



## INFORME FINAL



**ELABORACIÓN DE ESTUDIO DE RIESGO (AMENAZA Y VULNERABILIDAD)  
Y DISEÑO DE OBRAS DE ESTABILIZACIÓN EN LA VEREDA HATO  
GRANDE, AGUA QUIÑA, MUNICIPIO DE PACHAVITA, 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

	<b>Pág.</b>
1	GENERALIDADES ..... 14
1.1	PRESENTACION (JUSTIFICACION Y ALCANCE)..... 14
1.1.1	ALCANCE..... 15
1.2	OBJETIVOS DEL PROYECTO ..... 15
1.2.1.	Objetivo General..... 15
1.2.2	Metodología..... 16
1.3	LOCALIZACIÓN. .... 17
1.4	PERSONAL ..... 18
1.5	DESCRIPCION DE ACTIVIDADES REALIZADAS..... 19
1.5.1.	Trabajo de campo..... 19
1.6.	ANÁLISIS DE LABORATORIO..... 21
1.7.	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y SUS POSIBLES CAUSAS ..... 22
1.8	ESTADO DE LA INFORMACIÓN ..... 23
2	ASPECTOS CLIMATICOS E HIDROLOGICOS ..... 25
2.1.	ANÁLISIS HIDROLÓGICO ..... 26
2.2.	BALANCE HÍDRICO..... 26
2.2.1.	Tipos de recarga..... 27
2.3.	ESTIMACIÓN DE LA ESCORRENTÍA ..... 29
2.4.	ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN. .... 34
2.4.1.	Mapas de Isoyetas generados a partir de los datos de Precipitación. .... 40
2.4.2.	ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP).... 46
2.4.2.1.	Formula de J. B. García y J.D. López..... 46
2.4.3.	Estimación del Balance Hídrico ..... 47
2.4.4.	Metodología..... 48
2.4.5	RESULTADOS OBTENIDOS ..... 51
2.5.	CALCULO DE CAUDAL DE DISEÑO A PARTIR DE LAS CURVAS IDF54
2.5.1.	Resultados..... 54
2.6	MORFOMETRÍA DE LA CUENCA ..... 56

3	HIDROGEOLOGÍA .....	61
3.1	Unidades Hidrogeológicas.....	61
3.1.1	Acuífero.....	61
3.1.2	Acuitardo.....	61
3.1.3	Acuícierres.....	62
3.2	MARCO HIDROLÓGICO GENERAL.....	62
3.2.1	UNIDAD I (Permeabilidad Media).....	62
3.2.2	UNIDAD II (Permeabilidad Baja) .....	62
4	GEOLOGIA.....	64
4.1	GEOLOGÍA HISTÓRICA .....	65
4.2	GEOLOGIA LOCAL.....	65
4.2.1	Formación Fόμεque (Kif).....	65
4.2.2	Depósitos Cuaternarios.....	65
4.3	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL .....	66
4.3.1	Estructuras Plegadas.....	66
5	GEOMORFOLOGÍA.....	68
5.1	GEOMORFOLOGÍA LOCAL.....	69
5.2	ANÁLISIS FOTOGEOLÓGICO.....	70
5.3	PROCESOS MORFODINÁMICOS.....	71
5.3.1	Reptación .....	71
5.4	INCLINACIÓN DE LAS PENDIENTES .....	73
5.5	UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS .....	75
5.5.1	Geoformas de Origen Denudacional.....	77
5.6	EROSIÓN .....	79
5.6.1	Algunas Formas de Erosión .....	82
5.6.2	Factores externos.....	82
5.6.3	Factores internos.....	83
5.6.4	Morfodinámica - intensidad de erosión.....	83
5.7	USO ACTUAL Y COBERTURA DEL SUELO.....	86
5.7.1	VEGETACIÓN .....	88
5.7.2	COBERTURA Y USO DE SUELO PARA EL ÁREA .....	90

5.7.3	BOSQUES.....	103
5.7.4	ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA Y/O ARBUSTIVA .....	109
5.7.5	UNIDADES DE COBERTURA VEGETAL .....	114
6	GEOELECTRICA.....	117
6.1	ESTUDIO GEOELECTRICO (TOMOGRAFIA).....	117
6.2	INTRODUCCION.....	117
6.3	OBJETIVO.....	119
6.4	PRINCIPIO DEL METODO GEOFISICO.....	120
6.4.1	Resistividad Aparente:.....	120
6.4.2	Dispositivos: .....	122
6.5	METODOLOGIA.....	123
6.5.1	TOMOGRAFIA N°1 .....	125
6.5.2	TOMOGRAFIA N°2 .....	128
6.5.3	RESULTADOS .....	130
7	GEOTECNIA.....	131
7.1	EXPLORACIÓN DE CAMPO.....	131
7.1.1	Sondeos geotécnicos .....	131
7.2	CARACTERIZACIÓN DEL SUELO Y SUBSUELO .....	134
7.2.1	Trabajos de Laboratorio.....	134
7.2.2	Resumen de resultados.....	138
7.3	Clasificación del Macizo Rocoso. ....	139
7.3.1	Índice de Calidad de la Roca (RQD):.....	139
7.3.2	Clasificación Según el RMR: .....	142
7.3.3	Clasificación Según el Índice Geológico de Resistencia (GSI):.....	144
7.4	CINEMÁTICA DE LOS MOVIMIENTOS .....	145
7.5	CAUSAS DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA .....	145
7.5.1	Causas Reales .....	145
7.5.2	Causas Inmediatas .....	146
7.6	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y MODELACIÓN GEOTÉCNICA.....	147
7.6.1	Análisis estructuralmente controlado .....	151
7.6.2	Análisis estructuralmente no controlado .....	154

8	ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS .....	158
8.1	DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DE AMENAZAS .....	158
8.2	RESULTADO DE ANALISIS.....	161
8.3	ANÁLISIS DE AMENAZA .....	162
8.4	Evaluación de Vulnerabilidad .....	164
9	ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD .....	166
9.1	ANÁLISIS Y GRAFICAS ESTADÍSTICAS .....	167
10	OBRAS RECOMENDADAS.....	179
11	CONCLUSIONES .....	180
12	RECOMENDACIONES.....	181
13	BIBLIOGRAFÍA.....	182

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1.	Exploración directa del subsuelo (SPT).....	20
Fotografía 2.	Ubicación geográfica .....	87
Fotografía 3.	Tejido urbano discontinuo presente en la zona de estudio. ....	95
Fotografía 4.	Tejido artificializado de nivel 4 red vial.....	96
Fotografía 5.	Cultivo permanente de <i>Myrtaceaes</i> .....	98
Fotografía 6.	Cultivos confinados.....	99
Fotografía 7.	Cultivos agroforestales .....	100
Fotografía 8.	Pastos enmalezados o enrastrados.....	101
Fotografía 9.	pastos limpios presente en la zona de estudio .....	102
Fotografía 10.	Bosque denso bajo .....	106
Fotografía 11.	CUPRESSACEAE .....	108
Fotografía 12.	HERBAZAL .....	110
Fotografía 13.	Pozo.....	111
Fotografía 14.	Parte alta del deslizamiento.....	126
Fotografía 15.	Parte alta del deslizamiento.....	126
Fotografía 16.	Parte media-alta del deslizamiento.....	128
Fotografía 17.	Perforación realizada en la zona de estudio .....	133
Fotografía 18.	Prueba de Penetrometro de Bolsillo .....	133
Fotografía 19.	Muestra fallada en el ensayo de compresión no confinada. ...	137
Fotografía 20.	Muestras a las que se les realizo la prueba de corte directo. .	138
Fotografía 21.	Parte superior del movimiento .....	155
Fotografía 22.	Vía de acceso a zona de movimiento en masa. ....	167
Fotografía 23.	Terreno afectado por el movimiento en masa.....	168
Fotografía 24.	Vivienda abandonada. ....	169
Fotografía 25.	Joven con discapacidad habitante de la zona. ....	170
Fotografía 26.	Vivienda afectada por el movimiento en masa. ....	171
Fotografía 27.	Agrietamiento de muros en la vivienda.....	173
Fotografía 28.	vivienda habitada en el sector. ....	175
Fotografía 29.	Terreno afectado en el sector.....	176

Fotografía 30. vivienda habitada..... 178

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tabla general para la determinación de número de curva (CN).....	31
Tabla 2. Escorrentía Estación Pachavita, suelo tipo ML .....	33
Tabla 3. Escorrentía Estación Pachavita, suelo tipo ML .....	34
Tabla 4. Estación pluviométrica utilizada en la estimación de la precipitación....	35
Tabla 5. Precipitación media multianual mensual por estación.....	36
Tabla 6. Precipitación media multianual mensual por estación.....	37
Tabla 7. Rangos de temperatura Pachavita.....	47
Tabla 8. Valores de Evapotranspiración.....	47
Tabla 9. Calculo de Infiltración, basado en los valores de escorrentía (R).....	50
Tabla 10. Calculo de Infiltración, basado en los valores de escorrentía (R).....	51
Tabla 11. Estimación del Balance Hídrico.....	52
Tabla 12. Valores de parámetros morfométricos para la cuenca regional.....	60
Tabla 13. Clasificación de las pendientes. ....	75
Tabla 14. Descripción geomorfológica. ....	79
Tabla 15. Áreas de coberturas. ....	113
Tabla 16. Unidades de cobertura vegetal.....	115
Tabla 17. Resistividades de algunos suelos y rocas. ....	122
Tabla 18. Resistividades de los materiales presentes en el área de estudio. ....	126
Tabla 19. Resistividades de los materiales presentes en el área de estudio. ....	128
Tabla 20. Coordenadas de los sondeos realizados.....	132
Tabla 21. Resumen de resultados ensayos de laboratorio.....	141
Tabla 22. Resumen de Resultados de la Clasificación RMR .....	143
Tabla 23. Coeficientes de aceleración sísmica para el departamento Boyacá....	149
Tabla 24. Coeficientes de reducción de coeficientes de aceleración sísmica ....	150
Tabla 25. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla planar.....	151
Tabla 26. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.....	151
Tabla 27. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.....	152
Tabla 28. Valores de Propiedades Físicas y Mecánicas. ....	154
Tabla 29. Factores de seguridad para el modelo perfil A-A.....	157

Tabla 30. Parámetros físicos y naturales .....	159
Tabla 31. Categorización de amenazas por FRM. ....	161
Tabla 32. Categorización de amenaza por (FRM) según nsr-10.....	162

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Metodología realizada.....	16
Figura 2. Localización geográfica.....	17
Figura 3. Organigrama. ....	18
Figura 4. Gráfico de precipitación media multianual mensual. ....	38
Figura 5. Gráfico de precipitación media multianual.....	39
Figura 6. Isoyetas mes de Enero y Febrero .....	40
Figura 7. Isoyetas mes de Marzo y Abril .....	41
Figura 8. Isoyetas mes de Mayo y Junio .....	42
Figura 9. Isoyetas mes de Julio y Agosto .....	43
Figura 10. Isoyetas mes de Septiembre y Octubre .....	44
Figura 11. Isoyetas mes de Noviembre y Diciembre .....	45
Figura 12. Comportamiento de las Curvas del Balance Hídrico.....	53
Figura 13. Imagen ilustrativa de la cuenca regional Pachavita.....	59
Figura 14. Imagen mapa hidrogeológico área de estudio. ....	63
Figura 15. Imagen mapa geológico área de estudio .....	64
Figura 16. Ventana extraída del mapa regional.....	68
Figura 17. Fotografías pertenecientes al vuelo 2803- 261,262. ....	71
Figura 18. Esquema del movimiento, reptación .....	72
Figura 19. Esquema del movimiento, perfil reptación.....	73
Figura 20. Imagen del Mapa de inclinación de las pendientes.....	74
Figura 21. Imagen del Mapa geomorfológico. ....	76
Figura 22. Imagen del Mapa erosión.....	85
Figura 23. Posiciones aproximadas de las Líneas gula de las regiones. ....	88
Figura 24. CRITERIOS PARA LA CLASIFICACIÓN DE LOS BOSQUES.....	105
Figura 25. MAPA COBERTURA VEGETAL Y USO DE SUELO .....	112
Figura 26. PORCENTAJE DE COBERTURAS .....	113
Figura 27. Principio teórico de operación de las TER's.....	118
Figura 28. Rangos de resistividad para diferentes materiales.....	118
Figura 29. Dispositivo Wenner. ....	123
Figura 30. Localización líneas de tomografía. ....	125
Figura 31. Perfil 1 tomografía. ....	127
Figura 32. Perfil litológico 1 .....	127
Figura 33. Perfil 2 tomografía. ....	129
Figura 34. Perfil litológico 2 .....	129
Figura 35. Perfil Geotécnico S1.....	135
Figura 36. Límites de Atterbeg .....	136
Figura 37. Guía para la definición del Índice geológico de resistencia (GSI). ....	144
Figura 38. Análisis cinemático, falla por volcamiento .....	152

Figura 39. Análisis cinemático falla planar .....	153
Figura 40. Análisis cinemático falla por cuña .....	153
Figura 41. Perfil geológico AA' .....	156
Figura 42. Modelo de análisis perfil A-A' .....	156
Figura 43. Imagen Mapa de Amenazas.....	163
Figura 44. Imagen Mapa de Vulnerabilidad Física y Social.....	165

## **LISTAS DE ANEXOS**

### **ANEXO 1 - MAPAS TEMÁTICOS**

MAPA 1 GEOLÓGICO

MAPA 2 GEOMORFOLÓGICO

MAPA 3 SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSIÓN

MAPA 4 DE PENDIENTES

MAPA 5 HIDROGEOLÓGICO

MAPA 6 ZONIFICACIÓN GEOMECÁNICA

MAPA 7 ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA

MAPA 8 VULNERABILIDAD FÍSICA Y SOCIAL

MAPA 9 ZONIFICACIÓN DE RIESGOS POR FRM

### **ANEXO 2 - ANÁLISIS FOTO INTERPRETACIÓN**

### **ANEXO 3 – ENSAYOS DE SUELOS**

### **ANEXO 4 - CARTERAS TOPOGRÁFICAS**

### **ANEXO 5 - HIDROLOGÍA**

### **ANEXO 6 - CURVAS IDF**

### **ANEXO 7 - FICHAS DE INVENTARIO DE PROCESOS GEOMORFOLÓGICOS**

### **ANEXO 8 - ENCUESTAS SOCIOECONÓMICAS**

### **ANEXO 9 - FORMATO DE INFORMACIÓN DE VULNERABILIDAD FISICA**

### **ANEXO 10 - MEMORIAS DE DISEÑO DE OBRAS**

### **ANEXO 11 - PRESUPUESTO DE OBRAS**

### **ANEXO 12 - PLANOS DE OBRAS RECOMENDADAS**



## INTRODUCCION

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

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

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

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

## 1 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 y sus Decretos reglamentarios, dispone que dentro del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres; corresponde al Concejo Departamental de Gestión del riesgo de Desastres el manejo de la cobertura departamental y al Concejo Municipal de Gestión de Riesgo de Desastres, 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.

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

### 1.1.1 ALCANCE

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.

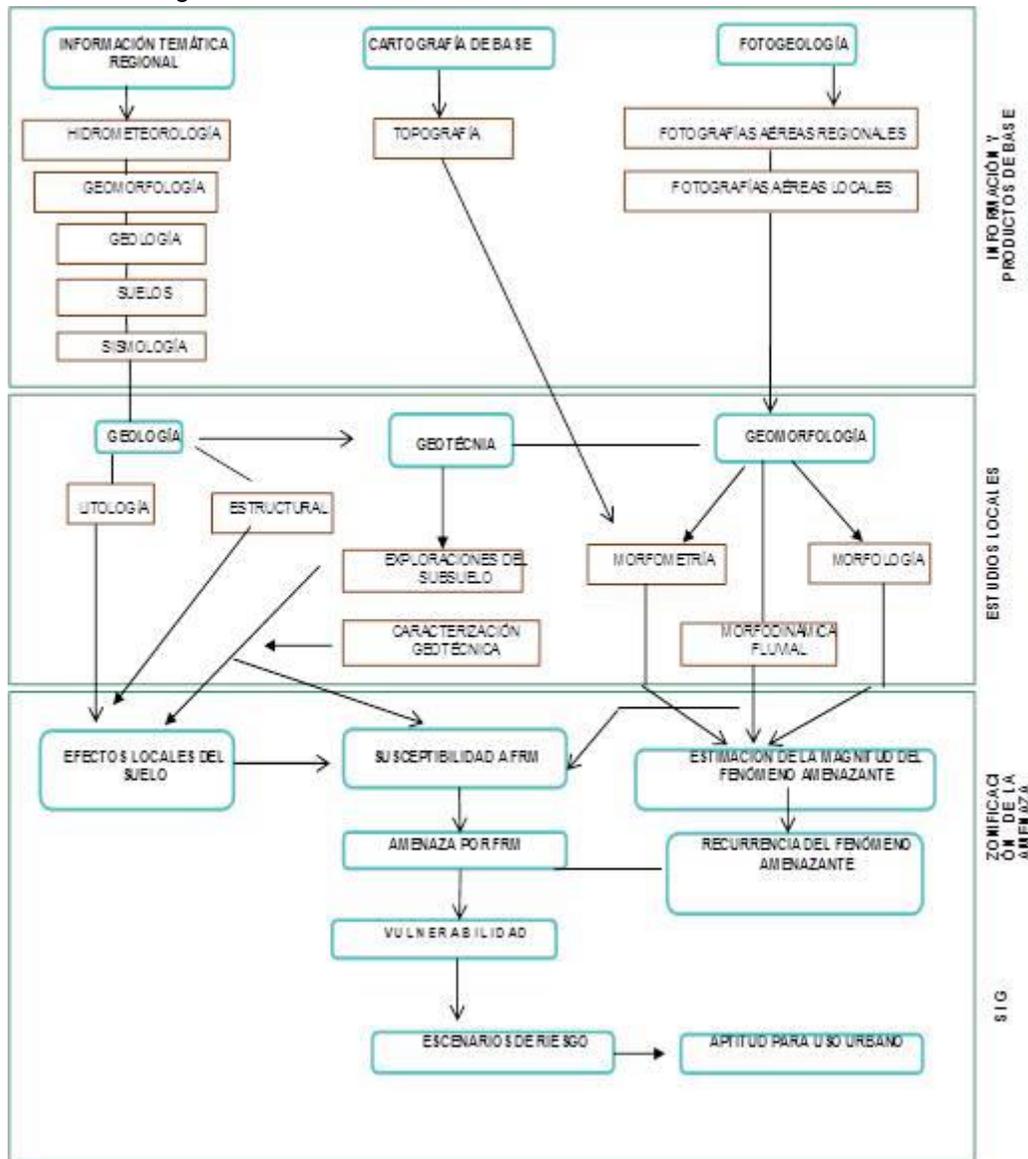
## 1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

### 1.2.1. Objetivo General

Realizar el estudio de riesgo (amenaza y vulnerabilidad) y diseño de obras en la Vereda Hato Grande, Agua Quiña en el Municipio de Pachavita, área afectada por Fenómenos de Remoción en Masa (FRM). Municipio de la Jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Chivor CORPOCHIVOR.

## 1.2.2 Metodología

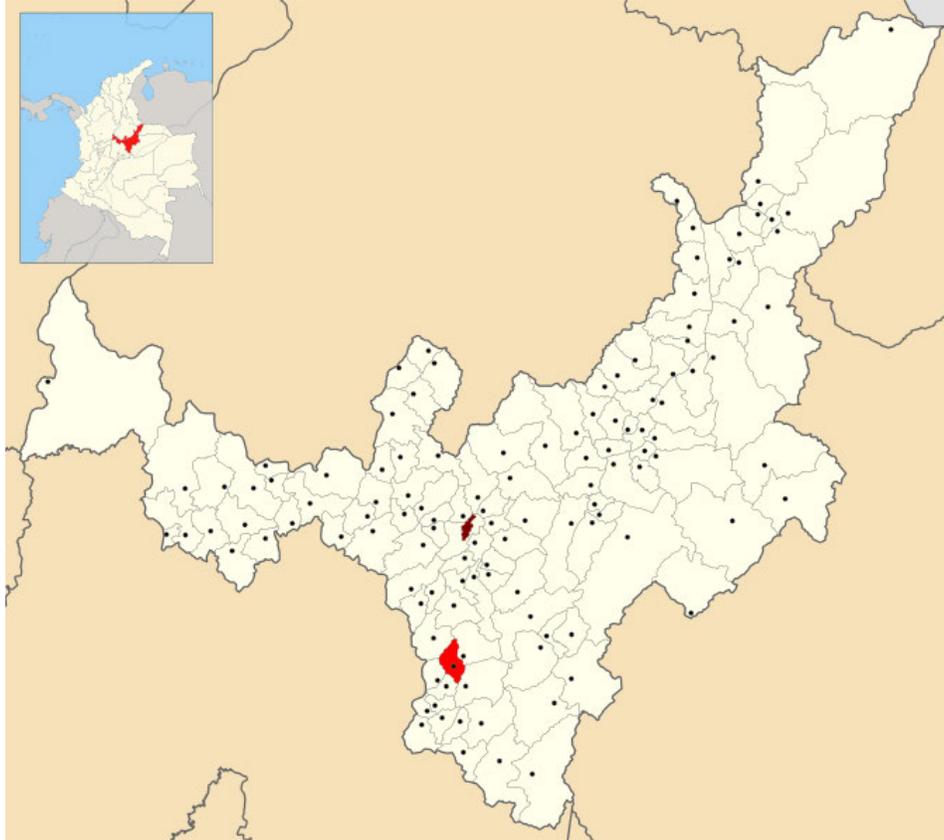
Figura 1. Metodología realizada.



Fuente: Convenio UPTC-CORPOCHIVOR.

### 1.3 LOCALIZACIÓN.

Figura 2. Localización geográfica.



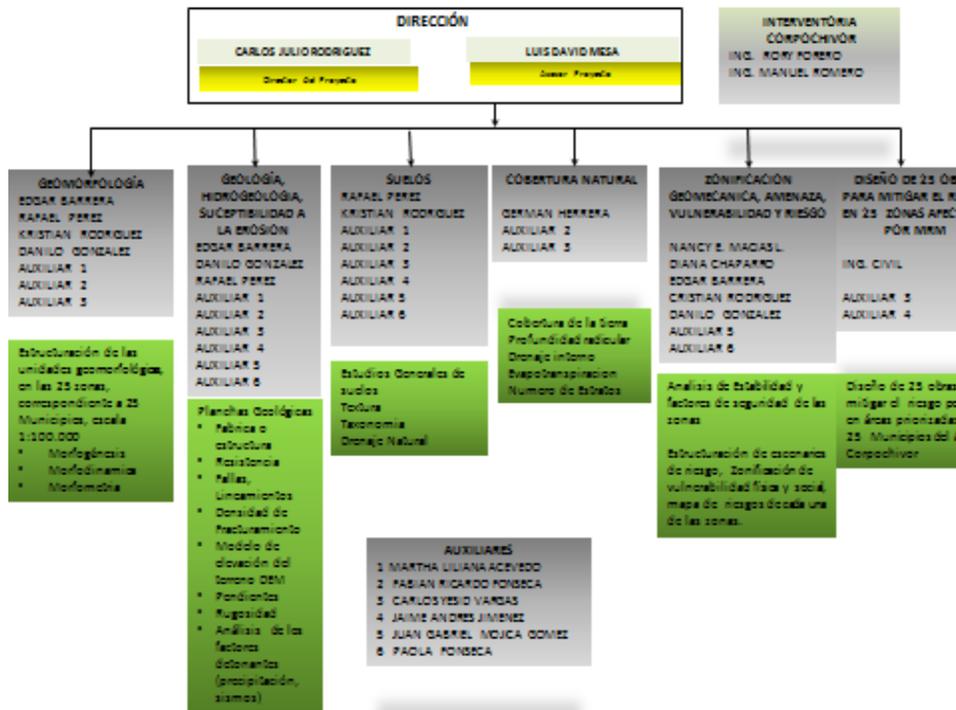
Fuente: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colombia\\_-\\_Boyaca\\_-\\_Pachavita.svg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colombia_-_Boyaca_-_Pachavita.svg)

El área de Estudio se encuentra en las coordenadas N 1055947, E 1076213, a una altura de 1675 msnm; en la Provincia de Neira, en el Municipio de Pachavita, en la Vereda Hato grande Agua Quiña.

## 1.4 PERSONAL

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

Figura 3. Organigrama.



Fuente: Convenio UPTC-CORPOCHIVOR.



