

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



## INFORME FINAL



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

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

---

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

## TABLA DE CONTENIDO

		<b>Pág.</b>
1	GENERALIDADES .....	14
1.1.	PRESENTACION (JUSTIFICACION Y ALCANCE).....	14
1.2.	OBJETIVOS DEL PROYECTO .....	15
1.2.1.	Objetivo General.....	15
1.2.2	Metodología.....	16
1.3	PERSONAL .....	18
1.4	DESCRIPCION DE ACTIVIDADES REALIZADAS.....	19
1.5.1.	Trabajo de campo.....	19
1.6.	ANÁLISIS DE LABORATORIO. ....	21
1.6.1.	Trabajos de Oficina.....	22
1.7.	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y SUS POSIBLES CAUSAS.....	22
1.7	ESTADO DE LA INFORMACIÓN .....	23
2	ASPECTOS CLIMATICOS E HIDROLOGICOS .....	25
2.1.	ANÁLISIS HIDROLÓGICO .....	26
2.2.	BALANCE HÍDRICO.....	26
2.2.1.	Tipos de recarga.....	27
2.3.	ESTIMACIÓN DE LA ESCORRENTÍA .....	29
2.4.	ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN. ....	35
2.4.1.	Mapas de Isoyetas generados a partir de los datos de Precipitación. ....	38
2.4.2.	ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP)....	46
2.4.2.1.	Formula de J. B. García y J.D. López.....	46
2.4.3.	Estimación del Balance Hídrico .....	48
2.4.4.	Metodología.....	49
2.4.5.	RESULTADOS OBTENIDOS .....	53

2.5.	CALCULO DE CAUDAL DE DISEÑO A PARTIR DE LAS CURVAS IDF57	
2.5.1.	Resultados.....	57
2.6.	MORFOMETRÍA DE LA CUENCA .....	58
2.7.	USO ACTUAL Y COBERTURA DEL SUELO .....	64
2.7.1.	VEGETACIÓN .....	65
2.7.2.	COBERTURA Y USO DE SUELO PARA EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL ESTUDIO. ....	67
2.7.3.	ESTUDIO DE LA FLORA .....	69
2.7.4.	IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE COBERTURAS .....	71
2.7.5.	ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA Y/O ARBUSTIVA .....	89
2.7.6.	ÁREAS Y PORCENTAJES DE LAS COBERTURAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO .....	91
2.7.7.	UNIDADES DE COBERTURA VEGETAL .....	93
3.	GEOLOGIA.....	97
3.1.	GEOLOGÍA HISTÓRICA.....	98
3.2.	GEOLOGIA LOCAL.....	98
3.2.1.	Formación Fómeque (Kif).....	98
3.2.2.	Depósitos Cuaternarios.....	99
3.3.	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	99
3.3.1.	Estructuras Plegadas.....	100
3.3.2.	Fallas.....	100
4	GEOMORFOLOGÍA .....	101
4.1.	GEOMORFOLOGÍA LOCAL.....	102
4.2.	ANÁLISIS FOTOGEOLÓGICO.....	103
4.3.	PROCESOS MORFODINÁMICOS.....	104
4.3.1.	Desprendimientos.....	104
4.4.	INCLINACIÓN DE LAS PENDIENTES .....	106
4.5.	UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS .....	108

4.5.1.	Geoformas de Origen Denudacional. ....	110
4.6.	EROSIÓN .....	112
4.6.1.	Algunas Formas de Erosión .....	114
4.6.2.	Factores externos.....	115
4.6.3.	Factores internos.....	115
4.6.4.	Morfodinámica - intensidad de erosión .....	116
5.	HIDROGEOLOGÍA .....	119
5.1.	Unidades Hidrogeológicas.....	119
5.1.1.	Acuífero.....	119
5.1.2.	Acuitardo.....	119
5.1.3.	Acuicierres.....	120
5.2.	MARCO HIDROGEOLÓGICO GENERAL.....	121
5.2.1.	UNIDAD I (Permeabilidad Alta) .....	121
5.2.2.	UNIDAD III (Permeabilidad Baja) .....	121
6.	GEOELECTRICA .....	122
6.1.	ESTUDIO GEOELECTRICO (TOMOGRAFIA ELECTRICA RESISTIVA).....	122
6.1.1.	INTRODUCCION.....	122
6.2.	OBJETIVO .....	124
6.3.	PRINCIPIO DEL METODO GEOFISICO.....	125
6.3.1.	Resistividad Aparente:.....	125
6.3.2.	Dispositivos: .....	127
6.4.	METODOLOGIA.....	128
6.4.1.	TOMOGRAFIA N°1 .....	130
6.4.2.	RESULTADOS .....	133
7.	GEOTECNIA .....	134
7.1.	EXPLORACIÓN DE CAMPO.....	134

7.1.1.	Sondeos geotécnicos .....	134
7.2.	CARACTERIZACIÓN DEL SUELO Y SUBSUELO .....	137
7.2.1.	Trabajos de Laboratorio.....	137
7.3.	Trabajos de Laboratorio.....	138
7.3.2.	Resumen de resultados.....	143
7.4.	Clasificación del Macizo Rocoso. ....	144
7.4.1.	Índice de Calidad de la Roca (RQD):.....	144
7.4.2.	Clasificación Según el RMR: .....	147
7.4.3.	Clasificación Según el Índice Geológico de Resistencia (GSI):.....	149
7.5.	CINEMÁTICA DE LOS MOVIMIENTOS .....	151
7.6.	CAUSAS DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA .....	151
7.6.1.	Causas Reales .....	151
7.6.2.	Causas Inmediatas .....	152
7.7.	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y MODELACIÓN GEOTÉCNICA .....	153
7.7.1.	Análisis estructuralmente controlado .....	156
7.7.2.	Análisis estructuralmente no controlado .....	160
8.	ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA.....	164
8.1.	DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DE AMENAZAS .....	164
8.2.	RESULTADO DE ANALISIS.....	167
8.3.	ANALISIS DE AMENAZA .....	168
8.3.1.	Evaluación de Vulnerabilidad .....	169
9.	EVALUACIÓN Y ANALISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO .....	172
9.1.	ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD.....	172
9.2.	ANÁLISIS Y GRAFICAS ESTADÍSTICAS DE LAS ENCUESTAS REALIZADAS EN EL MUNICIPIO DE GUATEQUE BARRIO SANTA BARBARA EN LIMITES CON LA VIA QUE LLEVA A LA VEREDA SIBATA. ....	173
10.	OBRAS RECOMENDADAS .....	189



