



## INFORME FINAL



**ELABORACIÓN DE ESTUDIO DE RIESGO (AMENAZA Y VULNERABILIDAD)  
Y DISEÑO DE OBRAS DE ESTABILIZACION EN LA VEREDA EL CAIMAN  
SECTOR AGUA FRIA, MUNICIPIO DE CAMPO HERMOSO, JURISDICCION  
DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR  
(CORPOCHIVOR).**

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

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
1 GENERALIDADES .....	13
1.1. PRESENTACION (JUSTIFICACION Y ALCANCE) .....	13
1.1    OBJETIVOS DEL PROYECTO .....	14
1.1.1    Objetivo General.....	14
1.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	14
1.2.1.    Objetivo General.....	14
1.2.2    Metodología .....	15
1.3. LOCALIZACIÓN.....	16
1.4. PERSONAL .....	17
1.5. DESCRIPCION DE ACTIVIDADES REALIZADAS .....	18
1.5.1. Trabajo de campo.....	18
1.6. ANÁLISIS DE LABORATORIO.....	20
1.6.1.    Trabajos de Oficina .....	21
1.7. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y SUS POSIBLES CAUSAS .....	21
1.8. ESTADO DE LA INFORMACIÓN .....	22
2 ASPECTOS CLIMATICOS E HIDROLOGICOS .....	24
2.1.    ANÁLISIS HIDROLÓGICO .....	25
2.2.    BALANCE HÍDRICO.....	25
2.2.1. Tipos de recarga.....	26
2.3.    ESTIMACIÓN DE LA ESCORRENTÍA .....	28
2.4.    ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN.....	33
2.4.1.    Mapas de Isoyetas generados a partir de los datos de Precipitación. .	39
2.4.2.    ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP). 47	
2.4.2.1. Formula de J. B. García y J.D. López. ....	47
2.4.3.    Estimación del Balance Hídrico.....	49
2.4.4.    Metodología.....	50
2.4.5.    RESULTADOS OBTENIDOS .....	53
2.5.    CALCULO DE CAUDAL DE DISEÑO A PARTIR DE LAS CURVAS IDF	

2.5.1.	Resultados.....	56
2.6.	USO ACTUAL Y COBERTURA DEL SUELO.....	57
2.6.1.	VEGETACIÓN.....	59
2.6.2.	COBERTURA Y USO DE SUELO PARA EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL ESTUDIO.....	61
2.6.3.	ESTUDIO DE LA FLORA.....	63
2.6.4.	IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE COBERTURAS.....	65
2.6.5.	ÁREAS Y PORCENTAJES DE LAS COBERTURAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	74
2.6.6.	UNIDADES DE COBERTURA VEGETAL.....	76
<b>2.7.</b>	<b>MORFOMETRÍA DE LA CUENCA.....</b>	<b>80</b>
3	GEOLOGIA.....	85
3.1.	GEOLOGÍA HISTÓRICA.....	85
3.2.	GEOLOGIA LOCAL.....	86
3.2.1.	Formación Lutitas de Macanal (Kilm).....	86
3.2.2.	Deposito Coluvial (Qc).....	87
4	GEOMORFOLOGÍA.....	88
4.1	GEOMORFOLOGÍA LOCAL.....	89
4.2	ANÁLISIS FOTOGEOLÓGICO.....	90
4.3	PROCESOS MORFODINÁMICOS.....	91
4.3.1	Desprendimiento.....	91
4.4	INCLINACIÓN DE LAS PENDIENTES.....	93
4.5	UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS.....	95
4.5.1	Geoformas de Origen Denudacional.....	95
4.6	EROSIÓN.....	98
4.6.1	Algunas Formas de Erosión.....	100
4.6.2	Factores externos.....	100
4.6.3	Factores internos.....	101
4.6.4	Morfodinámica - intensidad de erosión.....	101
5	HIDROGEOLOGÍA.....	104
5.1.	Unidades Hidrogeológicas.....	104

5.1.1.	Acuífero.....	104
5.1.2.	Acuitardo.....	104
5.1.3.	Acuicierres.....	105
5.2.	MARCO HIDROGEOLOGICO GENERAL.....	105
5.2.1.	UNIDAD I (Permeabilidad Alta).....	105
5.2.2.	UNIDAD II (Permeabilidad Baja).....	106
6	GEOELECTRICA ESTUDIO GEOELECTRICO (TOMOGRAFIA ELECTRICA RESISTIVA) .....	107
6.1.	INTRODUCCION.....	107
6.2.	OBJETIVO.....	110
6.3.	PRINCIPIO DEL METODO GEOFISICO.....	110
6.3.1.	Resistividad Aparente:.....	110
6.3.2.	Dispositivos: .....	113
6.4.	METODOLOGIA.....	114
6.4.1.	TOMOGRAFIA N°1 .....	115
6.5.	RESULTADOS .....	119
7	GEOTECNIA .....	120
7.1	EXPLORACIÓN DE CAMPO.....	120
7.1.1	Sondeos geotécnicos .....	120
7.2	CARACTERIZACIÓN DEL SUELO Y SUBSUELO .....	123
7.2.1	Trabajos de Laboratorio .....	123
7.2.2	Resumen de resultados .....	127
7.3	Clasificación del macizo rocoso.....	128
7.3.1	Clasificación Según el Índice Geológico de Resistencia (GSI): .....	128
7.4	CINEMÁTICA DE LOS MOVIMIENTOS .....	131
7.5	CAUSAS DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA .....	131
7.5.1	Causas Reales.....	131
7.5.2	Causas Inmediatas .....	131
7.6	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y MODELACIÓN GEOTÉCNICA .....	132
7.6.1	Análisis estructuralmente no controlado .....	136

8 ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA .....	140
8.1    DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DE AMENAZAS .....	140
8.2    RESULTADO DE ANALISIS.....	143
8.3    ANALISIS DE AMENAZA .....	144
8.4    Evaluación de Vulnerabilidad .....	146
8.5    VULNERABILIDAD SOCIAL.....	148
8.5.1    Objetivo .....	148
8.5.2    Justificación .....	148
8.5.3    Metodología .....	150
8.5.4    Análisis de vulnerabilidad .....	150
8.5.5    CARACTERIZACION DE LA ZONA .....	151
9 OBRAS RECOMENDADAS .....	155
10 CONCLUSIONES.....	156
11. RECOMENDACIONES .....	158
12.    BIBLIOGRAFÍA.....	159

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización geográfica.....	16
Figura 2. Gráfico de precipitación media multianual mensual.....	37
Figura 3. Gráfico de precipitación media multianual. ....	38
Figura 4. Isoyetas mes de Enero y Febrero .....	39
Figura 5. Isoyetas mes de Marzo y Abril .....	40
Figura 6. Isoyetas mes de Mayo y Junio .....	42
Figura 7. Isoyetas mes de Julio y Agosto.....	43
Figura 8. Isoyetas mes de Septiembre y Octubre .....	45
Figura 9. Isoyetas mes de Noviembre y Diciembre .....	46
Figura 10. Comportamiento de las Curvas del Balance Hídrico.....	55
Figura 11. 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). ....	60
Figura 12. Criterios para la clasificación de los bosques.....	69
Figura 13. Mapa cobertura vegetal y uso de suelo .....	74
Figura 14. Porcentaje áreas de coberturas. ....	75
Figura 15. Imagen ilustrativa de la cuenca local de Campo Hermoso .....	83
Figura 16. Imagen del Mapa .....	85
Figura 17. Ventana extraida del mapa regional de Consultoría para la Homologación y Estructuración de la Información Cartográfica Base.....	88
Figura 18. Fotografías pertenecientes al vuelo 2563 -212,213 tomadas por el IGAC, durante los años 90. ....	91
Figura 19. Esquema del movimiento, desprendimiento.....	92
Figura 20. Esquema del movimiento, perfil desprendimiento.....	93
Figura 21. Imagen del Mapa de inclinación de las pendientes.....	94
Figura 22. Imagen del Mapa geomorfológico.....	95
Figura 23. Imagen del Mapa erosión.....	103
Figura 24. Imagen del Mapa Hidrogeológico del área de estudio .....	105
Figura 25. Principio teórico de operación de las TER's.....	108
Figura 26. Rangos de resistividad para diferentes materiales.....	109
Figura 27. Dispositivo Wenner. ....	113

Figura 28. Imagen mapa topográfico Campo Hermoso. ....	116
Figura 29. Perfil 1 tomografía.....	118
Figura 30. Perfil litológico 1.....	119
Figura 31. Perfil Geotécnico S1 .....	124
Figura 32. Guía para la definición del Índice geológico de resistencia (GSI). ....	128
Figura 33. Perfil geológico AA' .....	138
Figura 34. Modelo de análisis perfil A-A' .....	138
Figura 35. Imagen Mapa de Amenazas. ....	145
Figura 36. Imagen Mapa de Vulnerabilidad Física y Social.....	147

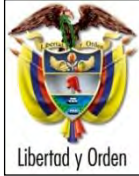
## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tabla general para la determinación de número de curva (CN).....	30
Tabla 2. Escorrentía Estación Campo Hermoso, suelo tipo CL.....	32
Tabla 3. Escorrentía Estación Campo Hermoso, suelo tipo CL.....	33
Tabla 4. Estación pluviométrica utilizada en la estimación de la precipitación para el área de estudio.....	34
Tabla 5. Precipitación media multianual mensual por estación.....	35
Tabla 6. Precipitación media multianual mensual por estación.....	36
Tabla 7. Rangos de temperatura Campo Hermoso.....	48
Tabla 8. Valores de Evapotranspiración.....	49
Tabla 9. Calculo de Infiltración, basado en los valores de escorrentía (R) y precipitación (P). Estación Campo Hermoso.....	52
Tabla 10. Calculo de Infiltración, basado en los valores de escorrentía (R) y precipitación (P). Estación Campo Hermoso.....	53
Tabla 11. Estimación del Balance Hídrico.....	54
Tabla 12. Áreas métricas de las coberturas.....	75
Tabla 13. Unidades de cobertura vegetal.....	77
Fuente: trabajo en campo.....	79
Tabla 14. Valores de parámetros morfométricos para la cuenca local.....	84
Tabla 15. Clasificación de las pendientes.....	94
Tabla 16. Descripción geomorfológica.....	97
Tabla 17. Resistividades de algunos suelos y rocas.....	112
Tabla 18. Resistividades de los materiales presentes en el área de estudio.....	117
Tabla 19. Coordenadas de los sondeos realizados.....	121
Tabla 20. Resumen de resultados ensayos de laboratorio.....	130
Tabla 21. Coeficientes de aceleración sísmica para el departamento Boyacá....	135
Tabla 22. Coeficientes de reducción de coeficientes de aceleración sísmica.....	135
Tabla 23. Valores de Propiedades Físicas y Mecánicas Utilizadas en los Modelos de estabilidad.....	136
Tabla 24. Factores de seguridad para el modelo perfil A-A.....	139
Tabla 25. Parámetros físicos y naturales estimados para la Identificación de Zonas Inestables (Deslizamientos).....	142
Tabla 26. Categorización de amenazas por FRM.....	143
Tabla 27. Categorización de amenaza por (FRM) según nsr-10.....	144



## LISTA DE FOTOGRAFIAS


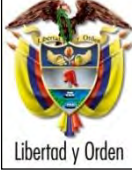

Fotografía 1.	Exploración directa del subsuelo (SPT).....	19
Fotografía 2.	Tejido artificializado de nivel 4 red vial 122 C.L.C. ....	66
Fotografía 3.	Bosque denso bajo de tierra firme.....	71
Fotografía 4.	Arbustos mesofilos .....	72
Fotografía 5.	Parte media del deslizamiento. ....	117
Fotografía 6.	Perforación realizada en la zona de estudio.....	122
Fotografía 7.	Prueba de Penetrometro de Bolsillo .....	122
Fotografía 8.	Muestra fallada en el ensayo de compresión no confinada.....	126
Fotografía 9.	Muestras a las que se les realizo la prueba de corte directo.....	127
Fotografía 10.	Movimiento .....	137



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



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

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

## LISTAS DE ANEXOS

### **ANEXO 1 - MAPAS TEMÁTICOS**

- MAPA 1 GEOLÓGICO
- MAPA 2 GEOMORFOLÓGICO
- MAPA 3 SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSIÓN
- MAPA 4 DE PENDIENTES
- MAPA 5 HIDROGEOLÓGICO
- MAPA 6 ZONIFICACIÓN GEOMECÁNICA
- MAPA 7 ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA
- MAPA 8 VULNERABILIDAD FÍSICA Y SOCIAL
- MAPA 9 ZONIFICACIÓN DE RIESGOS POR FRM

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

### **ANEXO 3 – ENSAYOS DE SUELOS**

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

### **ANEXO 5 - HIDROLOGÍA**

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

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

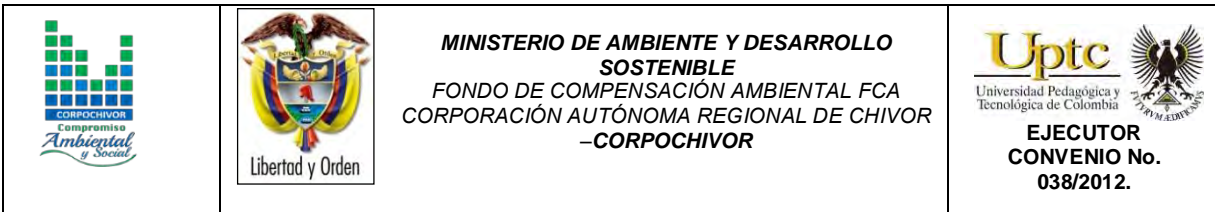
### **ANEXO 8 - ENCUESTAS SOCIOECONÓMICAS**

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

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

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

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

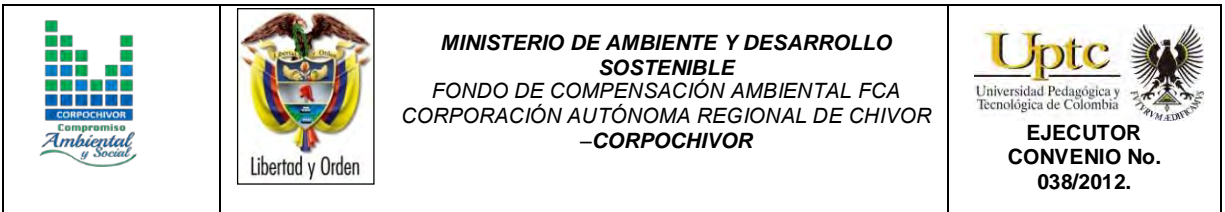


## INTRODUCCION

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

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

Con el desarrollo de este proyecto se pretende procesar la información, analizarla y a partir de esto recomendar el diseño e implementación de obras de mitigación teniendo en cuenta la modelación geotécnica, y así darle solución al problema presente en el área de la Vereda El Caimán, Sector Agua Fría Municipio de Campo Hermoso.






## 1 GENERALIDADES

### 1.1. PRESENTACION (JUSTIFICACION Y ALCANCE)

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

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

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

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

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.

## **1.1 OBJETIVOS DEL PROYECTO**

### **1.1.1 Objetivo General**

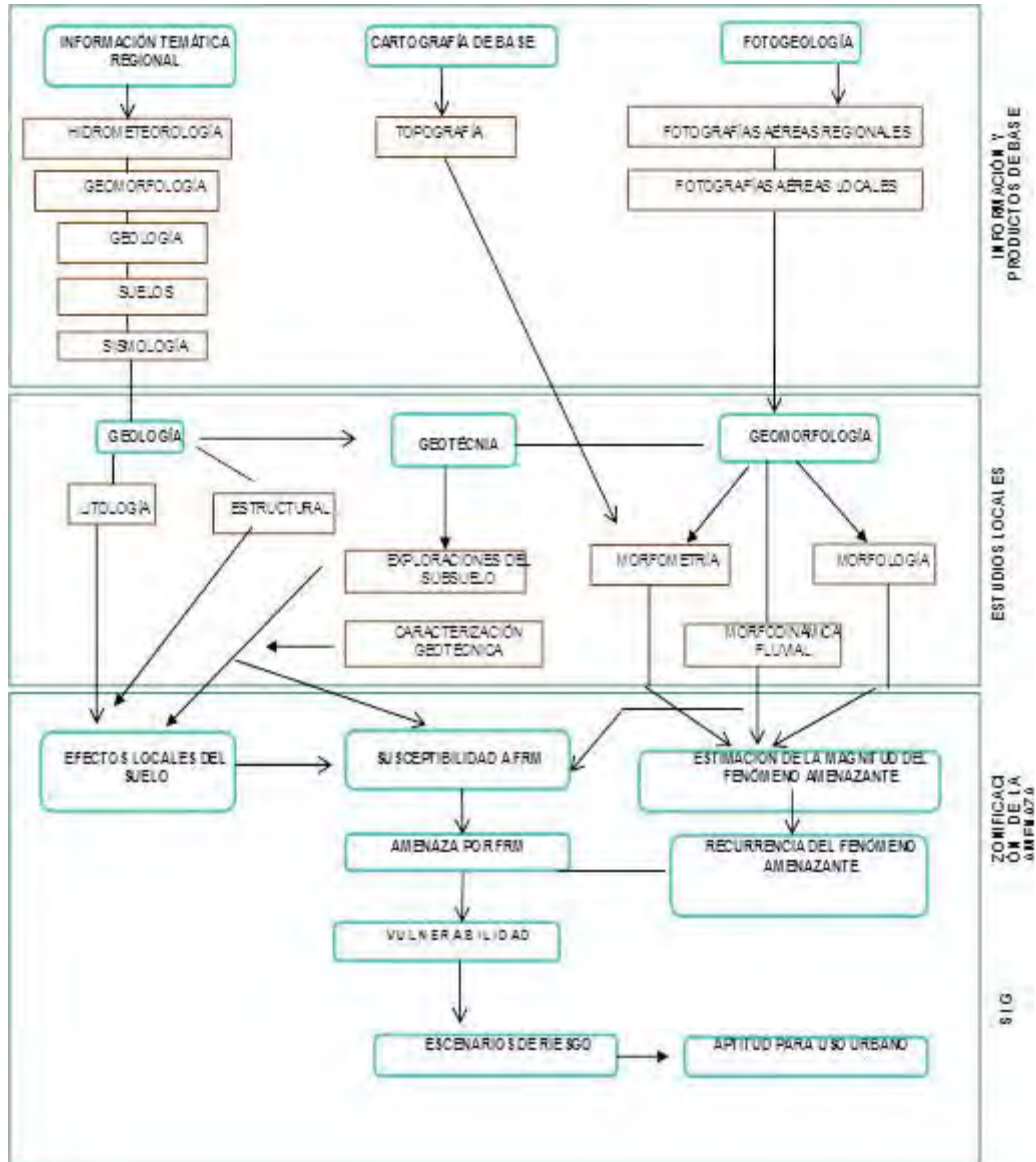
Realizar el estudio de riesgo (amenaza y vulnerabilidad) y diseño de obras en la planta de tratamiento de aguas residuales, vereda el tejlar, municipio de nuevo colon, área afectada por fenómenos de remoción de masa. Municipio de la jurisdicción de la corporación autónoma regional de chivor (corpochivor).

## **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 El Caimán, Sector Agua Fría en el Municipio de Campo Hermoso, área afectada por Fenómenos de Remoción en Masa (FRM). Municipio de la Jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Chivor CORPOCHIVOR.

## 1.2.2 Metodología



ELABORACIÓN DE ESTUDIO DE RIESGO (AMENAZA Y VULNERABILIDAD) Y DISEÑO DE OBRAS DE ESTABILIZACIÓN EN LA VEREDA EL CAIMAN, SECTOR AGUA FRIA MUNICIPIO DE CAMPO HERMOSO JURISDICCIÓN DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR (CORPOCHIVOR).

### 1.3. LOCALIZACIÓN.

Figura 1. Localización geográfica.



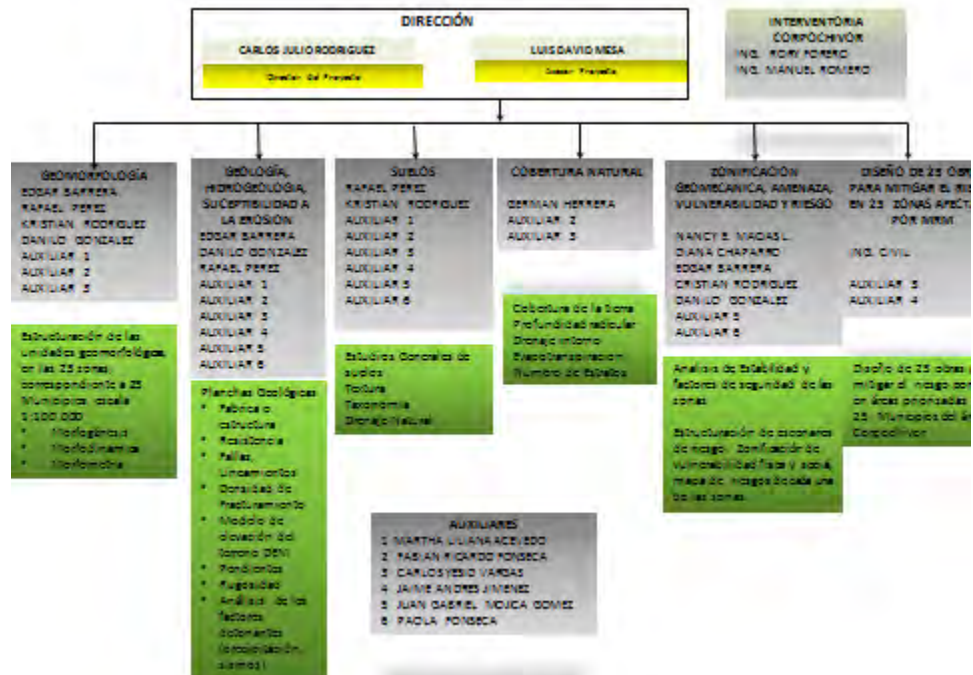
Fuente: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colombia - Boyaca - Campo Hermoso .svg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colombia_-_Boyaca_-_Campo_Hermoso_.svg)

El área de Estudio se encuentra en las coordenadas N 1026405, E 1099443, a una altura de 1413 msnm; en la Provincia de Lengupa, en el Municipio de Campo Hermoso, en la vereda El Caimán, Sector Agua Fría.

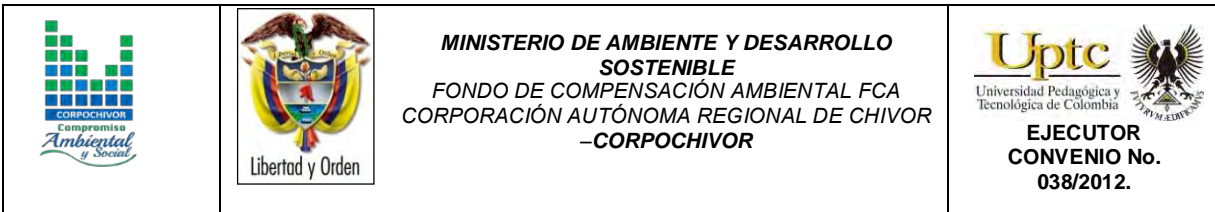


### 1.4. PERSONAL

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



ORGANIGRAMA



## 1.5. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES REALIZADAS

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

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

### 1.5.1. Trabajo de campo

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

El trabajo de campo consistió en:

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

Fotografía 1. Exploración directa del subsuelo (SPT)

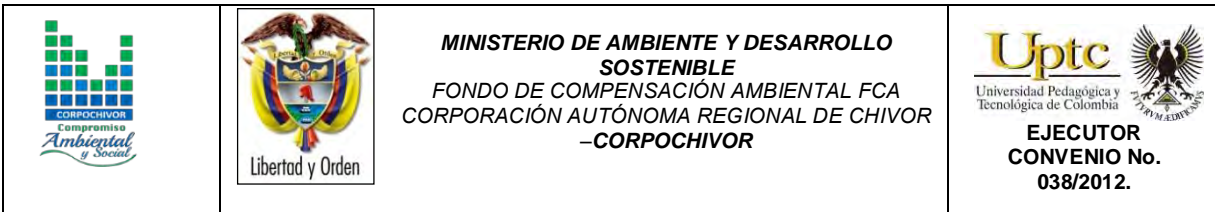


Fuente: Resultado del estudio.

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

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

Levantamiento Geológico y Geotécnico de la zona: Comprende el reconocimiento del lugar, haciendo el levantamiento geológico que permitió conocer la litología, rasgos estructurales, grado de alteración de la roca, depósitos no consolidados y demás detalles de utilidad que sirvieron para crear el modelo geológico local



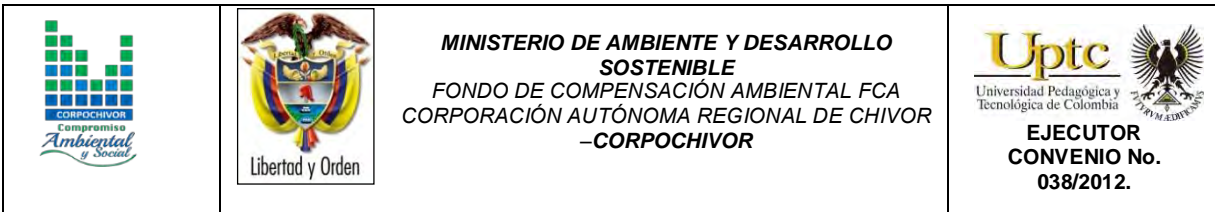
(escala 1: 500). Con el fin de conocer en detalle la naturaleza del subsuelo, y la caracterización de cada uno de los FRM se realizó la exploración del subsuelo mediante la realización de apiques, perforaciones.

