundidad con la distribución de la resistividad real del subsuelo, fácilmente comprensible en términos geológicos o geotécnicos. Para obtener estos resultados se procede a insertar los parámetros para el cálculo y la medición de las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

Para la realización de las tomografías en el sector vereda Caracol, del municipio de Garagoa, 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: 1076619, Y: 1050789, parte final X: 1076693, Y: 1050759, orientación N67°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 28. Localización líneas de tomografía.



Fuente: Resultado del estudio.

Fotografía 16. Parte media del deslizamiento.



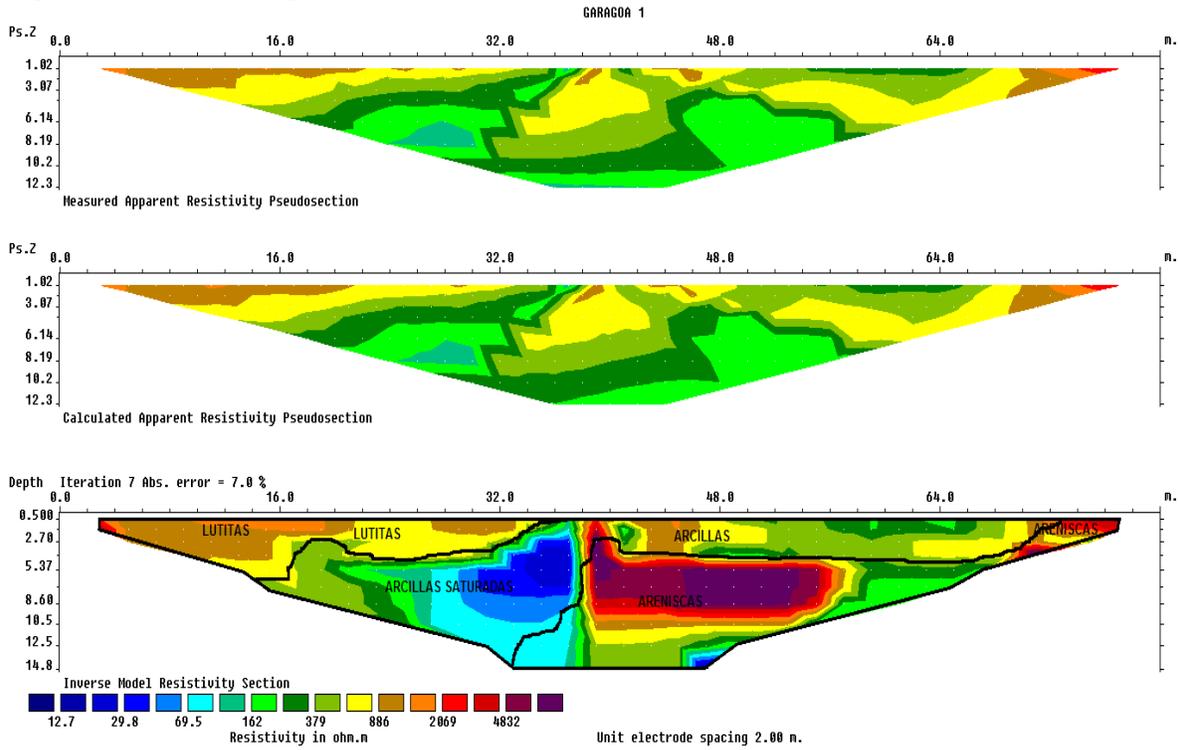
Fuente: Registro fotográfico.

Tabla 20. Resistividades de los materiales presentes en el área de estudio.

<b>MATERIAL</b>	<b>PROFUNDIDAD (m)</b>	<b>RESISTIVIDAD (<math>\Omega</math>*m)</b>	<b>INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA</b>
<b>1</b>	0.500 – 12.5	12.7 – 162	Arcillas
<b>2</b>	0.500 – 5.37	163 – 886	Lutitas
<b>3</b>	2.70 – 14.8	887 – 4832	Areniscas

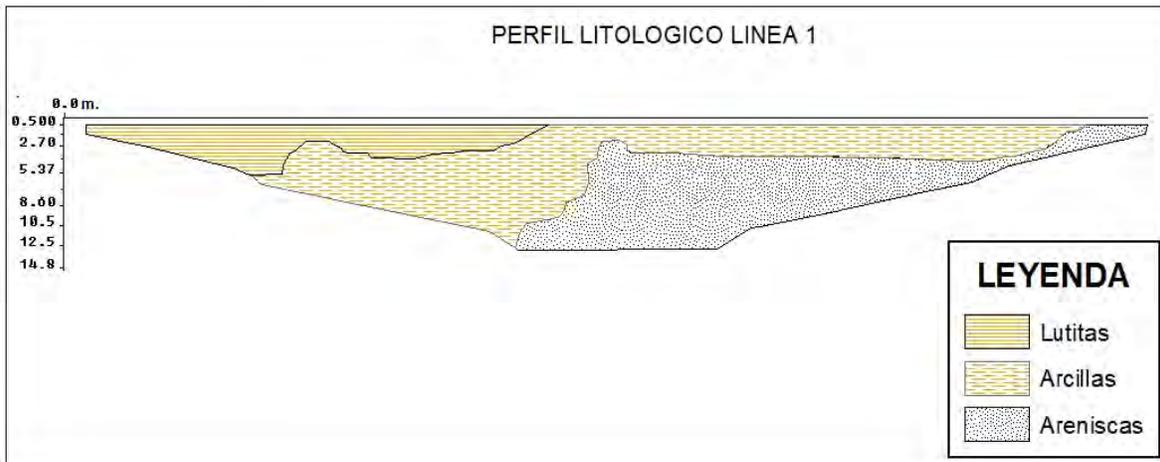
Fuente: Resultado del estudio.

Figura 29. Perfil 1 tomografía.



Fuente: Resultado del estudio.

Figura 30. Perfil litológico 1



Fuente: Resultado del estudio.

### 6.5.2 TOMOGRAFIA N°2

Localizada en la parte media-alta del deslizamiento Coordenadas parte inicial X: 1076771, Y: 1050720, parte final X: 1076751, Y: 1050779, orientación N20°W, con una longitud de 61.5 mts, profundidad obtenida de 11.1 mts, y los electrodos conectados a una distancia de 1.50 mts cada uno.

Fotografía 17. Parte media del deslizamiento.