## 1.5 DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES REALIZADAS

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

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

### 1.5.1. Trabajo de campo

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

El trabajo de campo consistió en:

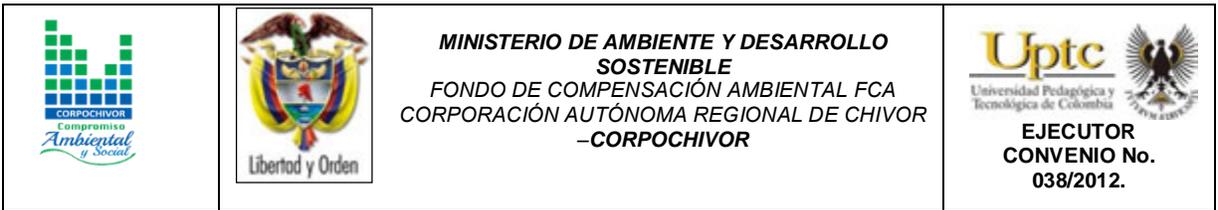
Apiques y sondeos geotécnicos. En total, se realizaron 2 apiques geotécnicos y 1 sondeo manual por SPT (standar penetration test), en los que se tomaron muestras para análisis, cuya profundidad de exploración varió de los 2 a los 10 m (Anexo 3 y figura 2).

Fotografía 1. Exploración directa del subsuelo (SPT)



Fuente: Registro fotográfico.

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



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

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

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

Diagnóstico estructural de viviendas. Se realizó un inventario de tres (3) viviendas, 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

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

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.

### 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 1976 a 2012, de la estación de Pachavita.

### 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,

---

ELABORACIÓN DE ESTUDIO DE RIESGO (AMENAZA Y VULNERABILIDAD) Y DISEÑO DE OBRAS DE ESTABILIZACIÓN EN LA VEREDA HATO GRANDE, AGUA QUIÑA, MUNICIPIO DE PACHAVITA JURISDICCIÓN DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR (CORPOCHIVOR).



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.

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

- Hidrogeológica: Inventario de puntos de agua, niveles de agua, cartografía hidrogeológica, balance hídrico.

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



## 2 ASPECTOS CLIMATICOS E HIDROLOGICOS

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

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

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

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

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

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

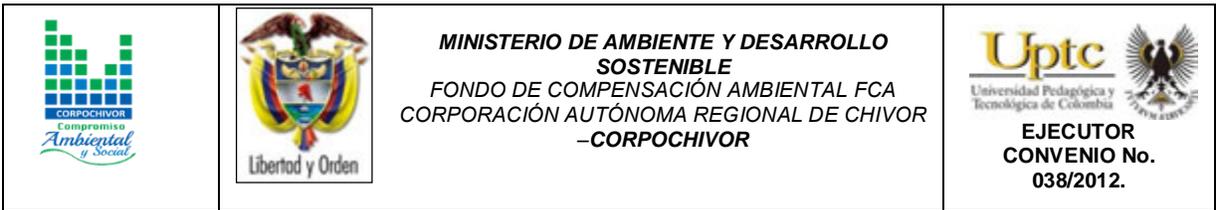
La presencia de vientos alisios que provienen de la región amazónica con características húmedas, penetran en los meses de Julio y Agosto haciendo que estos meses sean lluviosos.

## 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 Pachavita 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-escorrentía es una función del tipo de suelo, uso del suelo y de condiciones hidrológicas (Chow et al., 1964; USDA, 1986).

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

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

Dónde:

S= (25400/CN)-254

P= Precipitación

CN= Número de curva (tablas)

Q= Escorrentía

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

La información anteriormente descrita constituye los principales insumos del método de Sistema de Clasificación de Suelos (SCS), para la estimación del

número de curva, que representa un coeficiente de escurrimiento para una zona, o una cuenca hidrológica (ver Tabla 1) (Chow et al., 1994; USDA, 1986).

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

Tipo de vegetación	Tratamiento	Condición Hidrológica	Tipo de suelo			
			A	B	C	D
Barbecho	Desnudo	-	77	86	91	94
	CR	Pobre	76	85	90	93
	CR	Buena	74	83	88	90
Cultivos alineados	R	Pobre	72	81	88	91
	R	Buena	67	78	85	89
	R + CR	Pobre	71	80	87	90
	R + CR	Buena	64	75	82	85
	C	Pobre	70	79	84	88
	C	Buena	65	75	82	86
	C + CR	Pobre	69	78	83	87
	C + CR	Buena	64	74	81	85
	C + T	Pobre	66	74	80	82
	C + T	Buena	62	71	78	81
	C + T + CR	Pobre	65	73	79	81
	C + T + CR	Buena	61	70	77	80
	Cultivos no alineados, o con surcos pequeños o mal definidos	R	Pobre	65	76	84
R		Buena	63	75	83	87
R + CR		Pobre	64	75	83	86
R + CR		Buena	60	72	80	84
C		Pobre	63	74	82	85
C		Buena	61	73	81	84
C + CR		Pobre	62	73	81	84
C + CR		Buena	60	72	80	83
C + T		Pobre	61	72	79	82
C + T		Buena	59	70	78	81
C + T + CR		Pobre	60	71	78	81
C + T + CR		Buena	58	69	77	80

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

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

Dónde:

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

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

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

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

Tabla 2. Escorrentía Estación Pachavita, suelo tipo ML

P	R	SML (A)	CN
138,075	14,94159558	310,444444	45
100,5833333	14,73228421		
107,9166667	19,46117575		
311	199,2178175		
137,1666667	41,09360425		
121,1666667	28,80481838		
134,6083333	39,06942232		
145,3583333	47,70143011		
104,55	17,24482025		
101,025	15,00639197		
107,8333333	19,40544851		
106,125	18,27259441		
113,15	23,04230727		
79,1666667	3,684006238		
12,6166667	193,9894931		
135,275	39,59494999		
72,5	1,495051511		
122,4833333	40,83566618		

114,6666667	35,70492793
86,08333333	18,81738261
190,7833333	91,71276902
104,1833333	29,13945058
113,0916667	34,69446226
98,45	25,71985124
119,15	38,62477581
103,95	28,99779844
115,5416667	36,26978695

**Fuente:** Resultado del estudio

Tabla 3. Escorrentía Estación Pachavita, suelo tipo ML

114,1583333	35,37791069
125,4166667	42,80815114
101,925	27,77715741
121,9083333	40,45193056
105,9916667	30,24414059
101,8666667	27,74222862
95,33333333	23,91659348
117,1333333	37,30356617
137,2416667	50,99602874
118,8416667	38,42196002

**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 33 años (1976-2012), 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
3507021	PACHAVITA	RIO GARAGOA	BOYACA	PACHAVITA

**Fuente:** Resultado del estudio.

En la Tabla 5 y 6 se presentan los valores de precipitación medios mensuales multianuales (mm) para cada una de las estaciones delimitadas dentro del área de estudio, información que se utilizó para la estimación de la recarga de agua para la Formación Fomeque (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	PROMEDIO
PACHAVITA	14,7	47,2	37,0	180,0	258,0	274,0	243,0	174,0	114,0	126,0	122,0	67,0	138,075
PACHAVITA	1,0	16,0	15,0	147,0	195,0	218,0	132,0	161,0	153,0	79,0	85,0	5,0	100,5833333
PACHAVITA	8,0	9,0	85,0	167,0	157,0	218,0	118,0	167,0	142,5	149,0	35,5	39,0	107,9166667
PACHAVITA	12,0	5,0	109,0	272,0	182,0	535,0	456,0	849,0	498,0	329,0	384,0	101,0	311
PACHAVITA	10,0	11,0	54,0	173,0	267,0	411,0	264,0	190,0	106,0	117,0	32,0	11,0	137,1666667
PACHAVITA	35,0	78,0	16,0	220,0	167,0	218,0	177,0	103,0	146,0	137,0	114,0	43,0	121,1666667
PACHAVITA	37,6	57,6	95,6	242,6	194,6	158,6	189,6	244,6	124,6	176,6	75,6	17,6	134,6066667
PACHAVITA	10,0	97,0	85,0	287,0	188,0	246,0	214,0	215,9	102,3	138,0	92,1	69,0	145,3583333
PACHAVITA	16,0	52,0	31,0	121,0	133,0	246,0	188,0	205,0	150,0	56,0	46,2	10,4	104,5516667
PACHAVITA	5,7	7,6	29,8	98,3	162,3	183,2	110,0	187,2	131,5	111,7	143,6	41,3	101,025
PACHAVITA	0,7	108,7	69,4	104,1	148,4	253,3	194,0	115,7	66,9	145,7	48,4	38,6	107,8333333
PACHAVITA	6,8	39,6	57,6	102,8	164,5	146,0	203,8	213,3	82,7	167,6	57,0	31,7	106,125
PACHAVITA	6,5	12,0	10,9	90,3	187,5	309,4	326,2	101,4	47,6	62,6	176,0	27,4	113,15
PACHAVITA	15,3	29,0	83,6	61,5	162,2	177,0	52,5	82,6	108,5	102,4	72,3	3,1	79,1666667
PACHAVITA							36,8	43,3	25,9	21,3	17,0	7,0	12,615
PACHAVITA	1,7	2,0	24,2	18,2	149,0	182,0	367,0	426,0	254,0	169,0	25,1	5,1	135,2766667
PACHAVITA	0,4	5,1	0,6	53,1	23,9	88,0	222,0	203,4	94,5	88,0	76,0	15,0	72,5
PACHAVITA	103,0	44,4	103,5	223,0	281,8	193,0	192,0	105,0	74,0	54,0	80,6	15,5	122,4833333
PACHAVITA	45,0	0,0	60,0	85,0	137,0	150,0	243,0	186,0	136,0	200,0	92,0	42,0	114,6666667
PACHAVITA	28,0	0,0	222,0	107,0	114,0	182,0	134,0				154,0	92,0	86,08333333
PACHAVITA	38,0	109,0	173,0	101,0	386,0	358,0	295,0	339,0	252,0	146,4	46,0	46,0	190,7833333
PACHAVITA	43,0	72,0	66,0	94,0	154,0	116,0	311,2	163,0	72,0	76,0	76,0	7,0	104,1833333
PACHAVITA	2,0	26,0	59,0	163,3	227,3	167,9	274,6	120,6	114,3	87,4	48,8	65,9	113,0916667
PACHAVITA	37,6	66,2	57,8	132,3	83,5	165,9	218,3	67,4	173,2	127,0	36,4	15,8	98,45
PACHAVITA	13,1	17,3	72,4	43,0	257,2	158,4	181,8	225,7	234,1	105,6	62,4	58,8	119,15
PACHAVITA	3,4	14,4	100,8	99,3	168,4	141,1	133,5	128,2	147,9	111,6	116,3	82,5	103,95
PACHAVITA	7,0	52,6	58,9	197,0	186,4	126,8	151,7	210,5	158,4	178,0	47,4	11,8	115,5416667

Fuente: Resultado del estudio.

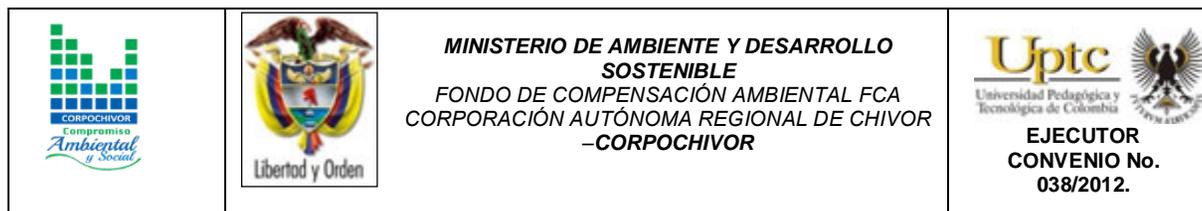


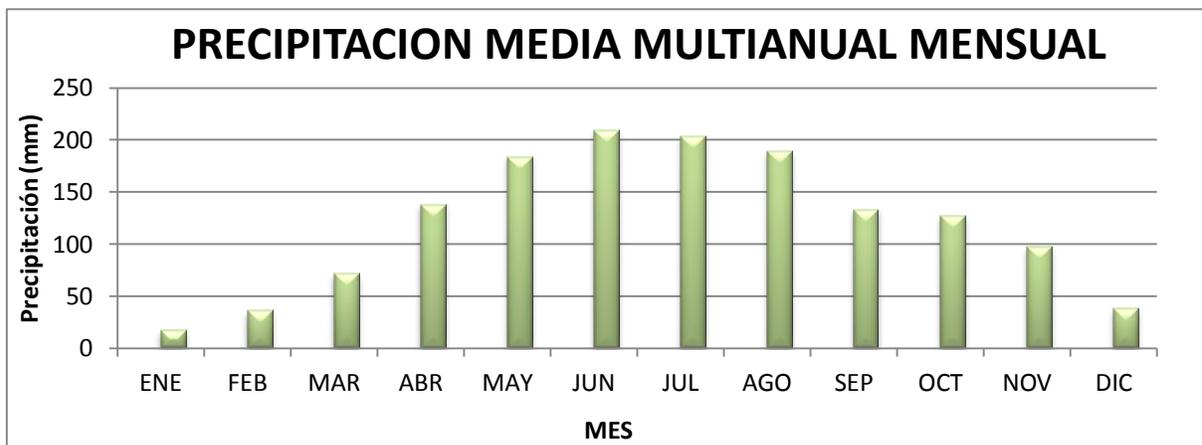
Tabla 6. Precipitación media multianual mensual por estación.

PACHAVITA	10,0	9,3	74,9	138,3	179,6	175,8	230,3	142,3	131,9	146,0	104,5	27,0	114,1583333
PACHAVITA	2,3	58,5	59,6	150,0	316,7	214,9	194,4	176,8	112,9	104,8	73,7	40,4	125,4166667
PACHAVITA	19,4	31,7	33,4	116,1	227,3	97,3	105,6	140,0	142,6	141,0	156,2	12,5	101,925
PACHAVITA	33,7	0,7	115,1	164,1	124,2	276,8	149,6	198,5	81,2	188,3	93,0	37,7	121,9083333
PACHAVITA	2,2	32,3	67,0	98,3	204,3	187,2	79,9	196,9	139,0	144,0	79,6	41,2	105,9916667
PACHAVITA	10,3	19,7	60,4	49,1	168,1	228,1	211,6	103,3	134,4	87,8	125,4	24,2	101,8666667
PACHAVITA	25,1	10,0	49,2	105,1	86,0	304,2	135,6	182,8	75,3	85,0	73,0	12,7	95,3333333
PACHAVITA	1,3	44,0	86,9	168,3	224,1	101,7	242,0	97,9	63,9	125,4	147,8	102,3	117,1333333
PACHAVITA	7,2	71,2	129,4	196,8	240,1	184,7	126,7	128,9	127,2	146,0	214,5	74,2	137,2416667
PACHAVITA	4,9	34,6	136,0	204,2	117,6	154,9	224,5	220,3	75,0	146,9	77,7	29,5	118,8416667

Fuente: Resultado del estudio.

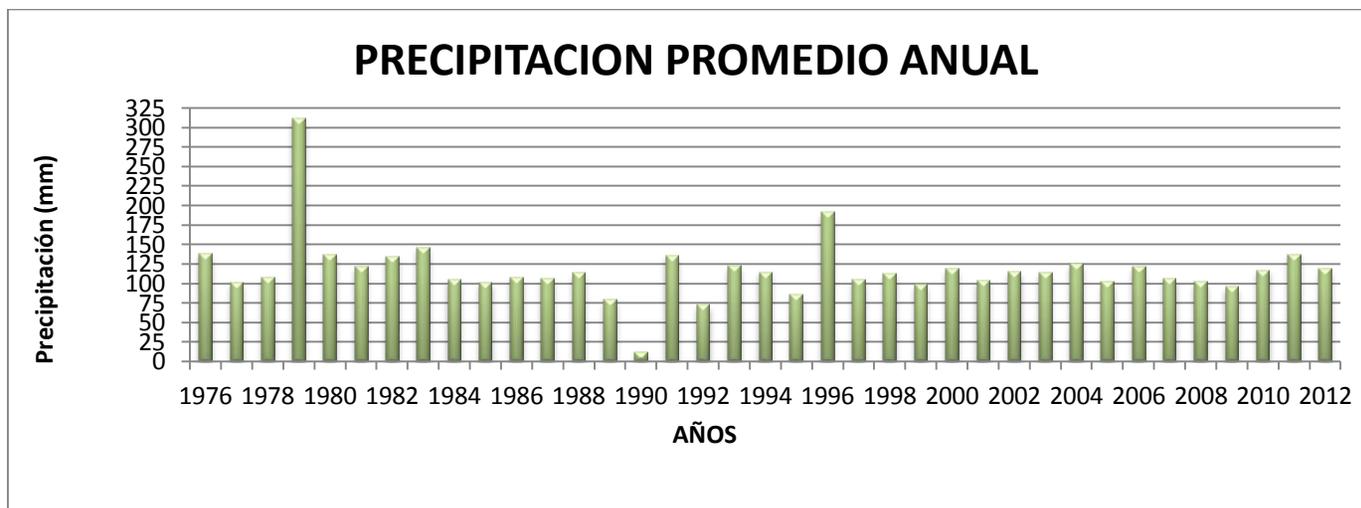
La precipitación media del área de estudio presenta un comportamiento bimodal, que muestra dos periodos de precipitación alta comprendidos en los meses Mayo-Junio y Julio-Agosto (Figura 4) y dos periodos de sequía comprendidos en los meses Noviembre – Diciembre, Enero- Febrero.

Figura 4. Gráfico de precipitación media multianual mensual.



Fuente: Resultado del estudio..

Figura 5. Gráfico de precipitación media multianual.

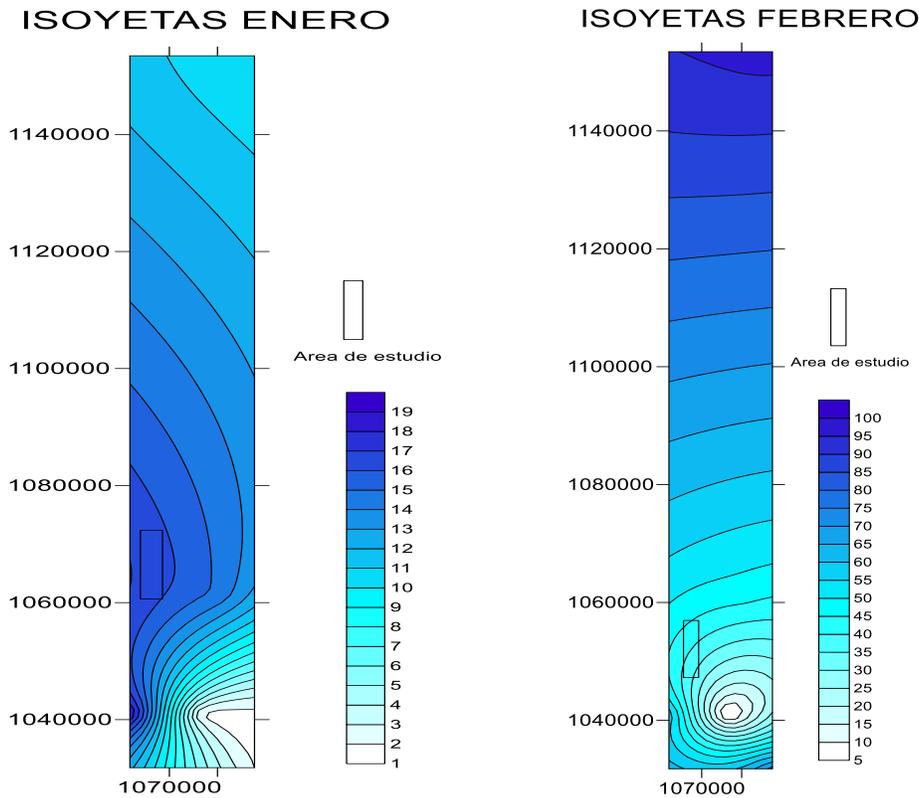


Fuente: Resultado del estudio.

El comportamiento de la precipitación promedio anual, para los años 1977, 1983, 1985, 1990, 1992, 1995, 1999, 2005, 2009 (Figura 5) se encuentran valores que varían entre los 20 - 110 mm, en los años 1976 -1980 -1991 – 2001 – 2004 – 2011 se encuentran valores que varían entre los 110 - 140 mm y los años restantes se presentan valores que varían entre 150 - 300 mm.

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

Figura 6. Isoyetas mes de Enero y Febrero

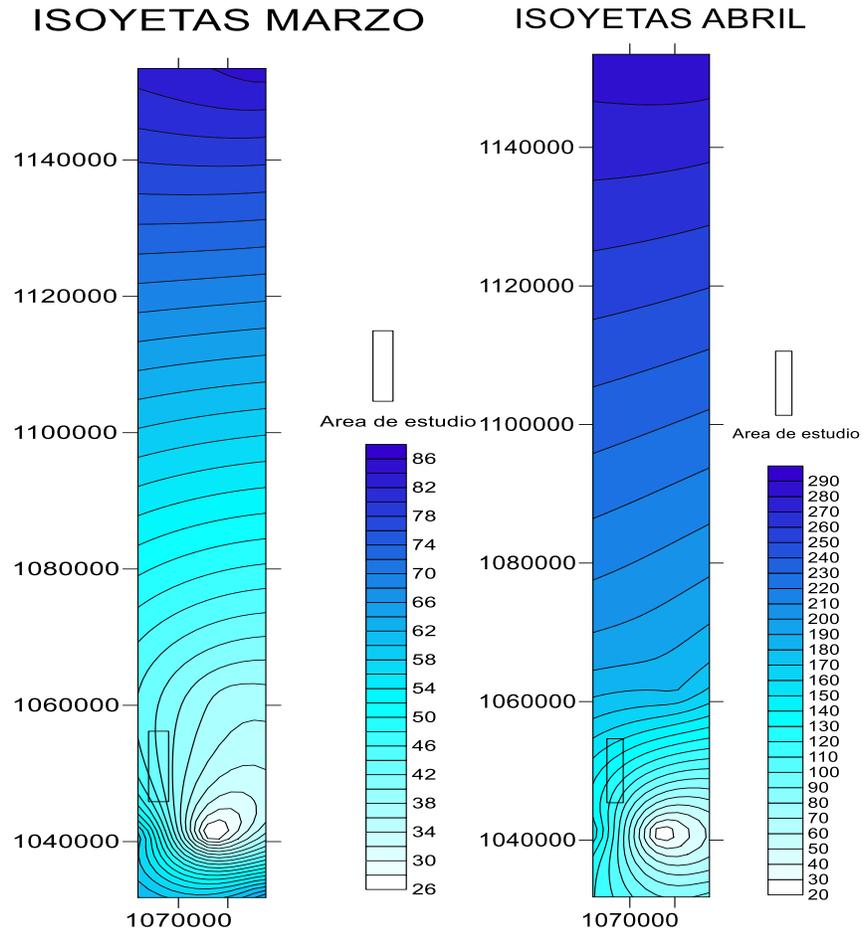


Fuente: Resultado del estudio.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Enero correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 14 y 19 mm.

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

Figura 7. Isoyetas mes de Marzo y Abril

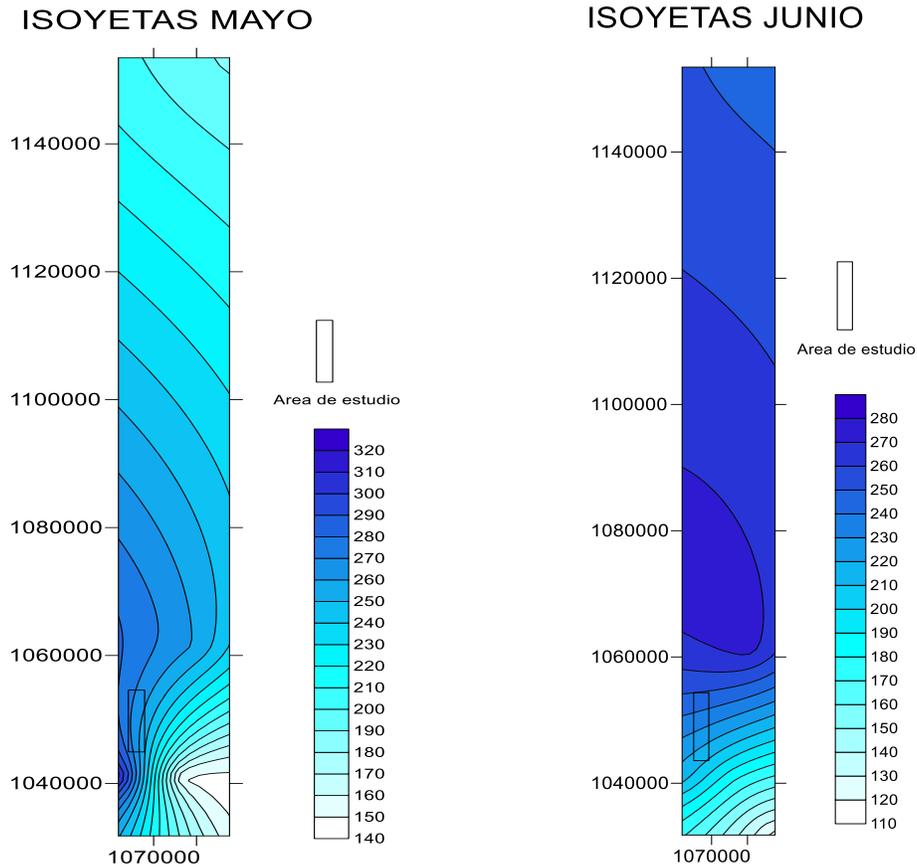


**Fuente:** Resultado del estudio.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Marzo correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 34 y 54 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Abril correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 70 y 130 mm.