Tomografías. En el área del estudio se realizó una tomografía, que se ubicó dentro de zona afectada por el Fenómeno de Remoción en Masa (FRM) y el área periférica; los que permitieron identificar parámetros de resistividad del subsuelo, interpretar la litología, definir algunas características hidrogeológicas y geotécnicas (anexo 2).

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

## **1.6. ANÁLISIS DE LABORATORIO.**

En los laboratorios de Petrografía y Mecánica de Suelos y Rocas de la UPTC Sede Sogamoso se realizaron los ensayos necesarios para clasificación de suelos a las muestras recogidas en los apiques y sondeos. Los ensayos ejecutados fueron: Caracterización Petrográfica, límites de Atterberg, granulometría, humedad natural, peso unitario, compresión inconfiada , Corte Directo, Coeficiente de Permeabilidad Propiedades Físicas, Tilt Test, Carga por punta, Angulo de reposo.



### 1.6.1. Trabajos de Oficina




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

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

Las planchas geológicas del IGAC tomadas en cuenta, fueron la 191 y 210, a escala 1:100.000.; los datos de pluviometría del IDEAM de los años de 1976 a 2010, de la estación de Campo Hermoso.

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

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

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

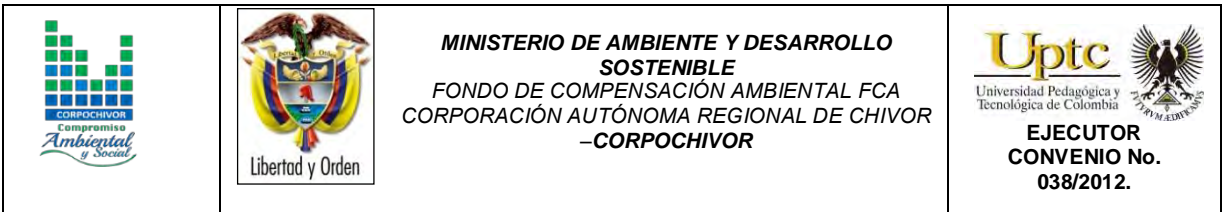
El estudio incluye análisis geológicos y geotécnicos necesarios para realizar el análisis de ingeniería y el diseño detallado de la alternativa seleccionada junto con los cálculos de cantidades de obra, presupuesto y especificaciones técnicas.

## 1.8. ESTADO DE LA INFORMACIÓN

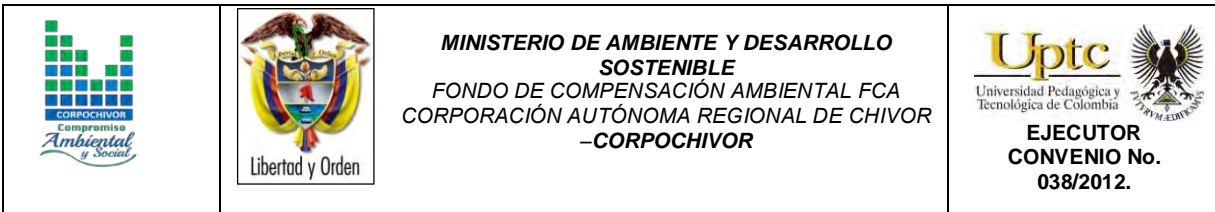
Mediante la evaluación de estudios suministrados por parte de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad Seccional Sogamoso, Escuela de Ingeniería Geológica, así como por la Corporación Autónoma Regional de Chivor (CORPOCHIVOR) se logró identificar información primaria, de diferentes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

La información recopilada tuvo en cuenta aspectos tales como:

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



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



## **2 ASPECTOS CLIMATICOS E HIDROLOGICOS**

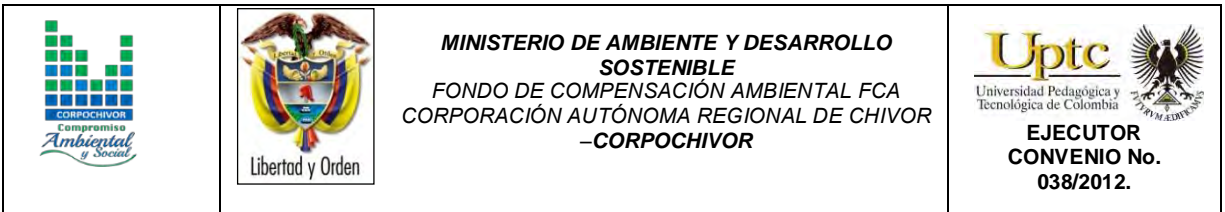
Desde el punto de vista biofísico, el clima es importante por su directa intervención en la evolución de los suelos y el paisaje. También por ser uno de los elementos o insumos necesarios para la determinación de las amenazas naturales y desde el punto de vista socioeconómico, por la influencia en la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

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

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

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





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

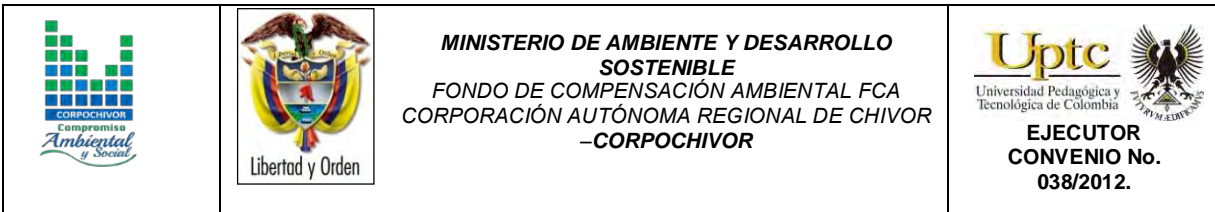
La presencia de vientos alisios que provienen de la región amazónica con características húmedas, penetran en los meses de Julio y Agosto haciendo que estos meses sean lluviosos.

## **2.1. ANÁLISIS HIDROLÓGICO**

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

## **2.2. BALANCE HÍDRICO.**

Para estimar las reservas del agua subterránea de los sistemas acuíferos que se extienden subsuperficialmente y en el subsuelo dentro del área de estudio perteneciente al municipio de Campo Hermoso 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.

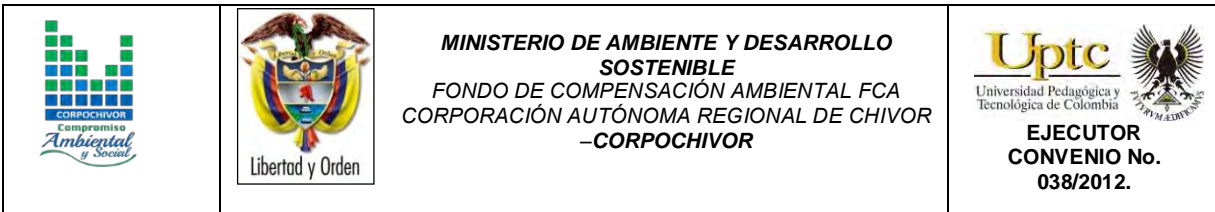
La información obtenida puede ser utilizada para evaluar los recursos hídricos del área de trabajo (calidad, cantidad y distribución en tiempo y espacio), además de la capacidad para el suministro y satisfacción de la demanda; así mismo se pueden proyectar y diseñar proyectos relacionados con el agua, 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:



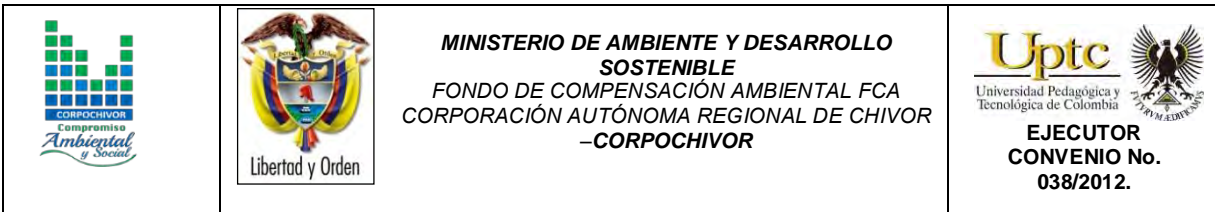
1. Recarga directa o recarga difusa, proveniente del agua lluvia.
2. Recarga concentrada o indirecta, producto de cauces permanentes, estacionales y efímeros.
3. Flujos laterales, procedentes de otros acuíferos
4. Retorno de riegos, excesos de riegos o las pérdidas en los canales de distribución
5. Recarga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

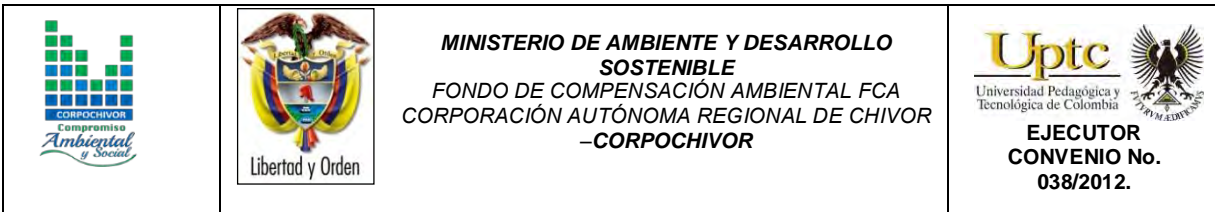
Aproximaciones de Darcy: Se encuentran valores de cabezas hidráulicas a partir de las ecuaciones de flujo de Richards y Boussinesq y luego se determina la velocidad de filtración. Si se asumen condiciones estables la recarga se determina directamente de la ecuación de Darcy.

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-escorrimento 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	R	Pobre	66	77	85	89

leguminosas o prados en alternancia	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:

ELABORACIÓN DE ESTUDIO DE RIESGO (AMENAZA Y VULNERABILIDAD) Y DISEÑO DE OBRAS DE ESTABILIZACIÓN EN LA VEREDA EL CAIMAN, SECTOR AGUA FRIA MUNICIPIO DE CAMPO HERMOSO JURISDICCIÓN DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR (CORPOCHIVOR).

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

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

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

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

Tabla 2. Escorrentía Estación Campo Hermoso, suelo tipo CL

P	R	S CL (C)	CN
238,386667	166,588944	75,8701299	77
156,736667	92,1663338		
199,016667	130,136522		
269,994167	196,356863		
198,016667	129,222192		
188,466667	120,524986		
193,0425	124,684197		
197,716667	128,948022		
218,058333	147,664168		
153,208333	89,074683		
239,858333	167,96637		
186,983333	119,180011		
143,433333	80,5883271		
166,116667	100,45149		
245,258333	173,02834		
176,041667	109,312501		
205,425	136,011134		
264,391667	191,054349		
217,766667	147,394131		
251,058333	178,478314		
319,866667	243,948207		
272,5	198,731786		
285,183333	210,781614		
302,533333	227,336672		
345,775	268,892433		
219,9	149,370301		
198,675	129,824051		



Fuente: Resultado del estudio

Tabla 3. Escorrentía Estación Campo Hermoso, suelo tipo CL

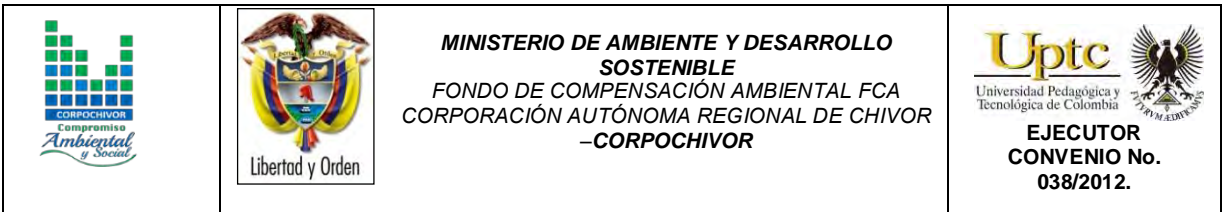
202,7775	133,580985
186,745833	118,964818
228,153333	157,037472
220,68	150,093433
173,245833	106,807255
102,823333	46,981577
209,3375	139,610234

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 34 años (1976-2010), 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
35087020	CAMPO HERMOSO	RIO LENGUPA	BOYACA	CAMPO HERMOSO

Fuente: Resultado del estudio

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

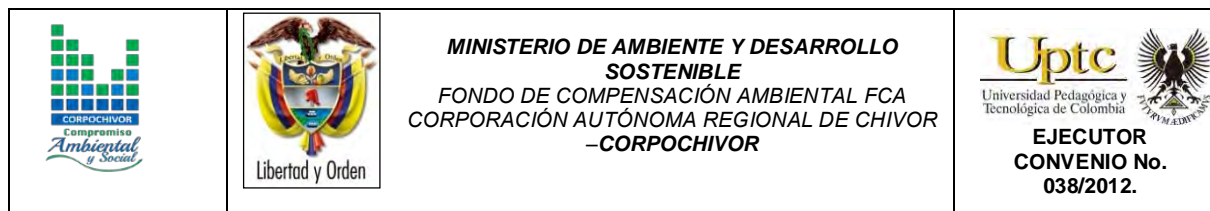


Tabla 5. Precipitación media multianual mensual por estación.

NOMBRE ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
CAMPO HERMOSO	17,4	41	127,1	282,9	402,6	339,2	350,01	323	155	240,11	248,51	333,81	238,386667
CAMPO HERMOSO	14	6,2	56,2	139	236,2	259	234,41	360	220,01	212,81	127,01	16	156,736667
CAMPO HERMOSO	6,2	6,8	26	300	170	202	323	450	428	229	117,2	130	199,016667
CAMPO HERMOSO	12,2	6,8	57,9	556,4	184,4	376,3	188,5	370,91	328,91	281,61	622,2	253,8	269,994167
CAMPO HERMOSO	44,3	21,1	57,9	140,3	272,3	694	242,7	276,9	149	323,8	131,7	22,2	198,016667
CAMPO HERMOSO	16,8	101,6	53,7	220,3	253,8	209	276,9	131,7	231,7	487	200,8	78,3	188,466667
CAMPO HERMOSO	75,8	14,5	103,1	253,8	300,3	312,1	288,6	253,8	349,5	253,81	71,1	40,1	193,0425
CAMPO HERMOSO	15,9	71,1	136,9	328,9	167,8	140,3	300,3	681,5	120,8	188,5	156,5	64,1	197,716667
CAMPO HERMOSO	18,4	130,1	14,5	46,2	107,4	492,8	685,5	612	145	114	151,8	99	218,058333
CAMPO HERMOSO	54,4	10,9	8,7	72,5	148,4	405	312,5	312,5	241,2	105,2	65,2	102	153,208333
CAMPO HERMOSO	23,6	81	99,2	246,8	292	378	400,4	282	516,2	265,5	214	79,6	239,858333
CAMPO HERMOSO	25,7	45,9	133,2	65,5	304,6	522	238,5	195,2	199	218	133,2	163	186,983333
CAMPO HERMOSO	78	59,6	18,6	58,5	124	254	302	210	190	156,7	168,6	101,2	143,433333
CAMPO HERMOSO	76	76	128,8	95	204	164	409,6	282	116	230	124	88	166,116667
CAMPO HERMOSO	26	52	162,7	285	398,5	364,8	444,2	241	203	249,8	178,9	337,2	245,258333
CAMPO HERMOSO	22,8	89	54	100	249,8	289,3	374	337,2	203	203	166	24,4	176,041667
CAMPO HERMOSO	21,3	44	39	191,5	140	316	553,5	456,9	325,6	72,8	206,3	98,2	205,425
CAMPO HERMOSO	47	44	76,6	306	301,4	386,8	329	338,4	631,3	265	296,8	150,4	264,391667
CAMPO HERMOSO				269,5	287,6	488	581,5	225,4	200,2	202,3	274	84,7	217,766667

Fuente: Resultado del estudio.

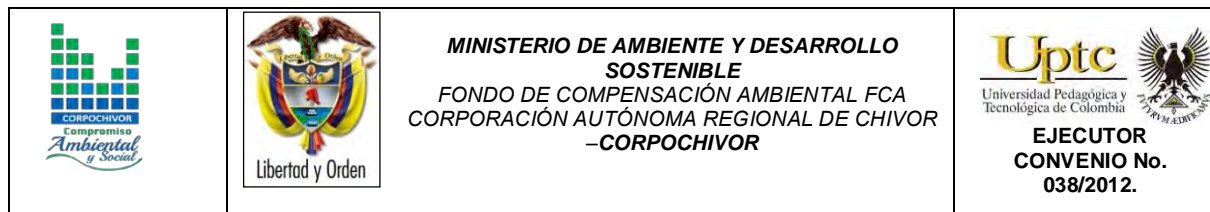


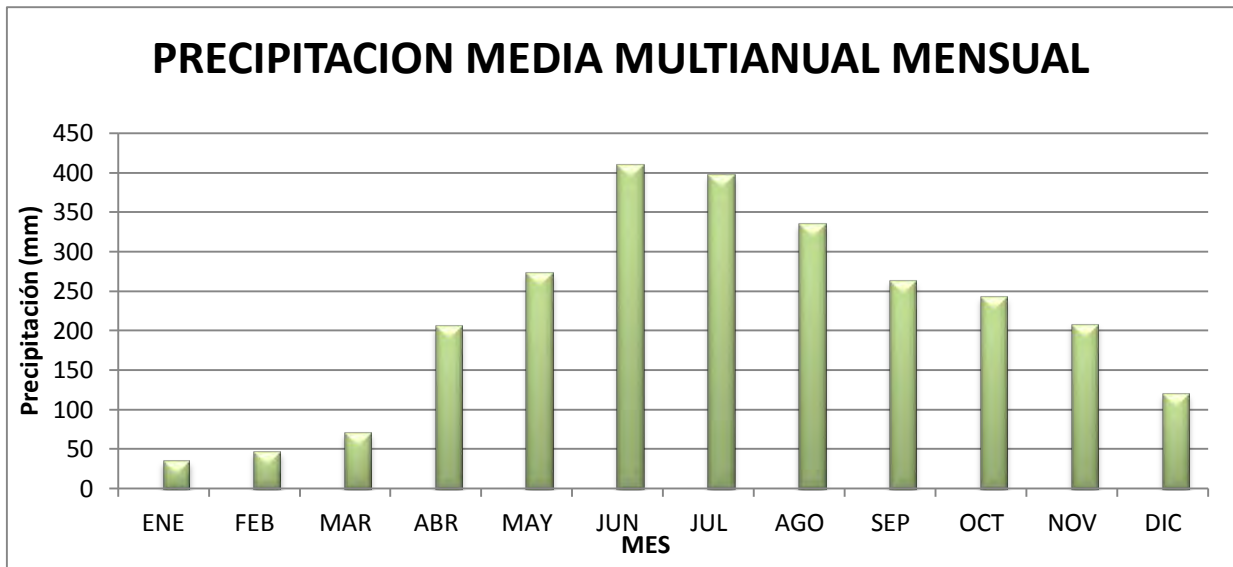
Tabla 6. Precipitación media multianual mensual por estación.

CAMPO HERMOSO	22	12,9	49	238	251,5	717	392,2	260,5	135,2	561,4	184,6	188,4	251,058333
CAMPO HERMOSO	31,7	71,8	175,2	129	304,2	627,3	896	339,6	200,5	611,9	170,6	280,6	319,866667
CAMPO HERMOSO	138,1	106,4	55,8	88,3	526,7	404,7	818,8	411,2	333,7	172,9	179,9	33,5	272,5
CAMPO HERMOSO	16	36	44	310	101,2	888	919	287	168	298	194	161	285,183333
CAMPO HERMOSO	36,8	124,5	113,2	503,5	221,2	794,4	398,2	333,7	286,5	385,1	333,7	99,6	302,533333
CAMPO HERMOSO	33,5	71,8	129	61,5	503,5	802,6	477,1	534,5	770,1	170,6	463,9	131,2	345,775
CAMPO HERMOSO	54,5	18,2	24,3	71,8	404,7	430,8	411,2	470,5	268,8	156,7	147,4	179,9	219,9
CAMPO HERMOSO	11,5	8	33,5	214,3	214,3	122,2	339,6	310,1	248,7	214,3	470,5	197,1	198,675
CAMPO HERMOSO	14,15	18,2	8	310,1	658,3	280,6	248,7	333,7	214,3	156,7	133,5	57,08	202,7775
CAMPO HERMOSO	67,37	99,61	11,5	186,9	254,4	327,8	199,5	191,9	353,3	327,8	170,7	50,17	186,745833
CAMPO HERMOSO	69,96	33,44	141,6	123,6	204,6	378,7	536,9	469	105,6	278,4	353,3	42,74	228,153333
CAMPO HERMOSO	17,06	9,9	99,7	209,7	268,8	358,4	249,68	536,9	455,8	199,5	147,47	95,25	220,68
CAMPO HERMOSO	42,74	24,73	56,8	163	222,31	404,18	345,68	264	141,6	204,6	151,3	58,01	173,245833
CAMPO HERMOSO	26	33,44	58,01	114,6	123,6	254,4	98,21	180,4	123,6	105,6	63,99	52,03	102,823333
CAMPO HERMOSO	5,82	6,93	39,2	290,4	488,6	552,1	316,7	123	179,9	101,4	238,6	169,4	209,3375

Fuente: Resultado del estudio

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

Figura 2. Gráfico de precipitación media multianual mensual.



Fuente: Resultado del estudio.

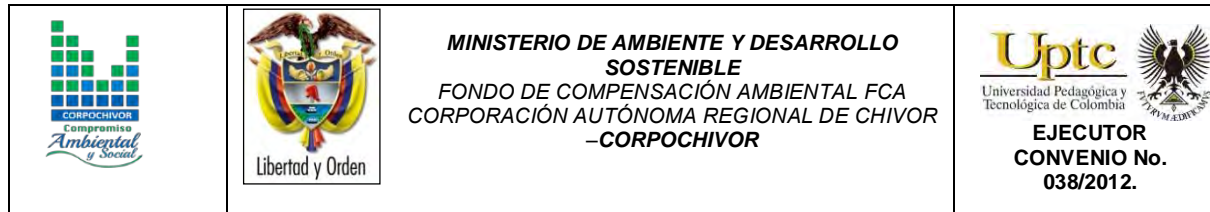
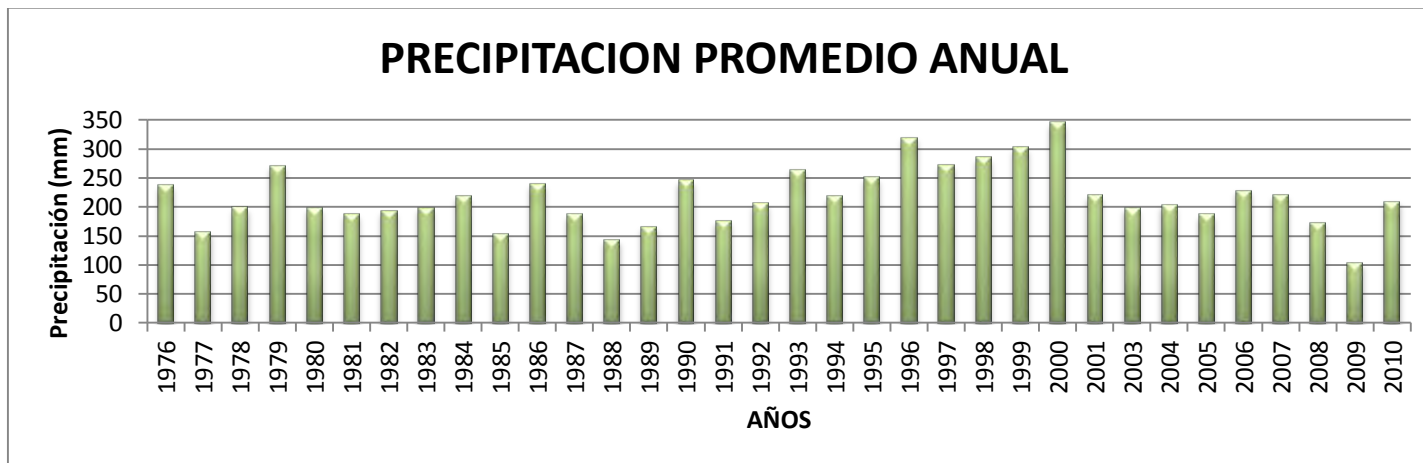


Figura 3. Gráfico de precipitación media multianual.