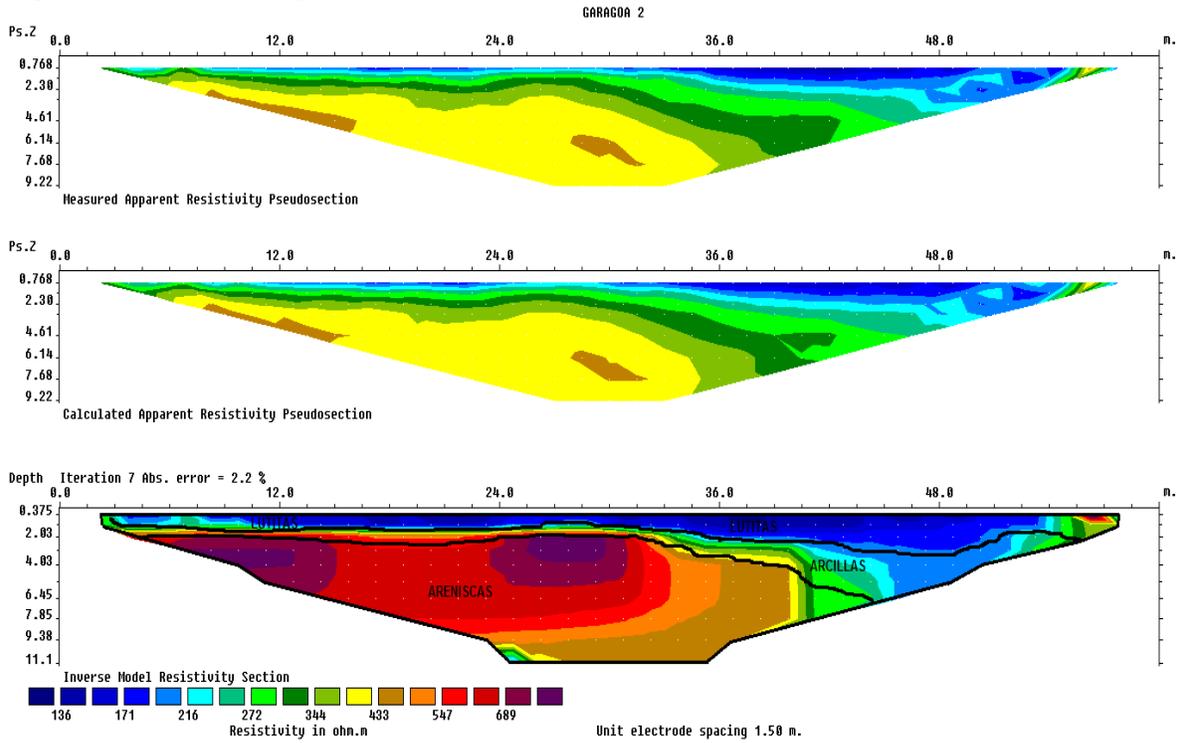
Fuente: Registro fotográfico.

Tabla 21. Resistividades de los materiales presentes en el área de estudio.

MATERIAL	PROFUNDIDAD (m)	RESISTIVIDAD ( $\Omega \cdot m$ )	INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA
1	3.0 – 6.45	216 – 433	Arcillas
2	0.375 – 3.0	136 – 215	Lutitas
3	2.9 – 11.1	434 – 689	Areniscas

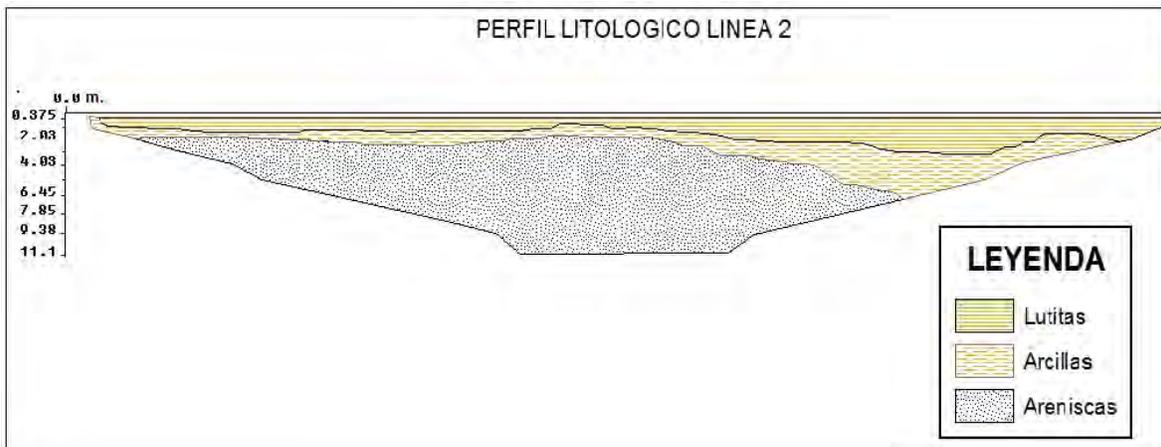
Fuente: Resultado del estudio.

Figura 31. Perfil 2 tomografía.



Fuente: Resultado del estudio.

Figura 32. 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 Lutitas con rangos de resistividades que oscilan entre 163 – 886  $\Omega \cdot m$ , arcillas con resistividades que van desde 12.7 – 162  $\Omega \cdot m$ , y una tercera capa compuesta por areniscas que poseen rangos de resistividades que oscilan entre 887 – 4832  $\Omega \cdot m$ , ver figuras 17 y 18. Por parte de la línea 2 se puede observar que está conformada por tres unidades Geoelectricas, el primer material compuesto por Lutitas con rangos de resistividades que van entre 136 – 215  $\Omega \cdot m$ , el segundo son arcillas, que poseen rangos de resistividades que van entre 216 – 433  $\Omega \cdot m$ , y finalmente una tercera capa compuesta por areniscas con resistividades entre 434 – 689  $\Omega \cdot m$ , como se puede observar los materiales interpretados en las dos líneas de tomografía son correlacionables entre sí, debido a la litología presente en la zona ver figura Figura 31 y 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 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 El Caracol, municipio de Garagoa, sucedidos desde hace unos años, y que han evolucionado hasta afectar considerablemente viviendas y la escuela presente en la zona.

Las principales fuentes de información para el estudio geotécnico fueron la observación de campo, los datos obtenidos de la exploración geofísica y geológica, la exploración directa y las pruebas de laboratorio.

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

### 7.1 EXPLORACIÓN DE CAMPO

#### 7.1.1 Sondeos geotécnicos

##### 7.1.1.1 Exploración indirecta del sub suelo

La exploración indirecta del sub suelo se realizó por medio de tomografías geoelectricas como se observa en el numeral **¡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.

### 7.1.1.2 Exploración directa del sub suelo.

La exploración directa del sub suelo consiste en la realización una apique y una trinchera, De estos se tomaron muestras alteradas e inalteradas para realizar los ensayos pertinentes para caracterizar los materiales presentes en esta zona. Además se realizaron sondeos a profundidades de que van de 0.51 hasta los 9,65 metros de y sus ubicaciones se relacionan en la siguiente Tabla 22; de estos se realizaron los también ensayos de propiedades índices y propiedades mecánicas.

Tabla 22. Coordenadas de los sondeos realizados

Garagoa			
Sondeo	Coordenadas		Profundidad (metros)
	Este	Norte	
sondeo 1	1,076,762	1,050,790	9,65
sondeo 2	1,076,803	1,050,783	8,90

Fuente: Resultados de la Investigación

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

Fotografía 18. 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 19.

Fotografía 19. 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.