11.	CONCLUSIONES .....	190
12.	RECOMENDACIONES. ....	192
13.	BIBLIOGRAFÍA.....	193

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tabla general para la determinación de número de curva (CN).....	31
Tabla 2. Escorrentía Estación Guateque, suelo tipo CL .....	33
Tabla 3. Escorrentía Estación Guateque, suelo tipo CL .....	34
Tabla 4. Estación pluviométrica utilizada en la estimación de la precipitación para el área de estudio.....	35
Tabla 5. Rangos de temperatura Guateque.....	47
Tabla 6. Valores de Evapotranspiración.....	48
Tabla 7. Calculo de Infiltración, basado en los valores de escorrentía (R) y precipitación (P). Estación Guateque.....	51
Tabla 8. Calculo de Infiltración, basado en los valores de escorrentía (R) y precipitación (P). Estación Guateque.....	52
Tabla 9. Estimación del Balance Hídrico .....	54
Tabla 10. Estimación del Balance Hídrico .....	55
Tabla 11. Valores de parámetros morfométricos para la cuenca local 1 .....	62
Tabla 12. Valores de parámetros morfométricos para la cuenca 2 .....	63
Tabla 13. Áreas de coberturas.....	92
Tabla 14. Clasificación de las pendientes.....	108
Tabla 15. Descripción geomorfológica.....	112
Tabla 16. Resistividades de algunos suelos y rocas.....	127
Tabla 17. Resistividades de los materiales presentes en el área de estudio.....	132
Tabla 18. Coordenadas de los sondeos realizados.....	135
Tabla 19. Resumen de resultados ensayos de laboratorio.....	146
Tabla 20. Resumen de Resultados de la Clasificación RMR .....	149
Tabla 21. Coeficientes de reducción de coeficientes de aceleración sísmica .....	155
Tabla 22. Coeficientes de aceleración sísmica para el departamento Boyacá....	156
Tabla 23. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla planar.....	157
Tabla 24. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.....	157
Tabla 25. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla por volteo.....	158
Tabla 26. Valores de Propiedades Físicas y Mecánicas Utilizadas en los Modelos de estabilidad.....	160
Tabla 27. Factores de seguridad para el modelo perfil A-A´ .....	163

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización geográfica.....	17
Figura 2. Gráfico de precipitación media multianual.....	37
Figura 3. Isoyetas mes de Enero y Febrero .....	38
Figura 4. Isoyetas mes de Marzo y Abril .....	39
Figura 5. Isoyetas mes de Mayo y Junio .....	41
Figura 6. Isoyetas mes de Julio y Agosto .....	42
Figura 7. Isoyetas mes de Septiembre y Octubre .....	44
Figura 8. Isoyetas mes de Noviembre y Diciembre .....	45
Figura 9. Comportamiento de las Curvas del Balance Hídrico.....	56
Figura 10. Imagen ilustrativa de la cuenca local guateque.....	61
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). .....	66
Figura 12. Mapa cobertura vegetal y uso de suelo.....	91
Figura 13. Porcentaje de coberturas .....	93
Figura 14. Imagen mapa geológico área de estudio .....	97
Fuente: Resultado del estudio.....	97
Figura 15. Ventana extraida del mapa regional de Consultoría para la Homologación y Estructuración de la Información Cartográfica Base.....	101
Figura 16. Imagen del Mapa de inclinación de las pendientes.....	107
Figura 17. Imagen del Mapa geomorfológico. ....	109
Figura 18. Imagen del Mapa erosión.....	118
Figura 19. Imagen del Mapa Hidrogeológico del área de estudio .....	120
Figura 20. Principio teórico de operación de las TER's.....	123
Figura 21. Rangos de resistividad para diferentes materiales.....	123
Figura 22. Dispositivo Wenner. ....	128
Figura 23. Imagen mapa topográfico Guateque. ....	130
Figura 24. Perfil 1 tomografía.....	132
Figura 25. Perfil litológico 1 .....	133
Figura 26. Perfil Geotécnico S1.....	139
Figura 27. Límites de Atterbeg .....	140
Figura 28. Guía para la definición del Índice geológico de resistencia (GSI). ....	150
Figura 29. Análisis cinemático, falla por volcamiento .....	158
Figura 30. Análisis cinemático falla planar .....	159



Figura 31. Análisis cinemático falla por cuña .....	159
Figura 32. Perfil geológico AA' .....	162
Figura 33. Modelo de análisis perfil A-A' .....	162
Figura 34. Imagen Mapa de Amenazas.....	169
Figura 35. Imagen Mapa de Vulnerabilidad Física y Social.....	171

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1.	Exploración directa del subsuelo (SPT).....	20
Fotografía 2.	Tejido urbano discontinuo presente en la zona de estudio.....	72
Fotografía 3.	Tejido artificializado de nivel 4 red vial. ....	73
Fotografía 4.	Cultivo De <i>Zea Mays</i> .....	75
Fotografía 5.	<i>Saccharum Officinarum</i> Cultivo Presente en la zona de estudio..	76
Fotografía 6.	<i>Musa Sapientum L.J</i> Presente en la zona de estudio .....	78
Fotografía 7.	Cultivo permanente de <i>Myrtaceaes</i> .....	79
Fotografía 8.	Cultivos agroforestales .....	80
Fotografía 9.	Pastos plantados.....	81
Fotografía 10.	Pastos enmalezados.....	82
Fotografía 11.	Pastos limpios presente en la zona de estudio.....	83
Fotografía 12.	Criterios para la clasificación de los bosques .....	85
Fotografía 13.	Bosque denso bajo de tierra firme .....	87
Fotografía 14.	Cupressaceae.....	89
Fotografía 15.	Arbustos mesofilos.....	90
Fotografía 16.	Parte media del deslizamiento.....	131
Fotografía 17.	Equipo TERRAMETER LS 04-064-250. ....	131
Fotografía 18.	Perforación realizada en la zona de estudio .....	136
Fotografía 19.	Prueba de Penetrometro de Bolsillo .....	137
Fotografía 20.	Muestra fallada en el ensayo de compresión no confinada. ...	142
Fotografía 21.	Muestras a las que se les realizo la prueba de corte directo. .	143
Fotografía 22.	Parte superior del movimiento .....	161
Fotografía 23.	Vista parte alta del movimiento.....	173
Fotografía 24.	Habitante parte alta del movimiento vereda Sibatá. ....	175
Fotografía 25.	Menor con síndrome de Down.....	176
Fotografía 26.	Menor habitante del sector evaluado.....	177
Fotografía 27.	Vivienda de menor con síndrome de Down. ....	178
Fotografía 28.	Construcciones en madera del sector evaluado. ....	180
Fotografía 29.	Casa de la parte urbana visitada. ....	181
Fotografía 30.	Presencia de grietas y humedad en la vivienda.....	182
Fotografía 31.	Agrietamiento de pisos. ....	184
Fotografía 32.	Familia con afectaciones en sus terrenos a causa del deslizamiento. 185	