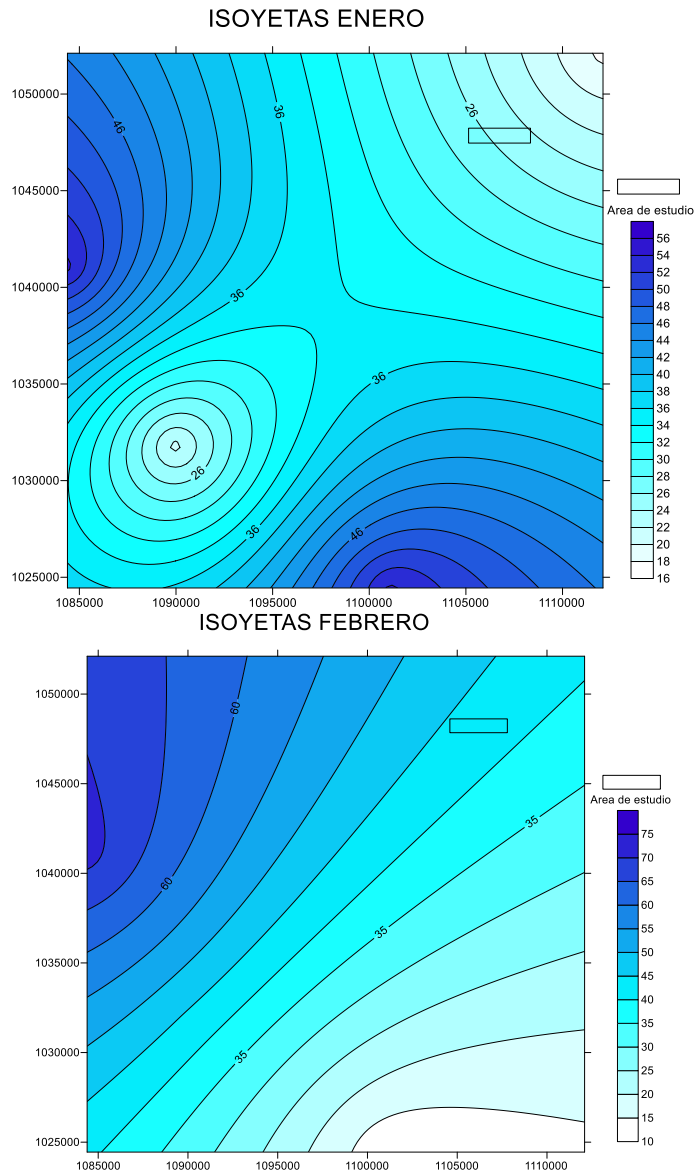


Fuente: Resultado del estudio

El comportamiento de la precipitación promedio anual, para los años 1977, 1985, 1988, 2009, (Figura 3) se encuentran valores que varían entre los 100 - 180 mm, en los años 1978 -1980 -1986 – 1990 – 1993 – 1998 – 1999 se encuentran valores que varían entre los 200 - 300 mm y los años restantes se presentan valores que varían entre 300 - 350 mm.

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

Figura 4. Isoyetas mes de Enero y Febrero

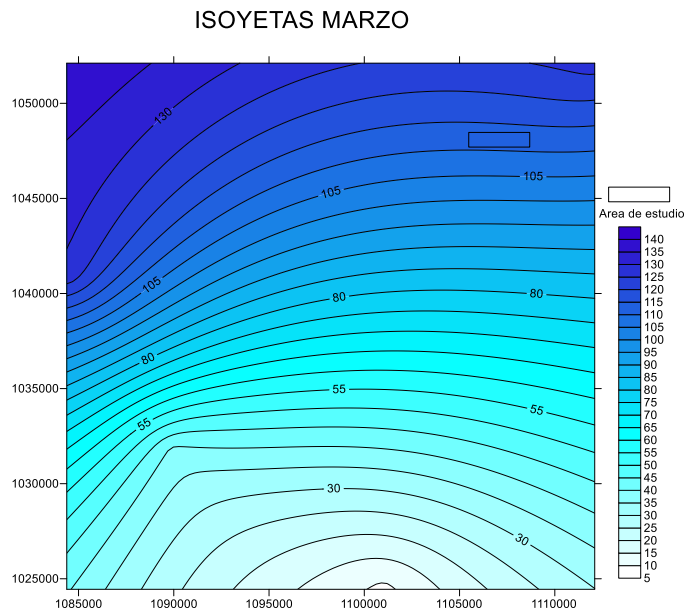


Fuente: Resultado del estudio

El comportamiento de la precipitación para el mes de Enero correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 20 y 26 mm.

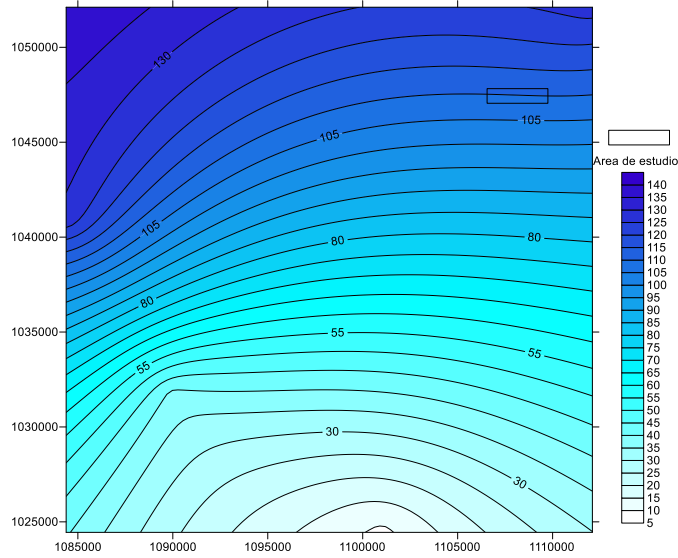
El comportamiento de la precipitación para el mes de Febrero correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 25 y 40 mm.

Figura 5. Isoyetas mes de Marzo y Abril





ISOYETAS ABRIL

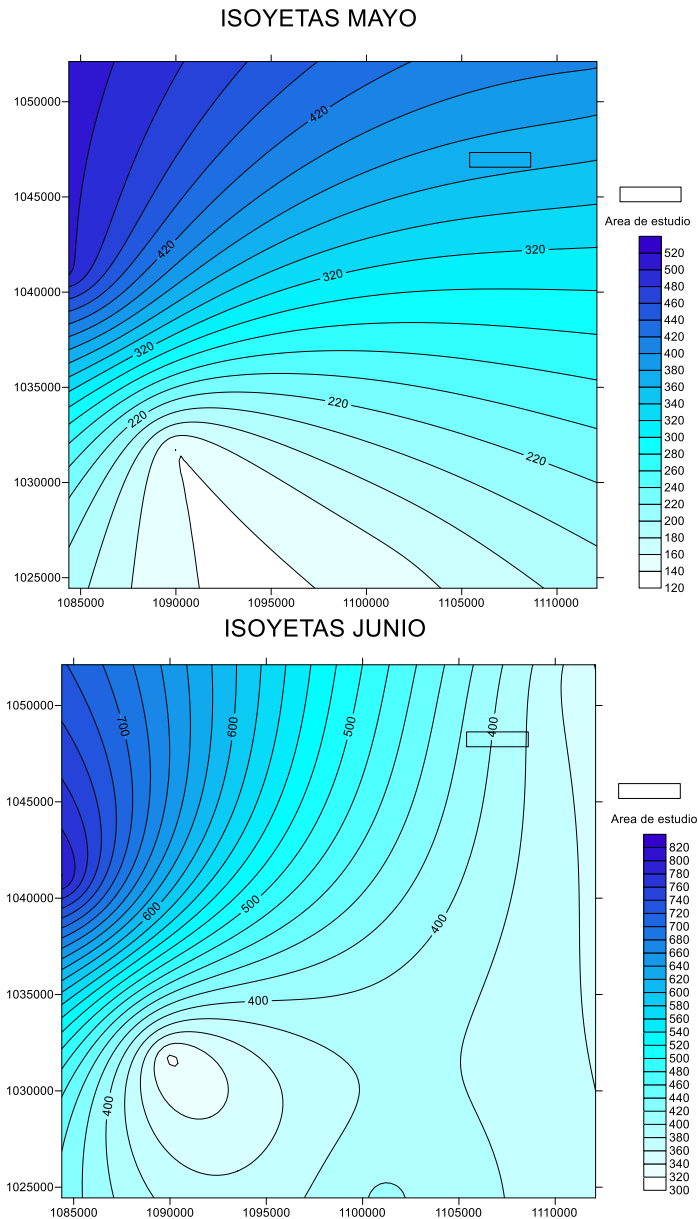


Fuente: Resultado del estudio

El comportamiento de la precipitación para el mes de Marzo correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 105 y 130 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Abril correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 105 y 120 mm.

Figura 6. Isoyetas mes de Mayo y Junio

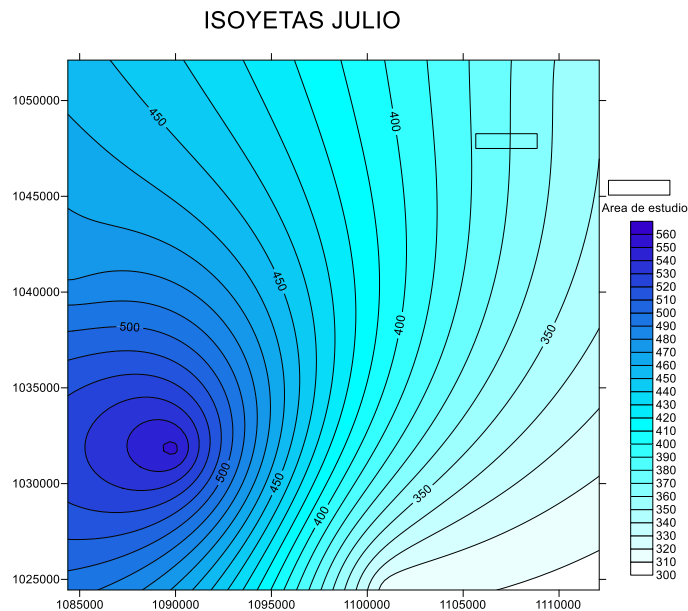


Fuente: Resultado del estudio

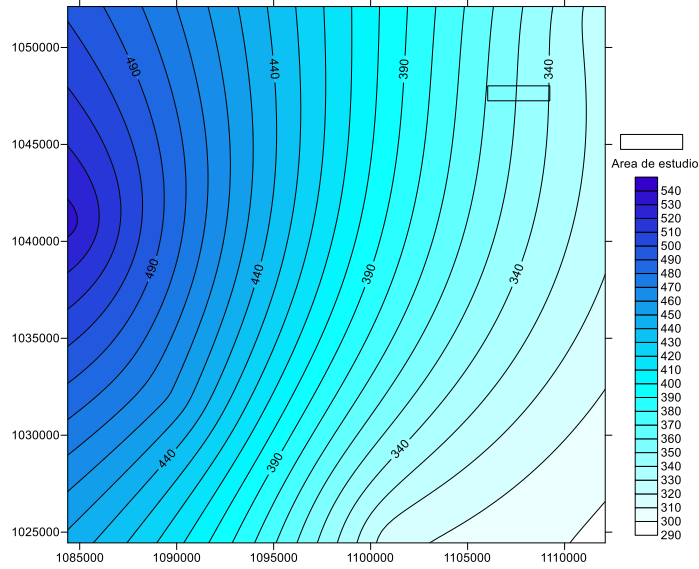
El comportamiento de la precipitación para el mes de Mayo correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 340 y 360 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Junio correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 360 y 400 mm.

Figura 7. Isoyetas mes de Julio y Agosto



**ISOYETAS AGOSTO**

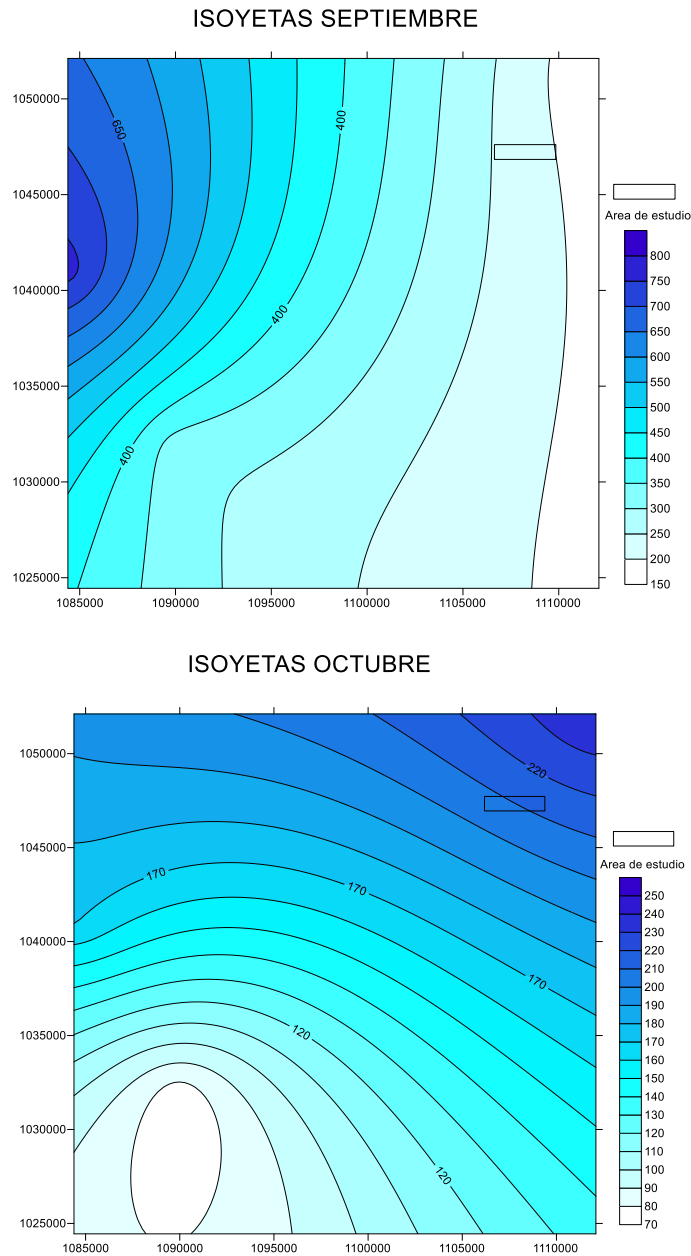


Fuente: Resultado del estudio

El comportamiento de la precipitación para el mes de Julio correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 360 y 390mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Agosto correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 320 y 340 mm.

Figura 8. Isoyetas mes de Septiembre y Octubre

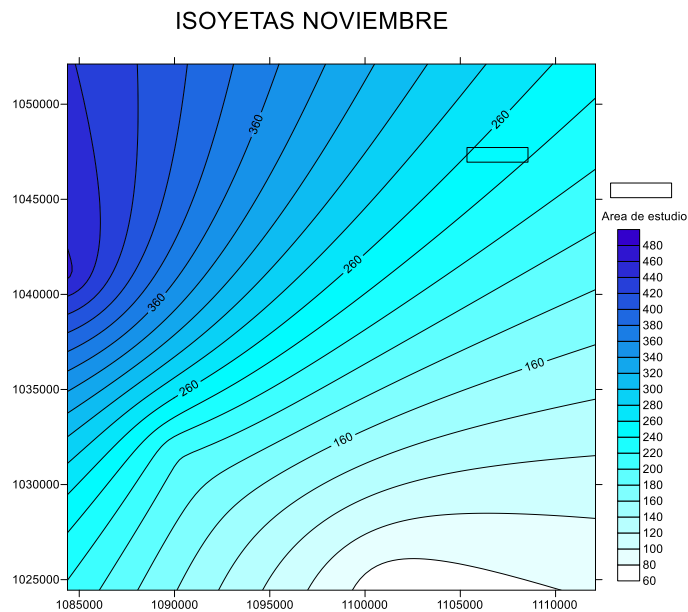


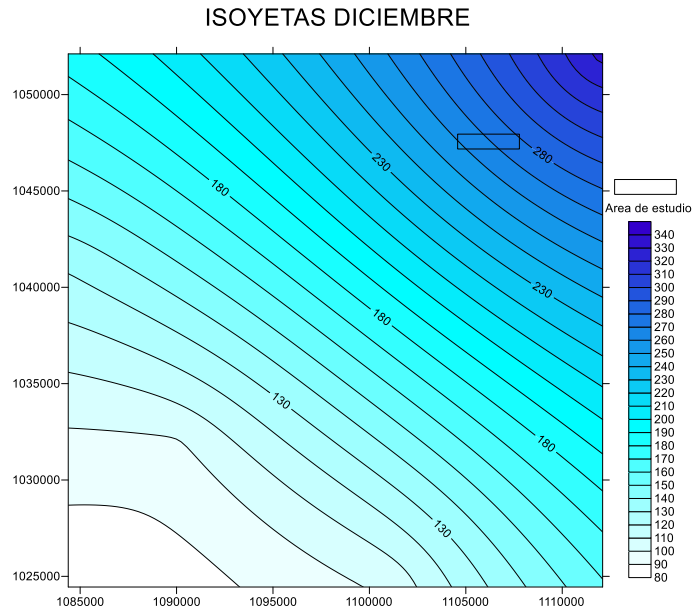
Fuente: Resultado del estudio

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

El comportamiento de la precipitación para el mes de Octubre correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 190 y 220 mm.

Figura 9. Isoyetas mes de Noviembre y Diciembre





Fuente: Resultado del estudio

El comportamiento de la precipitación para el mes de Noviembre correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 220 y 260 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Diciembre correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 250 y 280 mm.

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

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

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

se evaluó el índice estacional, el coeficiente de correlación y su relación porcentual.

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

Dónde:

ETP: Evapotranspiración

T: Temperatura media del aire en grados Celsius

HR: Humedad relativa media (%)

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

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

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

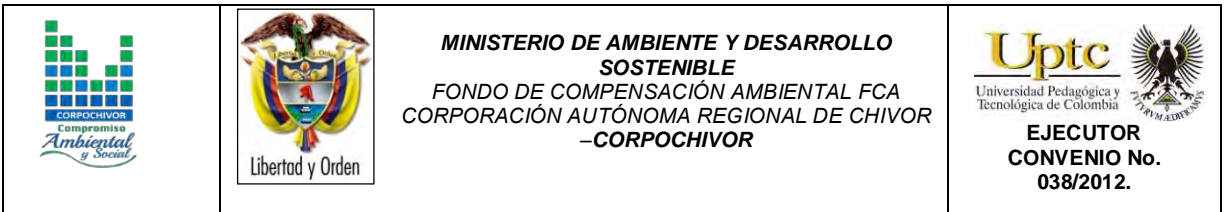
Se tomaron cuatro rangos de temperatura que varían de acuerdo a los periodos de precipitaciones, durante cada año.

Tabla 7. Rangos de temperatura Campo Hermoso.

	Temperatura (°C)
Periodo 1	14.1
Periodo 2	23.1
Periodo 3	30.1

Fuente: Resultado del estudio





El valor de la humedad relativa (HR) se toma del POT del municipio de Campo Hermoso, que corresponde al valor del 85 %. De donde obtenemos:

Tabla 8. Valores de Evapotranspiración




ETP1	ETP2	ETP3
3,50187313	7,78831451	12,2102836

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, escurrimiento 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 escurrimiento calculada por el método de número de curva de escurrimiento, el cual utiliza los parámetros de cobertura vegetal, Índice de infiltración del suelo, condición hidrogeológica.

- Herramientas y métodos.
- Los datos de infiltración obtenidos mediante la ponderación de los datos proporcionados por el IDEAM.

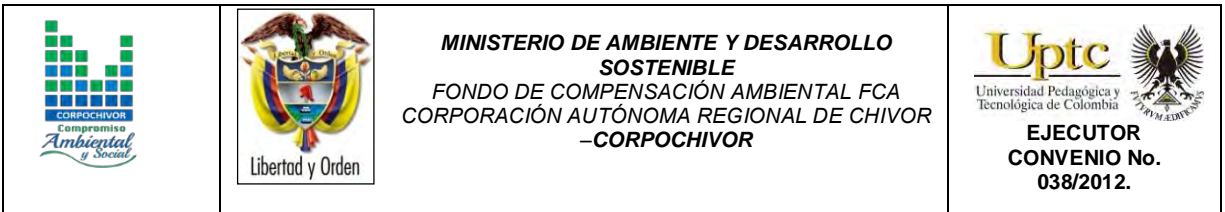
		<p style="text-align: center;"><b>MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE</b> FONDO DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL FCA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR –CORPOCHIVOR</p>	 <p style="text-align: center;"><b>EJECUTOR CONVENIO No. 038/2012.</b></p>
---	---	---	---

- Datos de precipitación obtenidos de las estaciones pluviométricas y de evaporación del IDEAM.

#### **2.4.4. Metodología**

La metodología utilizada para el cálculo de la recarga.

- Se realiza un procesamiento de los datos de las estaciones pluviométricas del IDEAM, generando tablas de precipitación media y mensual con el comportamiento multitemporal de las precipitaciones.
- Generación de tablas de evapotranspiración media con el comportamiento multitemporal de la evapotranspiración, a partir de los datos de temperatura del IDEAM, aplicando la Formula de J. B. García y J.D. López. para el cálculo de la evapotranspiración.
- Se calcula el número de curva para cada categoría con características iguales de cobertura, velocidad de infiltración, condición hidrológica y uso del suelo.
- Con la ecuación propuesta por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de Norteamérica se calcula la escurrentía para cada categoría y microcuenca, que utiliza el número de curva de escurrentía y la precipitación media mensual como variables.
- Se realiza un balance hídrico, con los datos de precipitación, escurrentía, 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 Campo Hermoso.

AÑO	P	R	I	ETP
1976	238,386667	166,588944	71,797723	3,5018731
1977	156,736667	92,1663338	64,5703332	3,5018731
1978	199,016667	130,136522	68,880145	3,5018731
1979	269,994167	196,356863	73,637304	3,5018731
1980	198,016667	129,222192	68,794475	3,5018731
1981	188,466667	120,524986	67,941681	3,5018731
1982	193,0425	124,684197	68,358303	3,5018731
1983	197,716667	128,948022	68,768645	3,5018731
1984	218,058333	147,664168	70,394165	3,5018731
1985	153,208333	89,074683	64,13365	3,5018731
1986	239,858333	167,96637	71,891963	3,5018731
1987	186,983333	119,180011	67,803322	7,7883145
1988	143,433333	80,5883271	62,8450059	7,7883145
1989	166,116667	100,45149	65,665177	7,7883145
1990	245,258333	173,02834	72,229993	7,7883145
1991	176,041667	109,312501	66,729166	7,7883145
1992	205,425	136,011134	69,413866	7,7883145
1993	264,391667	191,054349	73,337318	7,7883145
1994	217,766667	147,394131	70,372536	7,7883145
1995	251,058333	178,478314	72,580019	7,7883145

Fuente: Resultado del estudio

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

1996	319,866667	243,948207	75,91846	7,7883145
1997	272,5	198,731786	73,768214	7,7883145
1998	285,183333	210,781614	74,401719	7,7883145
1999	302,533333	227,336672	75,196661	7,7883145
2000	345,775	268,892433	76,882567	12,210284
2001	219,9	149,370301	70,529699	12,210284
2003	198,675	129,824051	68,850949	12,210284
2004	202,7775	133,580985	69,196515	12,210284
2005	186,745833	118,964818	67,781015	12,210284
2006	228,153333	157,037472	71,115861	12,210284
2007	220,68	150,093433	70,586567	12,210284
2008	173,245833	106,807255	66,438578	12,210284
2009	102,823333	46,981577	55,841756	12,210284
2010	209,3375	139,610234	69,727266	12,210284

Fuente: Resultado del estudio

#### 2.4.5. RESULTADOS OBTENIDOS

Los valores obtenidos dentro del balance hídrico se encuentran resumidos en la Figura 10 y expresados esquemáticamente en la Tabla 11.