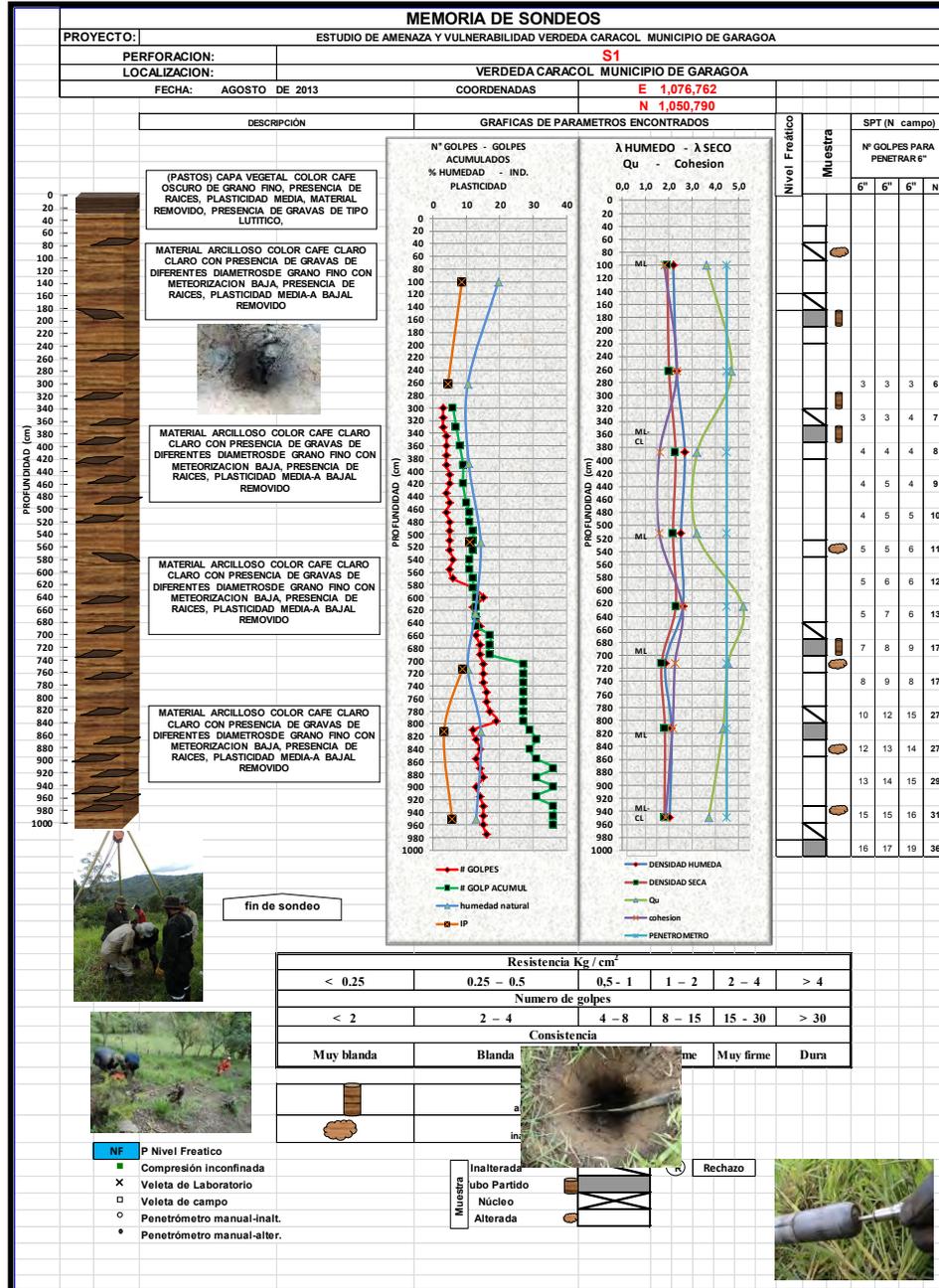
### 7.2.2 Trabajos de Laboratorio

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>	
---	---	---	---

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 33. Perfil Geotécnico S1



Fuente: Resultado del estudio

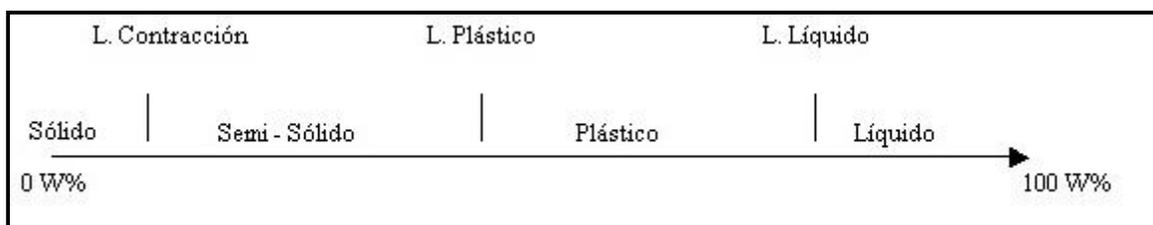
ELABORACIÓN DE ESTUDIO DE RIESGO (AMENAZA Y VULNERABILIDAD) Y DISEÑO DE OBRAS DE ESTABILIZACION EN LA VEREDA CARACOL, MUNICIPIO DE GARAGOA JURISDICCION DE LA CORPORACION AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR (CORPOCHIVOR).

### 7.2.2.1 Propiedades índices de los suelos

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

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

Figura 34. Límites de Atterbeg



Fuente: Juárez Badillo y Rico Rodríguez

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

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

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

#### 7.2.2.2 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 20. 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 21. Muestras a las que se les realizo 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 ML-CL (material limoso de baja plasticidad) correspondientes al material de relleno, arcillas limosas, con peso unitario de 1.8 – 2.7 gr/cm<sup>3</sup>, con limite líquido < 40% e IP entre 03% y 11%.

Los resultados de las propiedades mecánicas reflejan una resistencia a la compresión simple de 2.3 5.88 kg/cm<sup>2</sup>, cohesión de 0.6 – 0.88 Kgf/cm<sup>2</sup>, ángulos de fricción entre 8° y 13°. 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 23).

### 7.3 Clasificación del Macizo Rocosos.

“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 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:

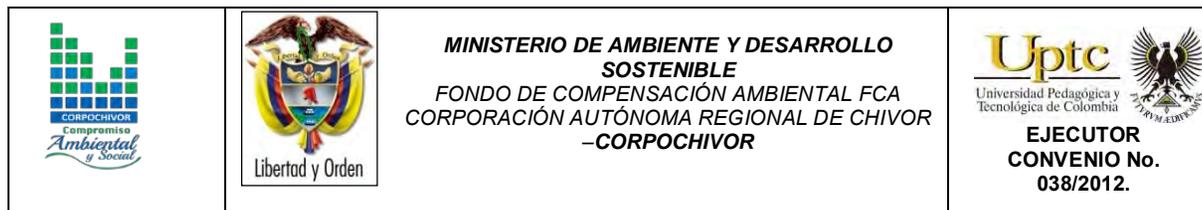


$$RQD = 100exp^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$$

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:



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

Uptc  
Universidad Pedagógica y  
Tecnológica de Colombia  
EJECUTOR  
CONVENIO No.  
038/2012.