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

Fotografía 33. Ganado del sector..... 186

Fotografía 34. Vivienda afectada por el movimiento del terreno. .... 187

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

## LISTAS DE ANEXOS

### **ANEXO 1 - MAPAS TEMÁTICOS**

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

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

### **ANEXO 3 – ENSAYOS DE SUELOS**

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

### **ANEXO 5 - HIDROLOGÍA**

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

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

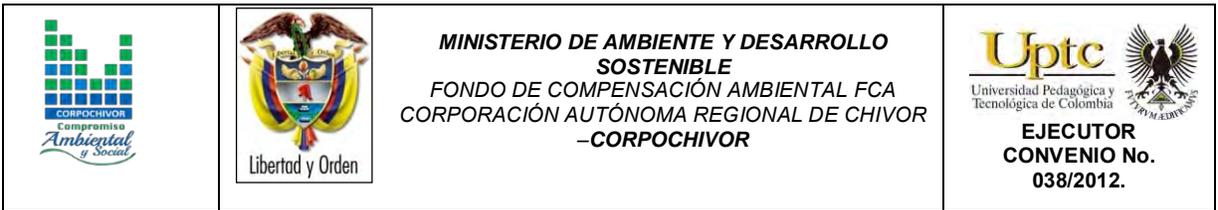
### **ANEXO 8 - ENCUESTAS SOCIOECONÓMICAS**

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

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

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

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



## INTRODUCCION

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

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

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

		<p><b>MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE</b> FONDO DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL FCA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR –CORPOCHIVOR</p>	
--	--	---	--

## 1 GENERALIDADES

### 1.1. PRESENTACION (JUSTIFICACION Y ALCANCE)

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

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

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



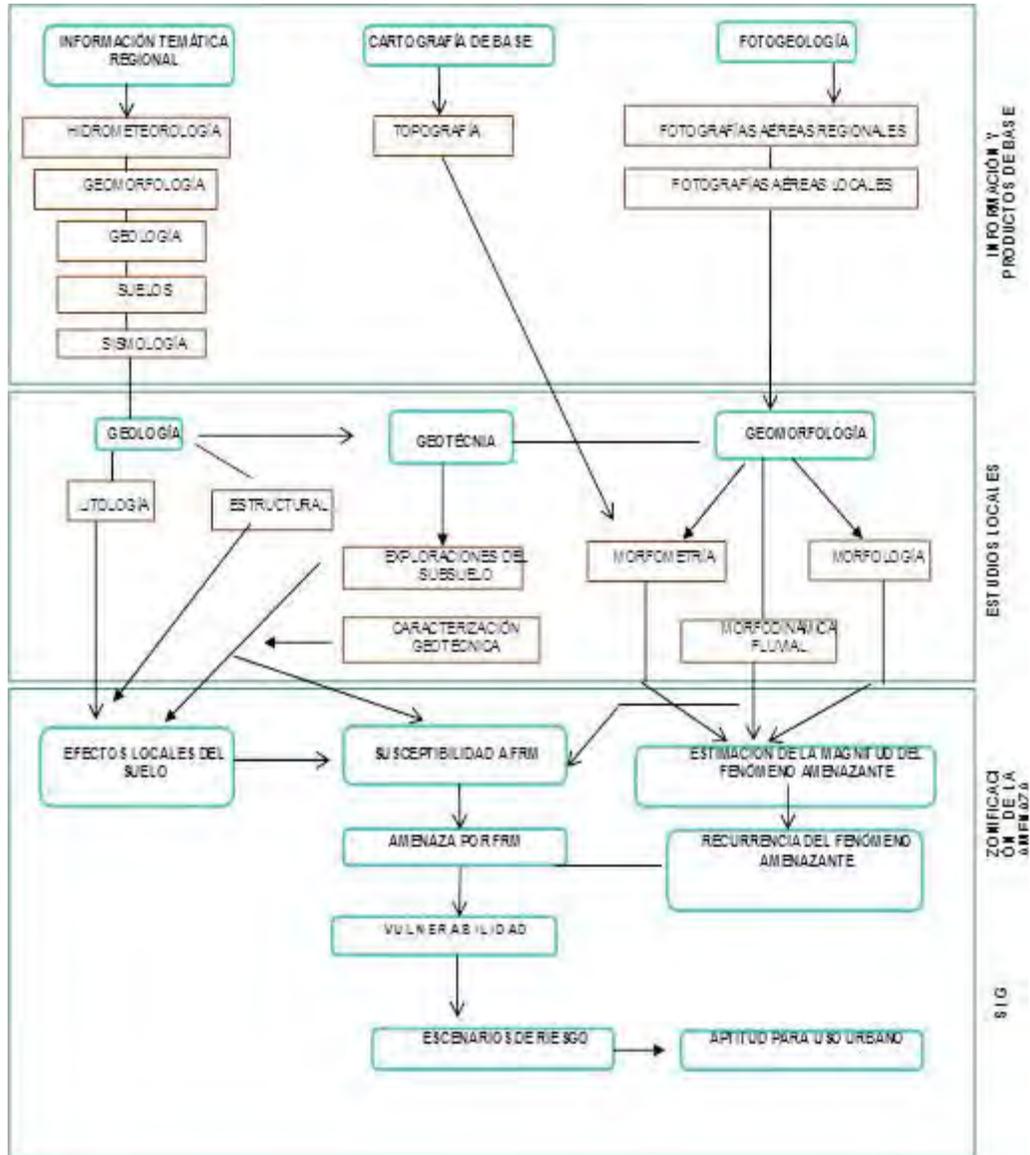
Se aclara que, la metodología de evaluación de amenazas propuesto, involucra como detonantes, las precipitaciones, la actividad sísmica y antrópica, por lo que igualmente se hará una revisión de aspectos endógenos como la ocurrencia, magnitud y posibles áreas de afectación de los sismos asociados.