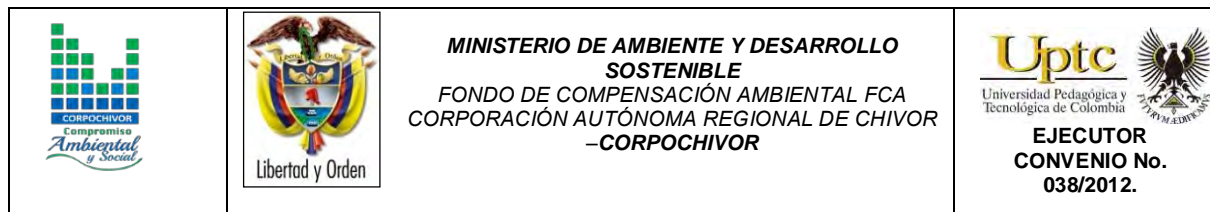


Tabla 11. Estimación del Balance Hídrico

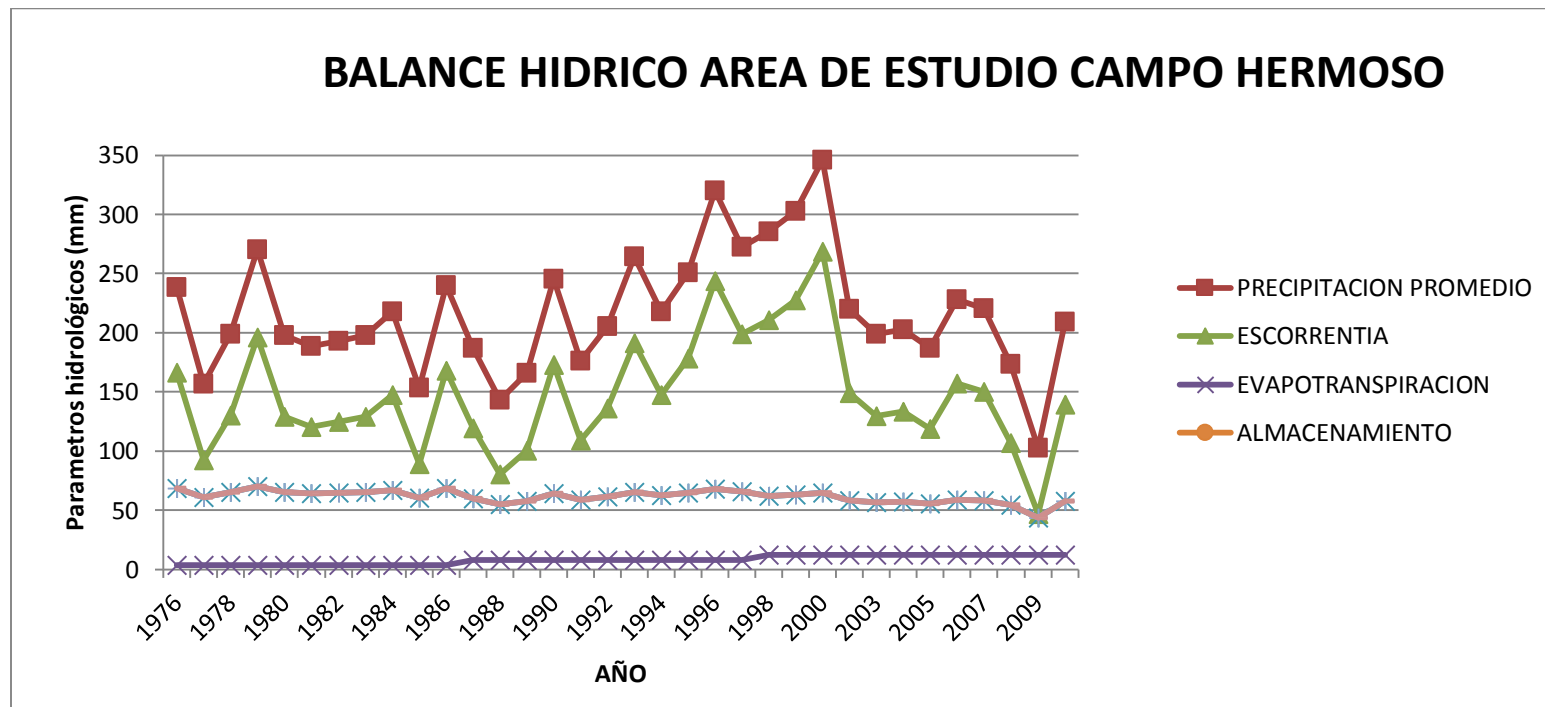
AÑO	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970
PRECIPITACION PROMEDIO	158,18333	167,8083333	244,1	161,4166667	125,6666667	122,0166667	138,1666667	70,25	100,8333333	107,3333333	113,0416667	134,75
ESCORRENTIA	93,438023	101,9552708	171,9415075	96,28852003	65,50999221	62,47702246	76,06848492	23,16497265	45,42526157	50,54672606	55,12949236	73,1578337
EVAPOTRANSPIRACION	5,090928	5,090928	5,090928	5,090928	5,090928	5,090928	5,090928	5,090928	5,090928	5,090928	5,090928	5,090928
DELTA	59,654382	60,7621345	67,0675645	60,03721867	55,06574649	54,44871624	57,00725378	41,99409935	50,31714373	51,69567924	52,82124634	56,5012383
ALMACENAMIENTO	59,654382	60,7621345	67,0675645	60,03721867	55,06574649	54,44871624	57,00725378	41,99409935	50,31714373	51,69567924	52,82124634	56,5012383
DEFICIT												
RECARGA	59,654382	60,7621345	67,0675645	60,03721867	55,06574649	54,44871624	57,00725378	41,99409935	50,31714373	51,69567924	52,82124634	56,5012383

AÑO	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
PRECIPITACION PROMEDIO	124,70833	122,2916667	113,6	119,2416667	113,4	109,475	111,575	105,2	134,0916667	111,4416667	81,10833333
ESCORRENTIA	64,711313	62,70467645	55,581692	60,18788499	55,4196318	52,25724873	53,9449019	48,8539261	72,59904062	53,83745017	30,65724156
EVAPOTRANSPIRACION	5,090928	5,090928	5,090928	5,090928	5,090928	5,090928	5,365074	5,365074	5,365074	5,365074	5,365074
DELTA	54,906093	54,49606225	52,92738	53,96285371	52,8894402	52,12682327	52,2650241	50,9809999	56,12755208	52,23914253	45,08601777
ALMACENAMIENTO	54,906093	54,49606225	52,92738	53,96285371	52,8894402	52,12682327	52,2650241	50,9809999	56,12755208	52,23914253	45,08601777
DEFICIT											
RECARGA	54,906093	54,49606225	52,92738	53,96285371	52,8894402	52,12682327	52,2650241	50,9809999	56,12755208	52,23914253	45,08601777

AÑO	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
PRECIPITACION PROMEDIO	116,15	278,4416667	88,81666667	100,3333333	102,775	115,7416667	118,8583333	119,35	56,58333333	131,0166667	110,95	141,725
ESCORRENTIA	57,655482	204,3707798	36,27274451	45,03591241	46,94365223	57,32247875	59,87284836	60,27696978	14,6208984	69,99803593	53,44156956	79,1179809
EVAPOTRANSPIRACION	5,365074	5,365074	5,365074	5,365074	5,365074	5,365074	5,365074	5,365074	5,365074	5,365074	5,365074	5,365074
DELTA	53,129444	68,7058129	47,17884816	49,93234689	50,46627377	53,05411395	53,62041094	53,70795622	36,59736093	55,65355677	52,14335644	57,2419451
ALMACENAMIENTO	53,129444	68,7058129	47,17884816	49,93234689	50,46627377	53,05411395	53,62041094	53,70795622	36,59736093	55,65355677	52,14335644	57,2419451
DEFICIT												
RECARGA	53,129444	68,7058129	47,17884816	49,93234689	50,46627377	53,05411395	53,62041094	53,70795622	36,59736093	55,65355677	52,14335644	57,2419451

Fuente: Resultado del estudio.

Figura 10. Comportamiento de las Curvas del Balance Hídrico.



Fuente: Resultado del estudio.

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

### 2.5.1. Resultados

Ajuste de una serie de datos a la distribución Gumbel




Serie de datos X:

N°	X
1	470,5
2	269,0
3	470,5
4	658,0
5	353,0
6	536,0
7	536,0
8	404,0
9	254,0
10	552,1

Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov:

m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom Lineal	Delta
1	254,0	0,0909	0,0204	0,0374	0,0705
2	269,0	0,1818	0,0348	0,0567	0,1470
3	353,0	0,2727	0,2310	0,2600	0,0418
4	404,0	0,3636	0,4124	0,4269	0,0487
5	470,0	0,4545	0,6302	0,6251	0,1756
6	470,0	0,5455	0,6302	0,6251	0,0847
7	536,0	0,6364	0,7861	0,7716	0,1497
8	536,0	0,7273	0,7861	0,7716	0,0588
9	552,0	0,8182	0,8142	0,7989	0,0040
10	658,0	0,9091	0,9303	0,9172	0,0212



		<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 0,1756, es menor que el delta tabular 0,4301. Los datos se ajustan a la distribución Gumbel, con un nivel de significación del 5%

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

Con momentos ordinarios:

Parámetro de posición ( $\mu$ )= 391,7197

Parámetro de escala (alfa)= 101,3145

Con momentos lineales:

Parámetro de posición ( $\mu_l$ )= 386,097

Parámetro de escala (alfal)= 111,0555

-----  
Caudal de diseño:  
-----

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 2 años, es 428,85

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 5 años, es 543,69

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 10 años, es 619,71

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 25 años, es 715,78

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 50 años, es 787,04

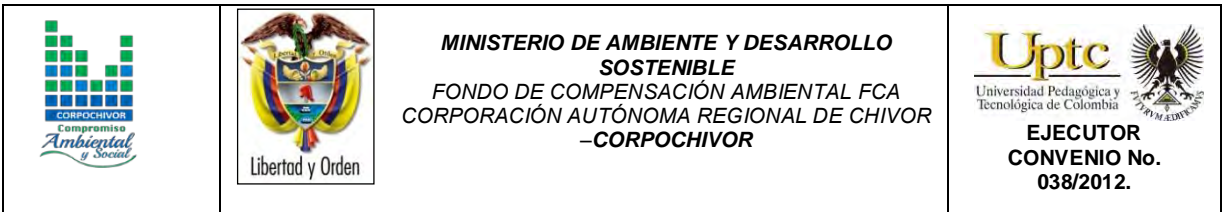
El caudal de diseño para un periodo de retorno de 75 años, es 828,46

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 100 años, es 857,78

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 500 años, es 1021,25

## 2.6. USO ACTUAL Y COBERTURA DEL SUELO

El suelo es un mecanismo esencial de los hábitats; la interacción de los componentes atmosféricos, de los seres vivos incluido la especie humana, la geomorfología del ambiente, de los materiales geológicos y del tiempo; es un buen indicador del equilibrio de la naturaleza o del deterioro de la misma.



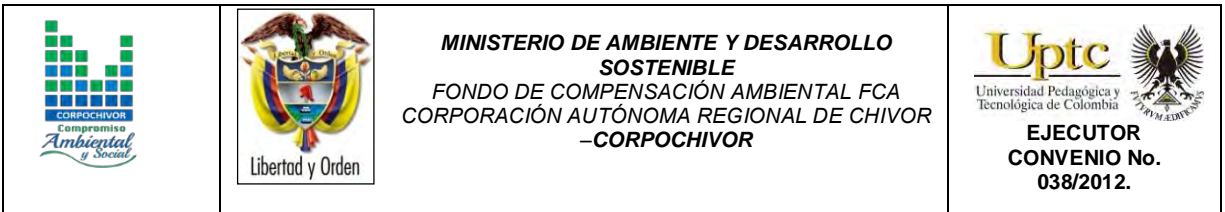
Ecosistemas terrestres son aquellos que se dan sobre la capa de tierra superficial de la Biosfera. Los ecosistemas terrestres ocupan, proporcionalmente, menos superficie que los ecosistemas acuáticos. Mientras que a estos últimos les corresponde aproximadamente un 75 %, los ecosistemas terrestres dominan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

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

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

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

Todas las estimaciones de la superficie afectada por estos fenómenos, son indicadores de un severo problema que se está marcando y que tiene que ver



directamente con el cambio en la cobertura vegetal hacia otro uso del suelo y el deterioro ambiental.

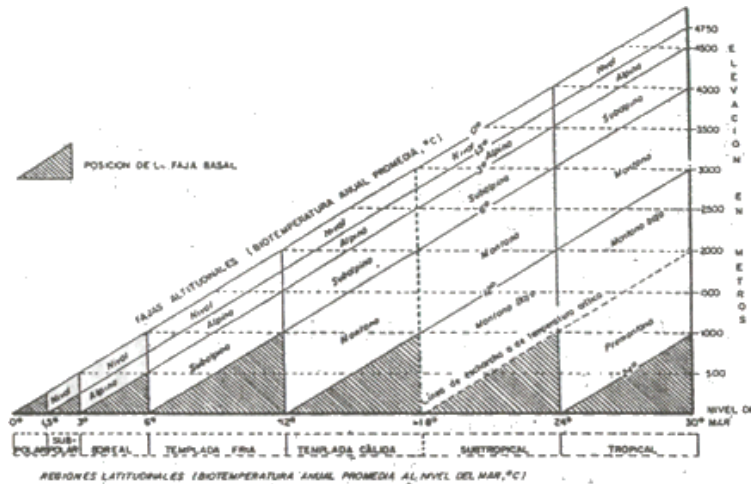
Investigaciones aplicadas a los cambios en la cobertura vegetal están teniendo un mayor grado atención debido esencialmente a las implicaciones de la deforestación. A nivel regional, dicho mecanismo ocasiona la disminución e incluso la pérdida de la cobertura vegetal, el detrimento de los recursos forestales,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

### **2.6.1. VEGETACIÓN**

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

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

Figura 11. 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).

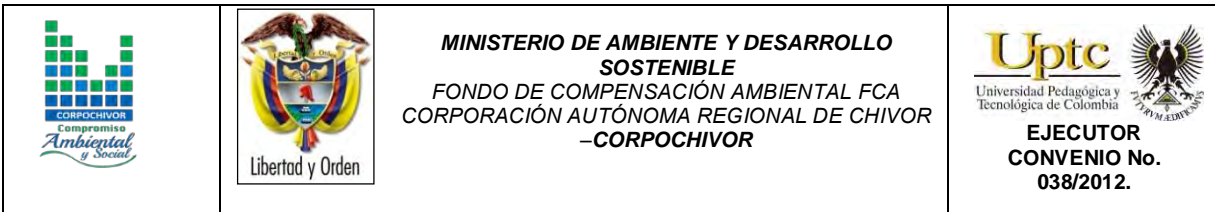


Fuente: Holdridge, L., 1987.

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

### **BOSQUE SECUNDARIO Y RASTROJO**

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



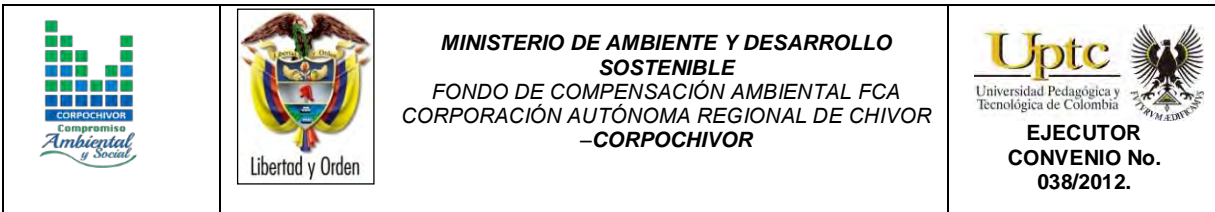
vegetales, hoy como individuos aislados y testigos de la gradual invasión de la frontera agrícola y pecuaria.

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

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

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

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

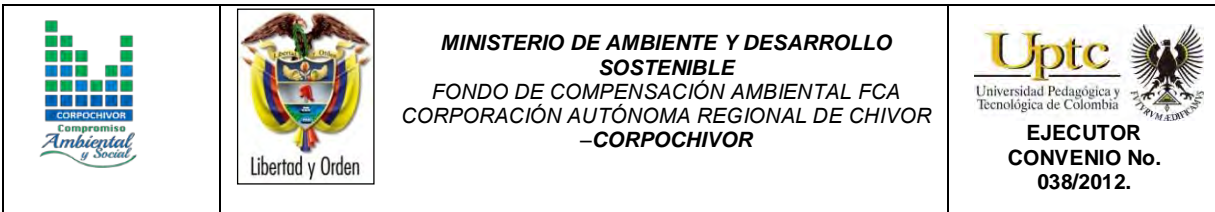


la tierra, crear líneas de comunicación entre las diferentes instituciones que adopten el sistema, y, además, facilitar la homologación de información.

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

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

Los productos del proyecto, representados en el mapa de las coberturas vegetales y usos de suelos de la zona de estudio, en la metodología y en leyenda adaptadas al territorio colombiano y en este caso para la jurisdicción de Corpochivor, proveerán las características temáticas y cartográficas que la región requiere para el conocimiento, la evaluación de las formas de uso, ocupación y apropiación del espacio geográfico, así como para satisfacer las necesidades de información de



sectores científicos, económicos, académicos y ambientales, entre otros, esperando que se conviertan en insumos básicos para los tomadores de decisiones en el país.

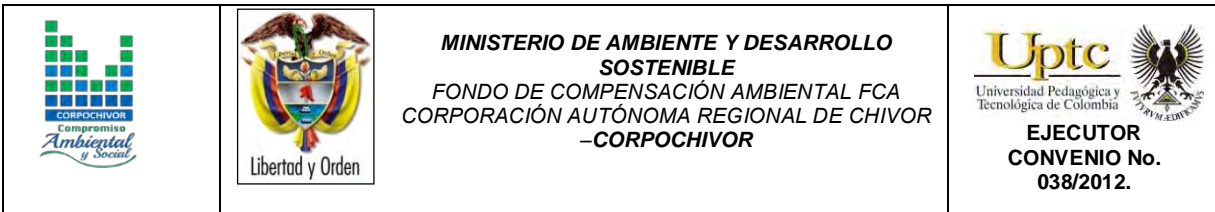
La metodología CORINE Land Cover, adaptada a las condiciones del territorio colombiano, se convierte en una herramienta para avanzar en el conocimiento de las coberturas de la tierra en otras cuencas y para la actualización permanente de la información, con lo cual se espera que se faciliten los procesos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

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

### **2.6.3. ESTUDIO DE LA FLORA**

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

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






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

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

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

- 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).



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

- Identificación de los usos y/o destinos específicos dados por las comunidades, incluyendo los usos culturales.

#### **2.6.4. IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE COBERTURAS**

Mediante el sistema de clasificación de coberturas de tierra metodología Corin Land Cover adaptada para Colombia que establece una leyenda nacional de manera jerárquica, derivando las unidades de coberturas de la tierra con base en criterios fisionómicos de altura y densidad, claramente definidos y aplicables a todas las unidades consideradas para un grupo de coberturas del mismo tipo.

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

#### **TEJIDOS ARTIFICIALES**

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

#### **ZONAS URBANIZADAS**

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

## ZONAS INDUSTRIALES O COMERCIALES Y REDES DE COMUNICACIÓN

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

### RED VIAL, FERROVIARIA Y TERRENOS ASOCIADOS

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




Fotografía 2. Tejido artificializado de nivel 4 red vial 122 C.L.C.



Fuente: Registro Fotográfico.

### TERRITORIOS AGRÍCOLAS

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

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

cultivos permanentes, transitorios, áreas de pastos y las zonas agrícolas heterogéneas.

## **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.

## **PASTOS LIMPIOS**

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

		<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 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.

## **BOSQUES**

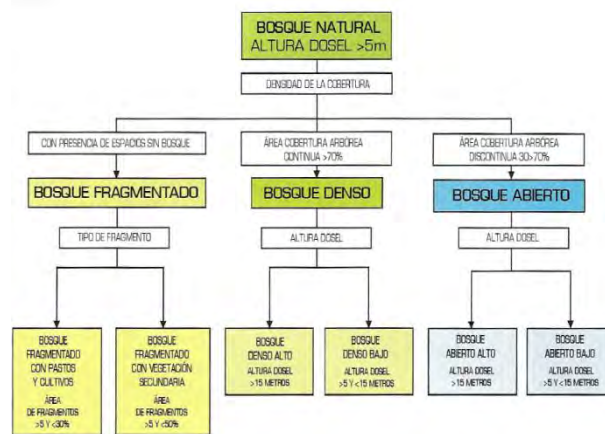
Comprende las áreas naturales o seminaturales, constituidas principalmente por elementos arbóreos de especies nativas o exóticas. Los árboles son plantas leñosas perennes con un solo tronco principal, que tiene una copa más o menos definida.

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




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

La altura es definida por la altura total del dosel, sin incluir emergentes. Para efectos de este estudio, se adaptó la clasificación propuesta por Caín y Castro (1959), quienes definen como bajos los estratos de árboles con altura menor a ocho metros; intermedios a los estratos de árboles con alturas comprendidas entre 8 y 15 metros; y como estratos de árboles altos los que tienen altura superior a 15 metros. De esta manera, para esta leyenda, se unieron los estratos bajo e intermedio en uno solo denominado como dosel 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 12. Criterios para la clasificación de los bosques



Fuente: Corine Land Cover 2010

		<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**

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

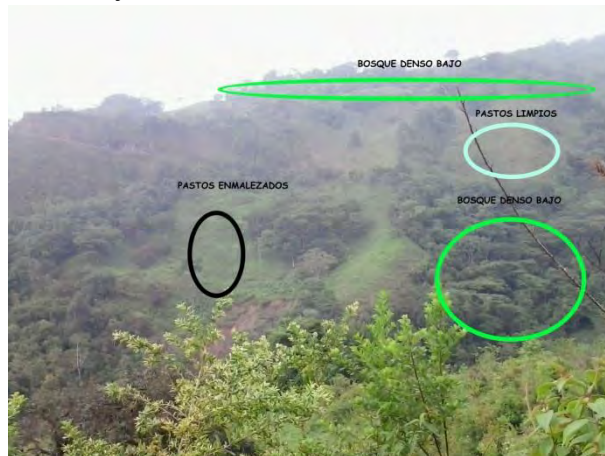
### **BOSQUE DENSO BAJO**

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

### **BOSQUE DENSO BAJO DE TIERRA FIRME**

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

Fotografía 3. Bosque denso bajo de tierra firme.



Fuente: Registro Fotográfico.

### ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA Y/O ARBUSTIVA

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

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

#### ARBUSTAL

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

## **ARBUSTAL ABIERTO MESOFILO**

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

Fotografía 4. Arbustos mesofilos

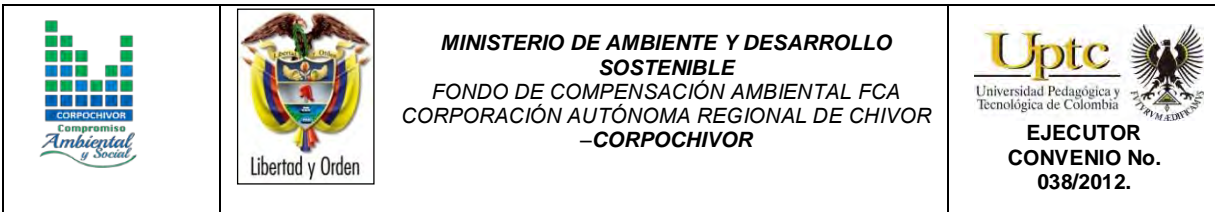


Fuente: Registro Fotográfico.

## **HERBAZAL**

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





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

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

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

### **HERBAZAL DE TIERRA FIRME**

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

### **AGUAS CONTINENTALES**

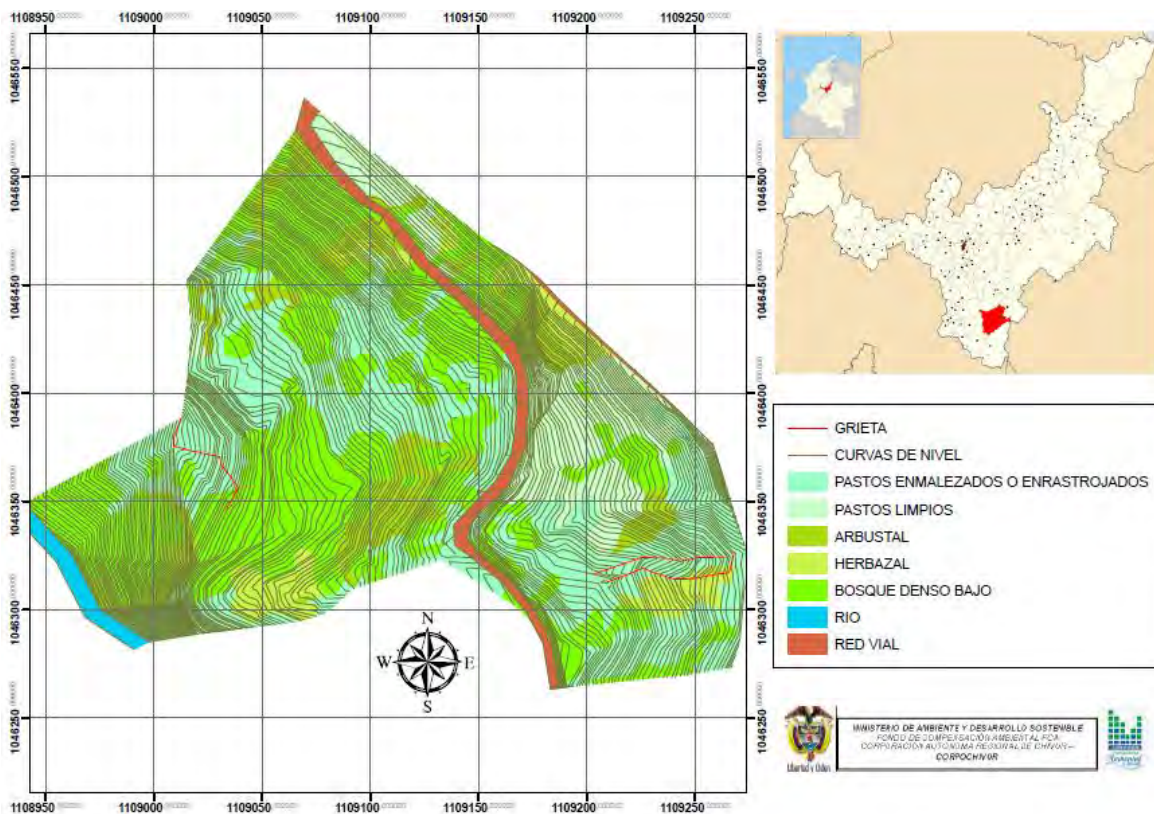
Son cuerpos de aguas permanentes, intermitentes y estacionales que comprenden lagos, lagunas, ciénagas, depósitos y estanques naturales o artificiales de agua dulce (no salina), embalses y cuerpos de agua en movimiento, como los ríos y canales.