Tabla 23. Resumen de resultados ensayos de laboratorio

Uptc		UNIVERSIDAD PEDAGOGICA Y TECNOLOGICA DE COLOMBIA															L.S.R.	
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia		LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS																
		SECCIONAL SOGAMOSO																
		MEMORIA DE SONDEOS																
PROYECTO:		ESTUDIO DE AMENAZA Y VULNERABILIDAD VEREDA CARACOL MUNICIPIO DE GARAGOA																
APIQUES/MUESTREO		S1 - S2																
LOCALIZACION:		VEREDA CARACOL - MUNICIPIO DE GARAGOA																
FECHA:		AGOSTO DE 2013																
inalterada																		
alterada																		
		RESISTENCIA AL CORTE SUELOS																
SONDEO / APIQUE N°	MUESTRA N°	TIPO DE MUESTRA	PROF. (m)	COORDENADAS		PROPIEDADES FISICAS SUELOS					CORTE DIRECTO		λ HUMEDO		COMPRESION INCONFINADA		PENETROMETRO	
				E	N	Wn (%)	LL	LP	IP	CLASIF (U.S.C.)	P.T.N° 200 %	φ	C	Peso Unitario	λ SECO	Peso Unitario	qc	C
SONDEO 1	1		1,50	1,076,762	1,050,790	19,57	31,34	22,68	8,66	ML	1,717	8,642	0,481	2,2000	1,9470	3,6415	1,82075	4,5
	2		2,72	1,076,762	1,050,790	10,40	24,86	20,41	4,45	ML-CL	0,95			2,3492	2,0248	4,7124	2,3562	4,5
	3		3,90	1,076,762	1,050,790	10,73								2,6962	2,3007	3,231	1,6155	4,5
	4		5,10	1,076,762	1,050,790	14,26	38,63	27,59	11,04	ML	1,009			2,534	2,1925	3,2063	1,60315	4,5
	5		6,05	1,076,762	1,050,790	12,60								2,612	2,3064	5,1969	2,59845	4,5
	6		6,95	1,076,762	1,050,790	10,41	31,74	22,86	8,88	ML	0,519			1,8646	1,7023	4,5551	2,27755	4,5
	7		8,15	1,076,762	1,050,790	14,37	28,29	25,00	3,29	ML	2,112			2,1285	1,8423	4,3432	2,1716	4,5
	8		9,65	1,076,762	1,050,790	12,90	28,49	22,73	5,76	ML-CL	2,973			2,0497	1,8242	3,7289	1,86445	4,5
SONDEO 2	1		1,00	1,076,803	1,050,783	15,21								2,0087	1,7133	3,3982	1,6991	4,5
	2		1,85	1,076,803	1,050,783	14,92	39,48	36,17	3,31	ML	1,797	13,496	2,185	1,9791	1,7497	5,8816	2,9408	4,5
	3		2,70	1,076,803	1,050,783	14,26	38,32	31,03	7,29	ML	2,233			2,171	1,8587	3,6977	1,84885	4,5
	4		3,50	1,076,803	1,050,783	14,04								2,0399	1,7556	4,3922	2,1961	4,5
	5		4,60	1,076,803	1,050,783	10,62	30,86	22,45	8,41	ML	4,055			2,049	1,7865	2,5315	1,26575	4,5
	6		5,90	1,076,803	1,050,783	12,54	37,85	30,30	7,55	ML	4,961			2,24	1,9769	5,0237	2,51185	4,5
	7		7,50	1,076,803	1,050,783	11,52	31,32	22,45	8,87	ML	3,403			2,0805	1,8035	4,4041	2,20205	4,5
	8		8,90	1,076,803	1,050,783	12,20	36,53	26,09	10,44	ML				2,0274	1,7952	4,2021	2,10105	4,5

Fuente: Resultados de la investigación.

ELABORACIÓN DE ESTUDIO DE RIESGO (AMENAZA Y VULNERABILIDAD) Y DISEÑO DE OBRAS DE ESTABILIZACION EN LA VEREDA CARACOL, MUNICIPIO DE GARAGOA JURISDICCION DE LA CORPORACION AUTONOMA 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>	
---	---	---	---

- 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.

Tabla 24. Resumen de Resultados de la Clasificación RMR

Parámetro de clasificación		GARAGOA	
		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 35.

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

INDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICA (GSI)	Condición de la superficie				
	Disminución en calidad de superficie →				
	Muy buena	Buena	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 0.

		<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 transmitirla lo cual hacer que se generen grandes presiones las cuales generan la fuerza indicada para el desplazamiento del movimiento.

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

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

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

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

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

### 7.6 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y MODELACIÓN GEOTÉCNICA

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

Los modelos constituyen simplificaciones de problemas complejos acorde con la realiad, que permiten comprender mejor el funcionamiento de un sistema, son muy

		<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>
---	---	---	---

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  $Ru$ , coeficiente que se define como:

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

$u$ : 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).

		<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>
---	---	---	---

### **Efecto de la Aceleración Sísmica en el Modelo.**

El Municipio de Garagoa 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 Garagoa los coeficientes de aceleración horizontal ( $A_a$ ) y vertical ( $A_d$ ) son iguales a 0.14 y 0.06 respectivamente, de acuerdo a la NSR-10, sin embargo la versión vigente del código colombiano sismorresistente, indica que los coeficientes se tomen igual al valor mayor, en este caso 0.20 y 0.20. El coeficiente de reducción de los coeficientes de aceleración para suelos y macizos rocosos con R.Q.D menores a 50%, es igual a 0.8 (Tabla 26).

Tabla 25. Coeficientes de aceleración sísmica para el departamento Boyacá

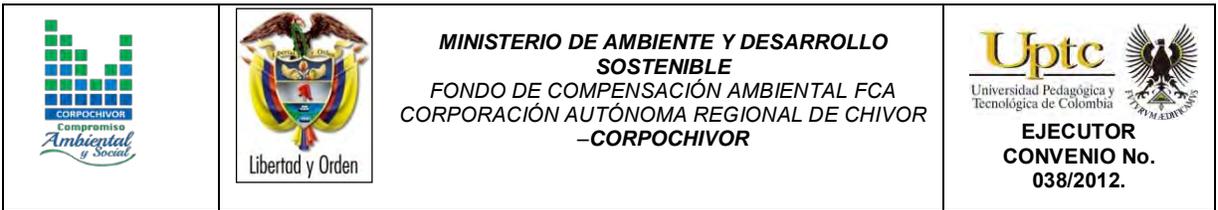
Nº	Municipio	Código	Aa	Av	Zona de Amenaza Sísmica	Ae	Ad
1	Tunja	15001	0.20	0.20	Intermedia	0.15	0.07
38	Gámeza	15296	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
39	Garagoa	15299	0.25	0.30	Alta	0.16	0.08
40	Guacamayas	15317	0.25	0.25	Alta	0.18	0.08
122	Viracachá	15879	0.20	0.25	Alta	0.16	0.08
123	Zetaquirá	15897	0.20	0.25	Alta	0.16	0.08

Fuente: Título A NSR – 10

Tabla 26. Coeficientes de reducción de coeficientes de aceleración sísmica

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

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



Por tanto el coeficiente de aceleración para análisis pseudoestático resulta:

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

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

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

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

### 7.6.1 Análisis estructuralmente controlado

Se realizó un análisis estructuralmente controlado para determinar esas zonas donde es probable posibles mecanismos de falla por consecuencia de las estructuras geológicas, este se realizó respecto a las diferentes direcciones de las laderas presentes en la zona y se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 27. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla planar.

ANÁLISIS CINEMÁTICO						
PLANAR						
Rango	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO			RANGO BUZAMIENTO		
1	15	A	55	20	A	65
2	90	A	130	20	A	30
3	274	A	314	5	A	20

Fuente: Resultados de la investigación.

Tabla 28. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.

ANÁLISIS CINEMÁTICO						
CUNA						
Rango	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO			RANGO BUZAMIENTO		
1	89	A	129	0	A	30
2	293	A	333	0	A	18
3	1	A	41	0	A	10

Fuente: Resultados de la investigación.