Figura 8. Isoyetas mes de Mayo y Junio

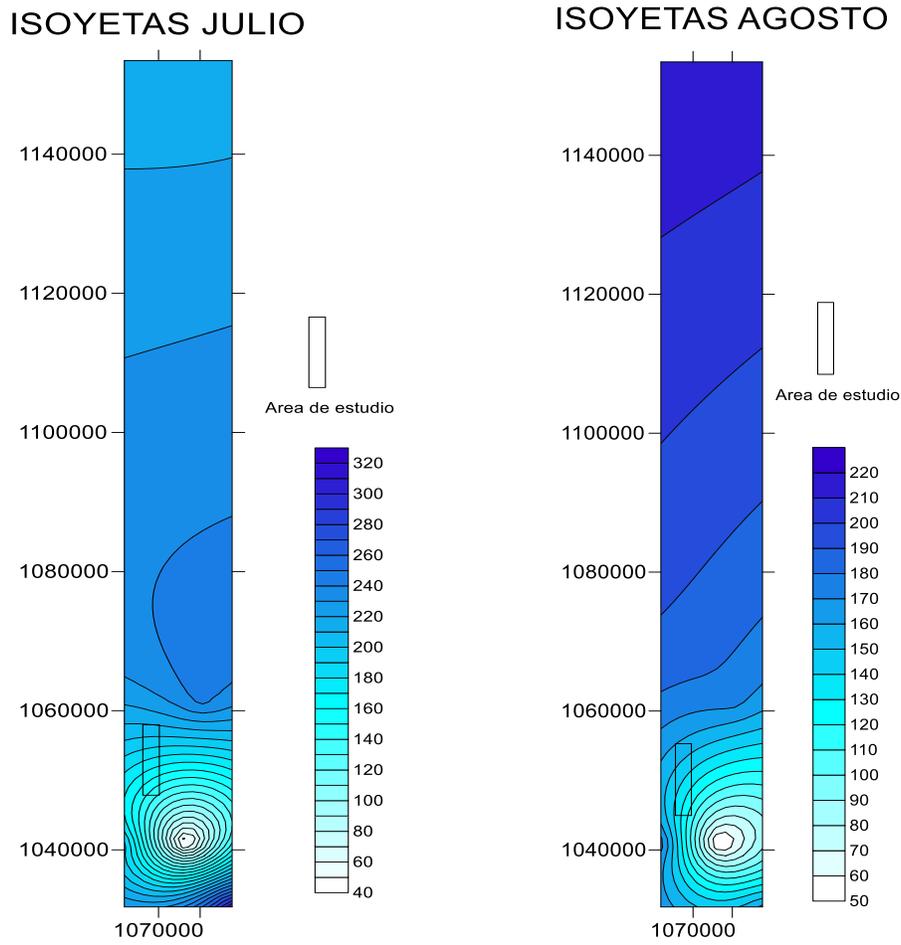


Fuente: Resultado del estudio.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Mayo correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 190 y 250 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Junio correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 210 y 260 mm.

Figura 9. Isoyetas mes de Julio y Agosto



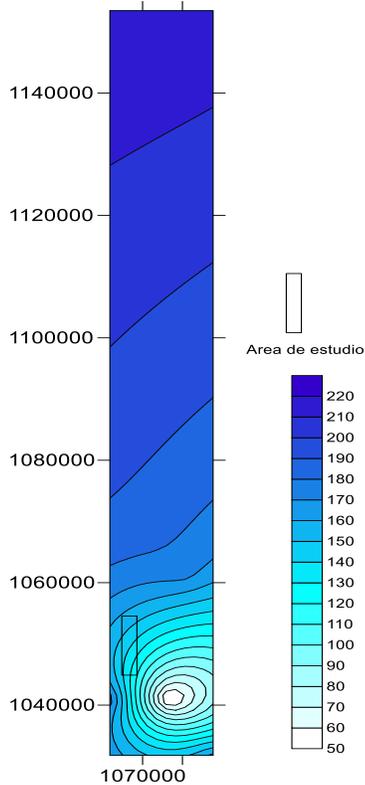
**Fuente:** Resultado del estudio.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Julio correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 120 y 200 mm.

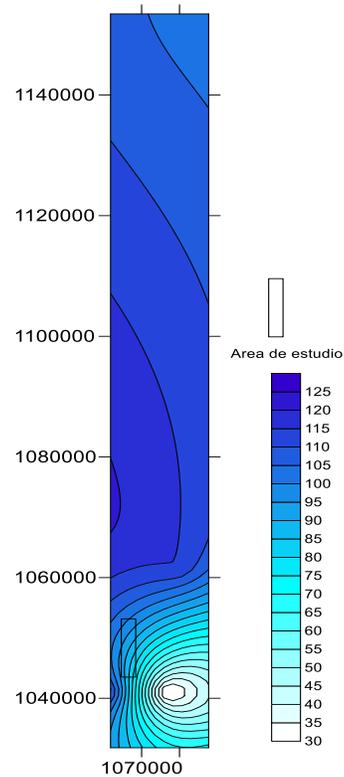
El comportamiento de la precipitación para el mes de Agosto correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 90 y 160 mm.

Figura 10. Isoyetas mes de Septiembre y Octubre

ISOYETAS SEPTIEMBRE



ISOYETAS OCTUBRE

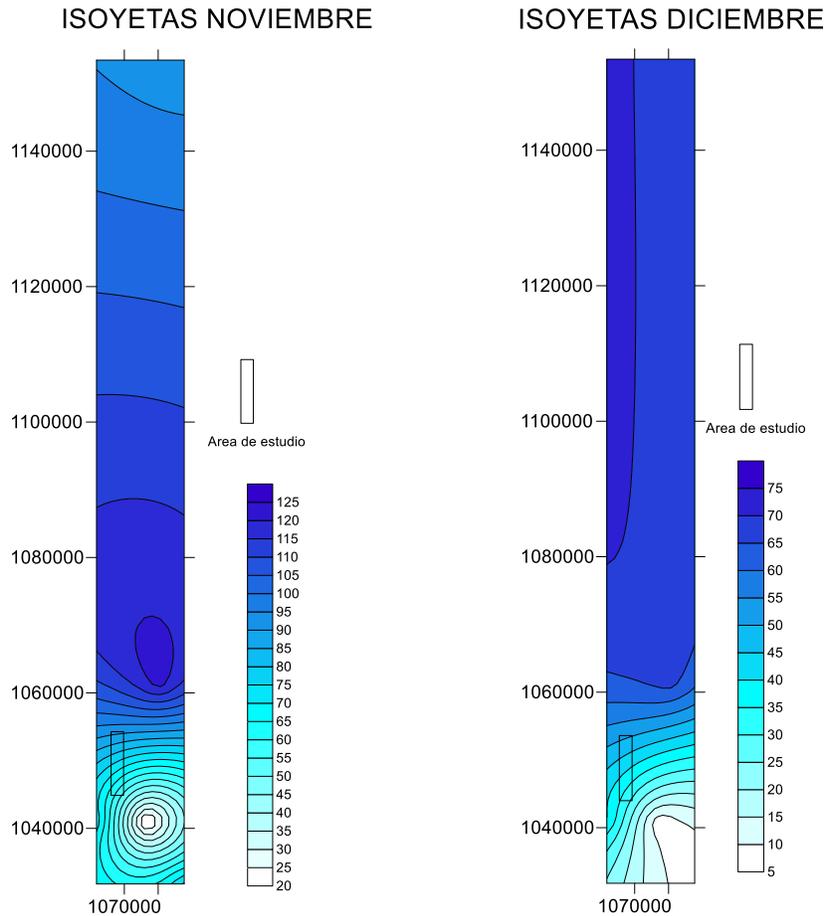


**Fuente:** Resultado del estudio.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Septiembre correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 90 y 150 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Octubre correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 65 y 96 mm.

Figura 11. Isoyetas mes de Noviembre y Diciembre



**Fuente:** Resultado del estudio.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Noviembre correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 56 y 80 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Diciembre correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 30 y 55 mm.

## 2.4.2. ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP)

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

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

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

Dónde:

ETP: Evapotranspiración

T: Temperatura media del aire en grados Celsius

HR: Humedad relativa media (%)

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

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

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

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

Tabla 7. Rangos de temperatura Pachavita.

	Temperatura (°C)
Periodo 1	15.8
Periodo 2	17.7
Periodo 3	19.4

**Fuente:** Resultado del estudio.

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

Tabla 8. Valores de Evapotranspiración

ETP1	ETP2	ETP3
4,55815346	5,412456631	6,21942925

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

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

- 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

$\Delta S$ = cambios en el contenido de humedad del suelo

REC= recarga o infiltración potencial

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

$$I = P - ETR - R$$

Dónde:

P = precipitación media por el método de las isoyetas.

ETR = evapotranspiración real.

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

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

AÑO	P	R	I	ETP
1976	138,075	14,94159558	123,133404	4,558153
1977	100,5833333	14,73228421	85,8510491	4,558153
1978	107,9166667	19,46117575	88,455491	4,558153
1979	311	199,2178175	111,782183	4,558153
1980	137,1666667	41,09360425	96,0730625	4,558153
1981	121,1666667	28,80481838	92,3618483	4,558153
1982	134,6083333	39,06942232	95,538911	4,558153
1983	145,3583333	47,70143011	97,6569032	4,558153
1984	104,55	17,24482025	87,3051798	4,558153
1985	101,025	15,00639197	86,018608	4,558153
1986	107,8333333	19,40544851	88,4278848	4,558153
1987	106,125	18,27259441	87,8524056	5,412457
1988	113,15	23,04230727	90,1076927	5,412457
1989	79,16666667	3,684006238	75,4826604	5,412457
1990	12,61666667	193,9894931	-181,37283	5,412457
1991	135,275	39,59494999	95,68005	5,412457
1992	72,5	1,495051511	71,0049485	5,412457
1993	122,4833333	40,83566618	81,6476671	5,412457
1994	114,6666667	35,70492793	78,9617388	5,412457
1995	86,08333333	18,81738261	67,2659507	5,412457
1996	190,7833333	91,71276902	99,0705643	5,412457
1997	104,1833333	29,13945058	75,0438827	5,412457
1998	113,0916667	34,69446226	78,3972044	5,412457
1999	98,45	25,71985124	72,7301488	5,412457
2000	119,15	38,62477581	80,5252242	6,219429
2001	103,95	28,99779844	74,9522016	6,219429
2002	115,5416667	36,26978695	79,2718798	6,219429

Fuente: Resultado del estudio.

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

2003	114,1583333	35,37791069	78,7804226	6,219429
2004	125,4166667	42,80815114	82,6085156	6,219429
2005	101,925	27,77715741	74,1478426	6,219429
2006	121,9083333	40,45193056	81,4564027	6,219429
2007	105,9916667	30,24414059	75,7475261	6,219429
2008	101,8666667	27,74222862	74,1244381	6,219429
2009	95,33333333	23,91659348	71,4167399	6,219429
2010	117,1333333	37,30356617	79,8297671	6,219429
2011	137,2416667	50,99602874	86,245638	6,219429
2012	118,8416667	38,42196002	80,4197067	6,219429

Fuente: Resultado del estudio.

## 2.4.5 RESULTADOS OBTENIDOS

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



Tabla 11. Estimación del Balance Hídrico

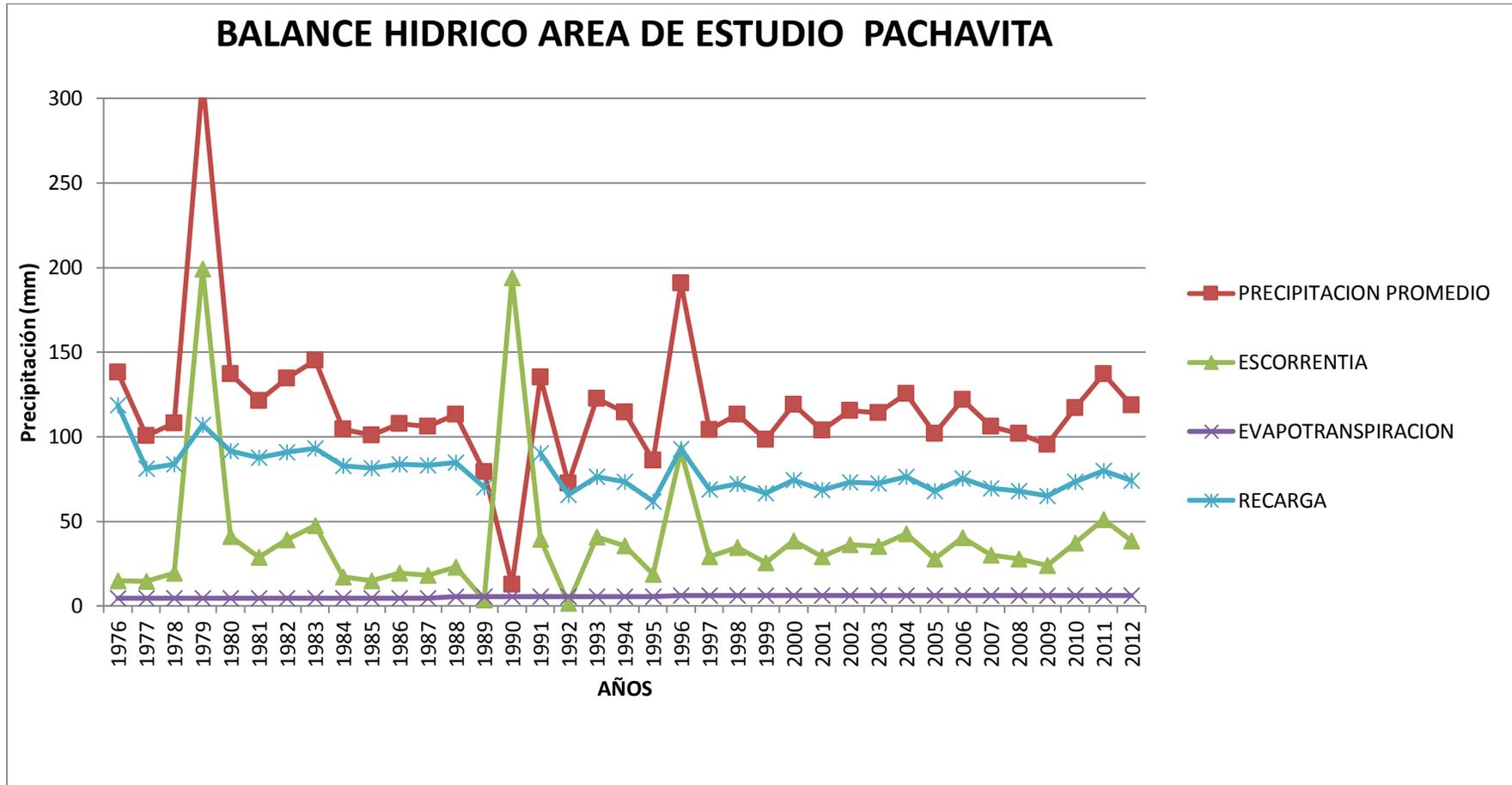
AÑO	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
PRECIPITACION PROMEDIO	138,075	100,5833333	107,9166667	311	137,1666667	121,1666667	134,6083333	145,3583333	104,55	101,025	107,8333333	106,125
ESCORRENTIA	14,94159558	14,73228421	19,46117575	199,2178175	41,09360425	28,80481838	39,06942232	47,70143011	17,24482025	15,00639197	19,40544851	18,27259441
EVAPOTRANSPIRACION	4,55815346	4,55815346	4,55815346	4,55815346	4,55815346	4,55815346	4,55815346	4,55815346	4,55815346	4,55815346	4,55815346	4,55815346
DELTA	118,575251	81,29289563	83,89733749	107,224029	91,51490899	87,80369486	90,98075752	93,09874973	82,74702629	81,46045457	83,86973133	83,29425213
ALMACENAMIENTO	118,575251	81,2928956	83,8973375	107,224029	91,514909	87,8036949	90,9807575	93,0987497	82,7470263	81,4604546	83,8697313	83,2942521
DEFICIT												
RECARGA	118,575251	81,2928956	83,8973375	107,224029	91,514909	87,8036949	90,9807575	93,0987497	82,7470263	81,4604546	83,8697313	83,2942521

AÑO	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
PRECIPITACION PROMEDIO	113,15	79,16666667	12,61666667	135,275	72,5	122,4833333	114,6666667	86,08333333	190,7833333	104,1833333	113,0916667	98,45
ESCORRENTIA	23,04230727	3,684006238	193,9894931	39,59494999	1,495051511	40,83566618	35,70492793	18,81738261	91,71276902	29,13945058	34,69446226	25,71985124
EVAPOTRANSPIRACION	5,412456631	5,412456631	5,412456631	5,412456631	5,412456631	5,412456631	5,412456631	5,412456631	6,21942925	6,21942925	6,21942925	6,21942925
DELTA	84,6952361	70,0702038	-186,7852831	90,26759338	65,59249186	76,23521049	73,54928214	61,85349409	92,85113503	68,82445347	72,1777519	66,51071951
ALMACENAMIENTO	84,6952361	70,0702038		90,2675934	65,5924919	76,2352105	73,5492821	61,8534941	92,851135	68,8244535	72,177752	66,5107195
DEFICIT			-186,785283									
RECARGA	84,6952361	70,0702038		90,2675934	65,5924919	76,2352105	73,5492821	61,8534941	92,851135	68,8244535	72,177752	66,5107195

AÑO	2000	2001	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
PRECIPITACION PROMEDIO	119,15	103,95	114,1583333	125,4166667	101,925	121,9083333	105,9916667	101,8666667	95,33333333	117,1333333	137,2416667	118,8416667
ESCORRENTIA	38,62477581	28,99779844	35,37791069	42,80815114	27,77715741	40,45193056	30,24414059	27,74222862	23,91659348	37,30356617	50,99602874	38,42196002
EVAPOTRANSPIRACION	6,21942925	6,21942925	6,21942925	6,21942925	6,21942925	6,21942925	6,21942925	6,21942925	6,21942925	6,21942925	6,21942925	6,21942925
DELTA	74,30579494	68,73277231	72,56099336	76,38908631	67,92841334	75,23697349	69,52809686	67,90500883	65,1973106	73,61033788	80,02620871	74,20027743
ALMACENAMIENTO	74,3057949	68,7327723	72,5609934	76,3890863	67,9284133	75,2369735	69,5280969	67,9050088	65,1973106	73,6103379	80,0262087	74,2002774
DEFICIT												
RECARGA	74,3057949	68,7327723	72,5609934	76,3890863	67,9284133	75,2369735	69,5280969	67,9050088	65,1973106	73,6103379	80,0262087	74,2002774

Fuente: Resultado del estudio.

Figura 12. Comportamiento de las Curvas del Balance Hídrico.



Fuente: Resultado del estudio.

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

### 2.5.1. Resultados

Ajuste de una serie de datos a la distribución Gumbel

Serie de datos X:

N°	X
1	168,0
2	210,0
3	230,0
4	316,0
5	227,0
6	276,0
7	204,0
8	228,0
9	304,0
10	242,0
11	240,0

Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov:

m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom Lineal	Delta
1	168,0	0,0833	0,0087	0,0157	0,0746
2	204,0	0,1667	0,1934	0,2150	0,0268
3	210,0	0,2500	0,2524	0,2719	0,0024
4	227,0	0,3333	0,4341	0,4430	0,1008
5	228,0	0,4167	0,4447	0,4529	0,0281
6	230,0	0,5000	0,4658	0,4726	0,0342
7	240,0	0,5833	0,5661	0,5663	0,0173
8	242,0	0,6667	0,5848	0,5839	0,0819
9	276,0	0,7500	0,8211	0,8103	0,0711
10	304,0	0,8333	0,9172	0,9075	0,0839
11	316,0	0,9167	0,9411	0,9327	0,0245

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

----

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

Como el delta teórico 0,1008, es menor que el delta tabular 0,4101. Los datos se ajustan a la distribución Gumbel, con un nivel de significación del 5%

-----  
Parámetros de la distribución Gumbel:  
-----

Con momentos ordinarios:

Parámetro de posición ( $\mu$ )= 220,8564

Parámetro de escala (alfa)= 33,9528

Con momentos lineales:

Parámetro de posición ( $\mu_l$ )= 219,5602

Parámetro de escala (alfal)= 36,1985

-----  
Caudal de diseño:  
-----

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 2 años, es 233,30

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 5 años, es 271,78

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 10 años, es 297,26

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 25 años, es 329,46

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 50 años, es 353,34

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 75 años, es 367,22

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 100 años, es 377,04

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 500 años, es 431,83

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

## 2.6 MORFOMETRÍA DE LA CUENCA

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

Área de la Cuenca (A)

Perímetro de la cuenca (P)

Coeficiente de compacidad (C).

Coeficiente de redondez (K).

Densidad de drenaje (Dd)

Pendiente media de la corriente (IC)

Área de la Cuenca (A)

- **Área de la Cuenca (A)** El área de la cuenca se obtiene de acuerdo al promedio de las mediciones realizadas con el Planímetro, AutoCad, o cualquier otro método para su medición, está limitada por divisorias de aguas, hasta la desembocadura del río o quebrada y está dada en Km<sup>2</sup>.

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

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

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

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

C= 1: Cuenca de forma compacta redonda.

C= 1.20: Cuenca semicompacta semioval 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)

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

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

Dd < 0.5 : Baja  
Dd = 0.5 : Media  
Dd > 1 : Alta

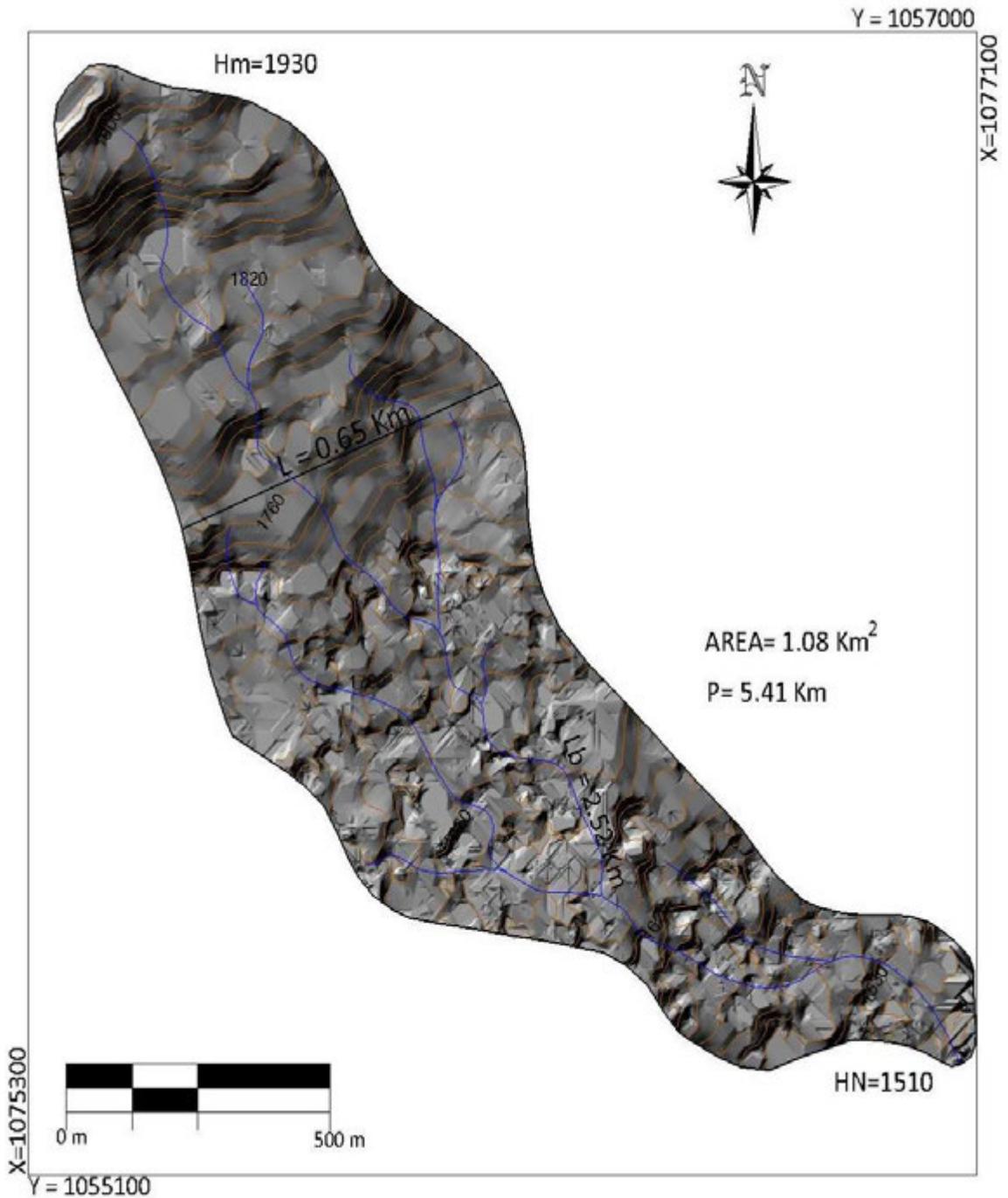
▪ **Tiempo de concentración (TC)** Es el tiempo que gasta una gota de agua en recorrer el sitio más lejano de la cuenca a la desembocadura del cauce principal.