## RÍOS

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

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

Figura 13. Mapa cobertura vegetal y uso de suelo



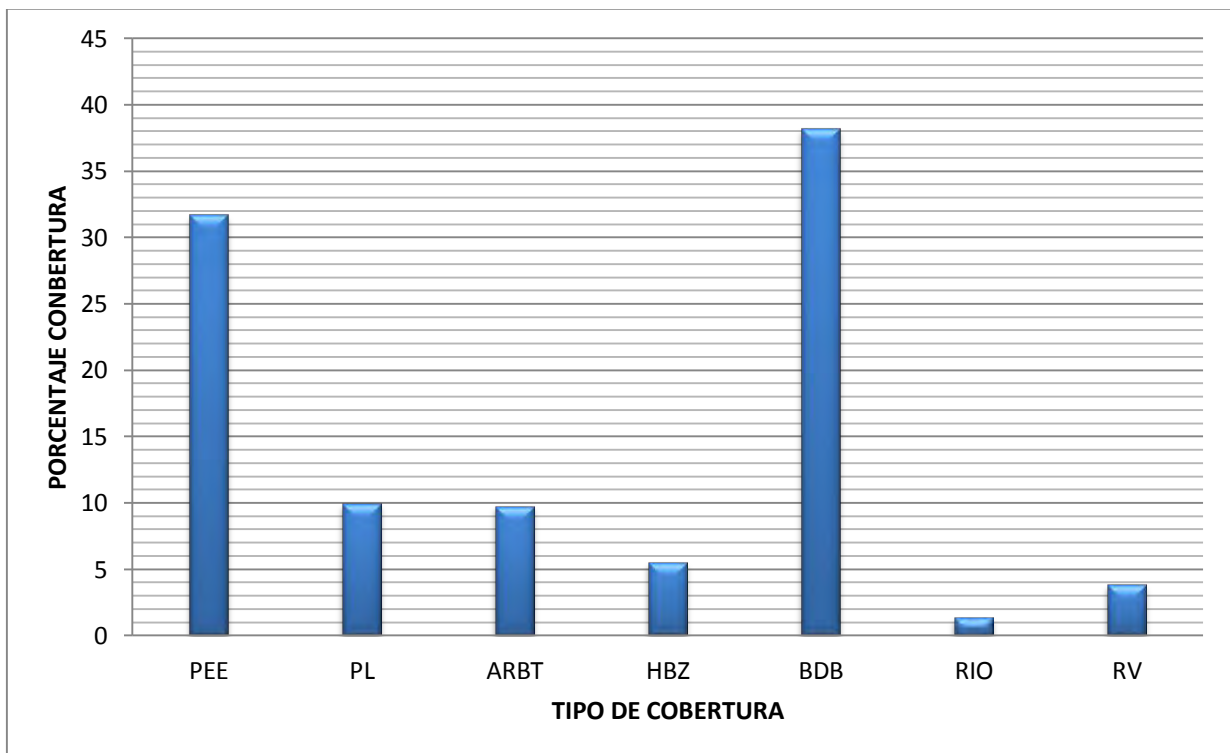
Fuente: Resultado del estudio.

Tabla 12. Áreas métricas de las coberturas

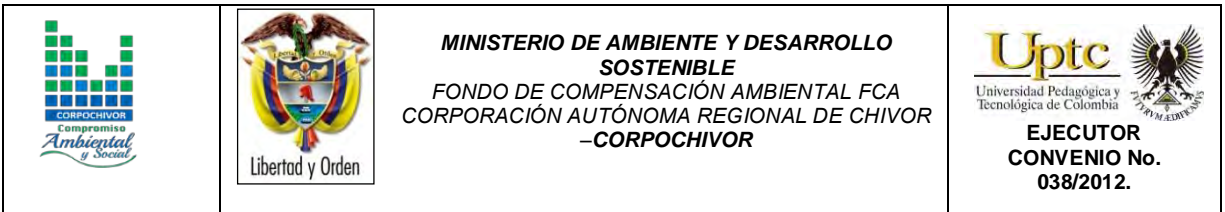
<b>COBERTURA</b>	<b>ÁREA m2</b>
<b>PASTOS ENMALEZADOS O ENRASTROJADOS (PEE)</b>	15734
<b>PASTOS LIMPIOS (PL)</b>	4922
<b>ARBUSTAL (ARBT)</b>	4830
<b>HERBAZAL(HBZ)</b>	2725
<b>BOSQUE DENSO BAJO (BDB)</b>	18979
<b>RIO (RIO)</b>	662
<b>RED VIAL (RV)</b>	1884

Fuente: Resultado del estudio.

Figura 14. Porcentaje áreas de coberturas.



Fuente: Resultado del estudio.



### 2.6.6. UNIDADES DE COBERTURA VEGETAL

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

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




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

Se presenta el componente vegetal de la zona de estudio y el siguiente inventario, teniendo en cuenta que muchas de las especies referenciadas, su frecuencia de aparición es muy baja y dispersa. Para la elaboración del mapa de cobertura




vegetal se generalizaron las especies para facilitar su manejo, No se cuenta con un detallado inventario de la biomasa.

Tabla 13. Unidades de cobertura vegetal.

<b>FAMILIA</b>	<b>NOMBRE CIENTÍFICO</b>	<b>NOMBRE COMÚN</b>
Asteraceae	Euphrosyne partheniifolia	
Adoxaceae	Viburnum triphyllum benth.	Garrocho
Asteraceae	Bidens sp.	Bernada
Asteraceae	Chromolaena scabra (l. F.) R.m. King & h. Rob.	
Asteraceae	Baccharis latifolia (ruiz & pav.) Pers.	Chilca
Asteraceae	Montanoa ovatifolia deless. Ex dc.	Pinon
Asteráceae	Archibaccharis serratifolia (kunth) s. F. Blake	
Asteráceae	Taraxacum officinale	Diente de león
Asteráceae	Matricaria chamomilla l	Manzanillo
Blechnaceae	Blechnum loxense (humb. & bonpl. Ex kunth)	Helechillo
Bromeliaceae	Racinaetha tetrantha (ruiz & pav) m.a. Spencer & l.b. Sm.	Quinche
Clusiaceae	Clusia multiflora kunth	Gaque
Cyatheaceae	Cyathea medullaris	Helecho
Dennstaedtiaceae	Pteridium aquilinum (l.) Kuhn	Helecho marranero
Dennstaedtiaceae	Pteridium aquilinum	Helecho marranero
Dipteridaceae	Hymenophyllaceae sp	Helecho
Euforbiaceae	Hieronyma laxiflora (tul.) Müll. Arg.	Chaparro




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

Fabaceae	Erythrina rubrinervia kunth	Chocho
Fabaceae	Trifolium pratense l.	Trebol
Fabáceae	Acacia decurrens	Acacia blanca
Fabáceae	Acacia decurrens	Acacia blanca
Humiricaceae	Humiria balsamifera aubl	
Lamiaceae	Mentha sativa l	Yerbabuena
Lamiaceae	Lamium album l.	Ortiga
Lamiaceae	Salvia sp.	
Lauraceae	Laurus nobilis	Laurel
Liliaceae	Smilax officinalis h	Uva de perro
Lycopodiaceae	Lycopodium clavatum l.	Caminadera
Melastomataceae	Miconia squamulosa triana	Tuno
Melastomataceae	Miconia squamulosa triana	Tuno
Mimosaceae	Inga spectabilis (vahl) willd	Copero
Mimosaceae	Albizzia lophanta	Acacia
Mimosaceae	Inga heteroptera willd.	Guamo
Miricaceae	Myrica pubescens humb. & bonpl. Ex willdenow	Laurel
Moráceae	Ficus soatensis	Caucho sabanero
Moraceae	Ficus sp	Higuerón
Musáceae	Musa sapientum l.j	Maduro
Myrsinaceae	Myrsine guianensis	Cucharó
Orquidea	Cattleya spp	Orquidea
Orquidiaceae	Epidendrum elongatum jacq.	Orquidea
Papilionáceae	Vinga trilobata	Vinga

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

Poaceae	axonopus anceps (mez) hitchc	
Poaceae	Andropogon rufus (nees) kunth	
Poaceae	Holcus lanatus l.	Pasto
Poaceae	Andropogon rufus (nees) kunth	
Poaceae	Brachiaria dictyoneura	Pasto
Poaceae	Paspalum plicatulum var	
Poaceae	Chusquea scandens kumth	Carrizo
Poaceae	Pennisetum clandestinum hochst ex chior	Kikuyo
Poaceae	Saccharum officinarum	Caña dulce
Poaceae	Hyparrhenia rufa	Puntero
Poaceae	Cynodon plectostachyus (k. Schum.) Pilg.	Estrella africana
Polygalaceae	Monnina salicifolia ruiz & pav.	Tulipan
Pteridofitaceae	Lophosaria quadripinnata	Helecho paragua
Rosaceae	Polylepsis quadrifuga	Colorado
Rubiaceae	Coffea arabica l.	Café
Solanaceae	Physalis peruviana l	
Solanaceae	Datura arborea l	Borrachero

Fuente: trabajo en campo

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

## 2.7. MORFOMETRÍA DE LA CUENCA

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

Área de la Cuenca (A)

Perímetro de la cuenca (P)

Coeficiente de compacidad (C).

Coeficiente de redondez (K).

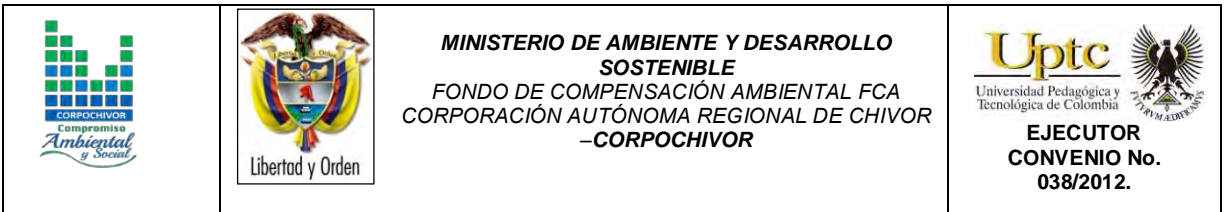
Densidad de drenaje (Dd)

Pendiente media de la corriente (IC)

Área de la Cuenca (A)

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





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

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

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

C= 1: Cuenca de forma compacta redonda.

C= 1.20: Cuenca semicompacta semiojal redonda

C= 1.50: Cuenca semicompacta oblonga

C >1: Cuenca semicompacta rectángulo – oblonga

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

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

K = 1: Redonda

K > 1: Semiredonda




K < 1: Irregular

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

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

Dd < 0.5 : Baja

Dd = 0.5 : Media

		<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 > 1 : Alta

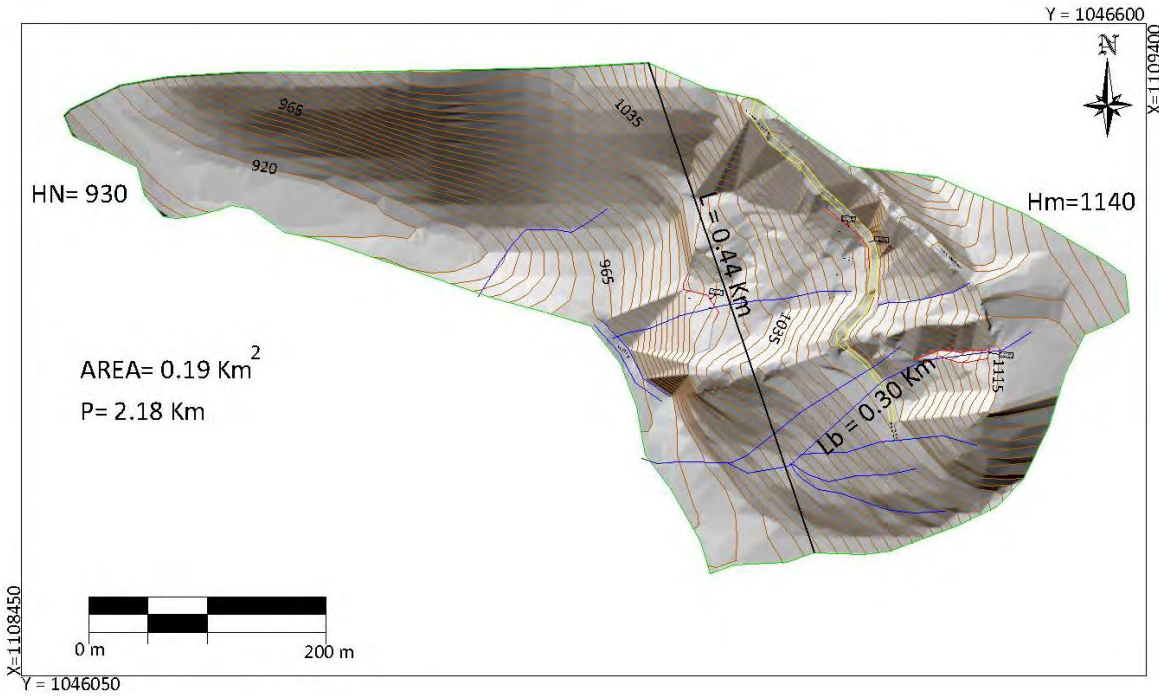
▪ **Tiempo de concentración (TC)** Es el tiempo que gasta una gota de agua en recorrer el sitio más lejano de la cuenca a la desembocadura del cauce principal.

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

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 14 el resultado de los cálculos morfométricos de la cuenca local de Campo Hermoso analizadas para el presente estudio.

Figura 15. Imagen ilustrativa de la cuenca local de Campo Hermoso



Fuente: Resultado del estudio.

Tabla 14. Valores de parámetros morfométricos para la cuenca local

NOMBRE MICROCUENCA	Área de la Cuenca en Km (A)	Perímetro de la cuenca Km (P)	longitud de la cuenca Km (Lb)	el ancho mayor Km (l)	longitud acumulada de todas las corrientes Km (Ld)	longitud acumulada de todas las corrientes Km (Ld)
Rio Lengupá	0.19	2.18	0.30	0.44	1.57	1140
Cota Mínima de la Cuenca(Hn)	Diferencia de Altura Km (Hc)	Razón de Relieve (Rr)	Número de Corrientes(Nc)	Frecuencia de Corrientes (Cauces/Km <sup>2</sup> )	Pendiente media de Corriente Ic % (Ic)	Índice de Alargamiento (Ia)
930	0.21	0.71	2.00	10.50	70.92	0.68
COEFICIENTE DE COMPACIDAD (C). FORMA Y SUSCEPTIBILIDAD		COEFICIENTE DE REDONDEZ (K). FORMA Y SUSCEPTIBILIDAD		DENSIDAD DE DRENAJE (Dd)		TIEMPO DE CONCENTRACIÓN en horas (TC)
0.12	SEMI REDONDA	0.12	Irregular	8.25	Densidad Muy Alta	0.06
AMPLITUD DE LA CUENCA (W). TIEMPO DE CONCENTRACIÓN DE ESCORRENTÍA		ELONGACIÓN DE LA CUENCA (RE). FORMA		ÍNDICE DE HOMOGENEIDAD (IH). FORMA		SUSCEPTIBILIDAD
0.64	crítico	1.66	Irregular	1.47	RECTANGULAR	3

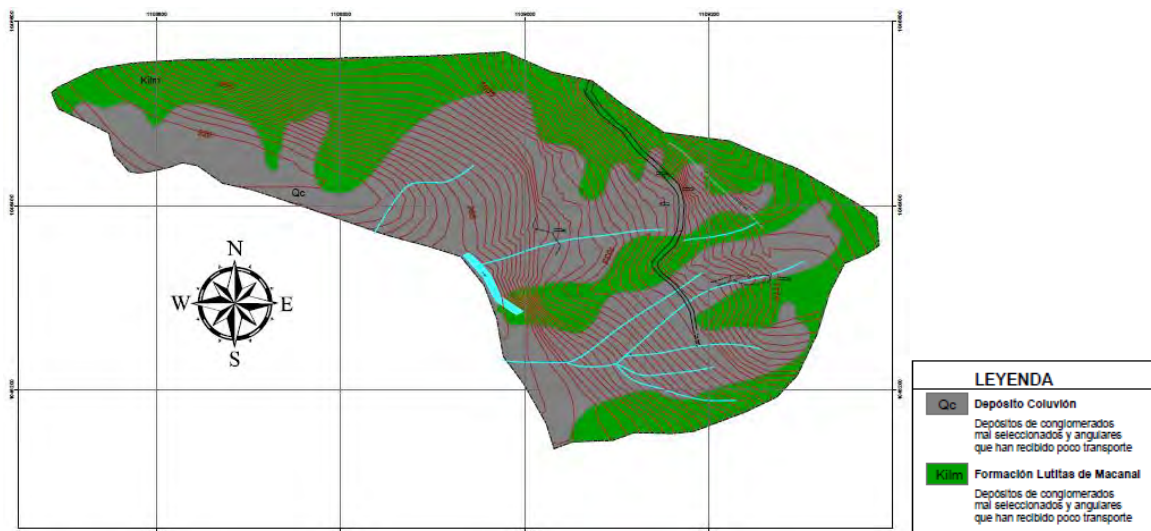
Fuente: Resultado del estudio

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

### 3 GEOLOGIA

En el municipio de Campo Hermoso sobresalen las siguientes formaciones pertenecientes a la cuenca de los farallones: Grupo Farallones, Grupo Caqueza (Formación Lutitas de Macanal y Formación Areniscas de las Juntas), Formación Fómeque, Formación Une, Formación Chipaque, Formación Palmichal y Depósitos Cuaternarios. Los sedimentos más antiguos de la zona están compuestos por orcas de la cuenca de los Farallones, que depositaron sobre un zócalo de rocas cristalinas pre- cámbricas, cubriendo gran parte de la actual Cordillera Oriental.




Figura 16. Imagen del Mapa



Fuente: Resultado del estudio.

#### 3.1. GEOLOGÍA HISTÓRICA

La cordillera oriental a la cual pertenece la zona estudiada a través de su historia geológica ha sido sometida a grandes movimientos tectónicos como los ocurridos




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

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

### **3.2. GEOLOGIA LOCAL.**

#### **3.2.1. Formación Lutitas de Macanal (Kilm).**

Conjunto monótono de lutitas negras con esporádicas intercalaciones de calizas, areniscas y bolsones de yeso. La unidad está compuesta en su parte inferior por 760 m de lutitas negras, micáceas, compactas, ligeramente calcáreas y láminas de yeso; la parte medias está constituida por 145 m de areniscas cuarzosas, grises oscuras, de grano fino con estratificación gruesa a maciza; son frecuentes las intercalaciones de lutitas negras, micáceas fisiles, oscuras a negras, ligeramente calcáreas, con venas de calcita y nódulos arenosos hasta de 10 cm de diámetro y lentejones de yeso hacia el tope; su techo está compuesto por 680 m de lutitas negras, micáceas con intercalaciones de areniscas gris clara, de grano fino, estratificadas en bancos de hasta 20 cm de espesor. Su espesor total es de 2.935 m.

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

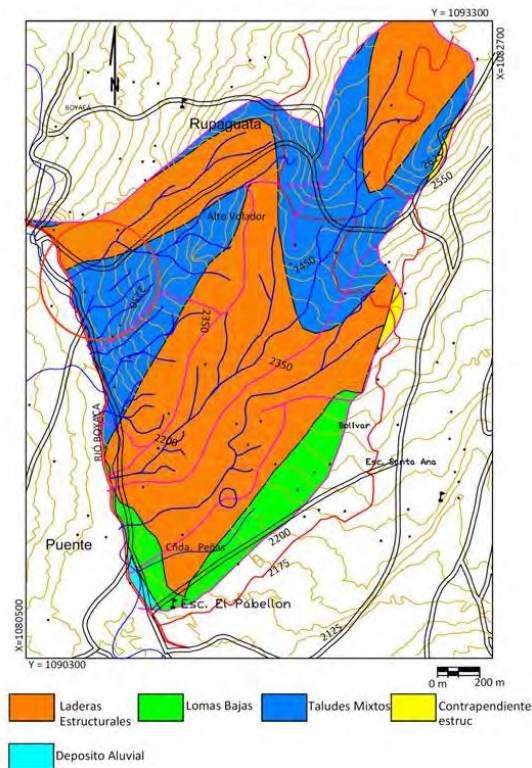
### 3.2.2. Deposito Coluvial (Qc).

Son depósitos polimicticos generados por flujos de escombros, diseminados por varios sectores del municipio, evidenciando de esta manera una antigua actividad glacial y principalmente depositados sobre rocas de la Formación Lutitas der Macanal (Kilm). Se presentan como bloques de cuarzo arenita con tamaños hasta de 2m de diámetro, en matriz arcillo- limosa. Los bloques son subredondeados a subangulares, La roca parental principalmente se deriva de la Formación Arenisca de las Juntas (Kiaj).

## 4 GEOMORFOLOGÍA




Se entiende como geomorfología el análisis o estudio de las formas del relieve, los procesos que condujeron a su formación y su interrelación con su entorno paisajístico. Las geoformas y procesos involucrados para el municipio de Campo Hermoso, se pueden distinguir claramente 5 unidades geomorfológicas, diferenciadas por su relieve y procesos geodinámicos, las cuales son; lomas bajas, taludes mixtos, contrapendiente estructural y deposito; aluvial tal como se muestra en la Figura 17.

Figura 17. Ventana extraída del mapa regional de Consultoría para la Homologación y Estructuración de la Información Cartográfica Base



Fuente: CORPOCHIVOR para ser integrada al SIAT.



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

#### ▪ **Lomas bajas**

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

#### ▪ **Contrapendiente estructural**

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




#### ▪ **Deposito aluvial**

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

### **4.1 GEOMORFOLOGÍA LOCAL**

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

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

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

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

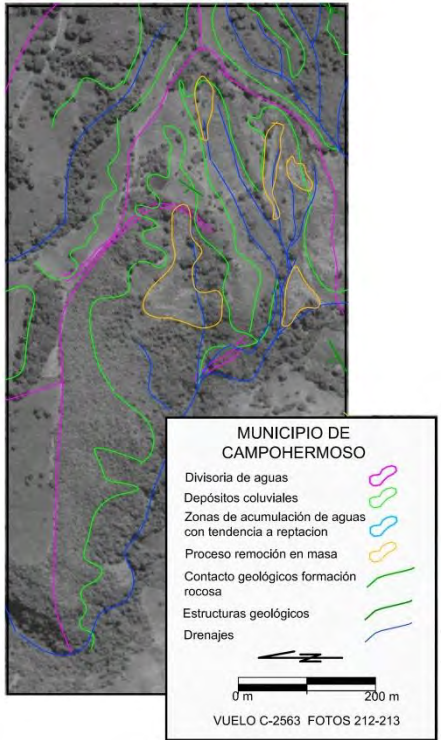
#### **4.2 ANÁLISIS FOTOGEOLÓGICO**

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

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

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

Figura 18. Fotografías pertenecientes al vuelo 2563 -212,213 tomadas por el IGAC, durante los años 90.



Fuente: Resultado del estudio.

### 4.3 PROCESOS MORFODINÁMICOS

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

#### 4.3.1 Desprendimiento

Es un movimiento en masa en el cual se identifica roca y suelo desprendido de ladera con cierto grado de inclinación de la pendiente, tiene comportamiento remontante, causados por socavación de taludes debido a la acción del hombre

(cortes anti técnicos del talud), provocando el retroceso del material del talud perdiendo apoyo en su base, se van desplomando progresivamente, en el área predomina una vegetación rala y pequeña, incapaz de retener el suelo, donde facilita la inestabilidad de proceso.

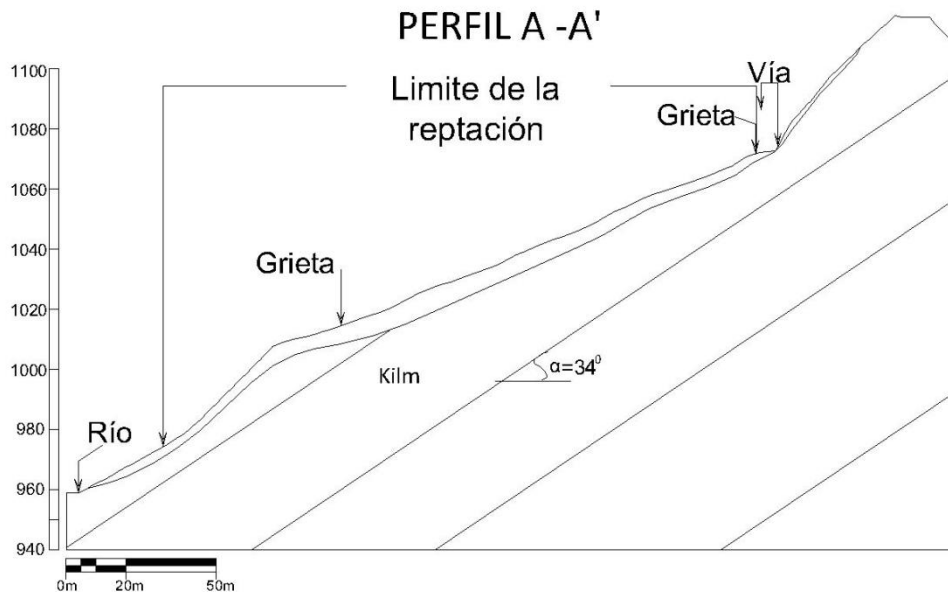
Figura 19. Esquema del movimiento, desprendimiento



Fuente: Resultado del estudio.