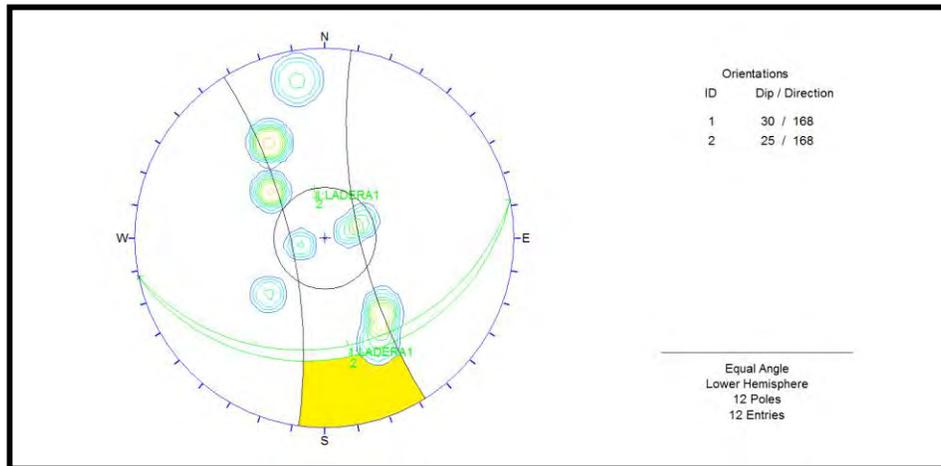
Tabla 29. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.

ANÁLISIS CINEMÁTICO						
VOLTEO						
Rango	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO			RANGO BUZAMIENTO		
1	185	A	235	65	A	90
2	84	A	134	65	A	90
3	150	A	200	65	A	90

Fuente: Resultados de la investigación.

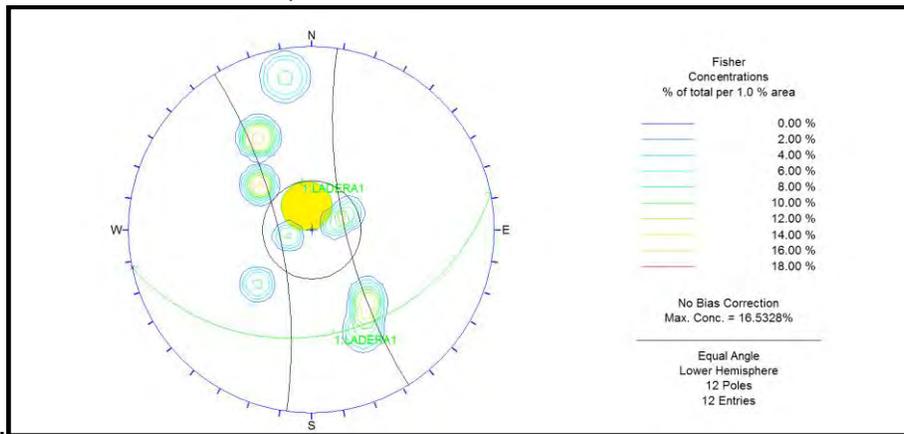
Las anteriores tablas reflejan los posibles rangos de dirección de buzamiento de las laderas y la inclinación que deben cumplir para que cada una de las fallas ocurra; estas se obtienen tras analizar cada una de las estructuras presentes en esta zona como se observa de manera esquemática en la Figura 36, Figura 37, Figura 38.

Figura 36. Análisis cinemático, falla por volcamiento



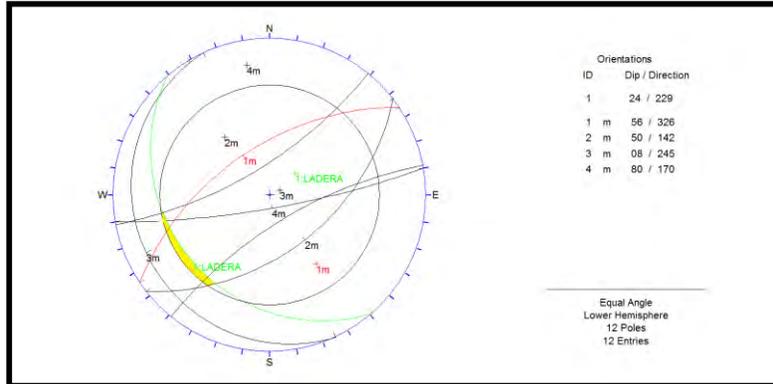
Fuente: Resultados de la investigación.

Figura 37. Análisis cinemático falla planar



Fuente: Resultados de la investigación.

Figura 38. Análisis cinemático falla por cuña



Fuente: Resultados de la investigación.

### 7.6.2 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.

Tabla 30. 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 22La cual afecta la bancada de la vía.

Fotografía 22. Parte superior del movimiento

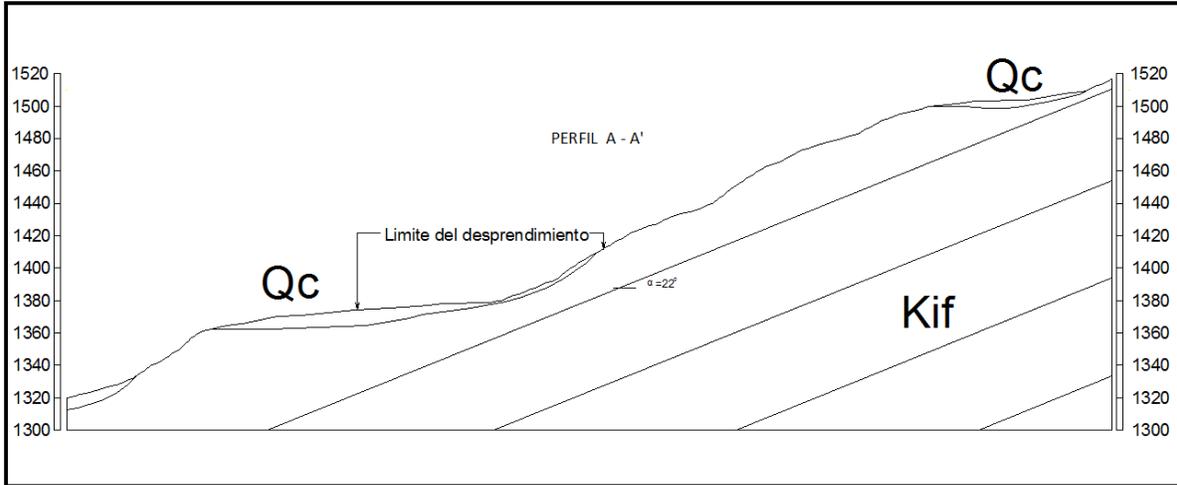


Fuente: Registro fotográfico.

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.

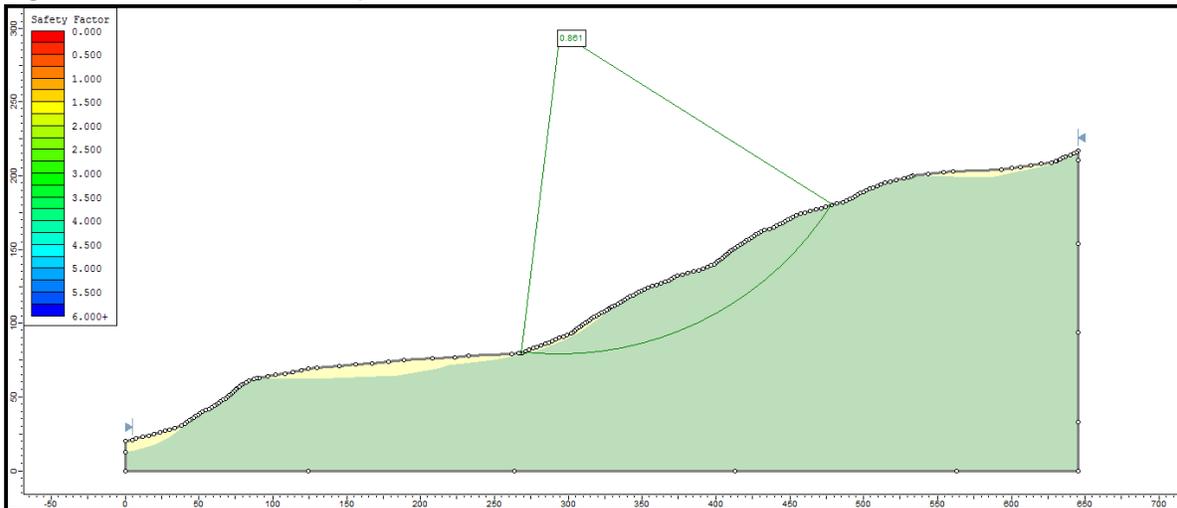
Para este caso se analizaron el perfil AA' representado en la siguiente figura.