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

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

A continuación resumimos en la Tabla 12 el resultado de los cálculos morfométricos a la cuenca regional de Pachavita analizadas para el presente estudio.

Figura 13. Imagen ilustrativa de la cuenca regional Pachavita



Fuente: Resultado del estudio.

Tabla 12. Valores de parámetros morfométricos para la cuenca regional.

NOMBRE CUENCA	Área de la Cuenca en Km (A)	Perímetro de la cuenca Km (P)	longitud de la cuenca Km (Lb)	el ancho mayor Km (l)	longitud acumulada de todas las corrientes Km (Ld)	longitud acumulada de todas las corrientes Km (Ld)
Rio Garagoa	1.08	5.41	2.52	0.65	5.33	1930
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)
1510	0.42	0.17	2.00	1.86	16.64	3.88
COEFICIENTE DE COMPACIDAD (C). FORMA Y SUSCEPTIBILIDAD		COEFICIENTE DE REDONDEZ (K). FORMA Y SUSCEPTIBILIDAD		DENSIDAD DE DRENAJE (Dd)		TIEMPO DE CONCENTRACIÓN en horas (TC)
1.48	oblonga	1.48	Semiredonda	4.96	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
0.43	crítico	0.46	ALARGADA	0.66	Irregular	4

Fuente: Resultado del estudio.

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

		<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 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 Pachavita, analizar la presencia de posibles acuíferos, con el fin de conocer las condiciones que influyen en el deslizamiento.

#### 3.1 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 Acuícierre, dependiendo de sus características de porosidad y permeabilidad, así:

##### 3.1.1 Acuífero.

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

##### 3.1.2 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 Acuícieres, 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.

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

### 3.1.3 Acuícerres.

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

## 3.2 MARCO HIDROLÓGICO GENERAL

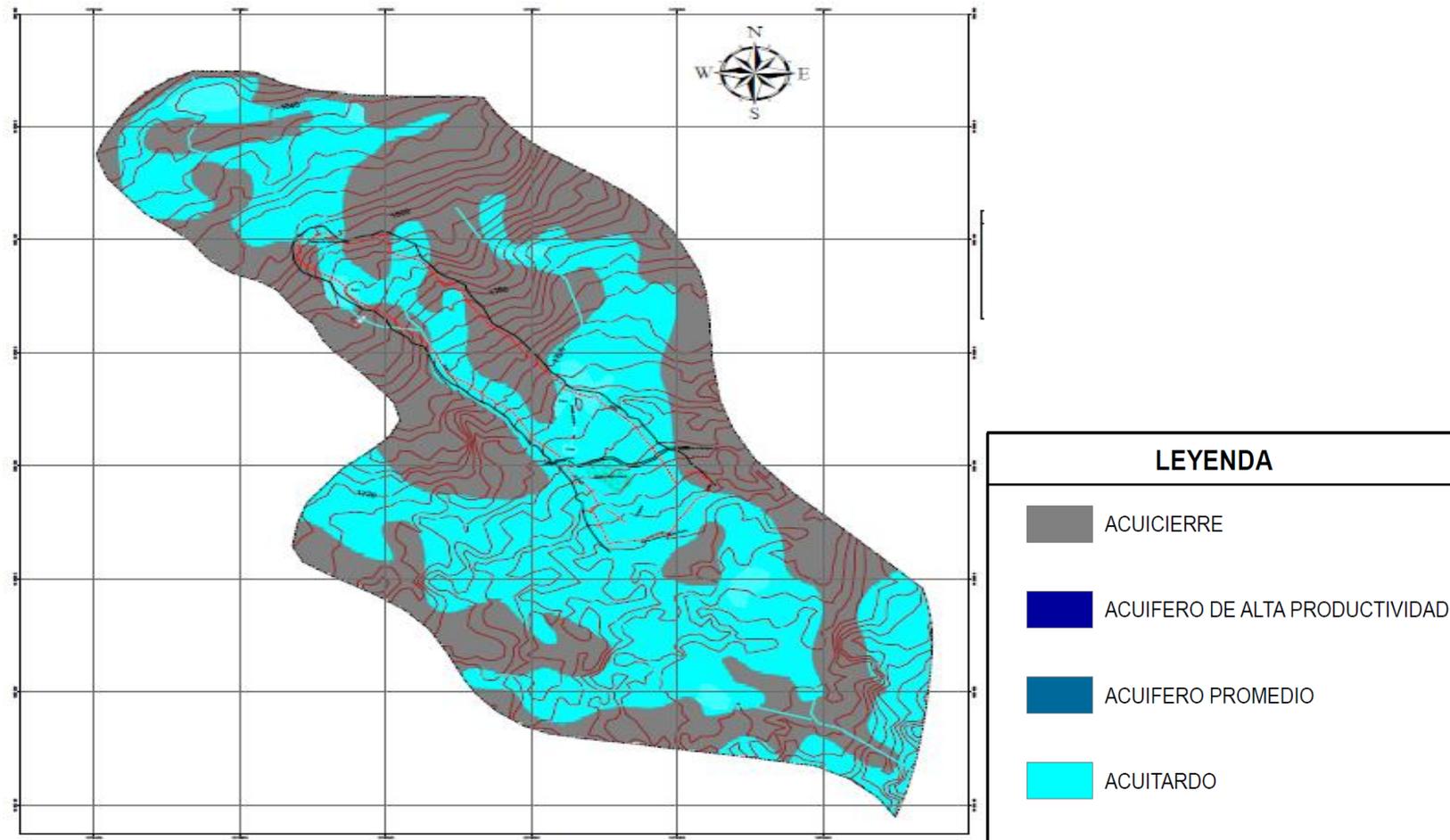
### 3.2.1 UNIDAD I (Permeabilidad Media)

Se asocia a rocas, que permiten almacenar cierta cantidad de agua, pero que la transmiten muy lentamente, como es el caso de los cuaternarios, estos poseen poros, pero no están conectados entre sí, por lo tanto no se transmite el agua y se va reteniendo en la matriz lodosa que la contiene.

### 3.2.2 UNIDAD II (Permeabilidad Baja)

Rocas con porosidad pero que no permiten el tránsito a través de ellas porque su permeabilidad es muy baja; constituidas por capas calizas, esquistos piritosos, y areniscas cuarsíticas presentes en la Formación Fomeque (Kilm), las cuales se clasifican como acuícerres.

Figura 14. Imagen mapa hidrogeológico área de estudio.

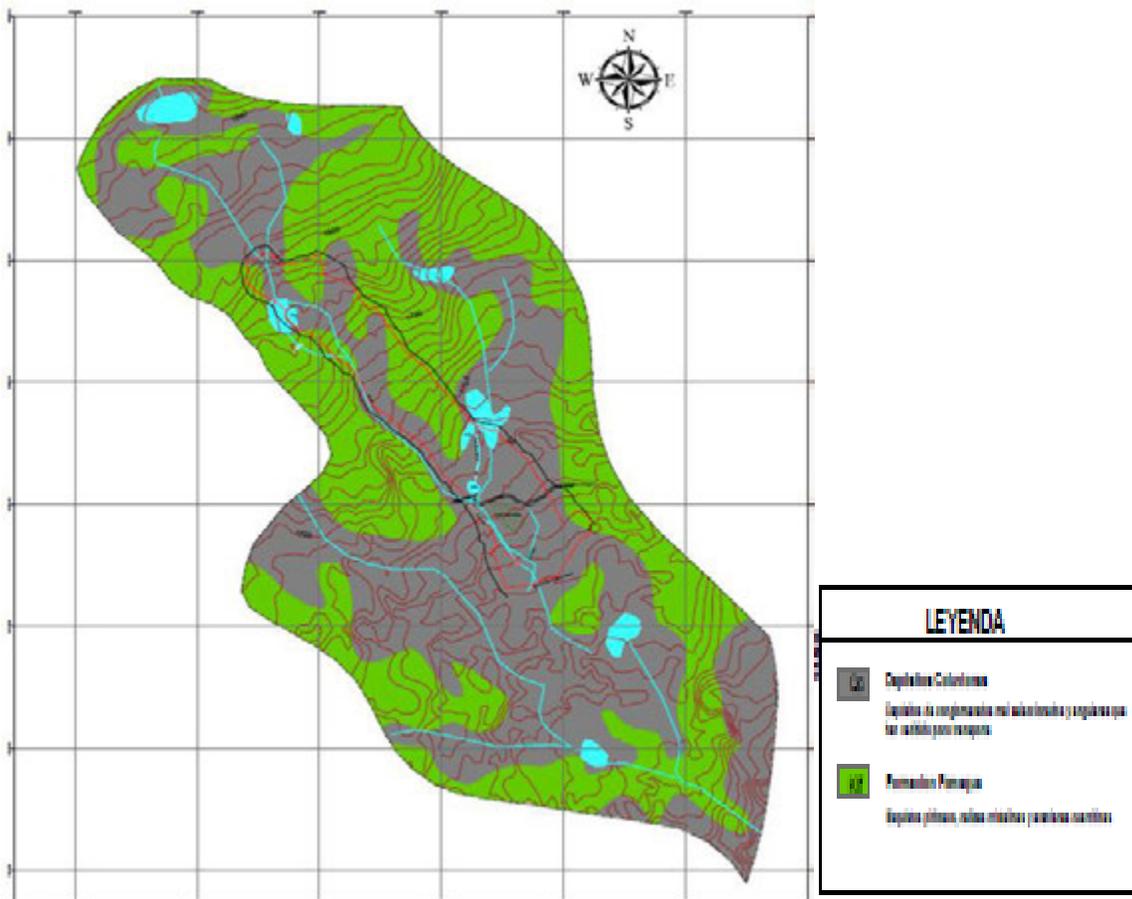


Fuente: Resultado del estudio.

## 4 GEOLOGIA

El municipio de Pachavita se encuentra localizado en una unidad morfoestructural de rumbo NE – SW, como consecuencia de las fuerzas tectónicas que han afectado a la región Andina, sobre el cual presenta una espesa secuencia sedimentaria originada en ambientes marinos de plataforma continentales y costeros.

Figura 15. Imagen mapa geológico área de estudio



**Fuente:** Resultado del estudio.

## 4.1 GEOLOGÍA HISTÓRICA

La secuencia sedimentaria presente en el área del municipio se extiende desde el Cretáceo hasta el Cuaternario, predominando en esta zona los materiales del Cretáceo, Formaciones Labor y tierna, (Kg1), Plaeners (Kg2), Fómeque (Kif), la orogenia que se presentó hace millones de años dio como resultado la actual topografía de montaña que hace inferir una relativa inestabilidad del municipio.

## 4.2 GEOLOGIA LOCAL.

### 4.2.1 Formación Fómeque (Kif).

Esta Formación está constituida por lutitas grises oscuras a negras, fósiles, interestratificadas con margas, limolitas alteradas por proceso de oxidación con colores rojizos y lentejones de caliza grises oscuras con venas de calcita de espesor variable, e intercaladas con areniscas cuarzosas, micáceas, de grano fino con estratificación delgada, en algunos sectores se encuentran bancos de caliza de diferentes espesores. Esta Formación se encuentra en las veredas de Hato Grande, Buenavista, Guacal, Pie de peña y la parte baja de Agua Quiña.

### 4.2.2 Depósitos Cuaternarios.

Estos depósitos son de edades recientes, compuestas por materiales poco consolidados, sueltos o rocas, residuales y fragmentadas y en algunos casos no consolidados que se encuentran en forma discordante, sobre las formaciones del cretáceo. Por lo general están formadas por arcillas, limos, cantos rodados y bloques angulares de areniscas de tipo aluvial y de derrubio.

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

#### **4.2.2.1 Depósitos Coluviales (Qc).**

Estos depósitos están compuestos por detritos de roca y suelo. Son bloques de arenisca de diferentes tamaños, angulares a subredondeados embebidos en una matriz areno arcillosa. Los materiales de estos depósitos se encuentran depositados discordantemente en las veredas de Soaquira, Sacaneca, Aguaquiña, Hato Grande y Buenavista. En las veredas Llano grande y Centro, se encuentra el depósito Coluvial con mayor extensión y de mayor importancia por cuanto sobre él, se localiza la zona urbana del Municipio.

### **4.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL**

Las estructuras geológicas más importantes presentes en la zona de estudio, son los plegamientos y fallamientos derivados de las fuerzas compresivas que actuaron sobre una secuencia sedimentaria, para formar los anticlinales y sinclinales del Municipio. Es importante mencionar la presencia de la falla del Molino y la existencia en algunos sectores de rocas competentes que evidencian sistemas de diaclasas.

#### **4.3.1 Estructuras Plegadas.**

##### **4.3.1.1 Anticlinal de Pachavita.**

Es una estructura asimétrica plegada, normalmente conformada por las rocas de las Formaciones Une (Kiu), Chipaque (Ksch) y Guadalupe (Ksg); el núcleo de esta estructura encuentra erosionado. Presenta una dirección NE-SW y se extiende sobre las veredas Aguaquiña, Centro y Sacaneca atravesando el municipio en su

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

totalidad en el sentido de su orientación. Esta estructura está afectada de forma no significativa por la falla local el molino.

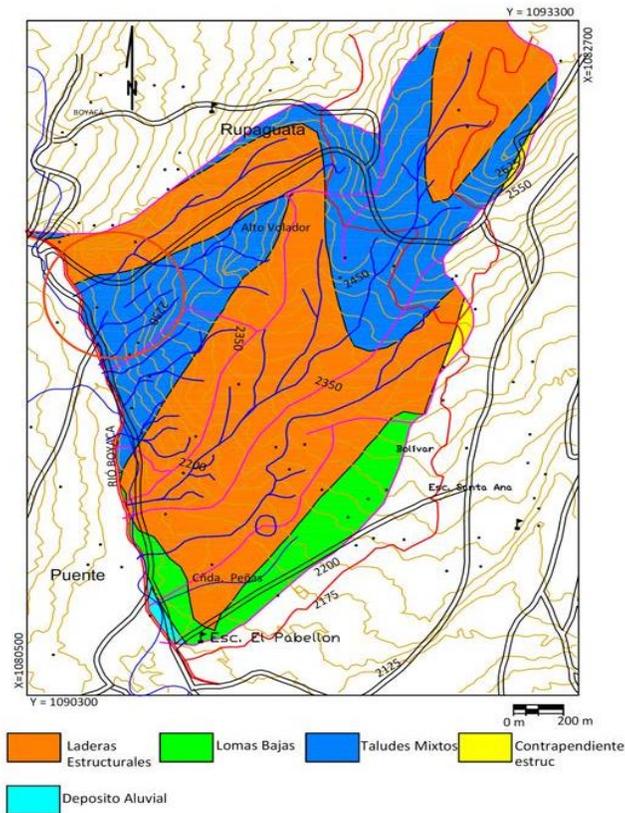
#### **4.3.1.2 Anticlinal la Quiña.**

Esta estructura presenta una dirección NW-SW y se localiza en la vereda Hato Grande, estando compuesta por materiales de la Formación Fómeque (Kif).

## 5 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 Pachavita, 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 16.

Figura 16. 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

### **5.1 GEOMORFOLOGÍA LOCAL**

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

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



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

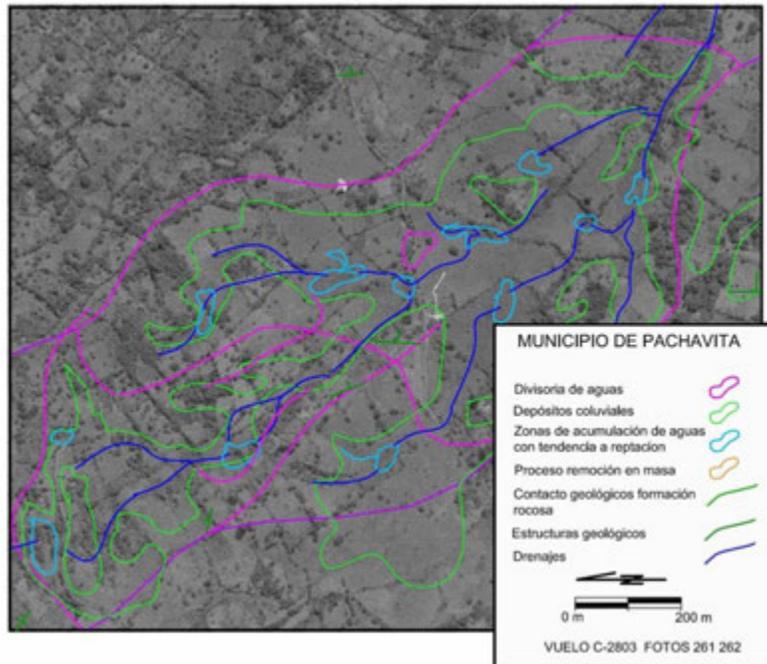
## 5.2 ANÁLISIS FOTOGEOLÓGICO

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 17. Fotografías pertenecientes al vuelo 2803- 261,262 tomadas por el IGAC, durante los años 90.



**Fuente:** Resultado del estudio.

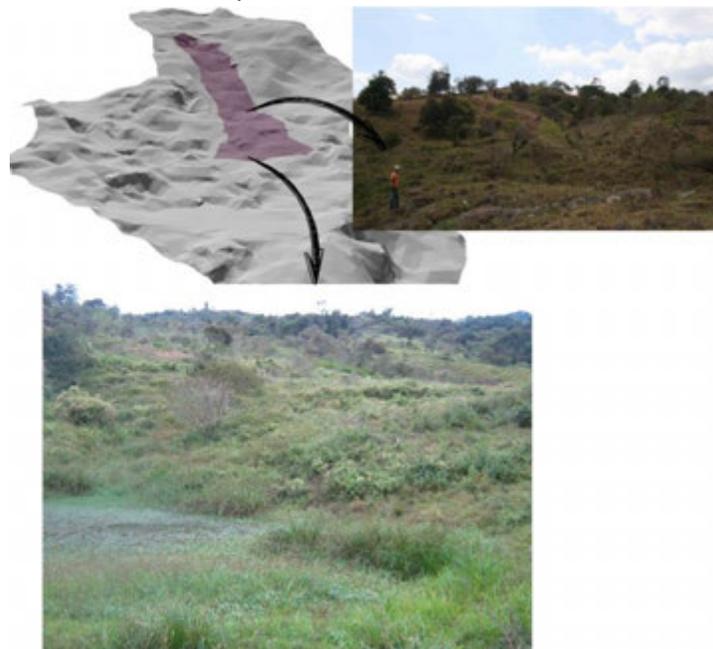
### 5.3 PROCESOS MORFODINÁMICOS

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.

#### 5.3.1 Reptación

Movimiento lento del terreno en donde no se distingue una superficie de falla. La reptación es de tipo estacional asociada a cambios climáticos, o de humedad del terreno, el proceso es activo remontante, presenta un área aproximada de 73331,6 m<sup>2</sup> con una profundidad promedio de 4 m, sus causas posibles por material plástico débil detonado por lluvias, por su uso dado matorrales, cultivos, agrícola, ganadería, los daños presentes en el área de las viviendas, áreas agrícolas y para pastoreo, erosión y deforestación.

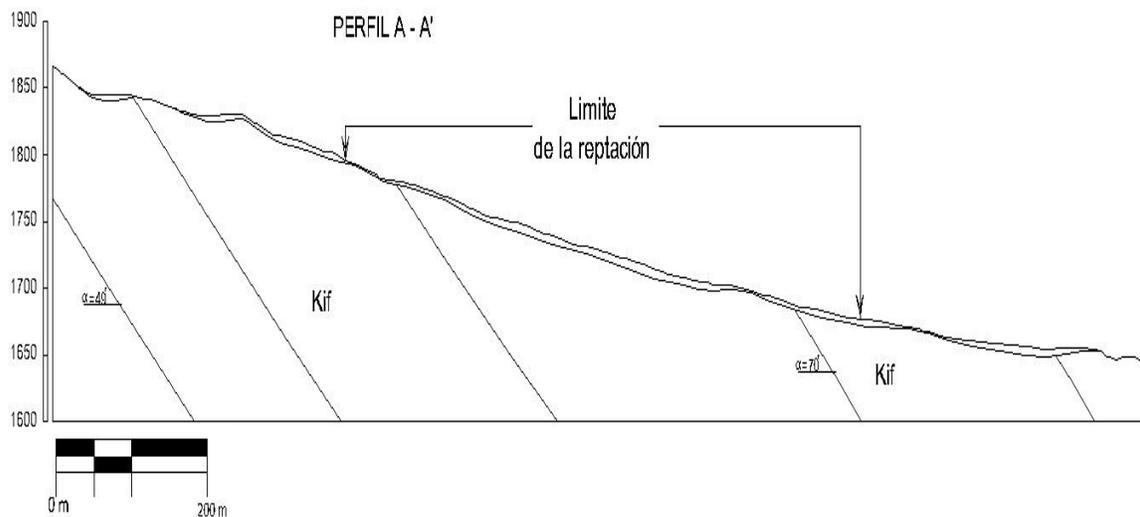
Figura 18. Esquema del movimiento, reptación



**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 19. Esquema del movimiento, perfil reptación



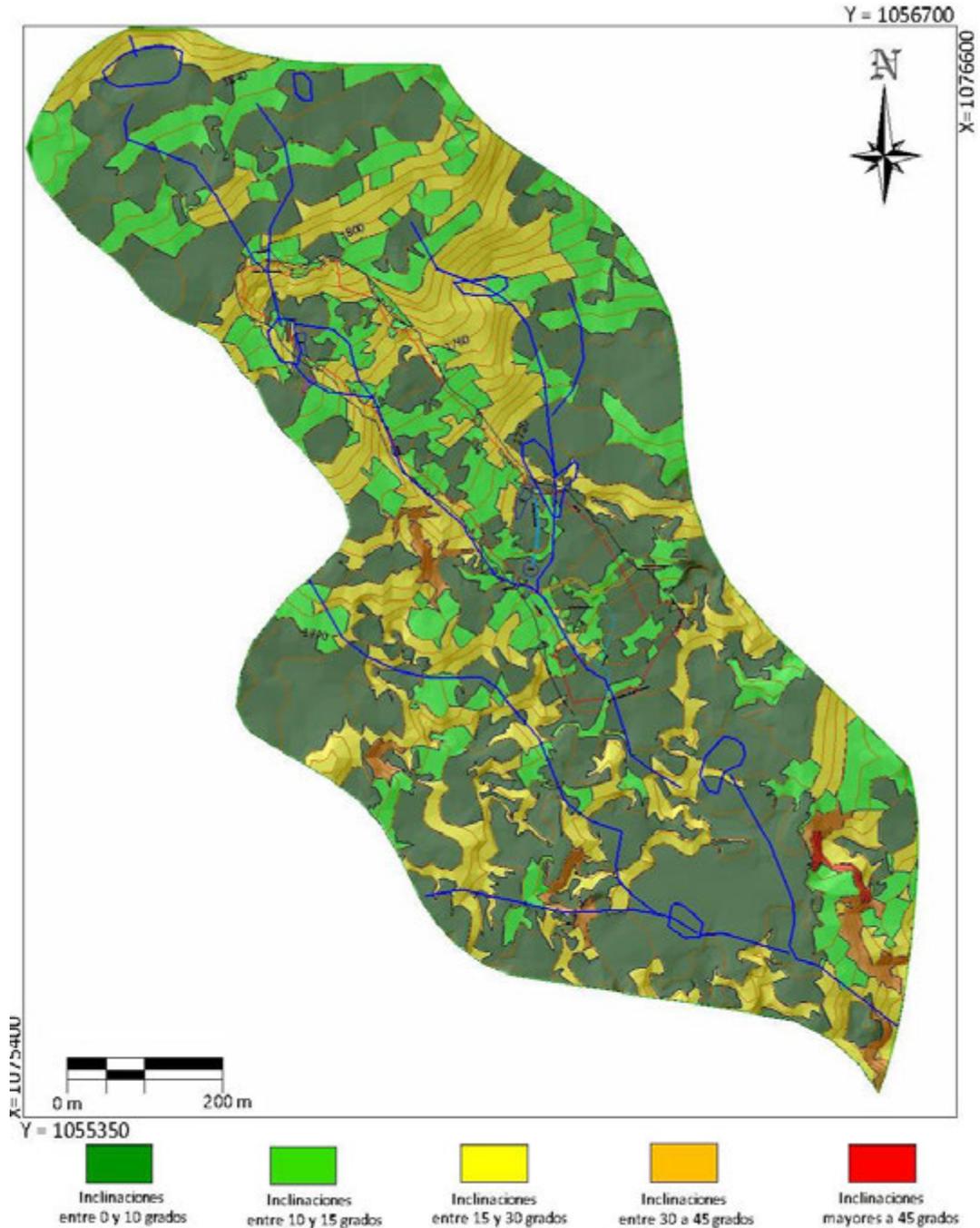
Fuente: Resultado del estudio

#### 5.4 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 20.



Figura 20. Imagen del Mapa de inclinación de las pendientes.