En el perfil (Ver Figura 20 ) se ilustra el cuerpo del proceso y la geoforma en la cual se encuentra, siendo favorable a su movimiento.

Figura 20. Esquema del movimiento, perfil desprendimiento

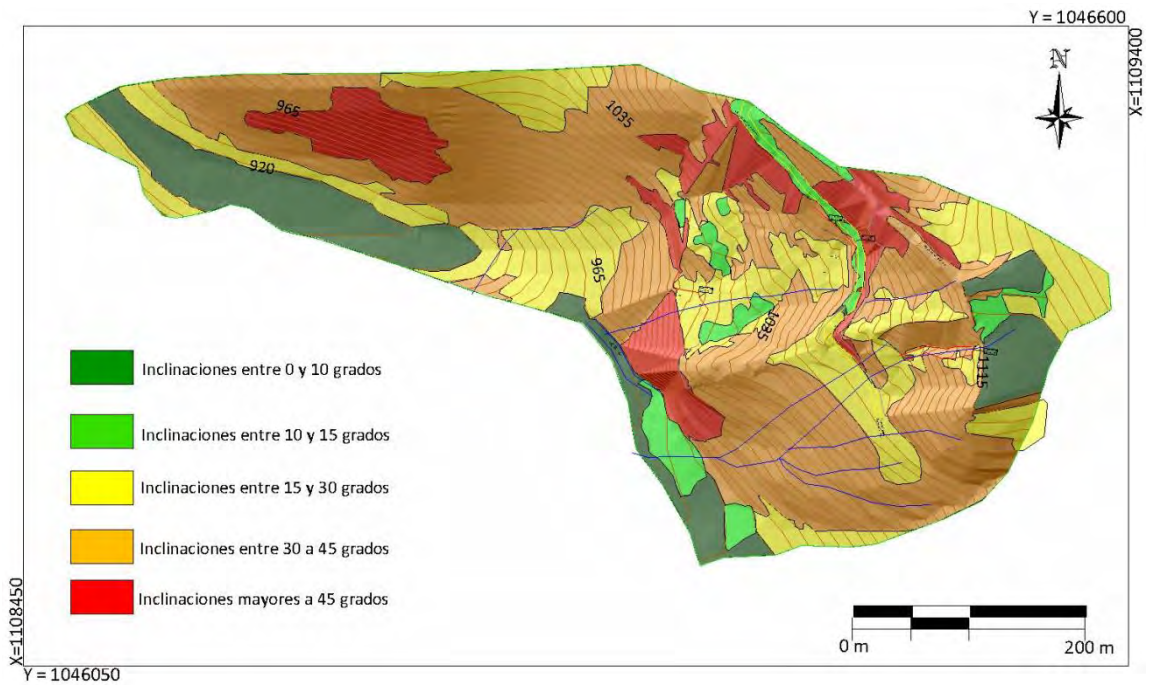


Fuente: Resultado del estudio

#### 4.4 INCLINACIÓN DE LAS PENDIENTES

A partir de un modelo digital de terreno generado tras la digitalización de curvas de nivel a una escala 1:25.000, se generó el mapa de pendientes con cinco clases para el área de estudio. Los valores de susceptibilidad de este parámetro o variable son presentados en la Figura 21.

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



Fuente: Resultado del estudio.

Tabla 15. Clasificación de las pendientes.

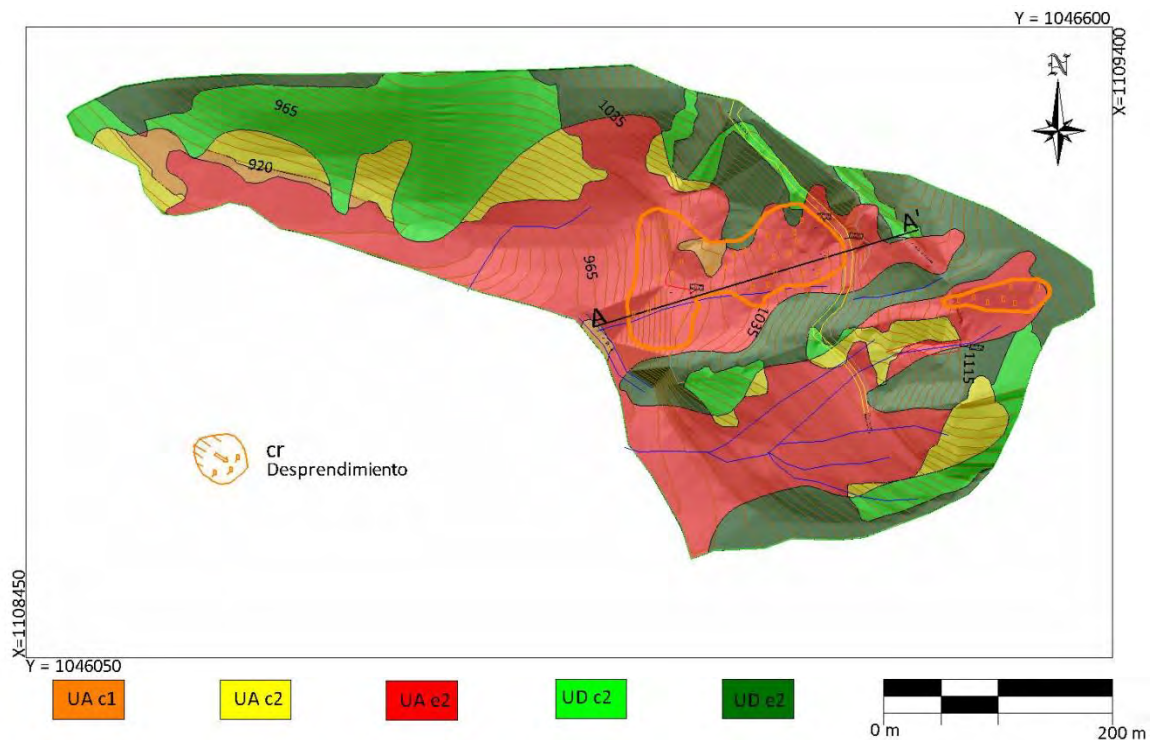
<b>CLASIFICACIÓN DE LAS PENDIENTES</b>	
<b>UNIDAD CARTOGRÁFICA</b>	<b>GRADOS</b>
Suavemente inclinada	0-10
Inclinada	10 15
Abrupta	15-30
Escarpada	30 - 45
Muy Escarpada	> 45

Fuente: Resultado del estudio.

#### 4.5 UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

Teniendo en cuenta, las necesidades de los análisis de estabilidad y amenaza por fenómenos de remoción en masa y la relación de estas con los procesos de inestabilidad, se delimitaron cinco (5) unidades geomorfológicas de carácter local denominadas como:




Figura 22. Imagen del Mapa geomorfológico.



Fuente: Resultado del estudio.

##### 4.5.1 Geformas de Origen Denudacional.

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

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

#### **4.5.1.1 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 0.57 ha, de las cuales el 19.6 % presenta inestabilidad.

#### **4.5.1.2 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 1.96 ha, de las cuales el 10.8 % presenta inestabilidad.

#### **4.5.1.3 Unidad agradacional con inclinaciones mayores a 30 grados en ladera estructural (UA e2)**

Dicha unidad está compuesta por depósitos coluviales, los cuales yacen sobre estratificaciones en contra a la dirección de las pendientes presenta un área de 7.86 ha, de las cuales el 12.4 % presenta inestabilidad.

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

Dicha unidad está compuesta por formaciones rocosas, cuyas estratificaciones se encuentran en contra a la dirección de las pendientes, presenta un área de 3.8 ha, de las cuales el 437.4 % presenta inestabilidad.



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




Dicha unidad está compuesta por formaciones rocosas, cuyas estratificaciones se encuentran en contra a la dirección de las pendientes, presenta un área de 4.9 ha, de las cuales el 1.43 % presenta inestabilidad.

A continuación describimos en la Tabla 16, la descripción y análisis de las unidades geomorfológicas:

Tabla 16. Descripción geomorfológica.

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

Fuente: Resultado del estudio.

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

#### 4.6 EROSIÓN




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

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

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

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

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

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

La erosión 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,

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

deforestación y por la perturbación del suelo al paso de maquinaria pesada en la construcción de vías, obras de infraestructura y minería.

#### 4.6.1 Algunas Formas de Erosión

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




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

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

#### 4.6.2 Factores externos

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

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

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

#### 4.6.3 Factores internos

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

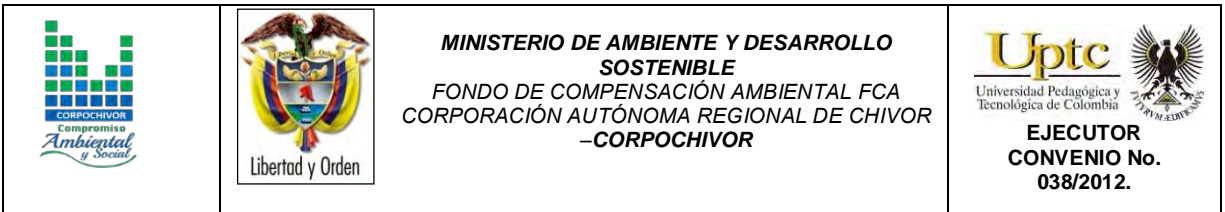
- **Geológicos:** Representan un factor de inestabilidad permanente; la litología, la estratigrafía de la roca (orientación y ángulo de inclinación), discontinuidades estratigráficas y estructurales y la alteración de las rocas (alteración hidrotermal y/o meteorización).
- **Hidrológicos e hidrogeológicos:** Cambio en las presiones de poros o Hidrostáticas y el comportamiento geomecánico (resistencia a la deformabilidad, compresibilidad, cohesión, etc.).

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

#### 4.6.4 Morfodinámica - intensidad de erosión

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

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

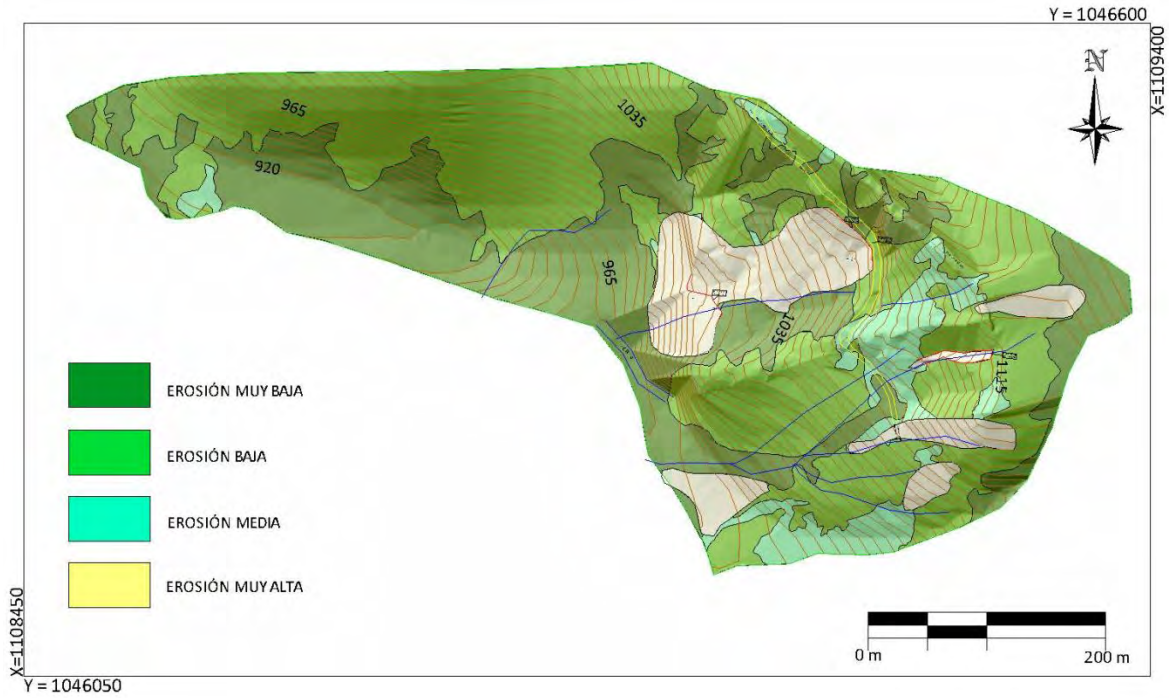


Posteriormente para cumplir con los objetivos del estudio y conocer la dinámica del área, realizamos la suma en un SIG (utilizando los mapas densidad de drenaje, geomorfológico y de cobertura) junto con los levamientos en campo y la ubicación de procesos morfodinámicos obteniendo un mapa final de erosión.




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

El mapa de intensidad de erosión describe unidades de intensidad de erosión así: erosión muy baja, erosión baja, erosión media y erosión muy alta. (Ver Figura 23).

Figura 23. Imagen del Mapa erosión.



Fuente: Resultado del estudio.

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

## 5 HIDROGEOLOGÍA

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

### 5.1. Unidades Hidrogeológicas.

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

#### 5.1.1. Acuífero.

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

#### 5.1.2. Acuitardo.

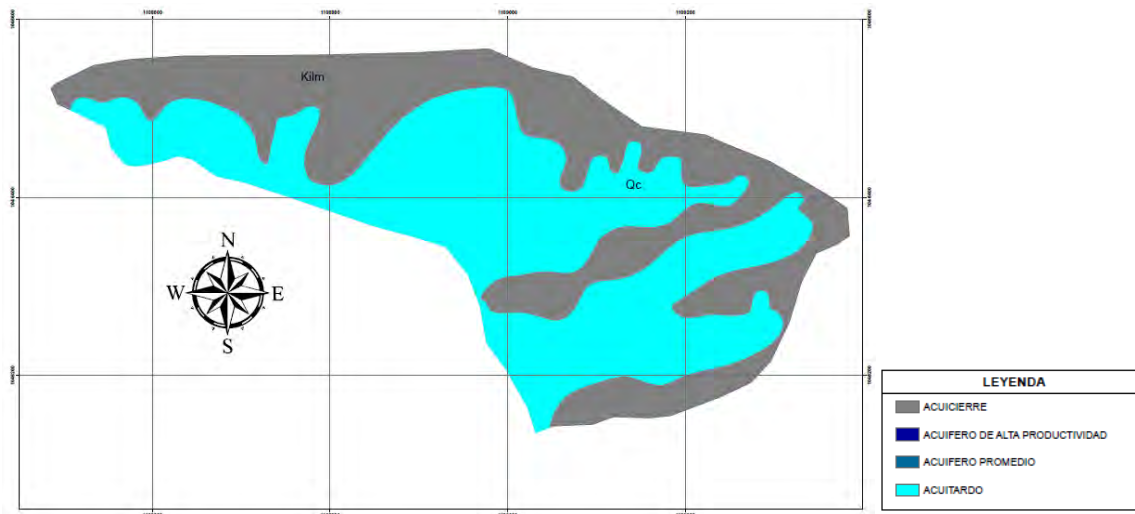
Son aquellas rocas que almacenan una gran cantidad de agua pero la transmiten muy lentamente, siendo aptas solo para bajas captaciones, entre ellas están los materiales arcillo-arenosos. Se consideran como sinónimos de Acuicierre, ya que con el tiempo los espacios intergranulares tienden a sellarse formando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



### 5.1.3. Acuicierres.

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

Figura 24. Imagen del Mapa Hidrogeológico del área de estudio






Fuente: Resultado del estudio.

## 5.2. MARCO HIDROGEOLÓGICO GENERAL

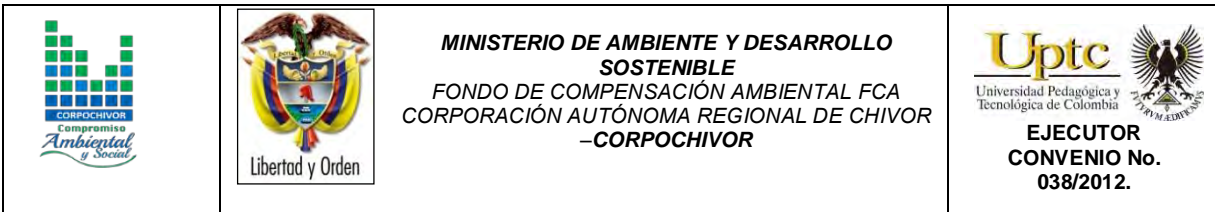
### 5.2.1. UNIDAD I (Permeabilidad Alta)

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

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

### 5.2.2. 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 intercalaciones de lutitas, presentes en la Formación Lutitas de Macanal (Kilm), las cuales se clasifican como acuícierres.



## **6 GEOELECTRICA ESTUDIO GEOELECTRICO (TOMOGRAFIA ELECTRICA RESISTIVA)**

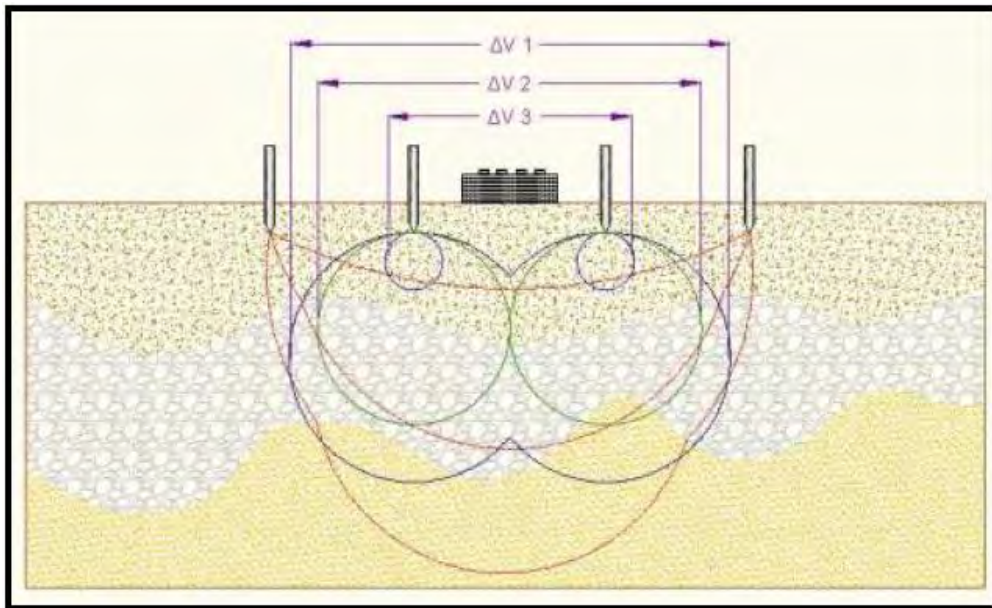
### **6.1. INTRODUCCION**

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

La Tomografía Eléctrica Resistiva es una técnica geofísica para generar secciones o perfiles del subsuelo en base a mediciones de caída de potencial eléctrico. Éste método consiste en inyectar una corriente al interior del suelo, la cual, regresa al voltímetro en forma de una diferencia de potencial ( $\Delta V$ ) producto de las variaciones en resistencia que resultan de cada tipo de material o estrato de suelo (Figura 25); sabiendo de antemano que cada tipo de material tiene diferente manera a “resistir” una corriente eléctrica, los buenos conductores o materiales humedecidos presentan una resistencia baja a la inyección de corriente, mientras que materiales aislantes presentan resistencias eléctricas mayores (Figura 26). Lo anterior, es relativo a diversos parámetros geológicos como el contenido mineralógico y de humedad, así como la porosidad y grado de saturación de agua

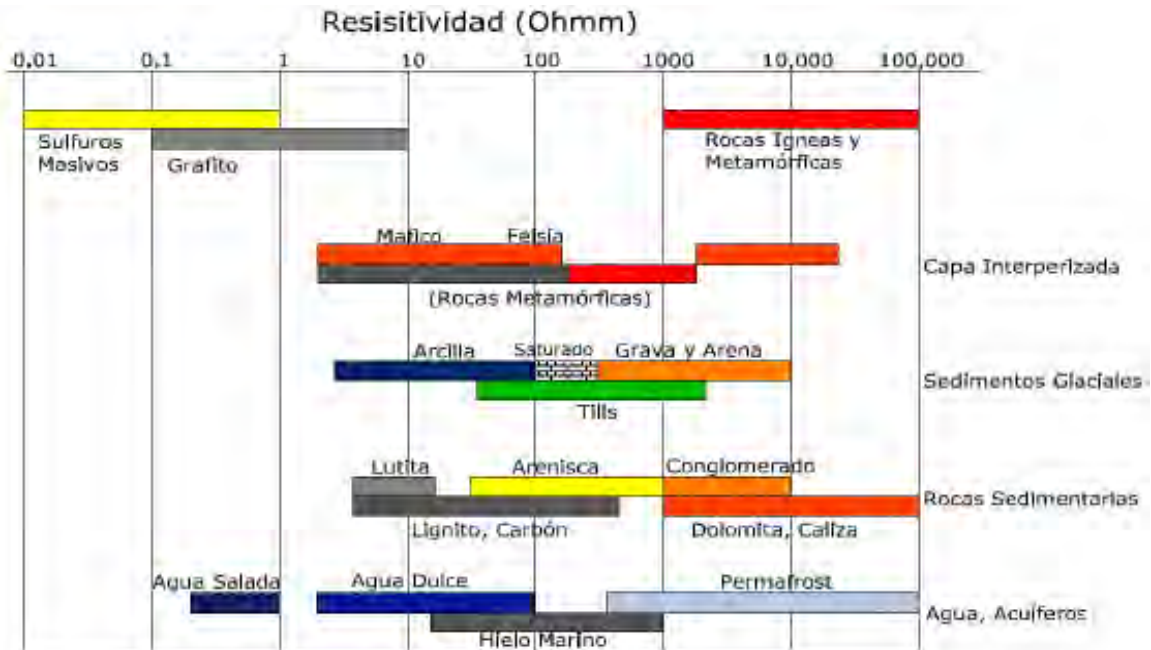
dentro del material de estudio. Durante décadas, los Estudios de Resistividad Eléctrica han sido utilizados en investigaciones sobre hidrogeología, geotecnia y también actualmente en estudios ambientales (Loke 2004).

Figura 25. Principio teórico de operación de las TER's.






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

Figura 26. Rangos de resistividad para diferentes materiales.



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

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.

		<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 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.

## 6.2. OBJETIVO




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

## 6.3. PRINCIPIO DEL METODO GEOFISICO.

### 6.3.1. Resistividad Aparente:

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

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

		<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 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: Exploración Geotécnica-Relaciones Geoeléctricas- DANIEL EDUARDO ARIAS.



### 6.3.2. Dispositivos:

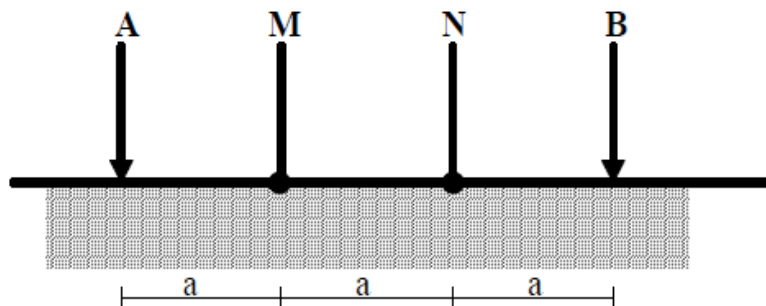
Un dispositivo es un arreglo de electrodos formado con dos pares de electrodos, dos emisores y dos receptores. A través de los electrodos emisores C1C2 se inyecta la corriente continua al terreno midiendo su intensidad con un miliamperímetro en serie, y a través del segundo par se mide la diferencia de potencial entre los electrodos P1P2 con un Milivoltímetro. Se tienen arreglos donde uno o dos electrodos se conectan a una distancia lo suficientemente grande, denominados remotos o infinitos, a la cual no producen perturbaciones en la zona de estudio.

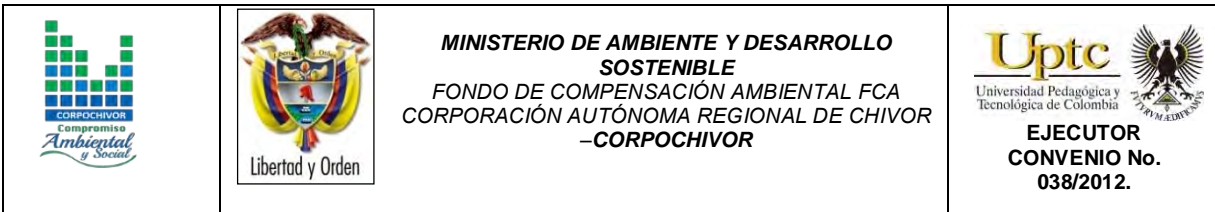
En cualquier dispositivo electródico, si conocemos el factor geométrico  $k$ , la corriente eléctrica  $I$  inyectada por los electrodos A y B, y la diferencia de potencial entre los electrodos M y N, podemos calcular la resistividad aparente mediante  $\rho = k \Delta V / I$ . El dispositivo utilizado en en la tomografía realizada fue el siguiente:

#### 7.1.1.2. Dispositivo Wenner.

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

Figura 27. Dispositivo Wenner.