Figura 39. Perfil geológico AA'



Fuente: Resultados del estudio.

Figura 40. Modelo de análisis perfil A-A'



Fuente: Resultados del estudio.

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

Tabla 31. Factores de seguridad para el modelo perfil A-A'

Condición del modelo	Factor de Seguridad			
	Met. Fellenious	Met. Bishop Simplificado	Metodo de Janbu Simple	Metodo de Janbu Corregido
Condición de agua subterránea normal ( $R_u = 0.1$ )	0.861	0.835	0.78	0.829
Condición de agua subterránea crítica ( $R_u = 0.3$ )	0.54	0.52	0.74	0.51
Condición de agua subterránea media ( $R_u = 0.5$ ) y sismo (análisis pseudoestático)	0.45	0.49	0.43	0.46

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.

Tabla 32. 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 (diaclassadas), estructuras de formas irregulares.	Planos de fracturamiento a favor de la pendiente, estructuras rocosas de formas irregulares, material poco consolidado o deleznable.
Geomorfológicos	Terreno con pequeñas depresiones, relieve ondulado, existencia de escarpes y/o contrapendientes.	Pequeñas depresiones, relieve ondulado, apertura de grietas en el terreno
Hidrogeológicos	Abundancia relativa de agua (zonas de mayor vertimiento hídrico), suelos saturados, régimen cambiante de corrientes	Abundancia relativa de agua y zonas de surgencia hídrica.  Suelos con alto porcentaje de

<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).

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

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

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.

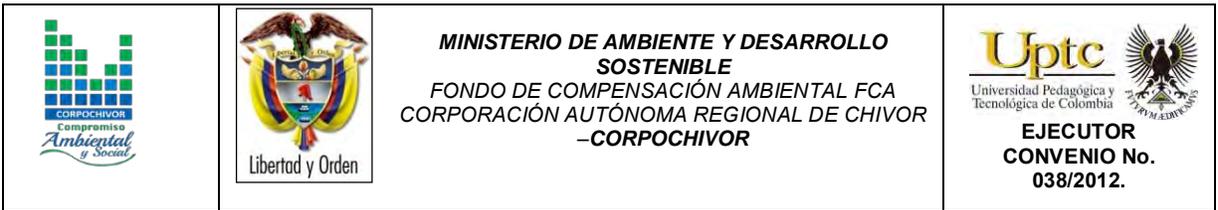
## 8.2 RESULTADO DE ANALISIS

Para la clasificación de la amenaza de la zona se utilizaron como criterios de categorización los presentados en la Tabla 33, teniendo en cuenta los parámetros de la Metodología de Leone.

Tabla 33. 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 34.

Tabla 34. Categorización de amenaza por (FRM) según nsr-10

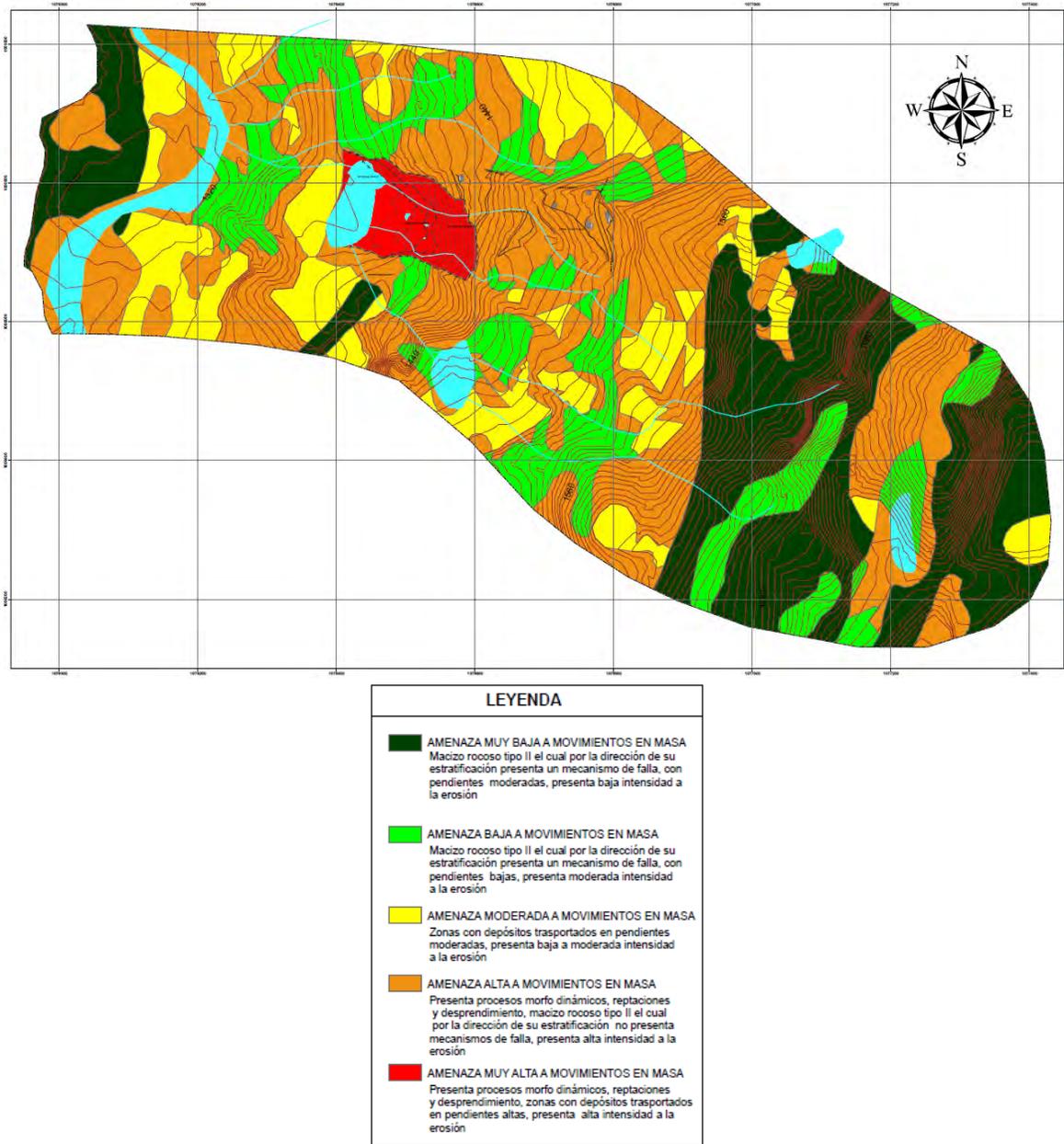
CONDICION	F.S. BASICOS MINIMOS DIRECTOS
TALUDES - CONDICION ESTATICA Y AGUA SUBTERRANEA NORMAL	1.5
TALUDES – CONDICION SEUDO – ESTATICA CON AGUA SUBTERRANEA NORMAL Y COEFICIENTE SISMICO DE DISEÑO	1.02

Fuente: Resultado del estudio

### 8.3 ANALISIS DE AMENAZA

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

Figura 41. Imagen Mapa de Amenazas.