**Fuente:** Resultado del estudio.

Tabla 13. Clasificación de las pendientes.

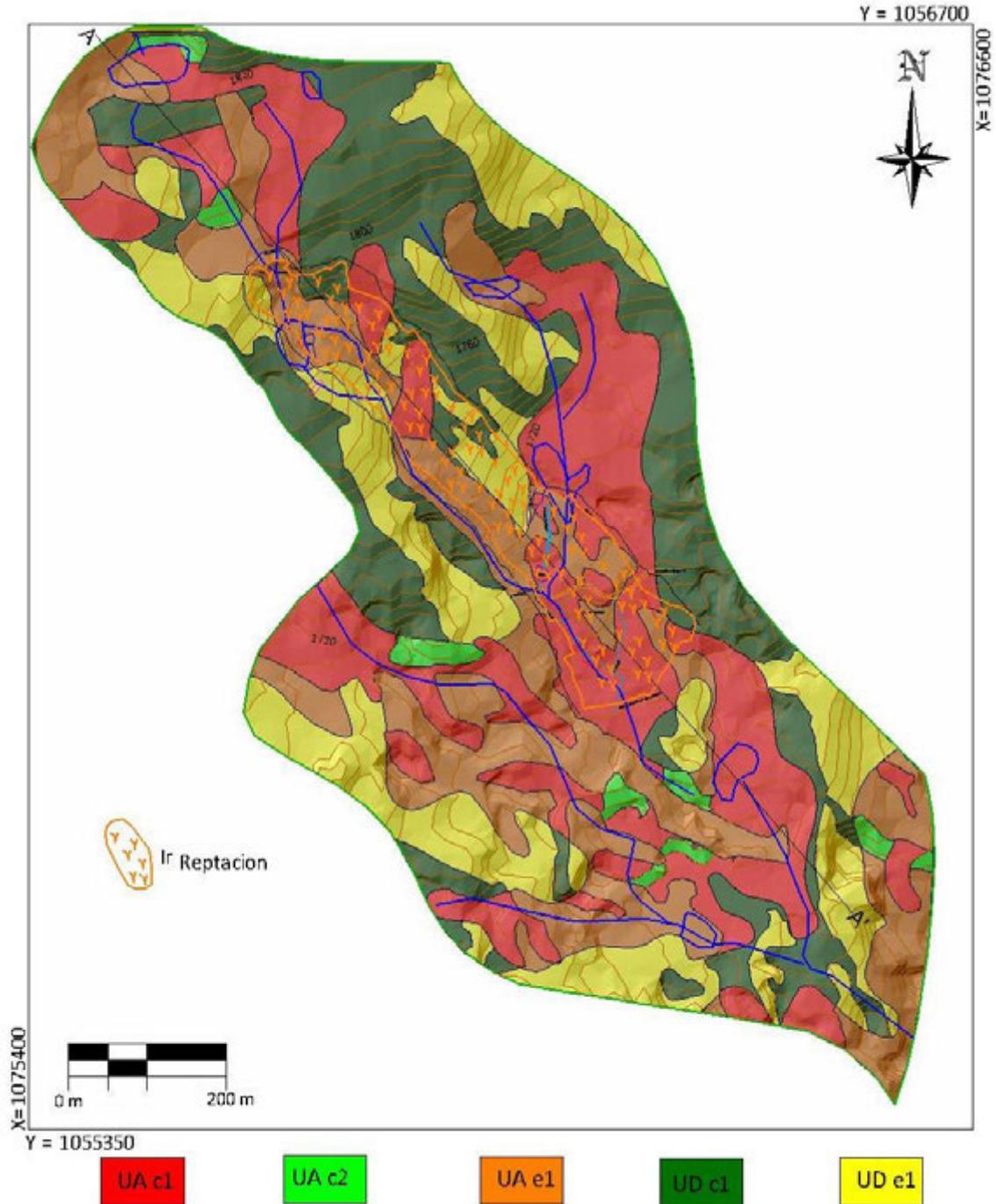
<b>CLASIFICACIÓN DE LAS PENDIENTES</b>	
<b>UNIDAD CARTOGRÁFICA</b>	<b>GRADOS</b>
Suavemente inclinada	0-10
Inclinada	10 15
Abrupta	15-30
Escarpada	30 - 45
Muy Escarpada	> 45

**Fuente:** Resultado del estudio.

## 5.5 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 cinco (5) unidades geomorfológicas de carácter local denominadas como:

Figura 21. 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>
---	---	---	---

### 5.5.1 Geformas de Origen Denudacional.

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

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

Dicha unidad está compuesta por depósitos coluviales, los cuales yacen sobre estratificaciones en contra a la dirección de las pendientes presenta un área de 17.63 ha, de las cuales el 16.30 % presenta inestabilidad. Siendo susceptible a reptaciones y desprendimientos.

#### 5.5.1.2 Unidad agradacional con inclinaciones mayores a 30 grados en ladera en contra pendiente (UA c2)

Dicha unidad está compuesta por depósitos coluviales, los cuales yacen sobre estratificaciones en contra a la dirección de las pendientes presenta un área de 3.83 ha, de las cuales el 8.72 % presenta inestabilidad.

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

Dicha unidad está compuesta por depósitos coluviales, los cuales yacen sobre estratificaciones en contra a la dirección de las pendientes presenta un área de 15.82 ha, de las cuales el 19.95 % presenta inestabilidad. Es la unidad que presenta más afectación a reptaciones y desprendimientos.

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

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

Dicha unidad está compuesta por formaciones rocosas, cuyas estratificaciones se encuentran en contra a la dirección de las pendientes, presenta un área de 18.03 ha, de las cuales el 9.6 % presenta inestabilidad.

#### **5.5.1.5 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 17.60 ha, de las cuales el 15.37 % presenta inestabilidad.

A continuación describimos en la Tabla 14, la descripción y análisis de las unidades geomorfológicas

Tabla 14. Descripción geomorfológica.

ORIGEN	ESTRUCTURA	MORFOMETRIA	MORFODINAMICA	SÍMBOLO
Unidad agradacional	ladera en contra pendiente	con inclinaciones entre 0 y 30 grados	Presenta reptaciones y desprendimientos	UA c1
		con inclinaciones mayores a 30 grados		UA c2
	ladera estructural	con inclinaciones entre 0 y 30 grados	Es la unidad que presenta más afectación, presenta reptaciones y desprendimientos.	UA e1
Unidad degradacional	ladera en contra pendiente	con inclinaciones entre 0 y 30 grados		UD c1
	ladera estructural	con inclinaciones entre 0 y 30 grados		UD e1

Fuente: Resultado del estudio.

## 5.6 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.

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

### 5.6.1 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.

### 5.6.2 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.

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

### 5.6.3 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:

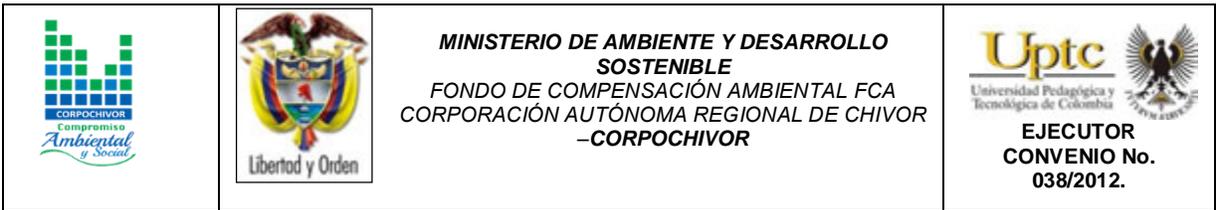
- **Geológicos:** Representan un factor de inestabilidad permanente; la litología, la estratigrafía de la roca (orientación y ángulo de inclinación), discontinuidades estratigráficas y estructurales y la alteración de las rocas (alteración hidrotermal y/o meteorización).
  
- **Hidrológicos e hidrogeológicos:**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

### 5.6.4 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



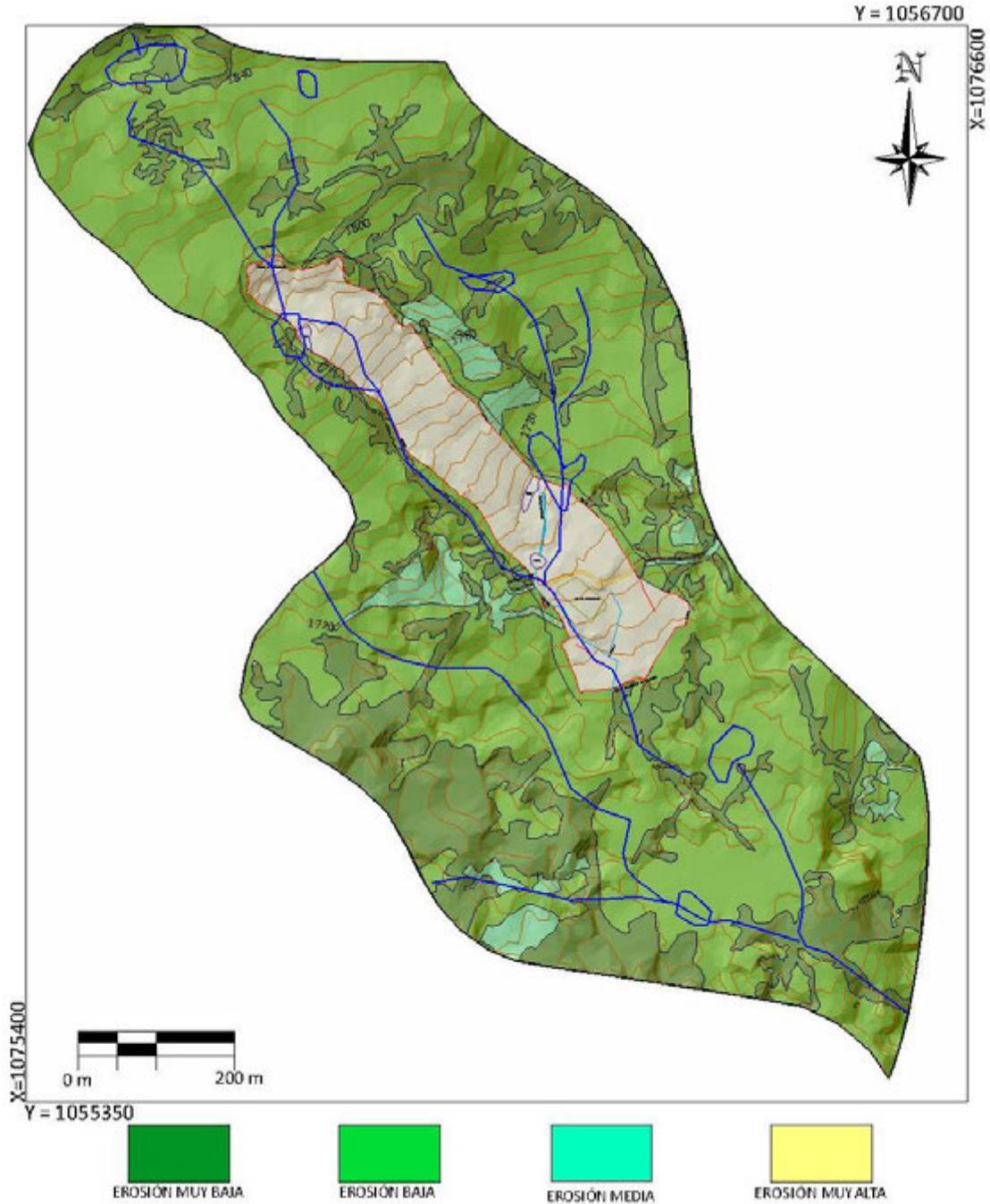
distribución de los pixeles hechos en una clasificación resultado de la mayor o menor cobertura vegetal presente en el área.

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 22).

Figura 22. Imagen del Mapa erosión.



**Fuente:** Resultado del estudio.



## 5.7 USO ACTUAL Y COBERTURA DEL SUELO

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

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

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

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

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

Investigaciones aplicadas a los cambios en la cobertura vegetal están teniendo un mayor grado atención debido esencialmente a las implicaciones de la deforestación. A nivel regional, dicho mecanismo ocasiona la disminución e incluso la 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.

Fotografía 2. Ubicación geográfica



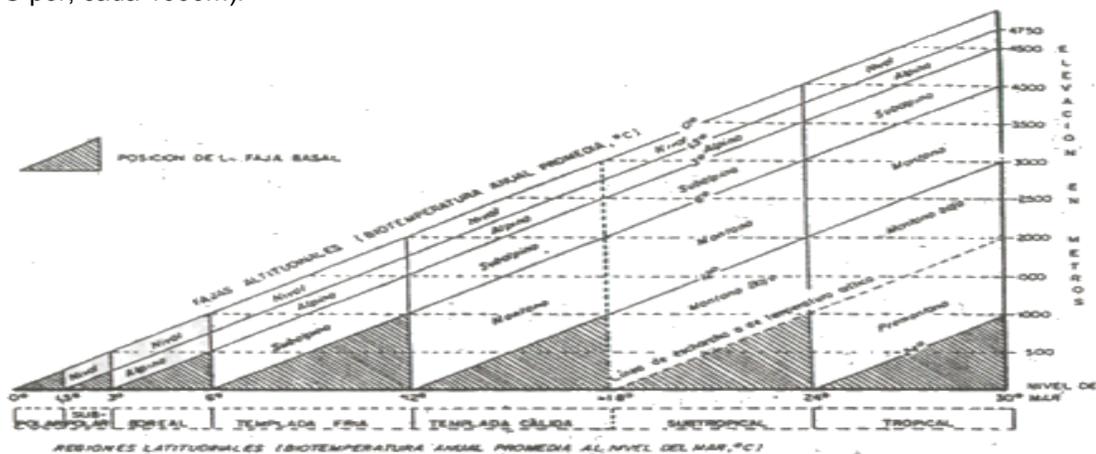
Fuente: Registro fotográfico.

### 5.7.1 VEGETACIÓN

Se presenta una descripción del sistema basado en las zonas de vida desarrollado desde 1947 por L.R. Holdridge. La descripción tiene un carácter anatómico; es decir, se describe la estructura, las partes del sistema y sus conexiones, sin detenerse en aspectos fisiológicos ni las bases filosóficas que se describen en el final de este capítulo en un una caracterización vegetal general. Se describe la estructura de las zonas de vida (primer nivel del sistema), refiriéndose pa ello a los elementos del diagrama respectivo. Se describen también asociaciones, que constituyen asociaciones del segundo nivel del sistema, y se mencionan el uso de la tierra, trabajado con la nomenclatura Corine Land Cover.

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

Figura 23. 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).



Fuente: Holdridge, L., 1987.

		<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 vegetación es de clima frío muy húmedo, es de porte muy bajo y se encuentra intervenida en gran medida. En algunas zonas se conservan, especialmente los frailejones y pajonales que son especies dominantes. Según la clasificación de L.R. Holdridge en el municipio existen las siguientes unidades bioclimáticas:

#### **5.7.1.1 SUBPÁRAMO ANTRÓPICO INTERVENIDO**

Esta unidad estructural de vegetación se caracteriza principalmente por presentar parches o manchas discontinuas de vegetación prístina especialmente de Frailejones (*Espeletia sp*), bromeliáceas y algunos arbustos, alternando con pastizales y pajonales de *calammagrostis effusa* y *festucca sp* que indican la invasión antrópica a través de senderos y algunas áreas exentas de humedad que son pobladas por ganadería extensiva y cultivos de papa (*solanum tuberosum*).

#### **5.7.1.2 BOSQUE SECUNDARIO Y RASTROJO**

Esta unidad de vegetación, se caracteriza porque presenta un alto grado de intervención, y por tanto se encuentra en distintas partes del Municipio, generalmente ubicado en riberas de quebradas y bordeando áreas que antes fueron de vegetación nativa. Representa un estado de sucesión posterior a la dominancia arbórea regular del Bosque Primario y por tanto, aún contiene en algunos parches, especies que antes fueron dominantes en otras formaciones vegetales, hoy como individuos aislados y testigos de la gradual invasión de la frontera agrícola y pecuaria.



## 5.7.2 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.

		<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 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.

#### **5.7.2.1 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

		<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 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:

- 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.

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

## IDENTIFICACIÓN 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.

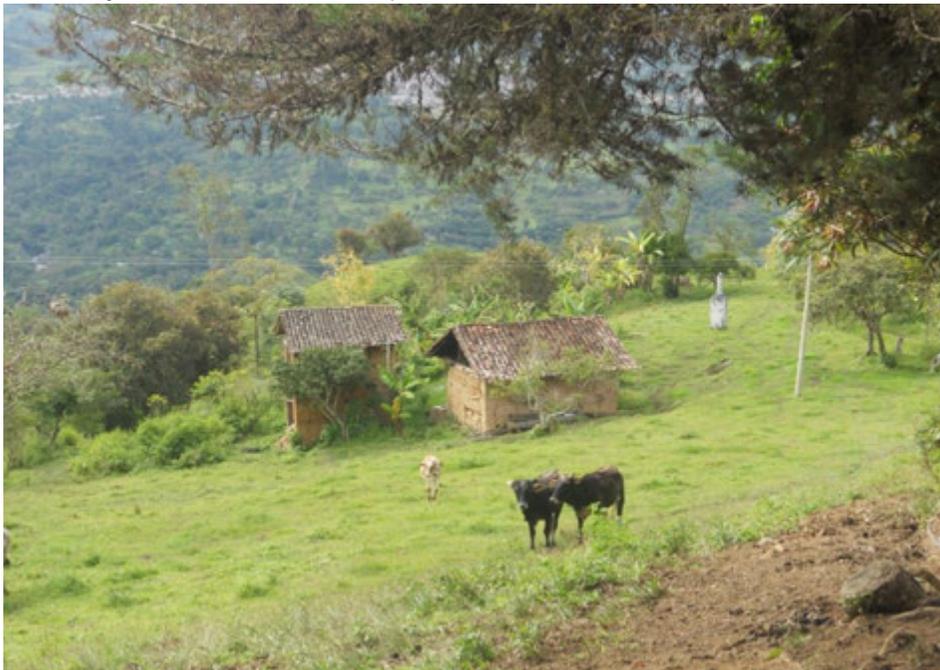
### ZONAS URBANIZADAS

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 seminatural se mezclan con áreas clasificadas como zonas urbanas.

Fotografía 3. Tejido urbano discontinuo presente en la zona de estudio.



**Fuente:** Registro fotográfico.

## ZONAS INDUSTRIALES O COMERCIALES Y REDES DE COMUNICACIÓN

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

## RED VIAL, FERROVIARIA Y TERRENOS ASOCIADOS

Es un espacio artificializado con infraestructuras de comunicaciones como carreteras que comunica el municipio de Chinavita con los municipios de Umbita y Tibaná; 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.



**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>
---	---	---	---

## **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**

Comprende los territorios dedicados a cultivos cuyo ciclo vegetativo es mayor a un año produciendo varias cosechas sin necesidad de volverse a plantar; se incluyen en esta categoría los cultivos de herbáceas y los cultivos arbóreos como árboles frutales.

## **CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS**

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

Fotografía 5. Cultivo permanente de *Myrtaceae*



**Fuente:** Registro fotográfico.

## **CULTIVOS CONFINADOS**

Comprenden las tierras ocupadas por cultivos bajo infraestructuras de invernaderos, principalmente dedicadas al cultivo de flores, frutales y hortalizas. Incluye toda aquella estructura cerrada cubierta por materiales transparentes, dentro de la cual es posible obtener unas condiciones artificiales de microclima, y con ello cultivar plantas en condiciones óptimas. En Colombia, los invernaderos se encuentran principalmente instalados en los altiplanos de los departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Antioquia.

Fotografía 6. Cultivos confinados



**Fuente:** Registro fotográfico.

## **CULTIVOS AGROFORESTALES**

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

Fotografía 7. 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.

## **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 o enrastrajados



**Fuente:** Registro fotográfico.

## PASTOS LIMPIOS

Esta cobertura comprende las tierras ocupadas por pastos limpios con un porcentaje de cubrimiento alto, la realización de prácticas de manejo (Limpieza, 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 9. 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.

### 5.7.3 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.

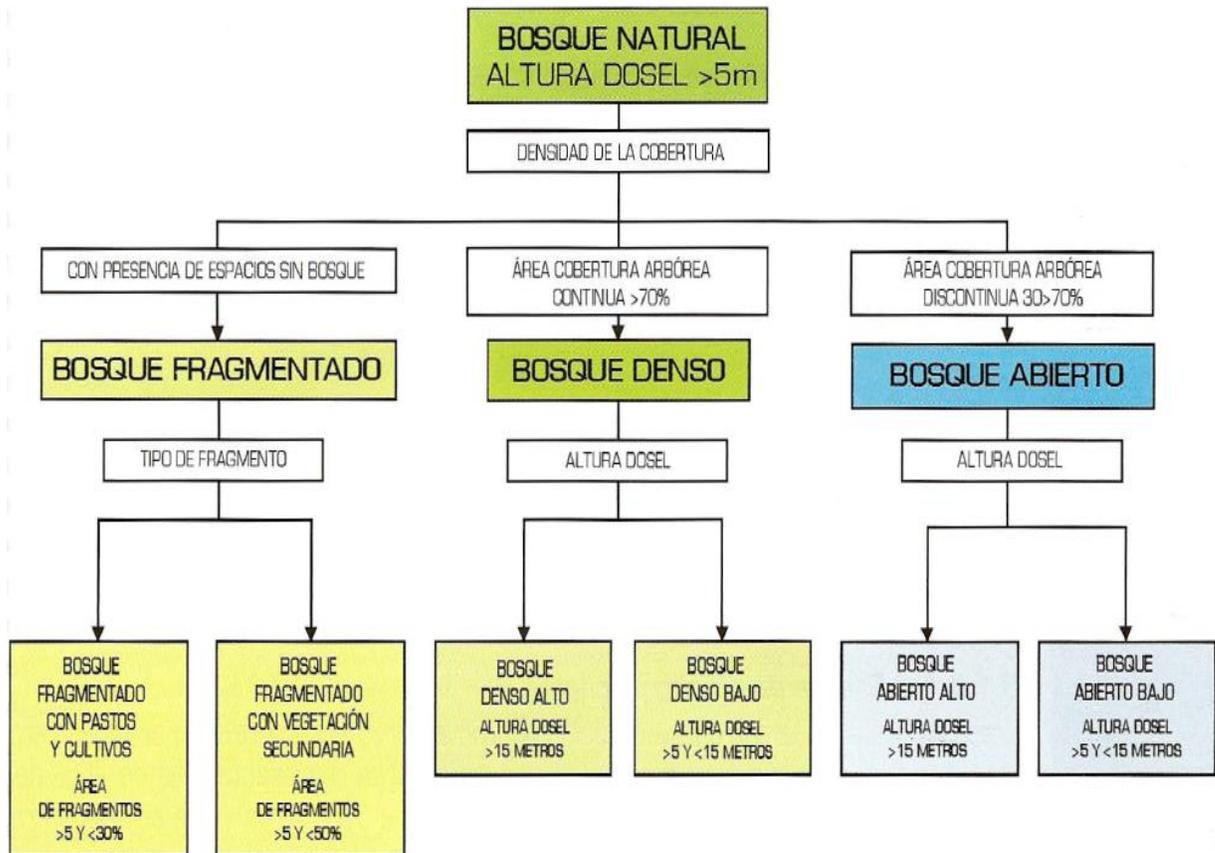
		<p style="text-align: center;"><b>MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE</b> FONDO DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL FCA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR –CORPOCHIVOR</p>	 <p style="text-align: center;"><b>EJECUTOR CONVENIO No. 038/2012.</b></p>
---	---	---	---

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 24. CRITERIOS PARA LA CLASIFICACIÓN DE LOS BOSQUES



Fuente: Corine Land Cover 2010

## BOSQUE DENSO

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

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

## BOSQUE DENSO BAJO

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

## BOSQUE DENSO BAJO DE TIERRA FIRME

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

Fotografía 10. Bosque denso bajo



**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>
---	---	---	---

## 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 (gábulos leñosos), las inflorescencias femeninas del género *Juniperus*, en cambio, dan lugar a una estructura carnosa denominada gábulos carnosos, originada por la concrecencia de las tres hojas escuamiformes 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.