## **1.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO**

### **1.2.1. Objetivo General**

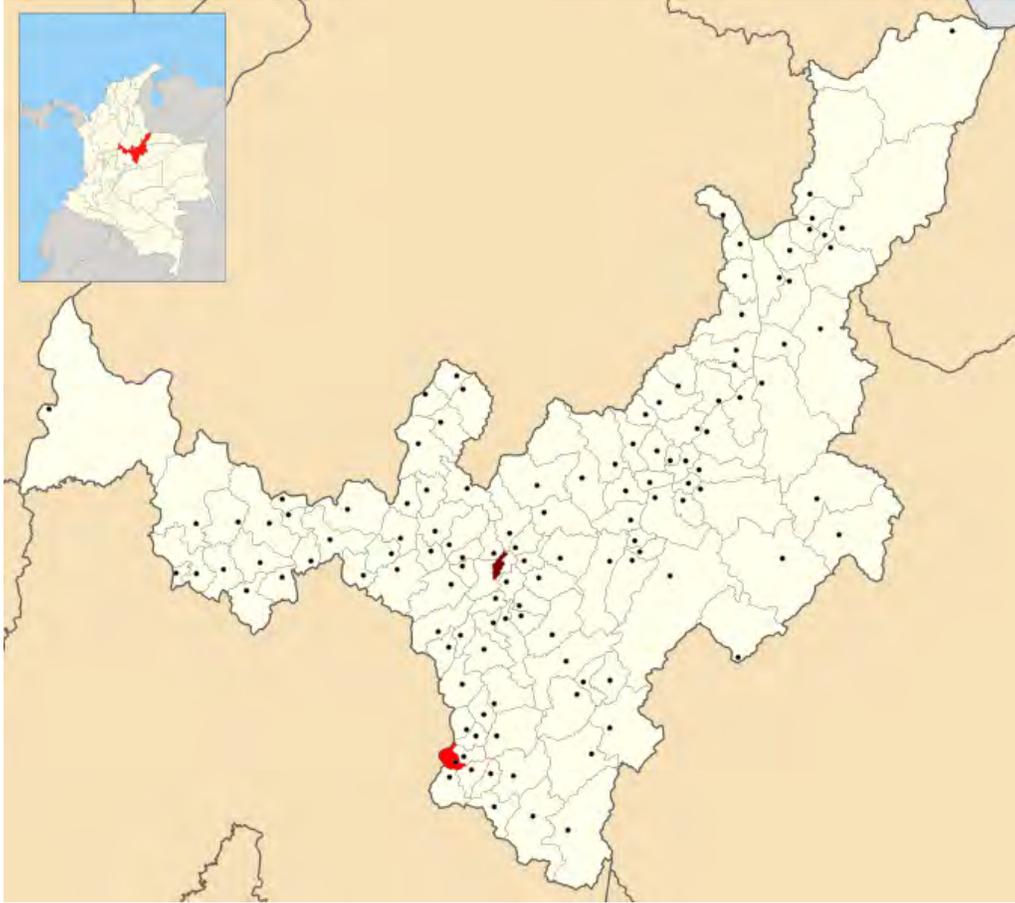
Realizar el estudio de riesgo (amenaza y vulnerabilidad) y diseño de obras en la Vereda Sibatá en el Municipio de Guateque, área afectada por Fenómenos de Remoción en Masa (FRM). Municipio de la Jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Chivor CORPOCHIVOR.

## 1.2.2 Metodología



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

Figura 1. Localización geográfica.

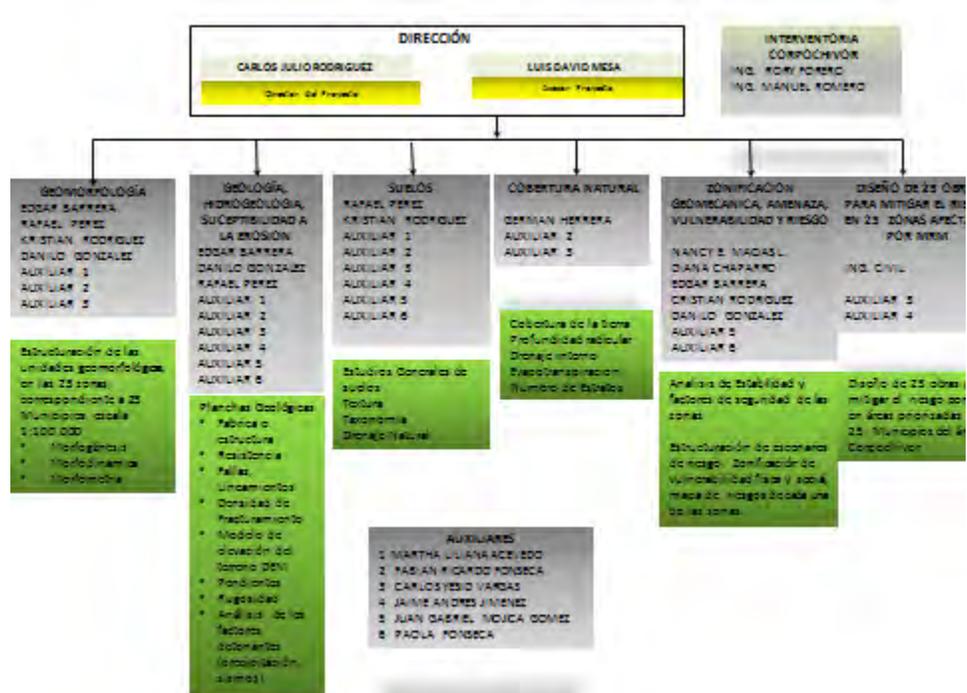


Fuente: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colombia - Boyaca - Guateque.svg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colombia_-_Boyaca_-_Guateque.svg)

El área de Estudio se encuentra en las coordenadas N 1066708, E 1046018, a una altura de 1928 msnm; en la Provincia del Oriente, en el Municipio de Guateque, en la vereda Sibatá.

### 1.3 PERSONAL

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



ORGANIGRAMA



## 1.4 DESCRIPCION DE ACTIVIDADES REALIZADAS

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

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

### 1.5.1. Trabajo de campo

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

El trabajo de campo consistió en:

**Apiques y sondeos geotécnicos.** En total, se realizaron 2 apiques geotécnicos y 1 sondeos manuales por SPT (standar penetration test), en los que se tomaron

muestras para análisis, cuya profundidad de exploración varío 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; lo que permitió 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, calificando la afectación del fenómeno de remoción en masa (FRM), en aspectos estructurales, en donde se resaltó la presencia de fisuras en pisos y paredes (anexo 5). Se averiguó con los habitantes del sector acerca de la manifestación y evolución en el tiempo del fenómeno de remoción en masa (FRM), al igual que su relación con la ocurrencia de lluvias intensas o eventos sísmicos.

## 1.6. ANÁLISIS DE LABORATORIO.

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

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

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 1962 a 2012, de la estación de Sutatenza, Guayata, Manta, Guateque.