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

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

#### 6.4. METODOLOGIA

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

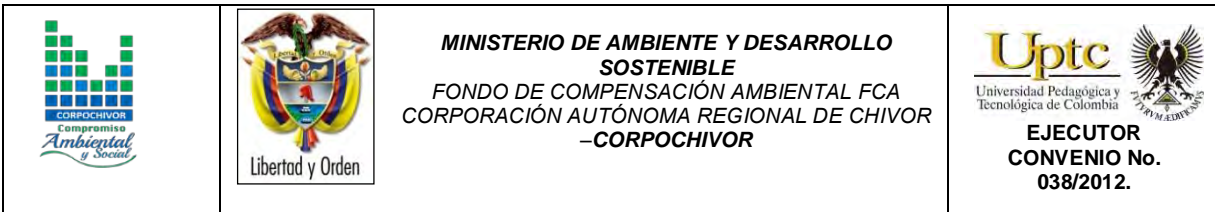
La Tomografía eléctrica tiene por objetivo específico determinar la distribución real de la resistividad del subsuelo en el ámbito comprendido entre dos sondeos o bien hasta un cierto rango de profundidad a lo largo de un perfil de medida, a partir de los valores de resistividad aparente obtenidos mediante 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 electrodos

Xtotal= Distancia de la línea extendida



Nº electrodos= electrodos a utilizar

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

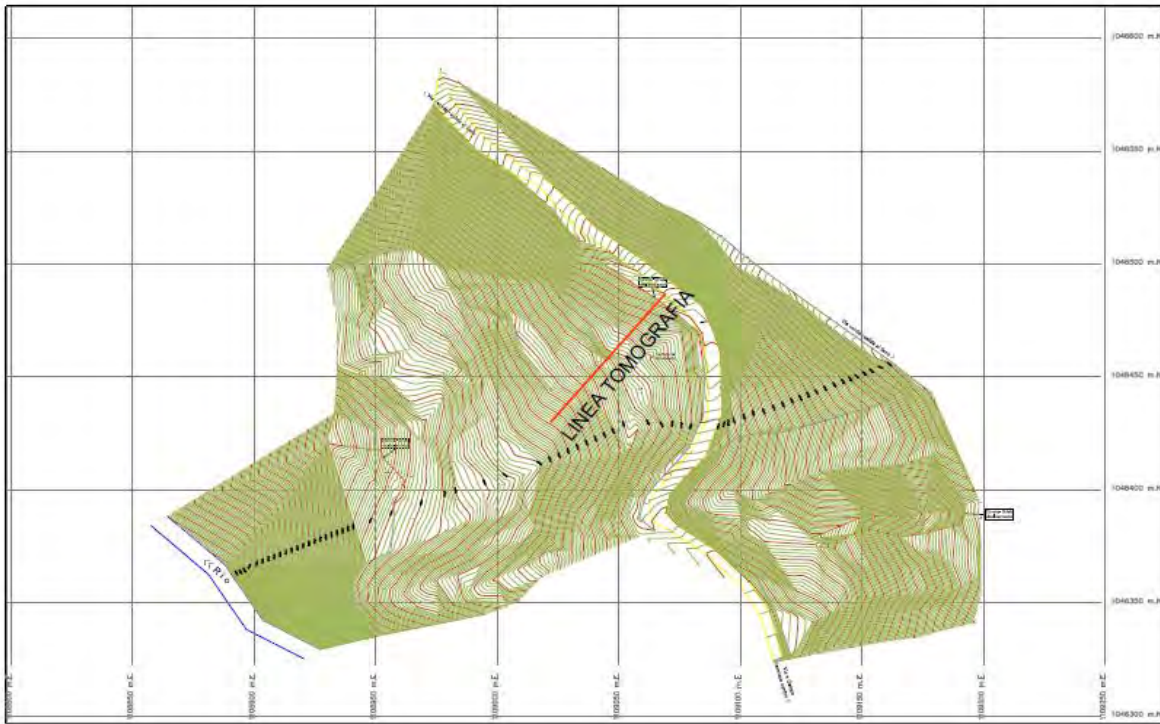
El resultado final de este tipo de estudio es una sección distancia-profundidad con la distribución de la resistividad real del subsuelo, fácilmente comprensible en términos geológicos o geotécnicos. Para obtener estos resultados se procede a insertar los parámetros para el cálculo y la medición de las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

Para la realización de las tomografías en el sector vereda El Caiman, del municipio de Campo Hermoso, se utilizó el equipo TERRAMETER LS 04-064-250 propiedad de la U.P.T.C., con 2 carretes de 210 mts cada uno, 41 electrodos conectados cada uno respectivamente al equipo, para obtener así la siguiente línea con su respectivo análisis.

#### **6.4.1. TOMOGRAFIA N°1**

Localizada en la parte alta del deslizamiento Coordenadas parte inicial X: 1109022, Y: 1046430, parte final X: 1109069, Y: 1046486, orientación N40°E, con una longitud de 80 mts., profundidad obtenida de 13.2 mts., y los electrodos conectados a una distancia de 2.0 mts cada uno, ver Figura 28.

Figura 28. Imagen mapa topográfico Campo Hermoso.



Fuente: Resultado del estudio.

Fotografía 5. Parte media del deslizamiento.



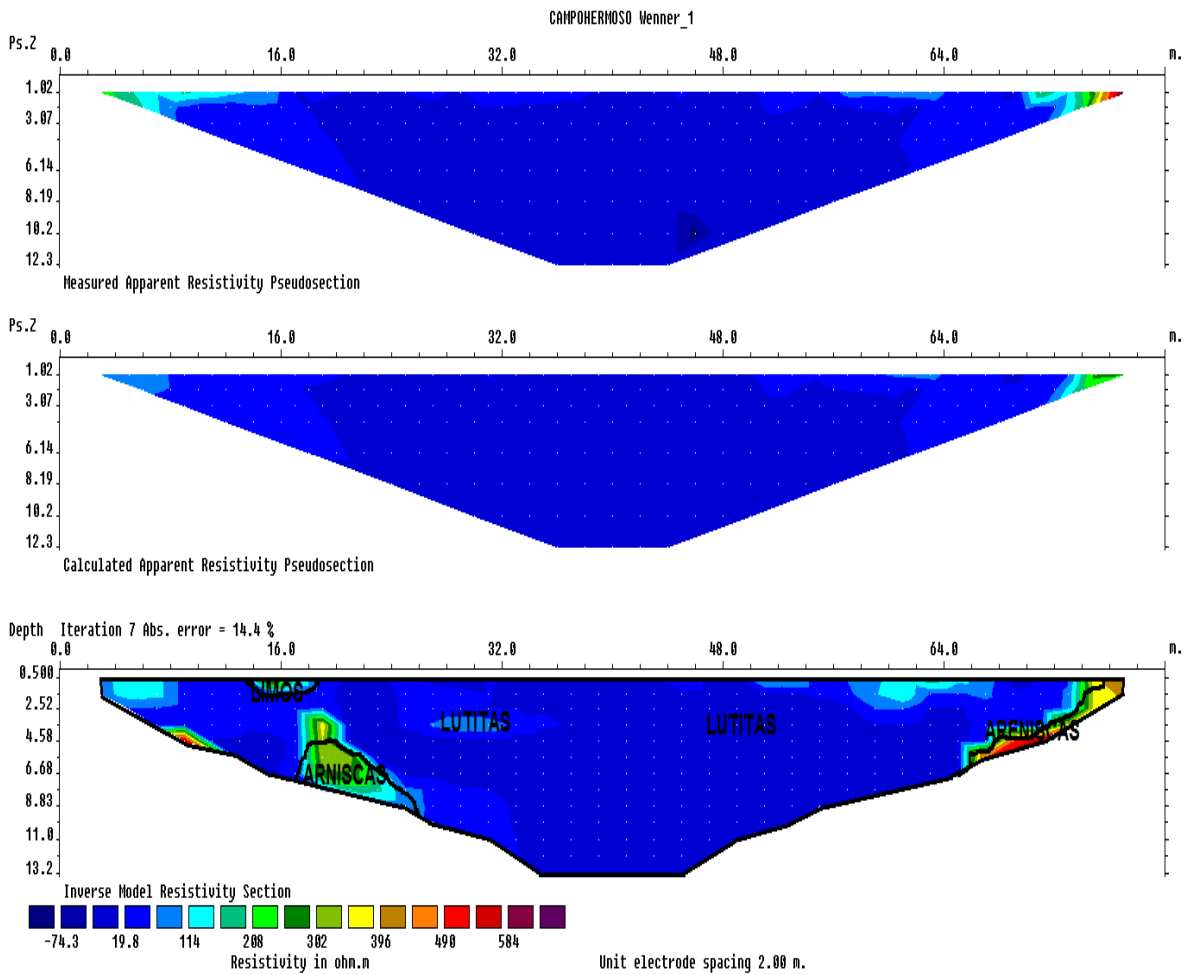
Fuente: Registro fotográfico.

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

MATERIAL	PROFUNDIDAD (m)	RESISTIVIDAD ( $\Omega \cdot m$ )	INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA
1	0.500 – 13.2	2 – 114	Lutitas
2	0.500 – 2.52	115 – 301	Limos
3	0.500 – 6.68.	302 - 584	Areniscas

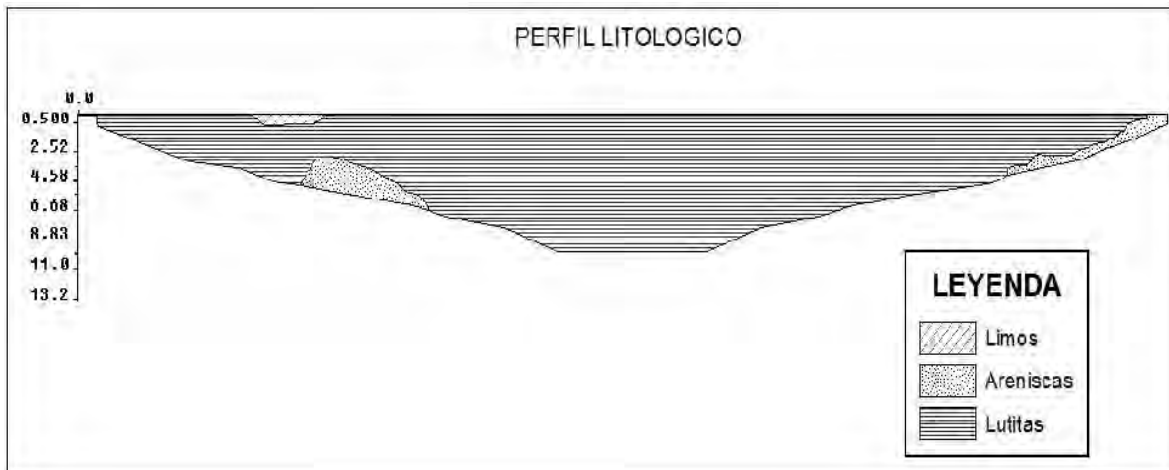
Fuente: Resultado del estudio.

Figura 29. Perfil 1 tomografía.



Fuente: Resultado del estudio.




Figura 30. Perfil litológico 1



Fuente: Resultado del estudio.

## 6.5. RESULTADOS

Con ayuda del software Res2DINX64, se relacionaron datos de las respectivas resistividades de los materiales del área obtenidas por el equipo, resultando así el modelamiento del talud, donde se observan que el área está conformada por tres unidades Geoelectricas bien definidas, donde encontramos niveles de lutitas con rangos de resistividades que oscilan entre 2 – 114  $\Omega^*m$ , limos con resistividades que van desde 115 – 301  $\Omega^*m$ , y finalmente intercalación de areniscas saturadas y no saturadas que poseen resistividades que oscilan entre 302 – 584  $\Omega^*m$ , ver Figura 29 y Figura 30.

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

## 7 GEOTECNIA

En este capítulo se consignan los aspectos relacionados con la evaluación geotécnica de los fenómenos de remoción en masa (FRM) Vereda El Caiman, municipio de Campo Hermoso, 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 7 metros de y sus ubicaciones se relacionan en la siguiente Tabla 19; de estos se realizaron los también ensayos de propiedades índices y propiedades mecánicas.

Tabla 19. Coordenadas de los sondeos realizados

<b>CAMPO HERMOSO</b>			
Sondeo	Coordenadas		Profundidad (metros)
	Este	Norte	
sondeo 1	1,109,065	1,046,487	7.80
sondeo 2	1,109,054	1,046,458	6.55

Fuente: Resultados de la Investigación

De estos se obtuvieron perfiles geotécnicos del sitio como se observa en la Figura 31

Fotografía 6. Perforación realizada en la zona de estudio






Fuente: Registro Fotográfico.

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

Fotografía 7. 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>	
---	---	---	---

## 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.

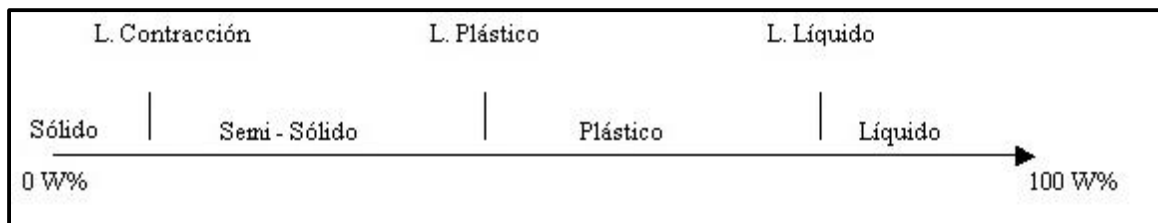


### 7.2.1.1 Propiedades índices de los suelos

**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 1. 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 8. Muestra fallada en el ensayo de compresión no confinada.



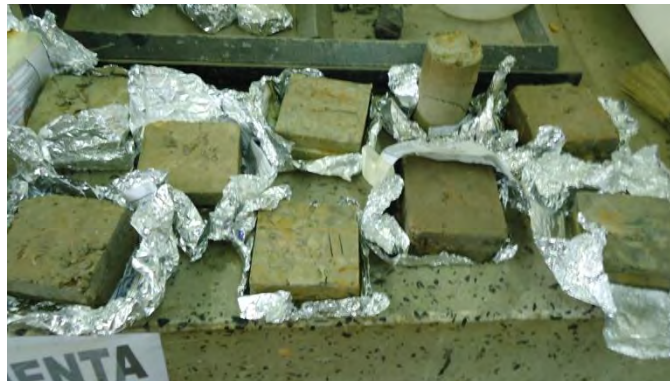
Fuente: Resultado del estudio.

**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 9. 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 1.5 – 2.0 gr/cm<sup>3</sup>, con limite líquido < 43% e IP entre 14% y 26%.

Los resultados de las propiedades mecánicas reflejan una resistencia a la compresión simple de 1.834 kg/cm<sup>2</sup>, cohesión de 0.57 – 0.917 Kgf/cm<sup>2</sup>, ángulos de fricción de 14°. Estos resultados de las propiedades físicas y mecánicas se






utilizaron para el análisis de estabilidad. En el anexo 4, se presentan los formatos correspondientes a los ensayos de laboratorio, de los cuales se presenta una tabla resumen (Tabla 20).

### 7.3 Clasificación del macizo rocoso

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

Clasificación de macizos propuesta por Hoek y Brown, como un parámetro de condición del macizo rocoso en función de la condición estructural y del estado de las discontinuidades, para la aplicación del criterio generalizado de Hoek y Brown (2002), con el fin de establecer la envolvente de resistencia del macizo rocoso. Para su determinación se propone la utilización de la Figura 32.




Figura 32. Guía para la definición del Índice geológico de resistencia (GSI).

INDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICA (GSI)	Condición de la superficie				
	Diminución en calidad de superficie				
	Muy buena	Buena	Moderala	Escasa	Muy escasa
 <b>INTACTA O MASIVA</b> - macizo rocoso con pocas discontinuidades, carente de planos de deformación.	80	70			
 <b>POCO FOLIADA</b> - macizo rocoso parcialmente fracturado con hasta tres sistemas de discontinuidades. Puede contener intercalaciones de rocas foliadas.	60	50			
 <b>MODERADAMENTE FOLIADA</b> - macizo rocoso fracturado constituido por intercalaciones de rocas foliadas y no foliadas en proporciones semejantes.			40	30	
 <b>BRECHADA</b> - macizo rocoso muy alterado tectónicamente con aspecto brechoso.				20	10
 <b>MUY FOLIADA</b> - macizo rocoso plegado, altamente fracturado, constituido únicamente por rocas muy foliadas.	N/A	N/A			5

Fuente: Resultados de la investigación.


















Dada la sencillez de la guía para la determinación del GSI, y en cierta medida su subjetividad se propone para valores de GSI mayores que 25 que este pueda ser






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

establecido a partir del valor de clasificación RMR89, teniendo en cuenta que se debe tomar el valor RMR sin corrección por orientación de discontinuidades y una valuación de condiciones de agua subterránea igual a 15. De acuerdo a lo anterior el valor de GSI 52 respectivamente como se observa en la Tabla 20.

Tabla 20. Resumen de resultados ensayos de laboratorio

UNIVERSIDAD PEDAGOGICA Y TECNOLOGICA DE COLOMBIA																				
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS																				
SECCIONAL SOGAMOSO																				
MEMORIA DE SONDEOS																				
PROYECTO:		ESTUDIO DE AMENAZA Y VULNERABILIDAD MUNICIPIO DE CAMPO HERMOSO - DEPARTAMENTO DE BOYACA																		
PERFORACION:		SONDEOS 1 - 2																		
LOCALIZACION:		MUNICIPIO DE CAMPO HERMOSO- DEPARTAMENTO DE BOYACA																		
FECHA:		SEPTIEMBRE DE 2013																		
inalterada																				
alterada																				
SONDEO / APIQUE N°	MUESTRA N°	TIPO DE MUESTRA	PROF. (m)	COORDENADAS		PROPIEDADES FISICAS SUELOS						RESISTENCIA AL CORTE SUELOS								
				E	N	Wn (%)	LL	LP	IP	CLASIF (U.S.C.)	P.T.N° 200 %	φ	C	Peso Unitario	λ HUMEDO	λ SECO	COMPRESION INCONFINADA	qu	C	PENETROMETRO
S 1	1		0,85	1,109,065	1,046,487	15,15														1,0
	2		1,25	1,109,065	1,046,487	11,99														1,0
	3		2,50	1,109,065	1,046,487	13,11	39,76	17,86	21,90	CL	5,696			2,1918	1,9293	1,7864	0,8932			1,5
	4		3,50	1,109,065	1,046,487	11,91	42,07	18,87	23,20	CL	5,519	14,789	2,060	2,279	2,0142	1,8347	0,91735			2,5
	5		4,25	1,109,065	1,046,487	12,34	43,71	20,97	22,74	CL	1,599			2,2067	1,9013	1,7502	0,8751			3,0
	6		5,65	1,109,065	1,046,487	11,94	42,53	20,00	22,53	CL	6,465			2,0992	1,7941	1,3723	0,68615			3,5
	7		6,50	1,109,065	1,046,487	10,72	41,65	19,67	21,98	CL	4,46			2,0107	1,7682	1,3887	0,69435			4,0
	8		7,80	1,109,065	1,046,487	11,55	43,34	18,18	25,16	CL	6,932			2,099	1,8273	1,1464	0,5732			4,5
S2	1		0,95	1,109,054	1,046,458	15,54				CL										1,5
	2		1,40	1,109,054	1,046,458	12,44	37,26	14,58	22,68	CL	7,414			1,6539	1,4864	1,7231	0,86155			2,5
	3		2,40	1,109,054	1,046,458	13,23	30,23	15,79	14,44	CL	5,882	9,982	2,034	1,9908	1,6913	1,698	0,849			2,5
	4		3,25	1,109,054	1,046,458	12,57	40,58	18,87	21,71	CL	5,695			1,7383	1,5777	1,7389	0,86945			3,0
	5		4,50	1,109,054	1,046,458	12,75	40,85	20,97	19,88	CL	1,864			1,5662	1,382	1,6572	0,8286			3,5
	6		5,50	1,109,054	1,046,458	11,32	36,67	10,03	26,64	CL	6,963			1,6605	1,4828	1,2766	0,6383			4,0
	7		6,55	1,109,054	1,046,458	10,28	33,77	15,87	17,90	CL	5,664			2,1662	1,9301	1,3457	0,67285			4,5

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

## 7.4 CINEMÁTICA DE LOS MOVIMIENTOS

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

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

La pendiente o canal sobre el cual fluye el suelo.

El contenido de agua.

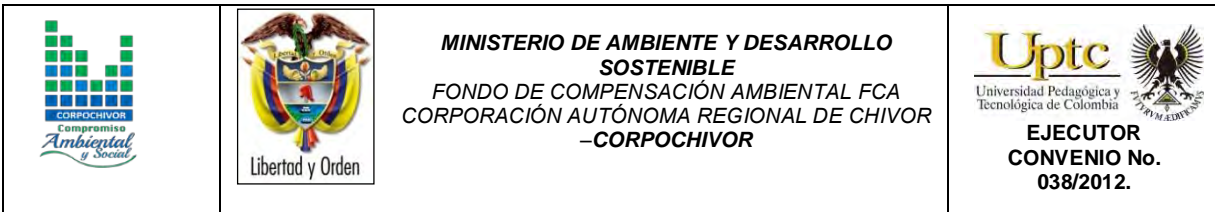
## 7.5 CAUSAS DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA

### 7.5.1 Causas Reales

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

### 7.5.2 Causas Inmediatas

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



Como detonantes de los eventos se han establecido los siguientes:

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

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

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

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




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

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

## **7.6 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y MODELACIÓN GEOTÉCNICA**

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

Los modelos constituyen simplificaciones de problemas complejos acorde con la 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).

		<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 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 realizó su respectivo análisis mostrado en los perfiles de plano de exploración geotécnica.

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

### **Modelamiento del comportamiento hidráulico.**

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

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




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

$\sigma_v$ : Esfuerzo vertical total en la base de la dovela.

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

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

El Municipio de Campo Hermoso 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

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

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 Campo Hermoso los coeficientes de aceleración horizontal (Aa) y vertical (Ad) son iguales a 0.16 y 0.08 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 0.30 y 0.25. 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 21. 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
13	Caldas	15131	0.15	0.15	Intermedia	0.11	0.06
14	Campohermoso	15135	0.30	0.25	Alta	0.16	0.08
15	Cerinza	15162	0.20	0.25	Alta	0.15	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 22. 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:

$$k = k_{ST} * A_a = 0.8 * 0.25 = 0,20$$

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

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

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

### 7.6.1 Análisis estructuralmente no controlado

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

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

Tabla 23. 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)	UCS (kPa)	m	s	a	Water Surface	Ru
Qc		18	Mohr-Coulomb	20	17					None	0.3
Kilm		22	Generalised Hoek-Brown			3500	2.52129	0.00482795	0.504991	None	0.3

Fuente: Resultados del Proyecto.



La parte superior del deslizamiento se observa en la Fotografía 10.

Fotografía 10. Movimiento

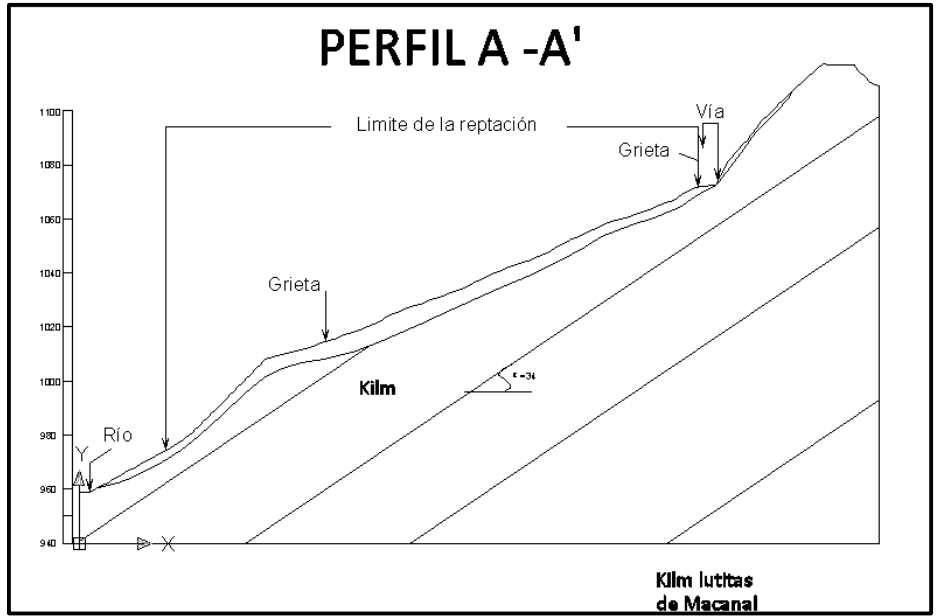


Fuente: Registro fotográfico.

El modelo gráfico 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.