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

#### 5.7.4 ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA Y/O ARBUSTIVA

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

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

##### **HERBAZAL**

Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente herbáceos desarrollados en forma natural en diferentes densidades y sustratos, los cuales forman una cobertura densa (>70% de ocupación) o abierta (30% - 70% de ocupación). Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y las características funcionales (Oram, 1998).

Fotografía 12. HERBAZAL



Fuente: Registro fotográfico.

## AGUAS CONTINENTALES

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

## CUERPOS DE AGUA ARTIFICIALES

Esta cobertura comprende los cuerpos de agua de carácter artificial, que fueron creados por el hombre para almacenar agua usualmente con el propósito de generación de electricidad y el abastecimiento de acueductos, aunque también

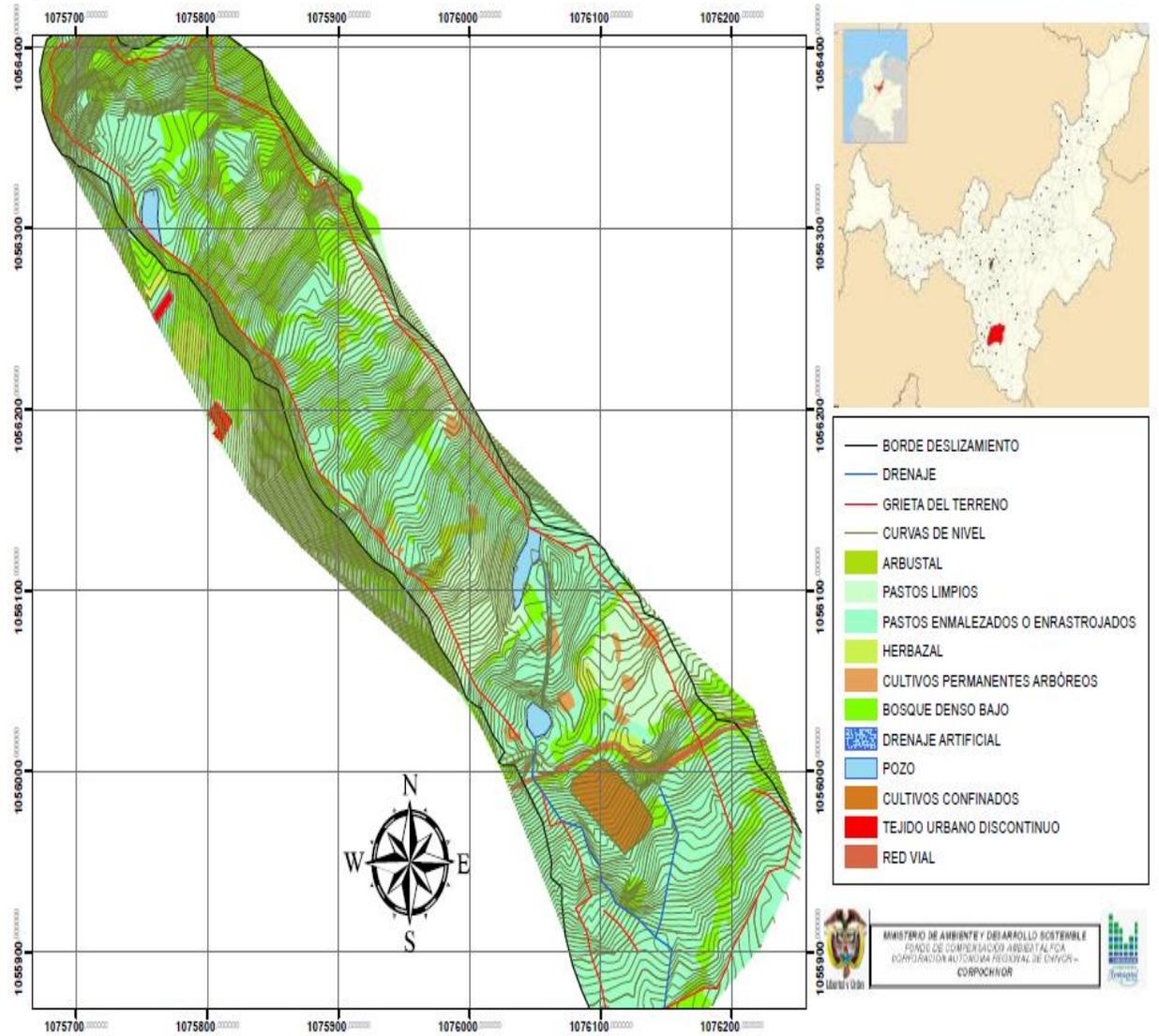
para prestar otros servicios tales como control de caudales, inundaciones, abastecimiento de agua, riego y con fines turísticos y recreativos.

Fotografía 13. Pozo



Fuente: Registro fotográfico.

Figura 25. MAPA COBERTURA VEGETAL Y USO DE SUELO



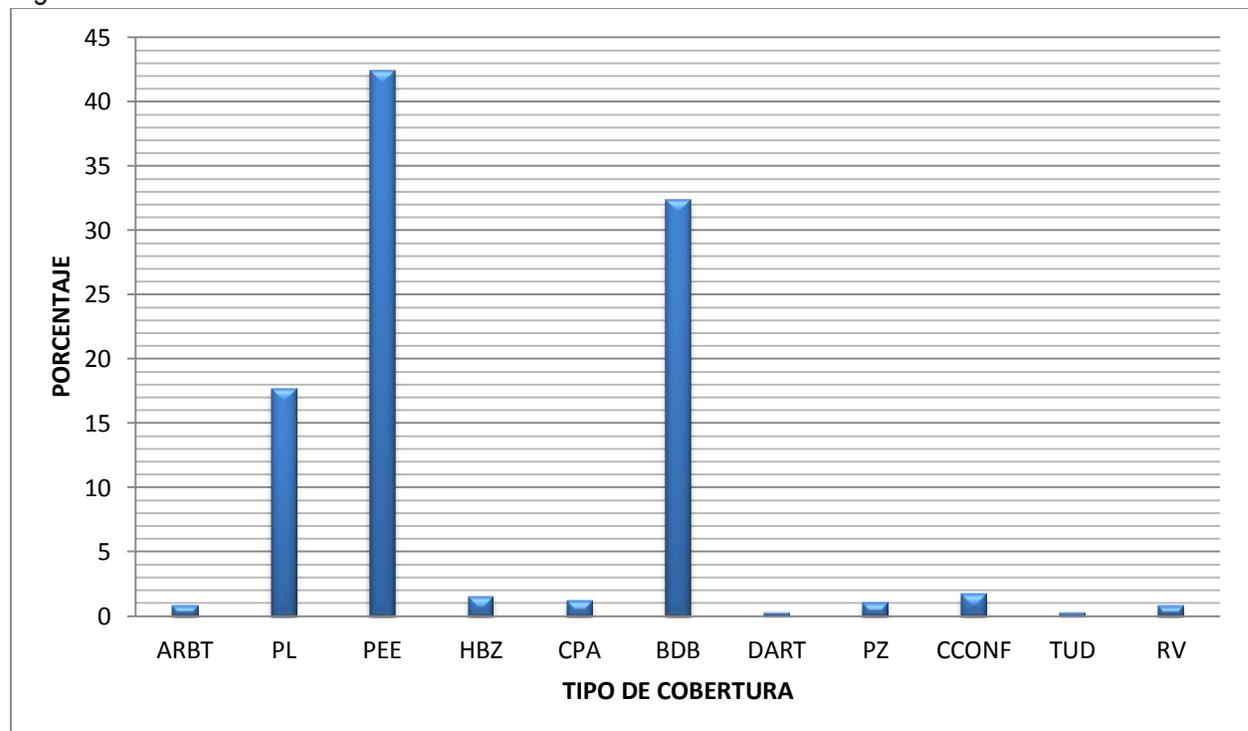
Fuente: Resultado del estudio.

Tabla 15. Áreas de coberturas.

TIPO DE COBERTURA	AREA m <sup>2</sup>
ARBUSTAL (ARBT)	830
PASTOS LIMPIOS (PL)	17897
PASTOS ENMALEZADOS O ENRASTROJADOS (PEE)	42889
HERBAZAL (HBZ)	1538
CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS (CPA)	1201
BOSQUE DENSO BAJO (BDB)	32656
DRENAJE ARTIFICIAL (DART)	215
POZO (PZ)	1034
CULTIVOS CONFINADOS (CCONF)	1711
TEJIDO URBANO DISCONTINUO (TUD)	266
RED VIAL (RV)	780

Fuente: Resultado del estudio.

Figura 26. PORCENTAJE DE COBERTURAS



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

### 5.7.5 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

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

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

Tabla 16. Unidades de cobertura vegetal

<b>FAMILIA</b>	<b>NOMBRE CIENTÍFICO</b>	<b>NOMBRE COMÚN</b>
<i>Fabáceae</i>	<i>Phaseolus vulgares</i>	Frijol
<i>Cucurbitáceae</i>	<i>Cocumas sativos</i>	Pepino
<i>Fabáceae</i>	<i>Pisum sativum</i>	Arveja
<i>Solanáceae</i>	<i>Solanum lycopersicum</i>	Tomate
<i>Solanáceae</i>	<i>Lycopersicon sculentum mill.</i>	Tomate larga vida
<i>Rubiáceae</i>	<i>Coffea arabica</i>	Café
<i>Poaceae</i>	<i>Pennisetum clandestinum hochst ex chior</i>	Kikuyo
<i>Poaceae</i>	<i>Holcus lanatus l</i>	Falsa poa
<i>Poaceae</i>	<i>Dactylis glomerata</i>	Pasto azul
<i>Poaceae</i>	<i>Anthoxanthum odoratum l.</i>	Gramma de olor
<i>Fagáceaea</i>	<i>Quercus robur</i>	Roble
<i>Fagáceaea</i>	<i>Quercus Humboldt</i>	Roble
<i>Myrsináceae</i>	<i>Myrsine guianensis (aubl.) Kuntze</i>	Cucharó
<i>Clusiaceae</i>	<i>Clusia multiflora kunth</i>	Guaco
<i>Cecropiáceae</i>	<i>Cecropia peltata</i>	Arryan
<i>Melastomatáceae</i>	<i>Miconia sp</i>	Encenillo
<i>Cunoniáceae</i>	<i>Weinmannia tomentosa l. F.</i>	Uva
<i>Rosáceae</i>	<i>Rubus ulmifolius</i>	Pino
<i>Cupressáceae</i>	<i>Pinus patula</i>	Pino
<i>Cupressáceae</i>	<i>Pinus cembra</i>	Acacia
<i>Fabáceae</i>	<i>Acacia decurrens</i>	Acacia
<i>Fabáceae</i>	<i>Acacia melanoxilon</i>	Guayabo
<i>Myrtaceae</i>	<i>Psidium guajava</i>	Romero de paramo
<i>Asteráceae</i>	<i>Diplostephium rosmarinifolius (benth.) Wedd.</i>	

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

<i>Asteráceae</i>	<i>Eupatorium arsenei</i>	
<i>Asteráceae</i>	<i>Euphrosyne partheniifolia</i>	Bernada
<i>Asteráceae</i>	<i>Bidens sp.</i>	
<i>Asteráceae</i>	<i>Chromolaena scabra (l. F.) R.m. King &amp; h. Rob.</i>	Bromelia, quinche
<i>Bromeliaceae</i>	<i>Racinaetha tetrantha (ruiz &amp; pav) m.a. Spencer &amp; l.b. Sm.</i>	Helecho
<i>Cyatheaceae</i>	<i>Cyathea medullaris</i>	Helecho marranero
<i>Dennstaedtiaceae</i>	<i>Pteridium aquilinum (l.) Kuhn</i>	Chipaca
<i>Asteraceae</i>	<i>Bidens simplicifolia c.h. Wright</i>	Chilca
<i>Asteraceae</i>	<i>Baccharis floribundum kunth</i>	
<i>Asteraceae</i>	<i>Ageratina boyacensis r.m. King &amp; h. Rob.</i>	Chilca
<i>Asteraceae</i>	<i>Baccharis bogotensis</i>	Diente de león
<i>Asteráceae</i>	<i>Taraxacum officinale</i>	Maduro
<i>Musáceae</i>	<i>Musa sapientum l.j</i>	Caña dulce
<i>Poaceae</i>	<i>Saccharum officinarum</i>	Sauce
<i>Salicaceae</i>	<i>Salix humboldtiana willd.</i>	Arracacha
<i>Umbelliferae</i>	<i>Arracacia xanthorrhiza bancroft (hoker, 1831 y Muñoz, 1968)</i>	Imperial
<i>Poaceae</i>	<i>Axonopus scoparius</i>	Maíz
<i>Poaceae</i>	<i>Zea mays</i>	Chusque, carrizo
<i>Poaceae</i>	<i>Chusquea scandens kunth</i>	Chusque

**Fuente:** Resultado del estudio.

## 6 GEOELECTRICA

### 6.1 ESTUDIO GEOELECTRICO (TOMOGRAFIA ELECTRICA RESISTIVA)

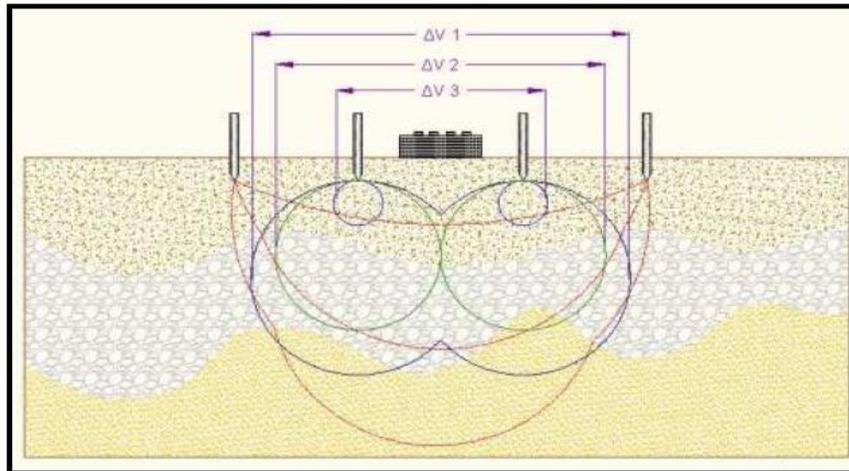
#### 6.2 INTRODUCCION

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 27); sabiendo de antemano que cada tipo de material tiene diferente manera a “resistir” una corriente eléctrica, los buenos conductores o materiales humedecidos presentan una resistencia baja a la inyección de corriente, mientras que materiales aislantes presentan resistencias eléctricas mayores (Figura 28). Lo anterior, es relativo a diversos parámetros geológicos como el contenido mineralógico y de humedad, así como la porosidad y grado de saturación de agua

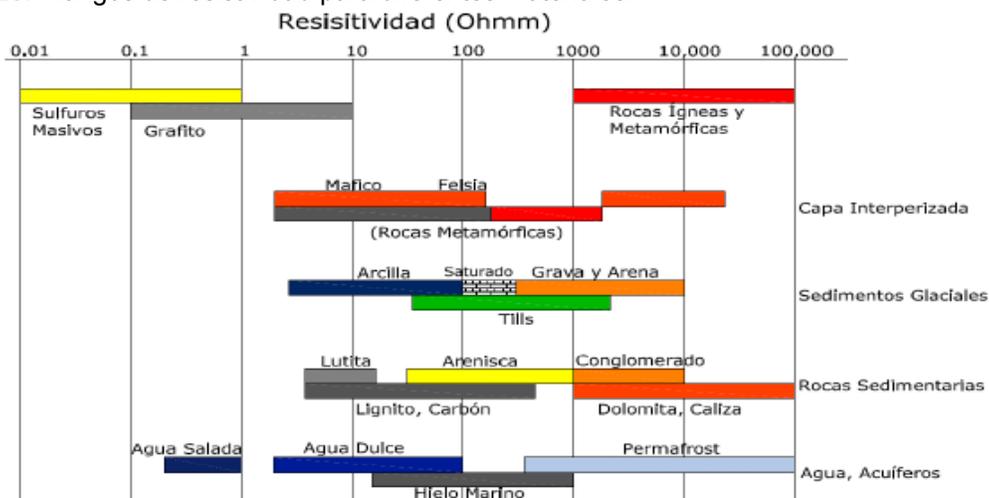
dentro del material de estudio. Durante décadas, los Estudios de Resistividad Eléctrica han sido utilizados en investigaciones sobre hidrogeología, geotecnia y también actualmente en estudios ambientales (Loke 2004).

Figura 27. Principio teórico de operación de las TER's.



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

Figura 28. Rangos de resistividad para diferentes materiales.



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

		<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 multielectródica 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 en la vereda Hato grande, agua Quiña, del municipio de Pachavita, 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 17, 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 17 se encuentra un conjunto de valores típicos de resistividad de geomateriales.

Tabla 17. 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:

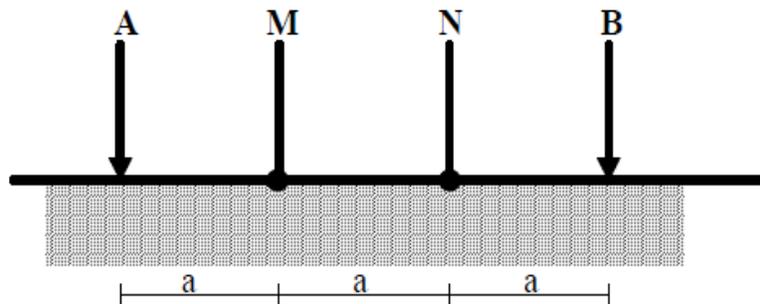
Un dispositivo es un arreglo de electrodos formado con dos pares de electrodos, dos emisores y dos receptores. A través de los electrodos emisores C1C2 se inyecta la corriente continua al terreno midiendo su intensidad con un miliamperímetro en serie, y a través del segundo par se mide la diferencia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

#### 6.4.2.1 Dispositivo Wenner.

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

Figura 29. Dispositivo Wenner.



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

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

### 6.5 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:

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

Donde:

d= Distancia entre elctrodos

Xtotal= Distancia de la línea extendida

N°electrodos= electrodos a utilizar

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

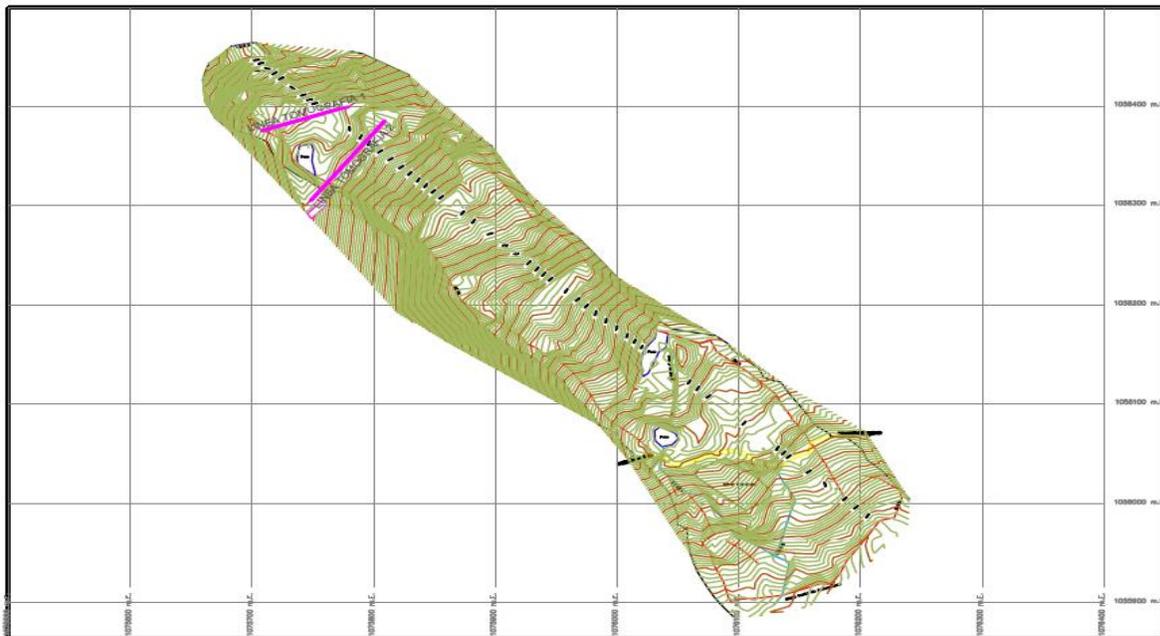
El resultado final de este tipo de estudio es una sección distancia-profundidad con la distribución de la resistividad real del subsuelo, fácilmente comprensible en términos geológicos o geotécnicos. Para obtener estos resultados se procede a insertar los parámetros para el cálculo y la medición de las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

Para la realización de las tomografías en el sector vereda Hato grande, agua Quiña,, del municipio de Pachavita, 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: 1075708, Y: 1056374, parte final X: 1075779, Y: 1056398, orientación N70°E, 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 30. Localización líneas de tomografía.



**Fuente: Resultado del estudio.**

Fotografía 14. Parte alta del deslizamiento.



**Fuente:** Registro fotográfico.

Fotografía 15. Parte alta del deslizamiento.



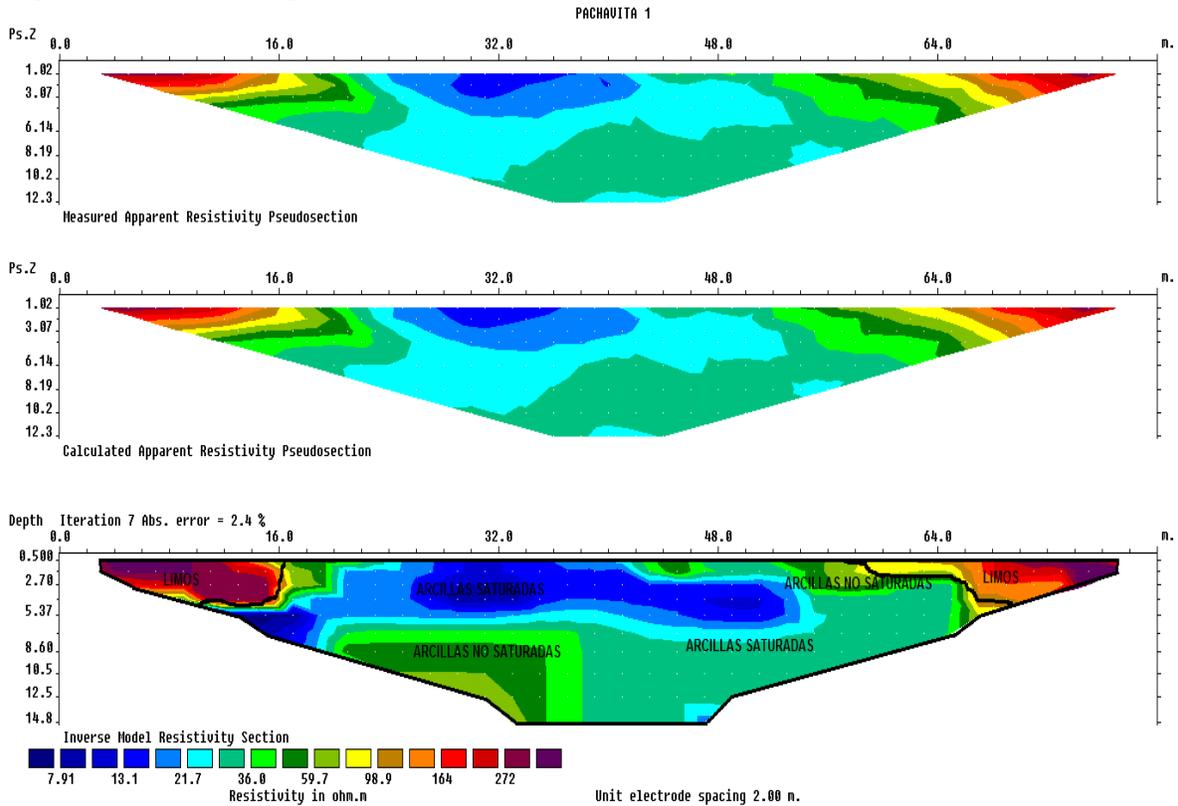
**Fuente:** Registro fotográfico.

Tabla 18. Resistividades de los materiales presentes en el área de estudio.