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

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



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

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

## 1.7 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.

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

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



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

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

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

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

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

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



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

3. Flujos laterales, procedentes de otros acuíferos

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

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

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

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

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

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



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

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

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

### 2.3. ESTIMACIÓN DE LA ESCORRENTÍA

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

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



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

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

**Dónde:**

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

**P=** Precipitación

**CN=** Número de curva (tablas)

**Q=** Escorrentía

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

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

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

Tipo de vegetación	Tratamiento	Condición Hidrológica	Tipo de suelo			
			A	B	C	D
<b>Barbecho</b>	Desnudo	-	77	86	91	94
	CR	Pobre	76	85	90	93
	CR	Buena	74	83	88	90
<b>Cultivos alineados</b>	R	Pobre	72	81	88	91
	R	Buena	67	78	85	89
	R + CR	Pobre	71	80	87	90
	R + CR	Buena	64	75	82	85
	C	Pobre	70	79	84	88
	C	Buena	65	75	82	86
	C + CR	Pobre	69	78	83	87
	C + CR	Buena	64	74	81	85
	C + T	Pobre	66	74	80	82
	C + T	Buena	62	71	78	81
	C + T + CR	Pobre	65	73	79	81
	C + T + CR	Buena	61	70	77	80
	<b>Cultivos no alineados, o con surcos pequeños o mal definidos</b>	R	Pobre	65	76	84
R		Buena	63	75	83	87
R + CR		Pobre	64	75	83	86
R + CR		Buena	60	72	80	84
C		Pobre	63	74	82	85
C		Buena	61	73	81	84
C + CR		Pobre	62	73	81	84
C + CR		Buena	60	72	80	83
C + T		Pobre	61	72	79	82
C + T		Buena	59	70	78	81
C + T + CR		Pobre	60	71	78	81
C + T + CR		Buena	58	69	77	80
<b>Cultivos densos de leguminosas o prados en alternancia</b>	R	Pobre	66	77	85	89
	R	Buena	58	72	81	85
	C	Pobre	64	75	83	85
	C	Buena	55	69	78	83

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

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

**Dónde:**

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

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

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

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

Tabla 2. Escorrentía Estación Guateque, suelo tipo CL

P	R	S CL (C)	CN
37,9082	91,008333	75,87013	77
45,748072	101,24722		
35,121963	87,261111		
45,496717	100,925		
33,385699	84,891668		
38,406762	91,672222		
32,74775	84,013889		
32,504245	83,677778		
38,806226	92,202778		
49,679082	106,24167		
41,759195	96,088889		
40,833898	94,877778		
37,429786	90,369446		
33,861989	85,544444		
41,991207	96,391667		
16,698587	60,083333		
25,43544	73,625		
46,101748	101,7		
26,88535	75,738888		
26,530976	75,225		

Fuente: Resultado del estudio

Tabla 3. Escorrentía Estación Guateque, suelo tipo CL

17,723386	61,761111
42,475262	97,022222
46,360299	102,03055
47,142064	103,02778
50,588746	107,38611
40,929193	95,002778
40,891069	94,952778
34,39485	86,272222
38,237632	91,447222
47,467298	103,44167
36,638219	89,308332
46,453798	102,15
49,837821	106,44167
37,060468	89,875
44,799395	100,02917
29,511647	79,495833
49,794819	106,3875
50,364345	107,10417
54,809317	112,64583
34,204466	86,0125
48,837451	105,17917
48,508174	104,7625
64,787637	124,8
49,477494	105,9875
46,969807	102,80833
39,370358	92,95
51,627015	108,6875
30,719709	81,195833
43,237812	98,0125
76,015085	138,10417
81,990617	145,05833

Fuente: Resultado del estudio

## 2.4. ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN.

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

Con el fin de conocer el comportamiento de este parámetro hidroclimatológico se utilizaron los datos de 3 estaciones climatológicas (Tabla 4) las cuales se encuentran ubicadas dentro y en áreas colindantes del área de estudio del presente convenio. Con el propósito de obtener el valor (mm) de precipitación media mensual multianual de la zona de estudio se utilizaron los datos mensuales de las estaciones seleccionadas para un periodo de 50 años (1962-2012), estos se utilizaron junto con los datos promedio mensuales multianuales de escorrentía y evapotranspiración para estimar el balance hídrico de las subcuencas del área de estudio.

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

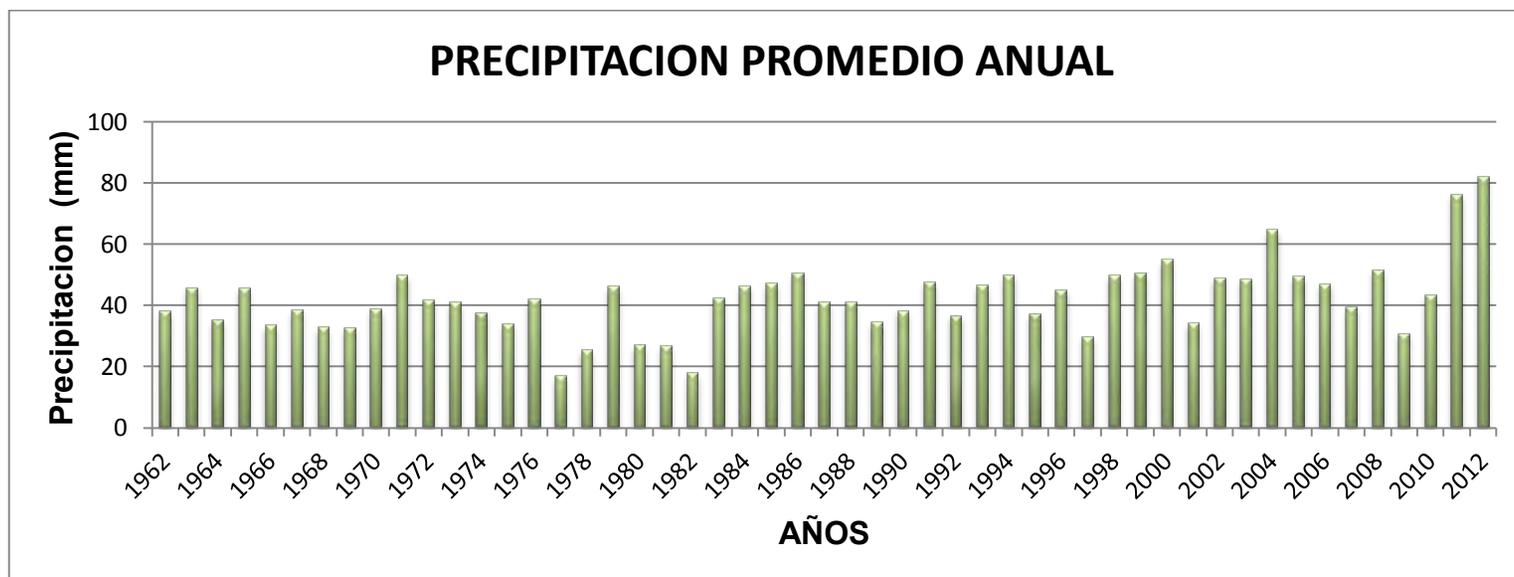
CODIGO	NOMBRE ESTACION	CORRIENTE	NOMBRE DEPARTAMENTO	NOMBRE MUNICIPIO
3507502	SUTATENZA	RIO GARAGOA	BOYACA	SUTATENZA
3507011	GUAYATA	RIO SOMONDOCO	BOYACA	GUAYATA
3507049	MANTA	RIO MACHETA	CUNDINAMARCA	MANTA