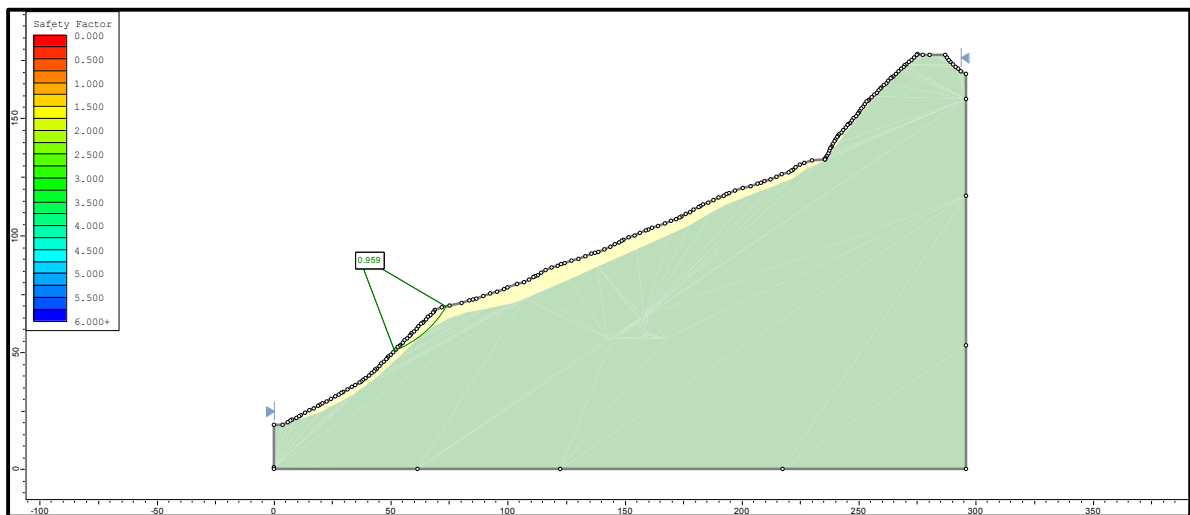
Para este caso se analizado el perfil AA' ya que este refleja el comportamiento del deslizamiento como tal.

Figura 33. Perfil geológico AA'



Fuente: Resultados del estudio.

Figura 34. Modelo de análisis perfil A-A'



Fuente: Resultados del estudio.




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

Tabla 24. Factores de seguridad para el modelo perfil A-A

Condición del modelo	Factor de Seguridad			
	Met. Fellenious	Met. Bishop Simplificado	Metodo de Janbu Simple	Metodo de Janbu Corregido
Condición de agua subterránea normal ( $R_u = 0.1$ )	0.959	0.943	0.925	0.961
Condición de agua subterránea crítica ( $R_u = 0.3$ )	0.922	0.879	0.865	0.891
Condición de agua subterránea media ( $R_u = 0.5$ ) y sismo (análisis pseudoestático)	0.707	0.199	0.107	0.111

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

## 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.

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 hídricas, acumulación o estancamiento de agua en proximidades a zonas inestables,	Abundancia relativa de agua y zonas de surgencia hídrica.  Suelos con alto porcentaje de humedad o mojados en tiempo continuo.

	desviación de ríos.	
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.	

Tabla 25. Parámetros físicos y naturales estimados para la Identificación de Zonas Inestables (Deslizamientos)<sup>1</sup>

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).

<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).

- Selección de la base topográfica para la elaboración y presentación de los planos solicitados.
- Identificación de unidades geológicas superficiales, geomorfología y procesos morfodinámicos activos o potenciales a través de visitas a campo.
- Elaboración de información temática complementaria como cobertura y usos del suelo, precipitaciones, sismicidad, factor antrópico (cortes, rellenos, manejo de aguas de escorrentía y superficiales).
- Elaboración del modelo geológico-geotécnico (determinación de los aspectos intrínsecos, factores contribuyentes y detonantes).
- Determinación de las posibles zonas homogéneas, mecanismos de falla, caracterización del drenaje y su relación con los fenómenos de inestabilidad potenciales y activos.

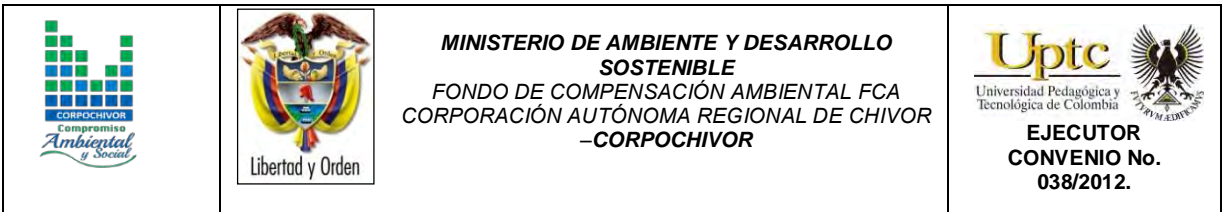
## 8.2 RESULTADO DE ANALISIS

Para la clasificación de la amenaza de la zona se utilizaron como criterios de categorización los presentados en la Tabla 26, teniendo en cuenta los parámetros de la Metodología de Leone.

Tabla 26. Categorización de amenazas por FRM

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

Fuente: Resultado del estudio



Se realiza una evaluación de la amenaza a partir de la norma NSR-10, donde se establecen los factores de seguridad para taludes los cuales se presentan en la Tabla 27.

Tabla 27. Categorización de amenaza por (FRM) según nsr-10

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

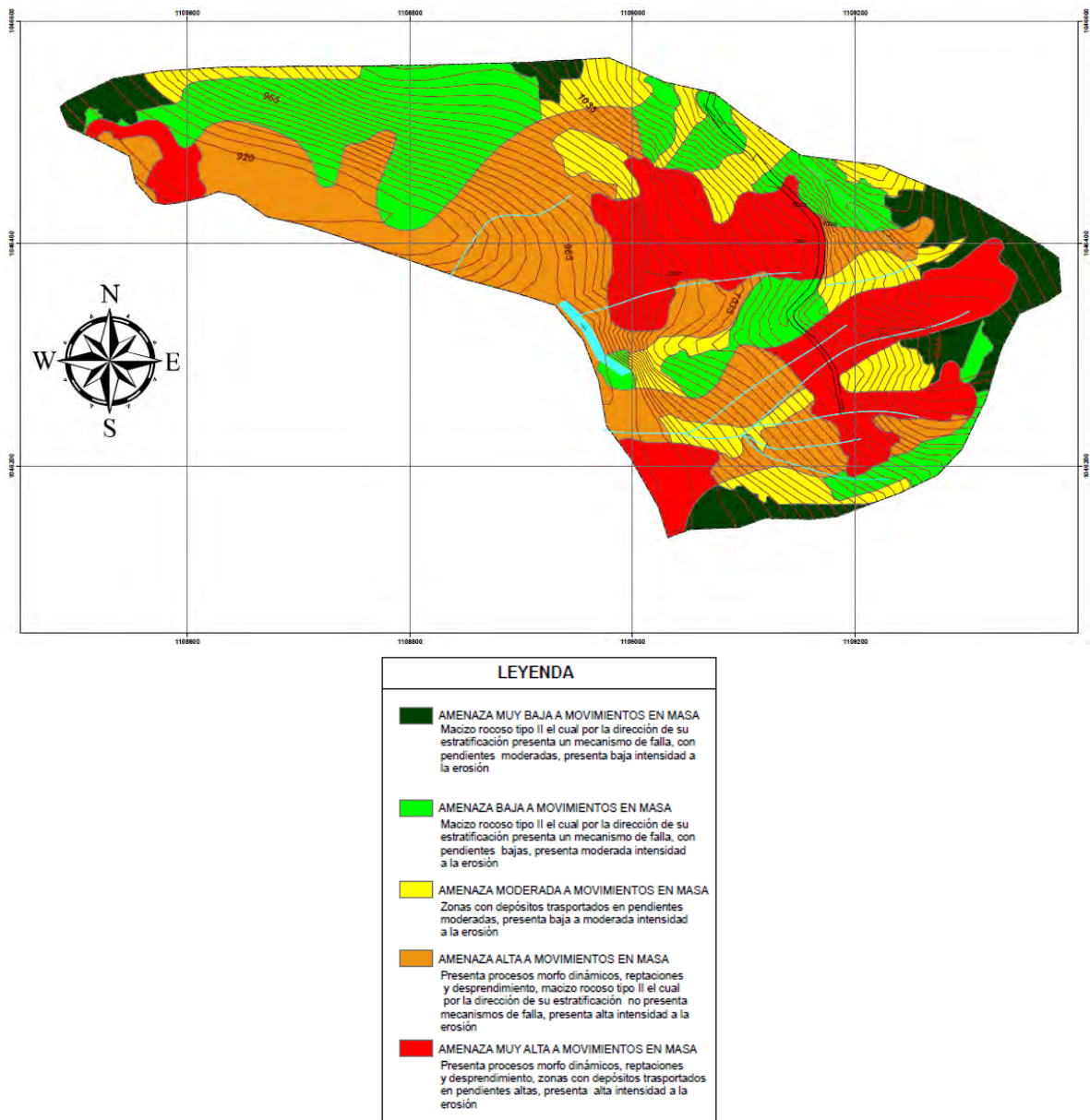
Fuente: Resultado del estudio

### 8.3 ANALISIS DE AMENAZA

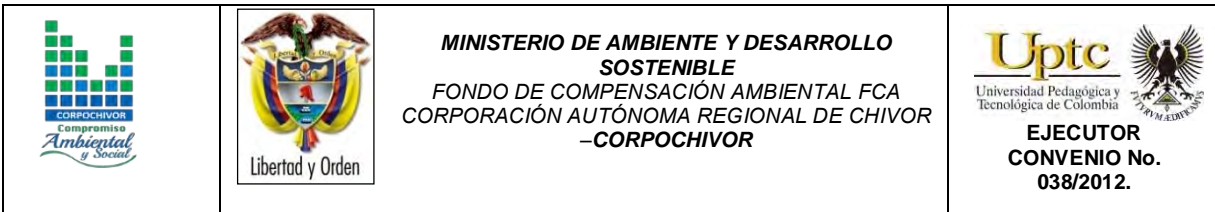
Para la zona estudiada se establecieron las unidades indicadas en el anexo 1, mapas temáticos, Plano 7. La imagen de este mapa temático se encuentra a continuación.



Figura 35. Imagen Mapa de Amenazas.



Fuente: Resultado del estudio



#### **8.4 Evaluación de Vulnerabilidad**

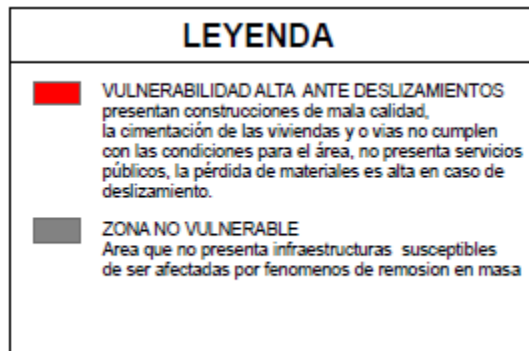
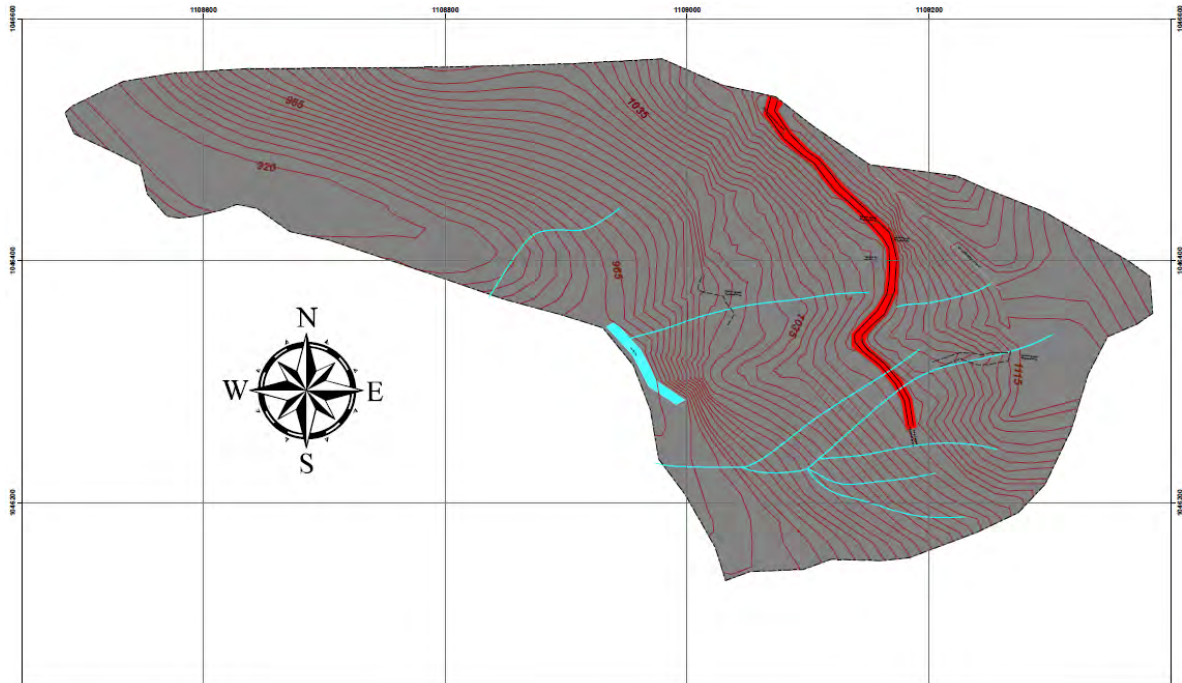
Para determinar la vulnerabilidad de las edificaciones ante deslizamientos, se empleó el cálculo del denominado Índice de Vulnerabilidad Física (IVF), utilizando para tal efecto la metodología propuesta por Leone y modificada por Soler . En resumen, el trabajo consiste en calcular los índices de vulnerabilidad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

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




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

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

Figura 36. Imagen Mapa de Vulnerabilidad Física y Social



Fuente: Resultado del estudio

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

## 8.5 VULNERABILIDAD SOCIAL

### 8.5.1 Objetivo

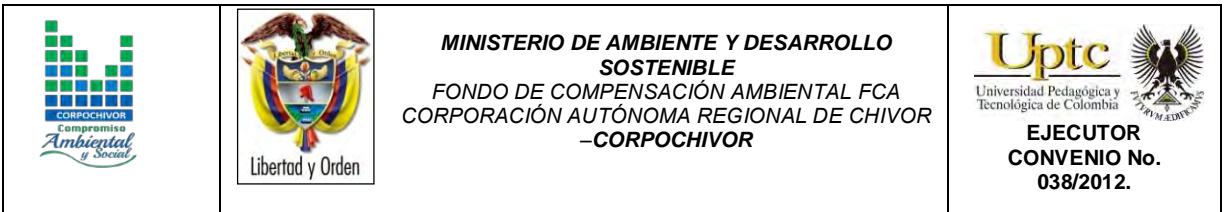
Realizar la caracterización de la población que habita la zona de influencia del movimiento en masa priorizado en este municipio para su evaluación, con el fin de dimensionar el nivel de vulnerabilidad social en el que se encuentran estas familias y posteriormente desarrollar estrategias que permitan evitar o reducir las pérdidas humanas y materiales que se puedan producir como consecuencia de un nuevo deslizamiento.

- **Objetivos específicos**

- ❖ Identificar el impacto social y económico sobre los habitantes frente a la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa.
- ❖ Establecer el conocimiento y la capacidad de respuesta de las personas para actuar frente a la ocurrencia de fenómenos de riesgo en la zona.
- ❖ Determinar el grado de gestión del riesgo por parte de los actores sociales encargados de prevenir y mitigar los impactos que los desastres naturales causan en las comunidades.

### 8.5.2 Justificación

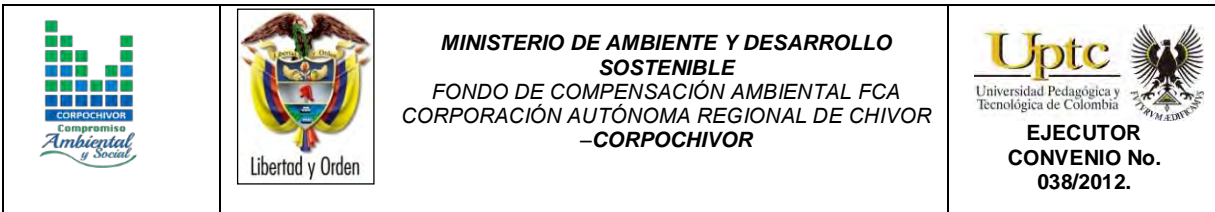
La importancia de caracterizar a las personas y familias que habitan el sector de influencia del deslizamiento o movimiento de remoción en masa es porque nos permite conocer su entorno social y familiar, sus potencialidades y necesidades



que los hacen más o menos vulnerables frente a la situación en la que se encuentran, ya que estos fenómenos también son causados por la falta de educación frente al manejo de los recursos naturales, siendo la mano del hombre quien en casos agudiza los riesgos, por la tala de los árboles, el mal manejo de aguas servidas, los cortes y excavaciones en el terreno y la explotación indebida de canteras entre otras, lo que incrementa la vulnerabilidad y la amenaza a las comunidades, por esto la interpretación de los peligros depende, entre otros, de una diversidad de factores que varían según las características individuales, niveles culturales, rasgos demográficos, grupos sociales, creencias, naturaleza de los riesgos, los ingresos de las personas y la voluntad política para generar estrategias que minimicen la vulnerabilidad, por esto la necesidad de conocer sus falencias, para poder contrarrestarlas con educación social y familiar.

Para el análisis de la vulnerabilidad, y antes de evaluar los modos y niveles de daño de éstos, fue fundamental su identificación, para considerar únicamente aquellos que se encuentran dentro del área de influencia del fenómeno y su caracterización, estableciendo así su resistencia a sufrir daños, perjuicios o perturbaciones cuando el mismo evento natural catastrófico se materialice sobre ellos.

De cualquier forma estos hechos deben ser identificados, para evitar que se repitan y con base en estos resultados generar redes y proyectos sociales, que den respuesta a las necesidades de la población en pro de mejorar su calidad de vida.



### 8.5.3 Metodología

La metodología utilizada para la realización de la caracterización social es **IAP**, por medio de observaciones directas en campo y aplicando un instrumento de recolección de información como la encuesta, trabajando la parte cualitativa la cual nos orienta a casos específicos, en donde se busca cualificar y describir el fenómeno social a partir de rasgos determinantes como los establecidos dentro del instrumento de evaluación aplicado.

### 8.5.4 Análisis de vulnerabilidad

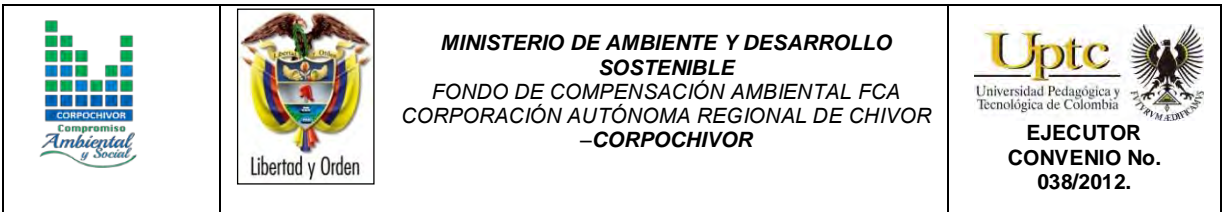
Se define vulnerabilidad con relación a los siguientes aspectos:

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.

---

<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



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.

### **8.5.5 CARACTERIZACION DE LA ZONA**

La caracterización de la zona a evaluar se realizó mediante una visita de campo al punto neurálgico de afectación por el movimiento en masa, presentado y priorizado previamente por los entes administrativos del municipio de campo hermoso.



**Foto 1. Vista del movimiento en masa.**

El área evaluada se encuentra ubicada en la vereda Colombia del municipio de Campo Hermoso, el punto álgido a tratar es una vía principal que conduce del municipio de campo hermoso al departamento del Casanare, que atraviesa la vereda Colombia donde habitan alrededor de 18 familias las cuales aunque no se encuentran cercanas a la zona evaluada por el convenio, si se ven afectadas en cuanto a la movilidad de sus productos agrícolas y acceso al casco urbano del municipio de campo hermoso.

De igual forma los habitantes de la vereda San José, también se ven afectados por las fallas que presenta la vía, dado que para ellos esta vía les permite la comunicación con la parte urbana del municipio, facilitando la movilidad de personas y productos.



**Foto 2. Terreno movido por deslizamiento.**



Dentro de las afectaciones más relevantes que presenta la vía esta el daño de alcantarillas, a las cuales no se les ha hecho arreglos desde hace alrededor de dos años según lo manifestado por el líder comunal de la vereda Colombia, lo que genera escorrentía de agua continua, especialmente en épocas de invierno en donde la vía se ve altamente deteriorada.



**Foto 3. Afectación vial.**

Según las personas que se sirven de la vía manifiestan que el terreno sobre el que fue construida, ha sido inestable desde el inicio de la apertura de la misma lo cual hace aproximadamente 16 años, por lo que solicitan que se hagan los estudios pertinentes para que puedan estabilizarla y dejen de presentarse este tipo de movimientos de terreno sobre ella, afectando a las comunidades vecinas que hacen uso de esta vía.



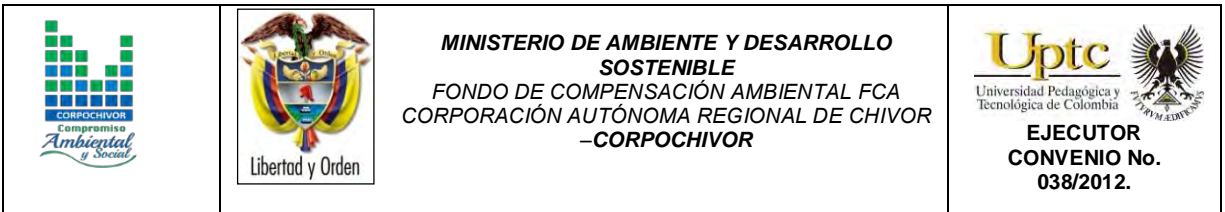
**MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO  
SOSTENIBLE**  
FONDO DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL FCA  
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR  
-CORPOCHIVOR



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



**Foto 4. Material arrastrado por el movimiento en masa.**






## 9 OBRAS RECOMENDADAS

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




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

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




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

## 10 CONCLUSIONES.

- EL FRM es un movimiento en masa en el cual se identifica roca y suelo desprendido de ladera con cierto grado de inclinación de la pendiente, tiene comportamiento remontante, causados por socavación de taludes debido a la acción del hombre (cortes anti técnicos del talud), provocando el retroceso del material del talud perdiendo apoyo en su base, se van desplomando progresivamente, en el área predomina una vegetación rala y pequeña, incapaz de retener el suelo, donde facilita la inestabilidad de proceso.
- El poco acompañamiento que se le ha brindado a la comunidad, se refleja en el desconocimiento de los riesgos y en la falta de conciencia ambiental frente al deslizamiento.
- El deslizamiento ha avanzado por áreas de poca cobertura vegetal facilitando su avance y velocidad debido a la ausencia de 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.




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

- En el recorrido por la vía afectada se evidencio con las personas que la transitan la importancia de que esta tiene para los pobladores del municipio, especialmente para los habitantes de la vereda Colombia, ya que es una vía de acceso al casco urbano del municipio de campo hermoso y de salida hacia el departamento del Casanare.
- La comunidad manifiesta que es muy necesaria la adecuación de las alcantarillas que se encuentran dañadas, ya que no poder canalizar aguas de escorrentía en la vía, agudiza su deterioro y por ende la dificultad para transitar por ella especialmente en épocas de invierno.

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

## 11. RECOMENDACIONES

- Debido al riesgo presentado en la vía que cruza la corona del deslizamiento se deberá realizar inspección estructural de la misma para determinar su condición actual y la posibilidad de modificar el trazado.
- Se recomienda la construcción de estructuras de contención en muro de tierra armada, muro en gaviones y muro en concreto reforzado. Ver plano: Obras de Mitigación.
- El control de agua se define con la construcción de un canal trapezoidal de 0,80 metros de profundidad y un dissipador de energía en concreto y gaviones.
- El muro en tierra armada permite la reconformación del talud y recuperación de la banca de la vía.
- Se recomienda realizar visitas periódicas, no mayores a dos meses a la zona del deslizamiento, para hacer seguimiento al comportamiento de las estructuras.
- Se deberán amojonar puntos de la zona del deslizamiento para realizar control semestral de los desplazamientos del mismo. Se recomienda amojonar un punto cercano a la vivienda al norte del deslizamiento.

		<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. BIBLIOGRAFÍA

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

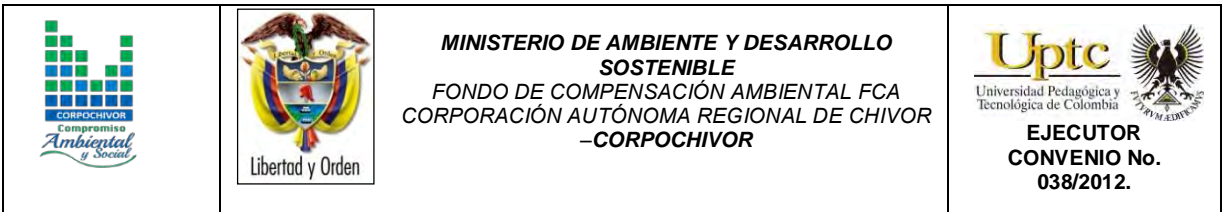
Metodología Corinel and Cover adaptada para Colombia 2010 Saunders, D.A., Hobbs, R.J. y Margules, C.R. 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. *Conservation Biology* 5: 18-32.

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

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

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

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



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

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

Adaptado de Leone (1996)

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

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

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

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