Fuente: Resultado del estudio



#### 8.4 Evaluación de Vulnerabilidad

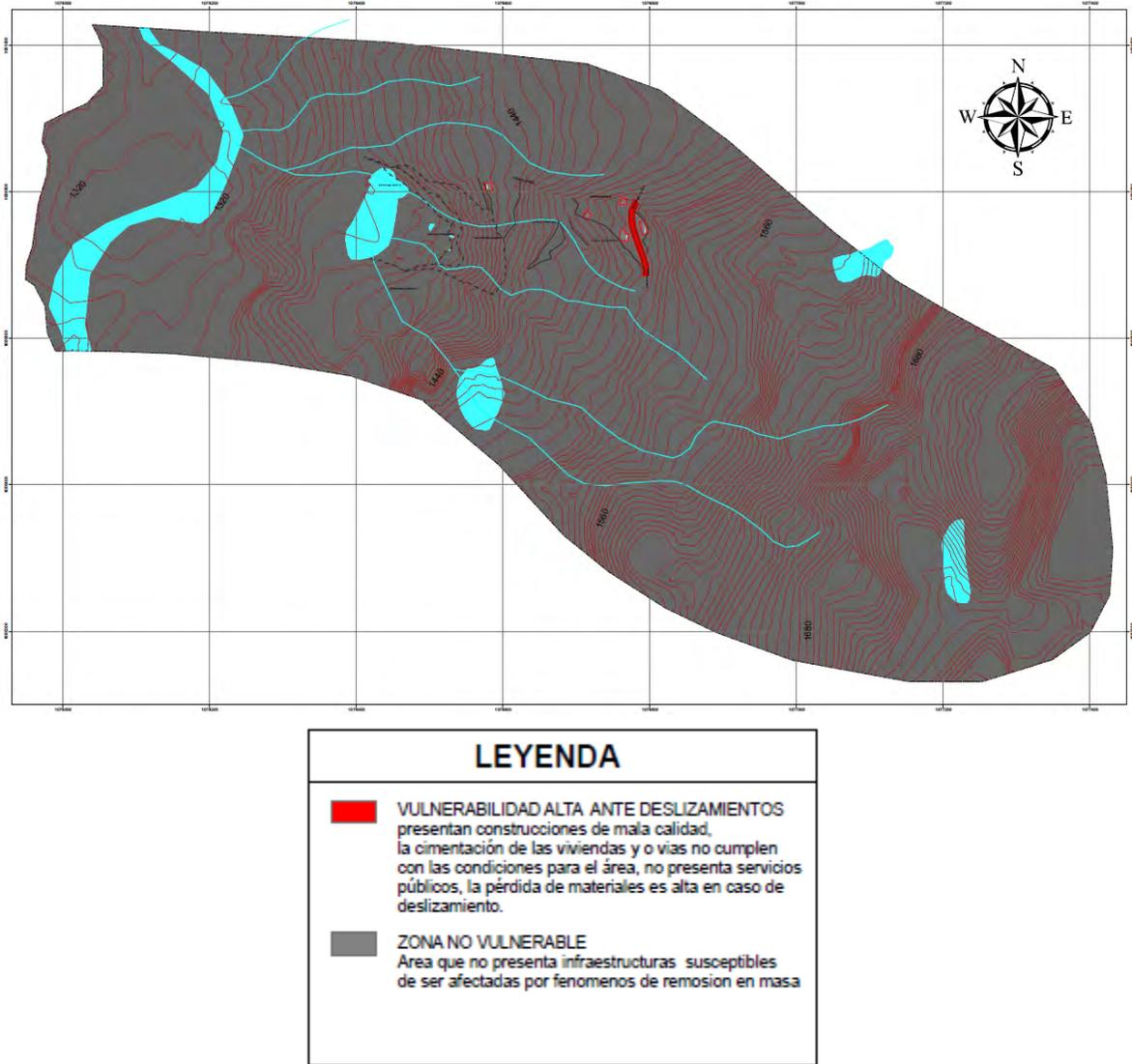
Para determinar la vulnerabilidad de las edificaciones ante deslizamientos, se empleó el cálculo del denominado Índice de Vulnerabilidad Física (IVF), utilizando para tal efecto la metodología propuesta por Leone y modificada por Soler . En resumen, el trabajo consiste en calcular los índices de vulnerabilidad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

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

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

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

Figura 42. 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 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

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 (CEPREDENAC). 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 GARAGOA VEREDA CARACOL

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 23. Vista de la parte media del movimiento.



Fuente: Registro Fotográfico.

### 1. Tipo de sector.

El sector evaluado se encuentra ubicado en la vereda caracol, en donde se encuentran viviendo tres (3) familias, las cuales se encuentran en riesgo por habitar la zona de influencia del movimiento en masa analizado en este municipio.

## 2. La vivienda

Las familias que habitan las viviendas en el área de influencia del movimiento son propietarias de ellas. La cual es el único lugar de habitación con el que cuentan, según lo manifestado durante la visita.

Fotografía 24. Vía de acceso al movimiento en masa.



Fuente: Registro Fotográfico.

## 3. Servicios.

Las viviendas 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.

Dos (2) de las viviendas visitadas cuenta con servicio de acueducto, solo una (1) que está ubicada en la parte baja del deslizamiento no cuenta con este servicio, por lo que se abastece de agua de un pozo cercano.

		<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. Alcantarillado

Dos (2) de las viviendas visitadas cuenta con servicio de alcantarillado, solo una (1) que está ubicada en la parte baja del deslizamiento no cuenta con este servicio, por lo que vierten las aguas servidas a los terrenos cercanos.

## 6. Seguridad social

Dos (2) de las familia que habita el sector de influencia del deslizamiento cuenta con seguridad social del régimen contributivo, solo una (1) pertenece al régimen subsidiado.

## 7. Discapacidad

Dentro de una (1) de las familias evaluadas se hayo a una adulta con discapacidad física leve, la cual le impide la movilidad por sí misma, requiriendo de la ayuda de un caminador para poder desplazarse por su vivienda.

## 8. Niños(as)

Dentro de las familias que habitan el entorno del deslizamiento se hallan viviendo cinco (5) menores de edad, de los cuales tres (3) son varones y dos (2) son mujeres.

## 9. Ocupación de los niños.

Los menores anteriormente mencionados se encuentra escolarizados según lo manifestado por sus cuidadores, quienes son sus mismos padres.

## 10. Adultos mayores

Una de las familias visitadas se encuentra conformada por dos adultos mayores, (Padre e hija) de 87 y 68 años, correspondiendo también a esta familia la persona en situación de discapacidad física.

## 11. Estrato

Una (1) vivienda evaluada pertenece al estrato 1, según lo manifestado por las personas que las habitan y las otras dos al pertenecen al estrato 2.

## 12. Tipo de vivienda.

Las viviendas son de tipo unifamiliar, cumpliendo con las características propias de la vivienda del área rural.

Fotografía 25. vivienda deshabitada del sector evaluado.



Fuente: Registro Fotográfico.

## 13. Área aproximada de las viviendas.

		<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>
---	---	---	---

Dos de las viviendas cuentan con alrededor de 80Mtrs de área construida y solo una cuenta con una área construida mayor a 80 Mtrs.