Fuente: Resultado del estudio

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

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

Figura 2. Gráfico de precipitación media multianual.

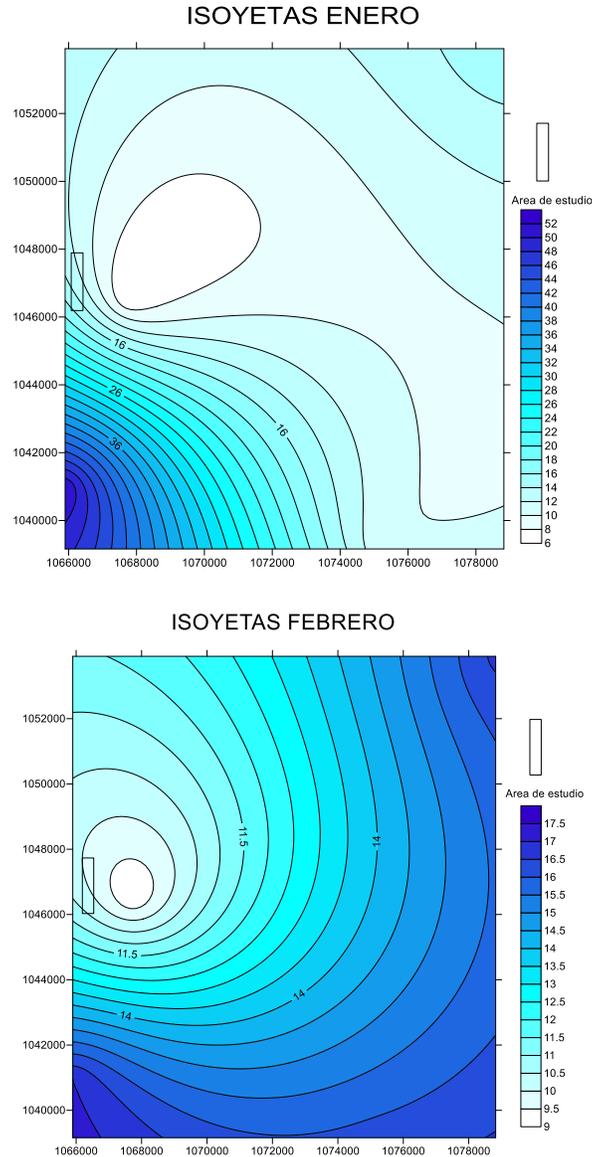


Fuente: Resultado del estudio

El comportamiento de la precipitación promedio anual, para los años 1977, 1978, 1980, 1982, 1997, (Figura 2) se encuentran valores que varían entre los 15 - 30 mm, en los años 1964 -1966 -1970 – 1974 – 1988 – 1995 – 2001 - 2007 - 2010 se encuentran valores que varían entre los 30 - 50 mm y los años restantes se presentan valores que varían entre 60 - 80 mm.

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

Figura 3. Isoyetas mes de Enero y Febrero

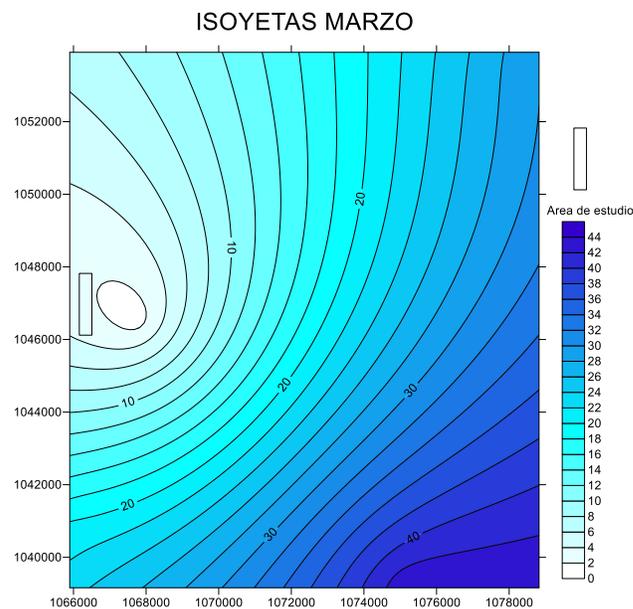


Fuente: Resultado del estudio

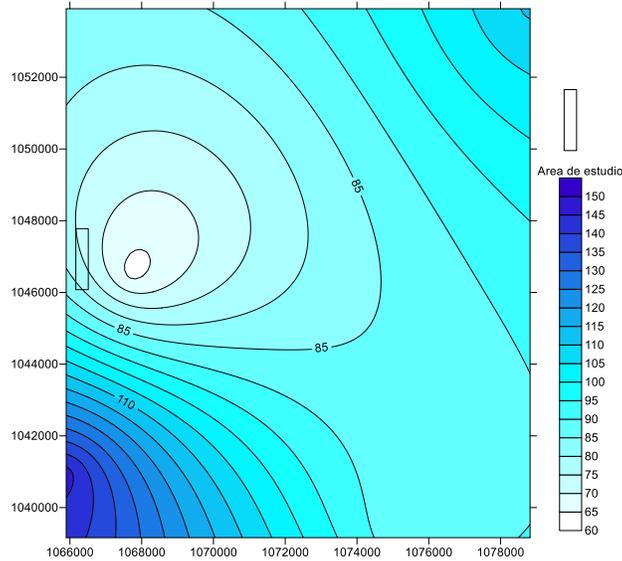
El comportamiento de la precipitación para el mes de Enero correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 12 y 16 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Febrero correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 9.5 y 11 mm.