MATERIAL	PROFUNDIDAD (m)	RESISTIVIDAD ( $\Omega \cdot m$ )	INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA
1	0.500 – 14.8	7.91 – 59.7	Arcillas
2	0.500 – 4.0	60 - 272	Limos

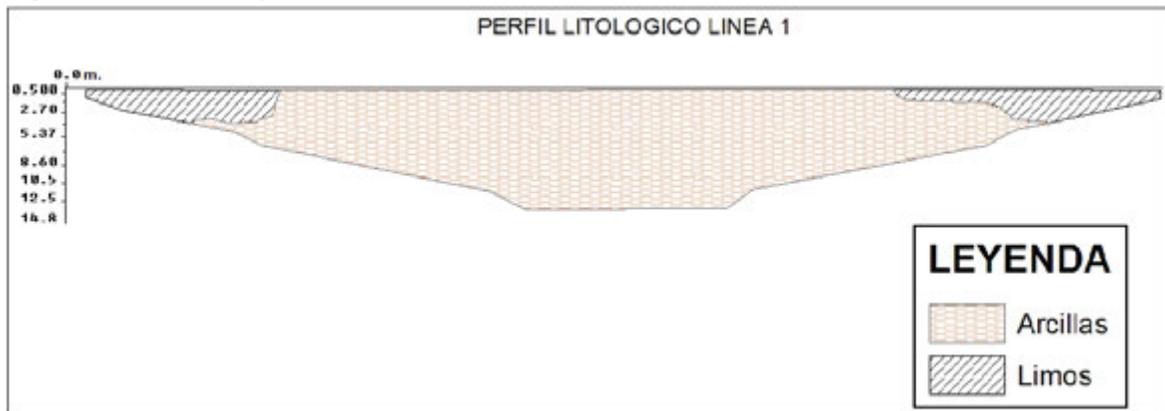
**Fuente:** Resultado del estudio.

Figura 31. Perfil 1 tomografía.



Fuente: Resultado del estudio.

Figura 32. 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: 1075748, Y: 1056304, parte final X: 1075809, Y: 1056384, orientación N39°E, con una longitud de 102.5 mts, profundidad obtenida de 18.4 mts, y los electrodos conectados a una distancia de 2.50 mts cada uno.

Fotografía 16. Parte media-alta del deslizamiento.



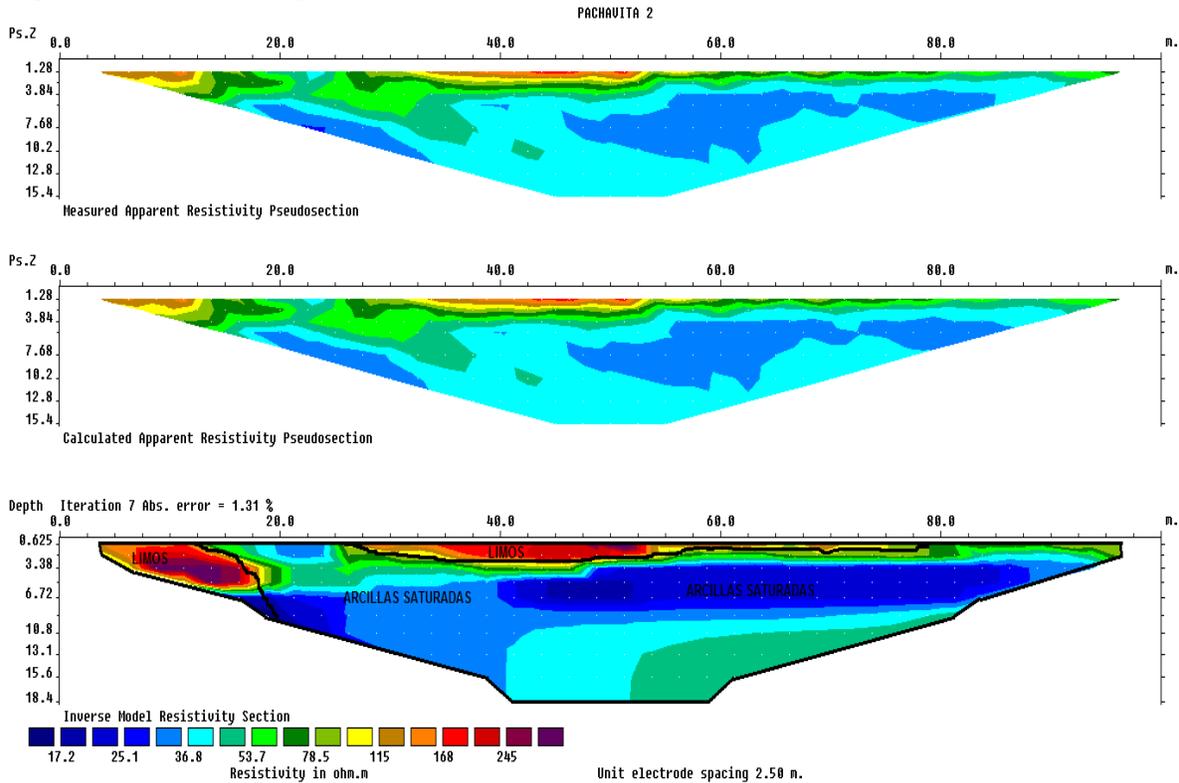
Fuente: Registro fotográfico.

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

MATERIAL	PROFUNDIDAD (m)	RESISTIVIDAD ( $\Omega \cdot m$ )	INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA
1	0.625 – 18.4	17.2 – 78.5	Arcillas saturadas
2	0.625 – 8.2	79 – 245	Limos

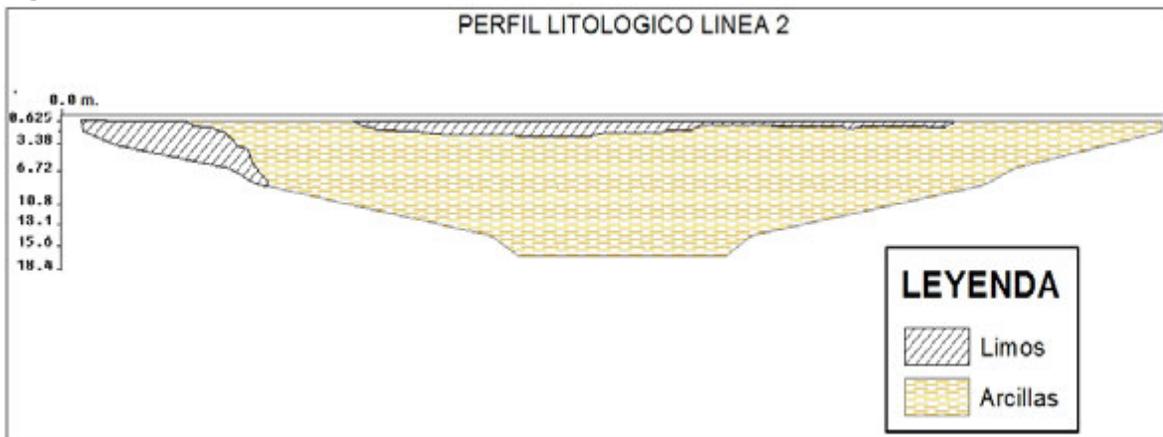
Fuente: Resultado del estudio.

Figura 33. Perfil 2 tomografía.



Fuente: Resultado del estudio.

Figura 34. 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 dos unidades Geoelectricas bien definidas, donde encontramos niveles de arcillas con rangos de resistividades que oscilan entre 7.91 – 59.7  $\Omega \cdot m$ , y limos con resistividades que van desde 60 - 272  $\Omega \cdot m$ , ver figuras 31 y 32. Por parte de la línea 2 se puede observar que está conformada por dos unidades Geoelectricas, el primer material compuesto por arcillas saturadas con rangos de resistividades que van entre 17.2 – 78.5  $\Omega \cdot m$ , y el segundo son intercalaciones de limos, que poseen rangos de resistividades que van entre 79 – 245  $\Omega \cdot m$ , ver figuras 33 y 34.

## 7 GEOTECNIA

En este capítulo se consignan los aspectos relacionados con la evaluación geotécnica de los fenómenos de remoción en masa (FRM) Vereda Hato Grade, municipio de Pachavita, 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 hasta los 8,50 metros de y sus ubicaciones se relacionan en la siguiente Tabla 20; de estos se realizaron los también ensayos de propiedades índices y propiedades mecánicas.

Tabla 20. Coordenadas de los sondeos realizados

<b>PACHAVITA</b>			
Sondeo	Coordenadas		Profundidad (metros)
	Este	Norte	
sondeo 1	1,076,053	1,056,103	8,0
sondeo 2	1,076,187	1,056,019	7.60

**Fuente:** Resultados de la Investigación.

De estos se obtuvieron perfiles geotécnicos del sitio como se observa en la Figura 35.

Fotografía 17. Perforación realizada en la zona de estudio



**Fuente:** Registro Fotográfico.

También se realizaron pruebas in situ como la prueba de penetrometro de bolsillo cómo se observa en la fotografía 18.

Fotografía 18. Prueba de Penetrometro de Bolsillo



**Fuente:** Registro Fotográfico.

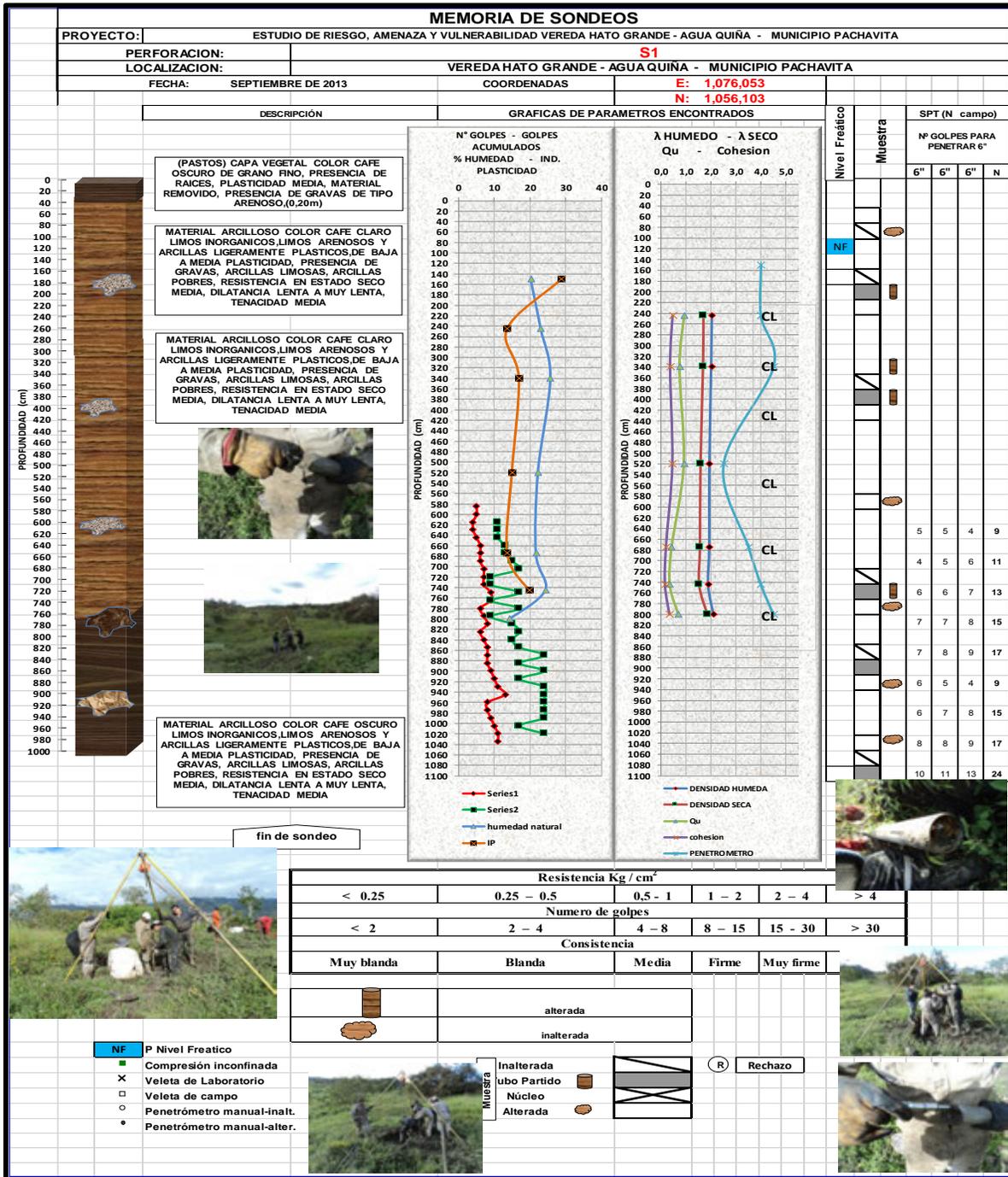
		<p style="text-align: center;"><b>MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE</b> FONDO DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL FCA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR –CORPOCHIVOR</p>	 <p style="text-align: center;"><b>EJECUTOR CONVENIO No. 038/2012.</b></p>
---	---	---	---

## 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 confinada 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 35. Perfil Geotécnico S1



Fuente: Resultado del estudio

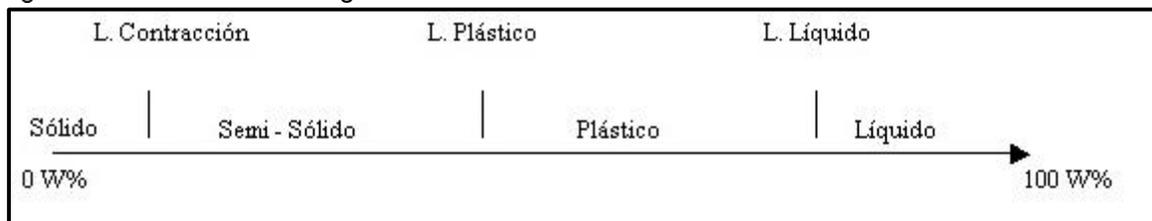
ELABORACIÓN DE ESTUDIO DE RIESGO (AMENAZA Y VULNERABILIDAD) Y DISEÑO DE OBRAS DE ESTABILIZACION EN LA VEREDA HATO GRANDE, AGUA QUIÑA, MUNICIPIO DE PACHAVITA JURISDICCIÓN DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR (CORPOCHIVOR).

### 7.2.1.1 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 36. 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.

#### 7.2.1.2 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 19. Muestra fallada en el ensayo de compresión no confinada.



**Fuente:** Resultado del estudio.

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

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

Fotografía 20. Muestras a las que se les realizó la prueba de corte directo.



**Fuente:** Resultado del estudio.

### 7.2.2 Resumen de resultados

En general los ensayos realizados reflejan la particularidad de materiales finos en el subsuelo según la Carta de Clasificación de Casagrande, los suelos fueron clasificados dentro del grupo CL (material limoso de baja plasticidad) correspondientes al material de relleno, arcillas limosas, con peso unitario de 1.8 – 2.11 gr/cm<sup>3</sup>, con límite líquido < 43% e IP entre 13% y 28%.

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

Los resultados de las propiedades mecánicas reflejan una resistencia a la compresión simple de 1.12 kg/cm<sup>2</sup>, cohesión de 0.13 – 1.125 Kgf/cm<sup>2</sup>, ángulos de fricción entre 15° y 24°. Estos resultados de las propiedades físicas y mecánicas se utilizaron para el análisis de estabilidad. En el anexo 4, se presentan los formatos correspondientes a los ensayos de laboratorio, de los cuales se presenta una tabla resumen (Tabla 21).

### 7.3 Clasificación del Macizo Rocoso.

“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<sub>v</sub>), como el número de discontinuidades por metro cúbico de macizo; ó, en función de la frecuencia de discontinuidades ( $\lambda$ ), que indica el número de juntas por metro lineal en el macizo. Para el proyecto se determinó por medio de la frecuencia de

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

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

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

Donde,

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

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

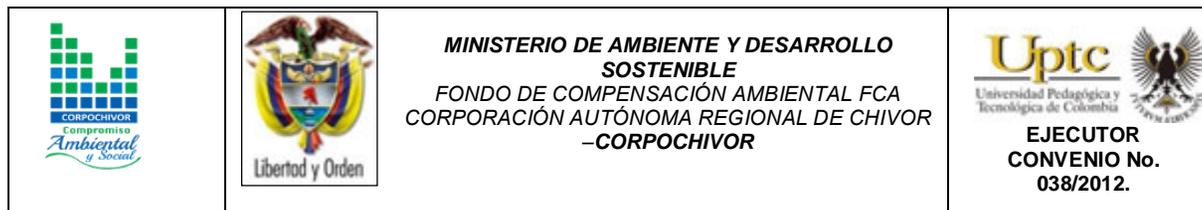


Tabla 21. Resumen de resultados ensayos de laboratorio

UNIVERSIDAD PEDAGOGICA Y TECNOLOGICA DE COLOMBIA																				
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS																				
SECCIONAL SOGAMOSO																				
MEMORIA DE SONDEOS																				
PROYECTO:		ESTUDIO DE RIESGO, AMENAZA Y VULNERABILIDAD VEREDA HATO GRANDE - AGUA QUIÑA - MUNICIPIO PACHAVITA																		
PERFORACION:		SONDEOS 1 - 2																		
LOCALIZACION:		VEREDA HATO GRANDE - AGUA QUIÑA - MUNICIPIO PACHAVITA																		
FECHA:		SEPTIEMBRE 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		λ SECO		COMPRESION INCONFINADA		PENETROMETRO
				E	N	Wn (%)	LL	LP	IP	CLASIF (U.S.C.)	P.T.N° 200 %	φ	C	Peso Unitario	Peso Unitario	qu	C	BOLSILLO Kg/cm²		
S 1	1		1,50	1,076,053	1,056,103	20,20	39,72	11,11	28,61	CL	2,635									4
	2		2,45	1,076,053	1,056,103	22,99	37,47	23,88	13,59	CL	6,502			2,0422	1,6906	0,9366	0,4683			4
	3		3,40	1,076,053	1,056,103	25,65	32,24	15,38	16,86	CL	6,533	15,483	1,575	2,0156	1,6722	0,7454	0,3727			4,5
	4		5,20	1,076,053	1,056,103	22,20	38,16	23,26	14,90	CL	8,94			1,9417	1,5739	0,9196	0,4598			2,5
	5		6,75	1,076,053	1,056,103	21,65	34,48	20,83	13,65	CL	3,212			1,9344	1,5503	0,4171	0,20855			3,5
	6		7,45	1,076,053	1,056,103	24,25	40,88	21,15	19,73	CL	6,798			1,8862	1,518	0,3425	0,17125			4
	7		8,00	1,076,053	1,056,103	14,39								2,1141	1,8482	0,698	0,349			4,5
S2	1		1,75	1,076,187	1,056,019	30,40	39,21	22,95	16,26	CL	3,683			1,8711	1,5953	0,2754	0,1377			4
	2		2,80	1,076,187	1,056,019	25,50	32,36	19,18	13,18	CL	7,629			1,9121	1,5475	0,4804	0,2402			4,5
	3		3,70	1,076,187	1,056,019	29,81	33,34	18,92	14,42	CL	9,273	24,371	1,180	2,0939	1,8435	1,1225	0,56125			2,5
	4		4,75	1,076,187	1,056,019	19,15	33,04	19,61	13,43	CL	5,707			1,8468	1,5763	0,6155	0,30775			3,5
	5		6,50	1,076,187	1,056,019	21,55	33,43	20,41	13,02	CL	4,837			1,9221	1,6357	0,6518	0,3259			4
	6		7,60	1,076,187	1,056,019	13,90	43,95	19,61	24,34	CL	3,549			1,9934	1,7501	0,5726	0,2863			4,5

Fuente: Resultados de la investigación.

ELABORACIÓN DE ESTUDIO DE RIESGO (AMENAZA Y VULNERABILIDAD) Y DISEÑO DE OBRAS DE ESTABILIZACION EN LA VEREDA HATO GRANDE, AGUA QUIÑA, MUNICIPIO DE PACHAVITA JURISDICCIÓN DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR (CORPOCHIVOR).

- 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 Ktg, 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 22. Resumen de Resultados de la Clasificación RMR

Parámetro de clasificación		PACHAVITA	
		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
<b>VALORACIÓN RMR</b>		57	
<b>VALORACIÓN GSI</b>		<b>52</b>	

<b>VALORACION DE Q´</b>		<b>4,2</b>	
<b>Ajuste</b>	Favorables/Medias	-5	-25
<b>VALOR RMR</b>		<b>52</b>	<b>32</b>
<b>Clase</b>		<b>III Media</b>	<b>IV Mala</b>

**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 37.

Figura 37. Guía para la definición del Índice geológico de resistencia (GSI).

<b>INDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICA (GSI)</b>	Condición de la superficie				
	Disminución en calidad de superficie				
	Muy buena	Buena	Moderada	Escasa	Muy escasa
 <p><b>INTACTA O MASIVA</b> - macizo rocoso con pocas discontinuidades, carente de planos de deformación.</p>	80	70	60	50	40
 <p><b>POCO FOLIADA</b> - macizo rocoso parcialmente fracturado con hasta tres sistemas de discontinuidades. Puede contener intercalaciones de rocas foliadas.</p>	70	60	50	40	30
 <p><b>MODERADAMENTE FOLIADA</b> - macizo rocoso fracturado constituido por intercalaciones de rocas foliadas y no foliadas en proporciones semejantes.</p>	60	50	40	30	20
 <p><b>BRECHADA</b> - macizo rocoso muy alterado tectónicamente con aspecto brechoide.</p>	50	40	30	20	10
 <p><b>MUY FOLIADA</b> - macizo rocoso plegado, altamente fracturado, constituido únicamente por rocas muy foliadas.</p>	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

**Fuente:** Resultados de la investigación.

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

Dada la sencillez de la guía para la determinación del GSI, y en cierta medida su subjetividad se propone para valores de GSI mayores que 25 que este pueda ser establecido a partir del valor de clasificación RMR89, teniendo en cuenta que se debe tomar el valor RMR sin corrección por orientación de discontinuidades y una valuación de condiciones de agua subterránea igual a 15. De acuerdo a lo anterior el valor de GSI 52 respectivamente como se observa en la 0.

## 7.4 CINEMÁTICA DE LOS MOVIMIENTOS

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

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

La pendiente o canal sobre el cual fluye el suelo.

El contenido de agua.

## 7.5 CAUSAS DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA

### 7.5.1 Causas Reales

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

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

rocosos subyacentes al suelo, que se encuentra muy fracturado como producto del intenso fallamiento presente.

### 7.5.2 Causas Inmediatas

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

Como detonantes de los eventos se han establecido los siguientes:

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

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

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

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

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



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

## 7.6 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y MODELACIÓN GEOTÉCNICA

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

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

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

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

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).

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

El Municipio de Pachavita 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 Pachavita los coeficientes de aceleración horizontal (Aa) y vertical (Av) 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 23.

Tabla 23. Coeficientes de aceleración sísmica para el departamento Boyacá

Nº	Municipio	Código	Aa	Av	Zona de Amenaza Sísmica	Ae	Ad
1	Tunja	15001	0.20	0.20	Intermedia	0.15	0.07
2	Almeida	15022	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
62	Otanche	15507	0.15	0.15	Intermedia	0.16	0.08
63	Pachavita	15511	0.25	0.25	Alta	0.16	0.07
122	Viracachá	15879	0.20	0.25	Alta	0.16	0.08
123	Zetaquirá	15897	0.20	0.25	Alta	0.16	0.08

Fuente: Título A NSR – 10.

Tabla 24. Coeficientes de reducción de coeficientes de aceleración sísmica

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

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

Por tanto el coeficiente de aceleración para análisis pseudoestático resulta:

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

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

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

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

### 7.6.1 Análisis estructuralmente 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 25. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla planar.

ANÁLISIS CINEMÁTICO						
PLANAR						
Rango	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO			RANGO BUZAMIENTO		
1	82	A	122	10	A	76
2	222	A	262	10	A	36
3	122	A	162	10	A	83

Fuente: Resultados de la investigación.

Tabla 26. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.

ANÁLISIS CINEMÁTICO						
CUÑA						
Rango	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO			RANGO BUZAMIENTO		
1	165	A	205	0	A	21
2	43	A	83	0	A	69
3	210	A	250	0	A	26

Fuente: Resultados de la investigación.