**14. Pisos de la vivienda.**

Todas las viviendas que se encuentran habitadas dentro del área de influencia del deslizamiento cuentan con un solo piso.

**15. Edad de la construcción.**

Las tres viviendas evaluadas cuentan con 7, 10 y más de 50 años de construidas, pero cabe destacar que todas presentan afectaciones estructurales que ponen en riesgo la vida de las personas que las habitan.

**16. La armazón de la vivienda es:**

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

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

La cubierta de las viviendas es de teja eternit, las cuales presentan afectaciones por el movimiento del terreno.

**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:**

Dos (2) de las viviendas presenta pisos en cemento y una (1) cuenta con pisos en baldosa común, los cuales presentan afectaciones por agrietamiento serias, pues

		<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>
---	---	---	---

el terreno se ha ido fracturando e inclinando, agudizando la inestabilidad de las estructuras.

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

Dos (2) viviendas presentan un estado de la construcción malo, ya que los daños causados a sus estructuras son diversos. La otra vivienda presenta un estado de la construcción regular, sin embargo también presenta áreas de agrietamiento en su estructura.

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

Los daños de las viviendas se deben según las personas que la habitan al movimiento progresivo del terreno que se viene dando hace algún tiempo en la zona.

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

Dos viviendas presenta un daño fuerte a causa del movimiento del terreno, por lo que solicitan el apoyo de las entidades correspondientes para la mitigación de los efectos del fenómeno, la otra presenta un daño moderado.

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

La zona más afectada de las viviendas son los muros, seguidos por los pisos en donde se evidencia agrietamiento progresivo.

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

Dos (2) viviendas cuenta con bases según lo manifiestan sus dueños, solo una (1) no cuenta con este tipo de estructuras de sostenimiento.

## 25. Causa de Inestabilidad del suelo:

La inestabilidad del suelo es causada por el movimiento en masa que comenzó a darse hace aproximadamente un año, con períodos de agudización en épocas de invierno.

Fotografía 26. Zona en movimiento



Fuente: Registro Fotográfico.

## 26. Ingresos económicos de la familia:

Dos (2) de las tres (3) familia afectadas manifiesta contar con un salario mínimo mensual para cubrir sus gastos básicos y una (1) manifiesta tener menos de la mitad de un salario mínimo para la subsistencia mensual del núcleo familiar.

## 27. Familia extensa.

Dos familias cuentan con familia extensa en la cual apoyarse en caso de una emergencia o necesidad y una familia manifiesta no contar con este tipo de red de ayuda familiar.

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

Los propietarios de las viviendas no han realizado ningún tipo de acción para contrarrestar los efectos del movimiento en masa sobre sus viviendas.

**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.

Fotografía 27. Vista de la parte baja del movimiento.



Fuente: Registro Fotográfico.

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

Los habitantes del sector manifiestan que en caso de presentarse un evento catastrófico su reacción sería salir corriendo, buscando sitios seguros a donde refugiarse.

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

Los habitantes del sector manifiestan que el deslizamiento se ha venido presentando hace un año, y se agudiza con las filtraciones de agua y las lluvias que caen en la zona.

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

Ninguna de las familias que habitan la zona de influencia del movimiento en masa, manifiestan haber conocido de esta situación cuando comenzaron a vivir en esta zona.

Fotografía 28. Vista de la parte baja del movimiento



Fuente: Registro Fotográfico.

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

Las personas que habitan la vivienda ubicada en 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.

		<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>	
---	---	---	---

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

Solo una familia manifiesta depender económicamente del predio en el que vive, las otras dos familias manifiestan no depender económicamente del lugar que habitan.

**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 obtienen algunos recursos familiares.

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

Los habitantes del sector no tienen conocimiento de que su municipio adelante jornadas de capacitación en prevención de riesgos.

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

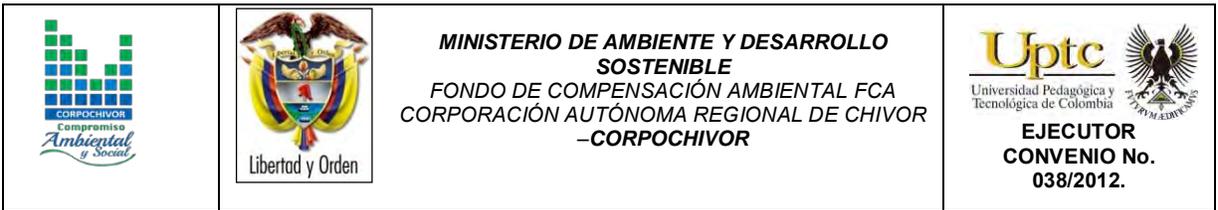
Todas las personas que se visitaron manifiestan que de tener que reubicarse les gustaría que fuera en el casco urbano, por la facilidad para acceder a servicios médicos y la cercanía a sus lugares de trabajo.

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

La comunidad afectada manifiesta que si han recibido visitas de parte de la alcaldía del municipio pero no se les ha solucionado nada hasta el momento.

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

Las familias esperarían que la alcaldía les ayude en cuanto a su reubicación ya que sus viviendas se encuentran bastante deterioradas, de tal forma que a dos de



las familias visitadas se les recomendó buscar otro lugar de habitación como medida preventiva, dada la magnitud de los daños de la estructura de sus casas.

#### **40. Género:**

En la zona de influencia del deslizamiento se encuentran habitando cinco (5) Hombres y siete (7) mujeres en total, de los cuales cinco (5) son menores de edad y dos (2) son adultos mayores.

		<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>	
---	---	---	---

## 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 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.

Las altas precipitaciones de lluvia de la pasada ola invernal, fue uno de los factores detonantes de la agudización del movimiento en masa, al punto de que los vecinos del sector que habitan la parte baja del movimiento sufrieran inundaciones en sus viviendas.

Las personas que han sufrido más afectaciones por el movimiento del terreno manifiestan que las filtraciones de agua, son las que refuerzan el fenómeno, por lo que solicitan obras de mitigación para la recolección de estas aguas.

Los vecinos del sector se quejan por la humedad de las viviendas y las afectaciones físicas a las mismas, ya que algunas se han ido moviendo a causa de la falta de estabilidad del terreno.

		<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 al riesgo presentado en la vivienda ubicada al norte de la zona de deslizamiento se deberá realizar inspección estructural de la misma para determinar su condición actual y la posibilidad de reubicación.
- Se recomienda la construcción de estructuras de contención tipo muro en gaviones de tres niveles (H=3.0m)
- Se debe generar un sistema de captación del agua sub-superficial mediante sistemas de trincheras drenantes.
- Se recomienda la construcción de una serie de cunetas para la captación de agua de escorrentía. (ver ubicación en Plano Anexo).
- En el tramo del talud del deslizamiento se deberá construir un canal de disipación debido a la alta pendiente allí presentada.
- Se recomienda realizar visitas periódicas, no mayores a dos meses a la vivienda al norte del deslizamiento, para hacer seguimiento de grietas y fisuras en la estructura.
- Se deberán amojonar puntos de la zona del deslizamiento para realizar control semestral de los desplazamientos del mismo. Se recomienda amojonar un punto cercano a la vivienda al norte del deslizamiento.
- Se recomienda que los organismos responsables desarrollen o preparen planes de contingencia adecuados que les permita a la población afrontar el riesgo. Preparándolos actuar ordenadamente, indicando sitios a dónde acudir, rutas de evacuación, entre otras.

		<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>
---	---	---	---

### 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.

		<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>
---	---	---	---

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.