Figura 4. Isoyetas mes de Marzo y Abril



**ISOYETAS ABRIL**

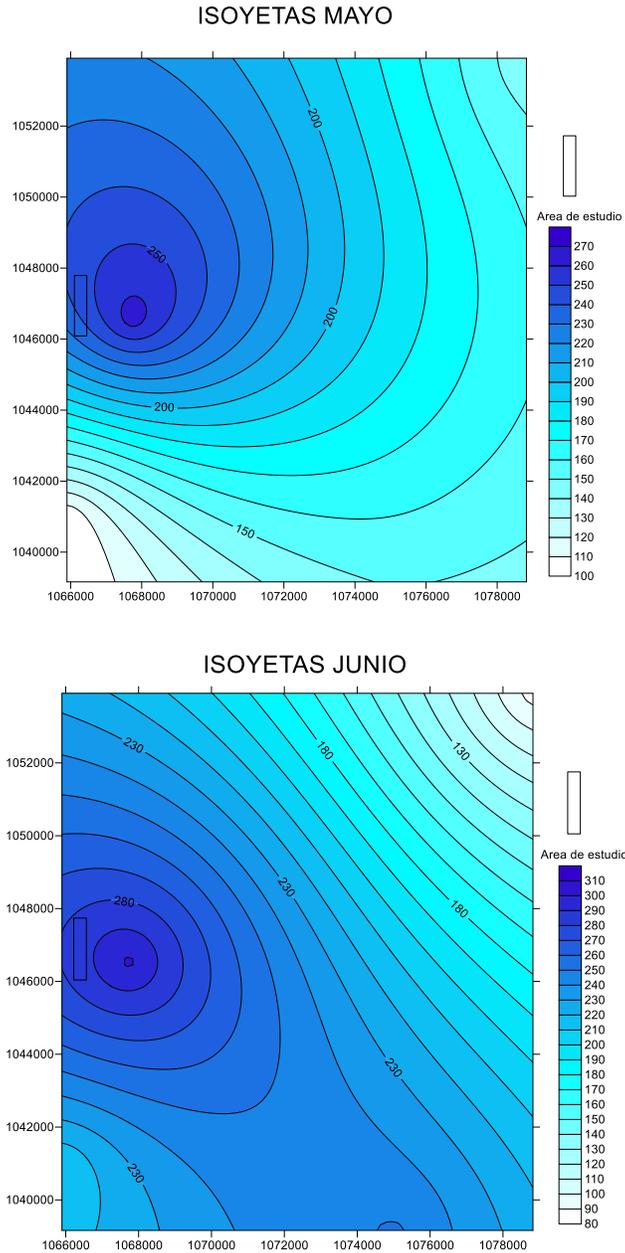


Fuente: Resultado del estudio

El comportamiento de la precipitación para el mes de Marzo correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 6 y 12 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Abril correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 66 y 86 mm.

Figura 5. Isoyetas mes de Mayo y Junio

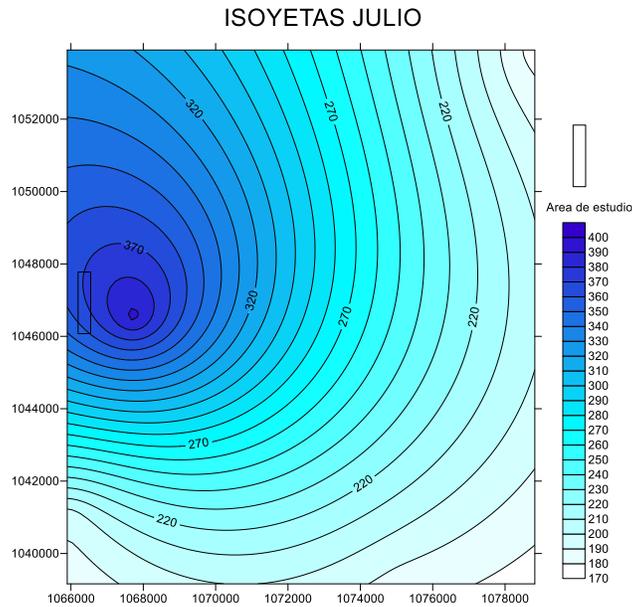


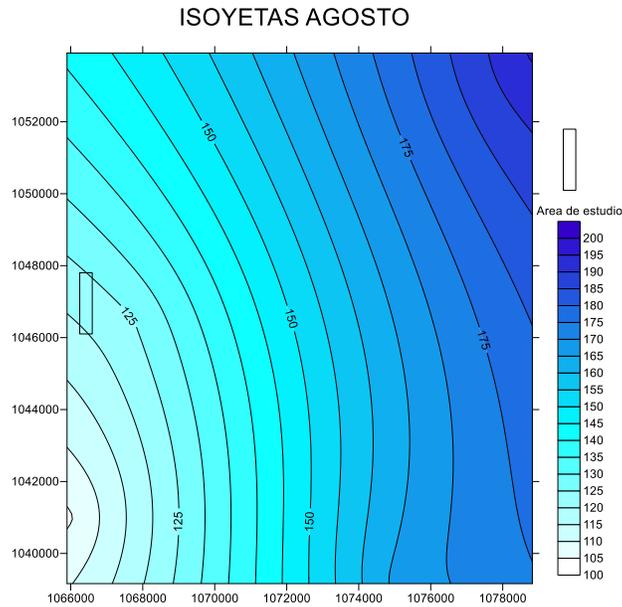
Fuente: Resultado del estudio

El comportamiento de la precipitación para el mes de Mayo correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 190y 270 mm.