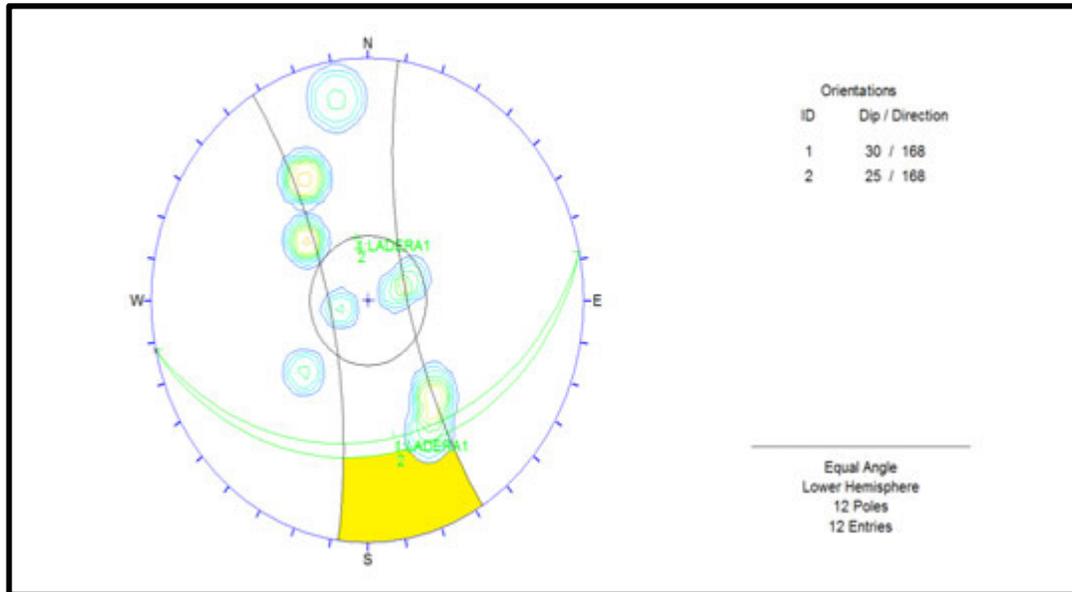
Tabla 27. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.

ANÁLISIS CINEMÁTICO						
VOLTEO						
Rango	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO			RANGO BUZAMIENTO		
1	72	A	122	65	A	90
2	112	A	162	65	A	90
3	150	A	200	65	A	90

**Fuente:** Resultados de la investigación.

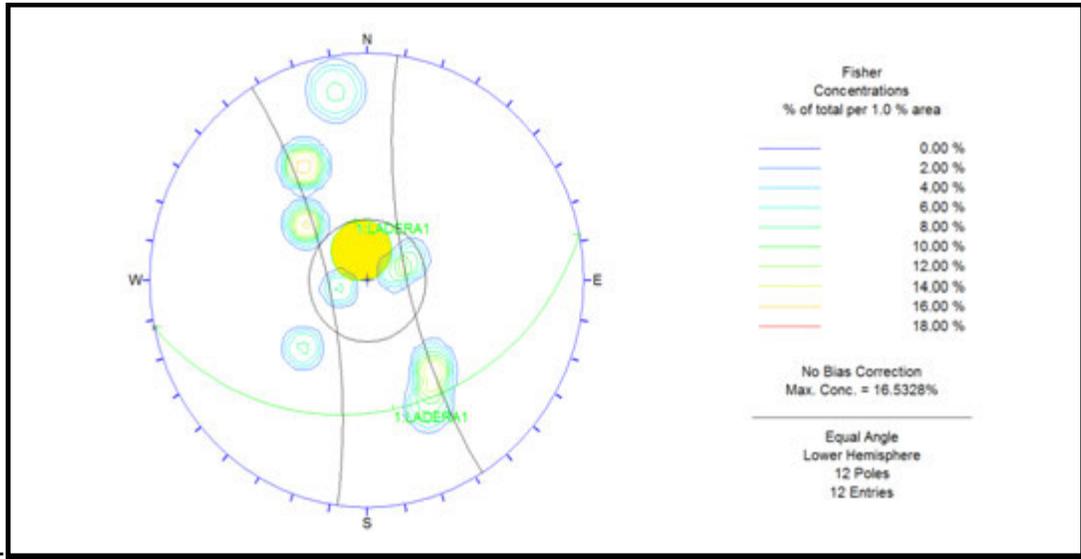
Las anteriores tablas reflejan los posibles rangos de dirección de buzamiento de las laderas y la inclinación que deben cumplir para que cada una de las fallas ocurra; estas se obtienen tras analizar cada una de las estructuras presentes en esta zona como se observa de manera esquemática en las figuras 38, 39 y 40.

Figura 38. Análisis cinemático, falla por volcamiento



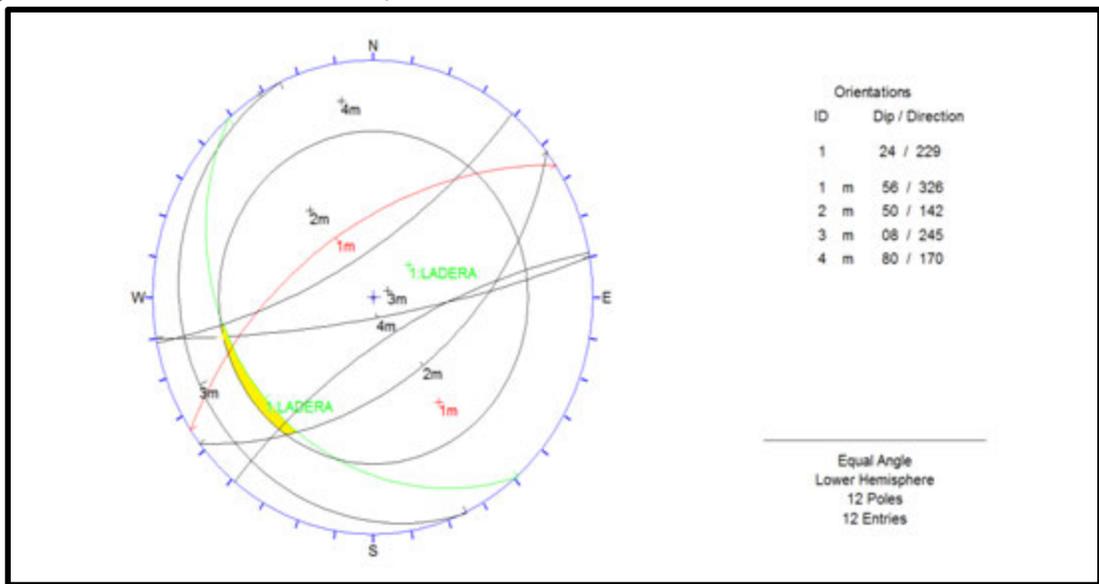
**Fuente:** Resultados de la investigación.

Figura 39. Análisis cinemático falla planar



Fuente: Resultados de la investigación.

Figura 40. 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 evidencio el movimiento en la parte de los depósitos, aunque no obstante también se consideran las rocas que intervienen. En este análisis se observan el siguiente A–A’.

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

Tabla 28. 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)	LCS (kPa)	m	s	a	Water Surface	Ru
Qc		18	Mohr-Coulomb	20	17					None	0.1
Kif		22	Generalised Hoek-Brown			3500	2.52129	0.00482795	0.504991	None	0.1

**Fuente:** Resultados del Proyecto.

La parte superior del deslizamiento se observa en la Fotografía 21

Fotografía 21. Parte superior del movimiento

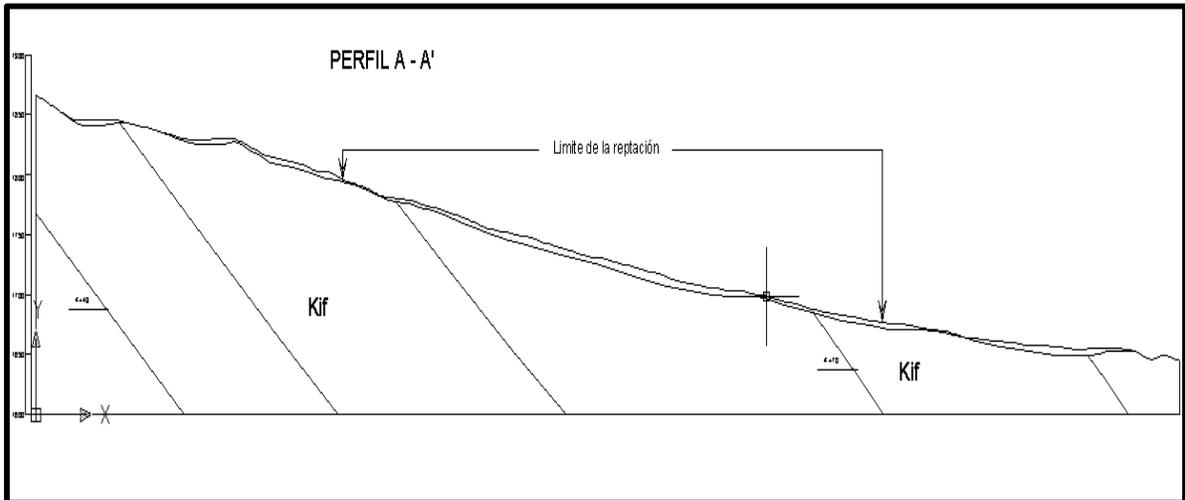


**Fuente:** Registro fotográfico.

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

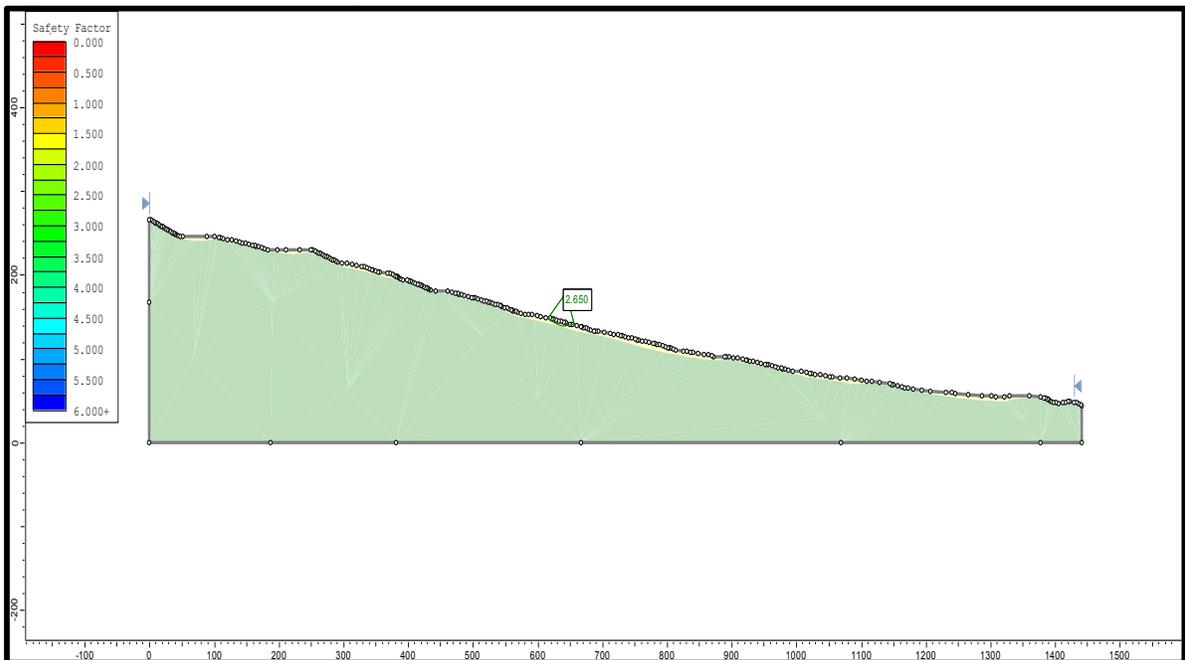
Para este caso se analizado el perfil AA' ya que este refleja el comportamiento del deslizamiento como tal.

Figura 41. Perfil geológico AA'



Fuente: Resultados del estudio.

Figura 42. Modelo de análisis perfil A-A'



Fuente: Resultados del estudio.

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

Tabla 29. Factores de seguridad para el modelo perfil A-A

Condición del modelo	Factor de Seguridad			
	Met. Fellenious	Met. Bishop Simplificado	Metodo de Janbu Simple	Metodo de Janbu Corregido
Condición de agua subterránea normal (Ru = 0.1)	2.650	2.688	2.595	2.734
Condición de agua subterránea crítica (Ru = 0.3)	2.261	2.308	2.202	2.327
Condición de agua subterránea media (Ru = 0.5) y sismo (análisis pseudoestático)	1.009	1.013	0.981	1.025

**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 30. 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).

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

**Fuente:** Resultados del estudio.

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

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

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

## 8.2 RESULTADO DE ANALISIS

Para la clasificación de la amenaza de la zona se utilizaron como criterios de categorización los presentados en la Tabla 31, teniendo en cuenta los parámetros de la Metodología de Leone.

Tabla 31. Categorización de amenazas por FRM.

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

**Fuente:** Resultados del estudio.

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

Tabla 32. Categorización de amenaza por (FRM) según nsr-10

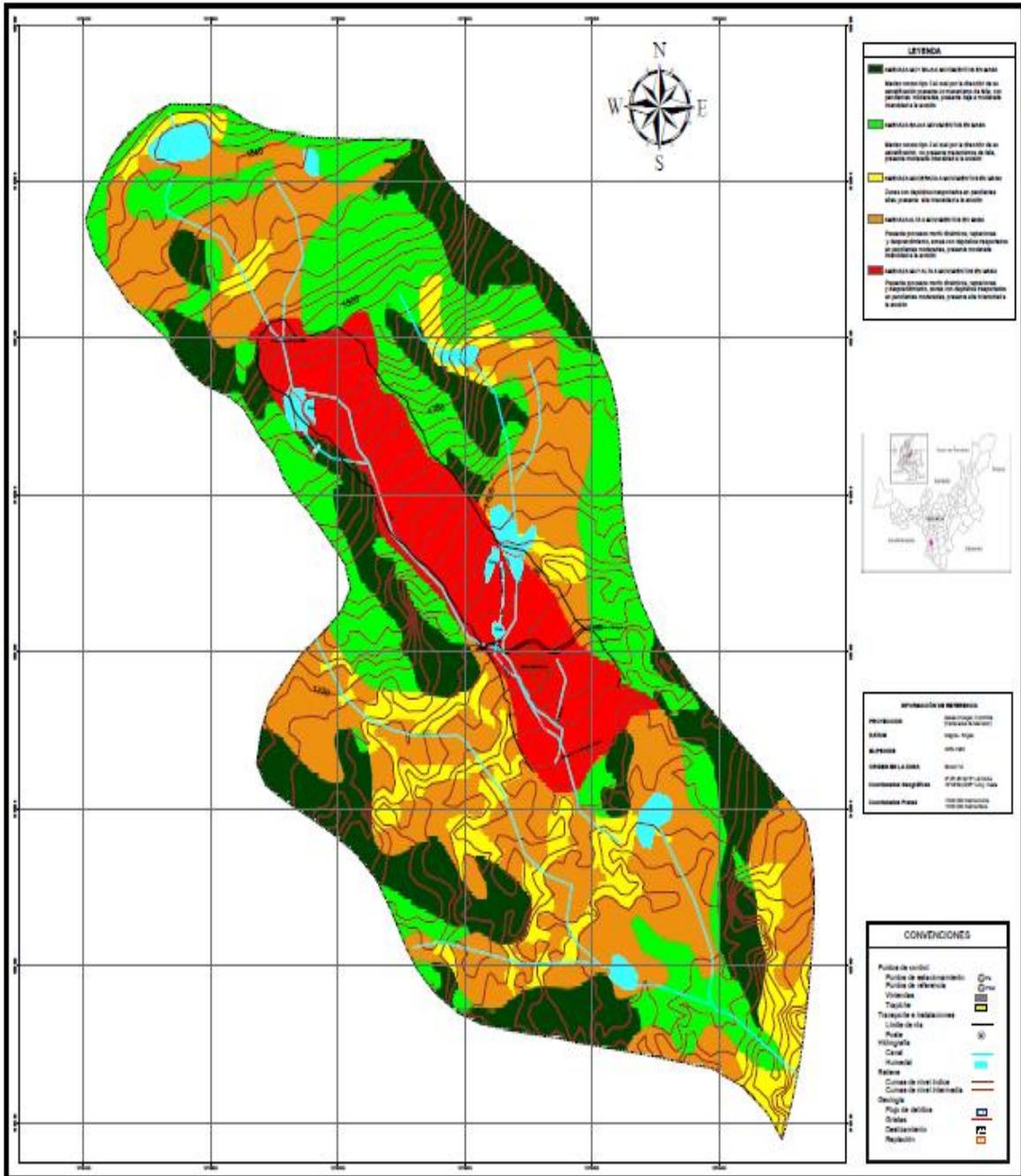
CONDICION	F.S. BASICOS MINIMOS DIRECTOS
TALUDES - CONDICION ESTATICA Y AGUA SUBTERRANEA NORMAL	1.5
TALUDES – CONDICION SEUDO – ESTATICA CON AGUA SUBTERRANEA NORMAL Y COEFICIENTE SISMICO DE DISEÑO	1.02

Fuente: Resultados del estudio.

### 8.3 ANALISIS DE AMENAZA

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

Figura 43. Imagen Mapa de Amenazas.



Fuente: Resultados 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.



## 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 LA PACHAVITA VEREDA ATO GRANDE SECTOR AGUAQUIÑA.

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

Fotografía 22. Vía de acceso a zona de movimiento en masa.



Fuente: Registro fotográfico.

### 1. Tipo de sector.

El sector evaluado se encuentra ubicado en la vereda ato grande, sector aguaquiña, en donde se encuentra ubicada la vivienda del Sr. Dulcinio Acosta, la cual se encuentra en alto riesgo por el movimiento de terreno que se viene dando en esta zona.

## 2. La vivienda

La familia que habita la vivienda en el área de influencia del movimiento es propietaria de la misma. La cual es el único lugar de habitación con el que cuentan.

Fotografía 23. Terreno afectado por el movimiento en masa.



Fuente: Registro fotográfico.

## 3. Servicios.

La vivienda cuenta 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.

La vivienda cuenta con servicio de acueducto veredal, sin presentar inconvenientes en este aspecto.

## 5. Alcantarillado

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

## 6. seguridad social

La familia que habita el sector de influencia del deslizamiento cuenta con seguridad social del régimen subsidiado, lo que es muy favorable, ya que existe la presencia de adultos mayores y un adulto en situación de discapacidad mental.

Fotografía 24. **Vivienda abandonada.**



**Fuente:** Registro fotográfico.

## 7. Discapacidad

Dentro de la familia evaluada solo se hayo a un adulto con discapacidad mental, el cual padece también de ataques de epilepsia.

Fotografía 25. **Joven con discapacidad habitante de la zona.**



Fuente: Registro fotográfico.

## 8. Niños(as)

Dentro de la familia se halla la presencia de un menor de edad, el cual está bajo el cuidado de sus padres, el cual cuenta con una edad de 15 años.

## 9. Ocupación de los niños.

El menor no se encuentra escolarizado según lo manifestado por su madre quien se encontraba con él al momento de la visita, ya que uno de los factores por los que no asiste, es la dificultad en el transporte hacia la institución educativa, por lo que se le recomienda a los padres y al menor la importancia de retomar las actividades escolares. Se observa buena funcionalidad familiar.

## 10. Adultos mayores

Los jefes de la familia visitada son adultos mayores jóvenes (56 y 50 años), quienes manifiestan ser los jefes de hogar y aun estar activos en las labores del campo y del hogar con las cuales sustentan a sus familias.

## 11. Estrato

La vivienda que se encuentra dentro del área de influencia del movimiento del terreno pertenece al estrato 1, según lo manifestado por las personas que las habitan.

## 12. Tipo de vivienda.

La vivienda es de tipo unifamiliar, cumpliendo con las características propias de la vivienda del área rural.

Fotografía 26. Vivienda afectada por el movimiento en masa.



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

### **13. Área aproximada de las viviendas.**

La vivienda cuenta con alrededor de 80Mtrs de área construida y no presenta problemas de hacinamiento. Pues en ella habitan solo cuatro personas.

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

La vivienda es de un solo piso y presenta varias fracturaciones en su estructura, por lo que se recomendó buscar alternativas para trasladarse a otro lugar más seguro.

### **15. Edad de la construcción.**

La construcción cuenta con 20 años de construida.

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

La armazón de la vivienda es de bloque, por ser un material más económico y liviano.

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

La cubierta de las vivienda 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:**

La vivienda presenta pisos en cemento, los cuales presentan afectaciones por agrietamiento serias, pues el terreno se ha ido fracturando e inclinando, agudizando la inestabilidad de la misma.

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

El estado de la construcción es malo, por las condiciones del terreno en donde se encuentra la vivienda y los efectos negativos que este ha causado en la misma.

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

Los daños de la vivienda se deben según las personas que la habitan al movimiento progresivo del terreno sobre el cual se halla construida.

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

El daño que presenta la vivienda es 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.

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

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

Fotografía 27. **Agrietamiento de muros en la vivienda.**



**Fuente:** Registro fotográfico.

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

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

La vivienda cuenta con bases según lo manifiestan sus dueños, sin embargo esto ha sido un factor de seguridad ante el fenómeno de remoción en masa que se da en la zona.

**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.

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

La familia afectada manifiesta contar con pocos recursos económicos, por lo que dicen vivir con menos de la mitad de un salario mínimo mensual, razón por la cual se les ha dificultado salir de sus vivienda hacia otro lugar, aunque sean conscientes del riesgo que afrontan en ella.

**27. Familia extensa.**

La familia si cuenta con familia extensa en la cual apoyarse en caso de una emergencia o necesidad.

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

Los propietarios de la vivienda no han realizado ningún tipo de acción para contrarrestar los efectos del movimiento en masa sobre sus terrenos, especialmente por desconocimiento de las acciones que ellos pudieran hacer para minimizar estos efectos.

**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 28. vivienda habitada en el sector.



Fuente: Registro fotográfico.

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

La familia manifiesta que en caso de presentarse un evento catastrófico su reacción sería salir corriendo, buscando la vía más cercana para salir del peligro.

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

La familia manifiesta 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.

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

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

La familia manifiesta que llevan años habitando la zona y nunca habían visto que el terreno comenzara a cambiar de esa manera.

Fotografía 29. **Terreno afectado en el sector.**



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>	 <p style="text-align: center;"><b>EJECUTOR CONVENIO No. 038/2012.</b></p>
---	---	---	---

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

La familia manifiesta que depende económicamente de los terrenos que habitan, pues es allí en donde construyeron su vivienda y tienen la posibilidad cultivar alimentos (maíz, pepino y café) para su consumo familiar y para la venta.

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

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

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

La familia manifestó no tener conocimiento de que su municipio adelante jornadas de capacitación en prevención de riesgos.

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

En el casco urbano, por la facilidad para las consultas de su hijo discapacitado y por la cercanía a la institución educativa de su otro hijo, para que este pueda escolarizarse nuevamente.

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

Si, han recibido visitas de parte de la alcaldía del municipio pero no se les ha solucionado nada hasta el momento, el jefe de hogar se encuentra adelantando estas gestiones para su reubicación en otra vivienda con la ayuda de la oficina de planeación del municipio.

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

La familia esperaría que la alcaldía les ayude en cuanto a su reubicación y en segunda medida en el manejo del riesgo para no tener que perder sus terrenos cultivables.

**40. Género:**

En la zona de influencia del deslizamiento se encuentran habitando tres (3) Hombres y una (1) mujer en total, de los cuales uno (1) es menores de edad y otro (1) es un joven en situación de discapacidad,

Fotografía 30. vivienda habitada.



**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>
---	---	---	---

## 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.

## 11 CONCLUSIONES

- El movimiento estudiado es un FRM lento en donde no se distingue una superficie de falla. La reptación es de tipo estacional asociada a cambios climáticos, o de humedad del terreno, el proceso es activo remontante, presenta un área aproximada de 73331,6 m<sup>2</sup> con una profundidad promedio de 4 m, sus causas posibles por material plástico débil detonado por lluvias, por su uso dado matorrales, cultivos, agrícola, ganadería, los daños presentes en el área de las viviendas, áreas agrícolas y para pastoreo, erosión y deforestación
- 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.
- Con ayuda del software Res2DIN VX64, se relacionaron datos de las respectivas resistividades de los materiales del área obtenidas por el equipo, resultando así el modelamiento del talud, en la línea 1 se observa que el área está conformada por dos unidades Geoelectricas bien definidas, donde encontramos niveles de arcillas con rangos de resistividades que oscilan entre 7.91 – 59.7 Ω\*m, y limos con resistividades que van desde 60 - 272 Ω\*m.

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

## 12 RECOMENDACIONES

- Debido a la vulnerabilidad estructural de la vivienda ubicada en el pie del proceso de reptación se deberá realizar inspección estructural del mismo.
- Se recomienda el cambio del uso del suelo. Cultivos de baja rotación y menos labor del suelo. Recuperar la masa forestal en la zona media y alta del área afectada.
- El mantenimiento de la vía debe ser continuo que garantice el manejo de aguas y el buen funcionamiento de las obras de arte.
- La construcción de trincheras drenantes y las canalizaciones y zanjas para el control y conducción del agua superficial y las aguas sub-superficiales.
- Para la estabilización del sector se recomienda la implementación de micro pilotes de 12m de longitud, dispuestos en filas distanciados 1m entre diámetros.
- Adicionalmente la zona deberá ser revegetalizada con arbustos y/o vegetación de altura media, que permita el control de agua y de igual manera generen un sistema de confinamiento natural del suelo con sus raíces.

		<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.