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

Figura 6. Isoyetas mes de Julio y Agosto



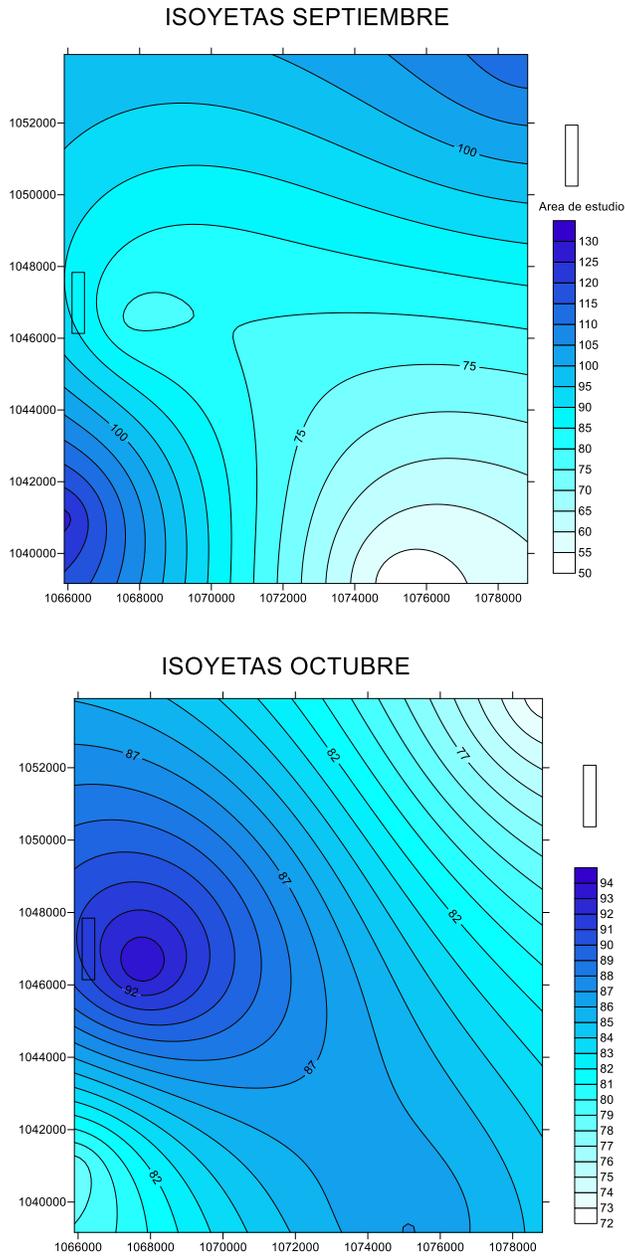


Fuente: Resultado del estudio

El comportamiento de la precipitación para el mes de Julio correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 340 y 400 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Agosto correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 110 y 125 mm.

Figura 7. Isoyetas mes de Septiembre y Octubre

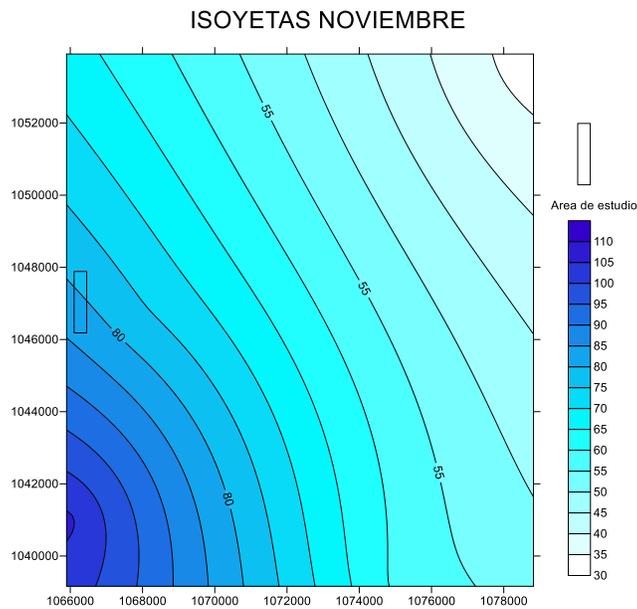


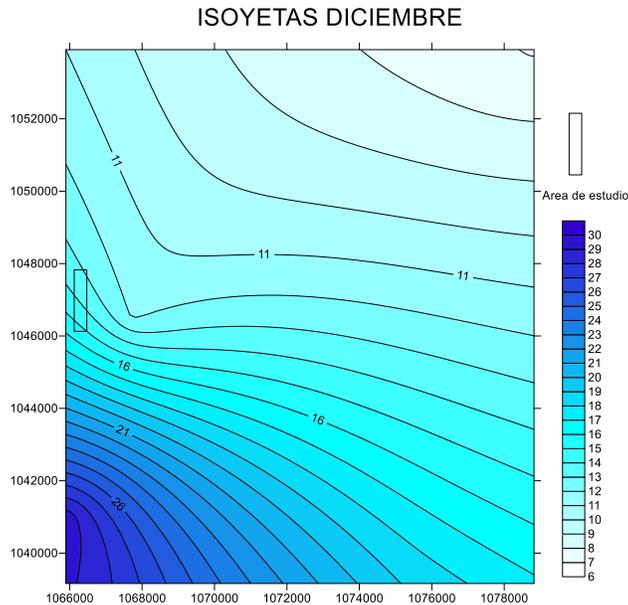
Fuente: Resultado del estudio

El comportamiento de la precipitación para el mes de Septiembre correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 55 y 90 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Octubre correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 67y 94 mm.

Figura 8. 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 65 y 80 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Diciembre correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 12 y 16 mm.

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

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

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

estudio comparativo de fórmulas de ETP potencial realizado por la CAR, en el que se evaluó el índice estacional, el coeficiente de correlación y su relación porcentual.

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

Dónde:

ETP: Evapotranspiración

T: Temperatura media del aire en grados Celsius

HR: Humedad relativa media (%)

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

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

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

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

Tabla 5. Rangos de temperatura Guateque.

	Temperatura (°C)
<b>Periodo 1</b>	15.6
<b>Periodo 2</b>	17.7
<b>Periodo 3</b>	19.4

Fuente: Resultado del estudio



El valor de la humedad relativa (HR) se toma del POT del municipio de Guateque, que corresponde al valor del 66 %. De donde obtenemos:

Tabla 6. Valores de Evapotranspiración

ETP1	ETP2	ETP3
4,47732431	5,38762396	6,22749881

Fuente: Resultado del estudio

### 2.4.3. Estimación del Balance Hídrico

La estimación del balance hídrico para la zona de estudio se realizó partiendo de los resultados del cálculo de precipitación, escorrentía y evapotranspiración media mensual multianual. Para poder calcular los valores de recarga potencial para las cuencas del río Garagoa, esta recarga se estimó por medio del balance hídrico con base en los valores promedios mensuales de precipitación, evapotranspiración potencial y escorrentía calculada por el método de numero de curva de escorrentía, el cual utiliza los parámetros de cobertura vegetal, Índice de infiltración del suelo, condición hidrogeológica.

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



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

#### 2.4.4. Metodología

La metodología utilizada para el cálculo de la recarga.

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

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

**REC**= recarga o infiltración potencial

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

$$I = P - ETR - R$$

Dónde:

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

**ETR** = evapotranspiración real.

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

Tabla 7. Calculo de Infiltración, basado en los valores de escorrentía (R) y precipitación (P).  
Estación Guateque.

AÑO	P	R	I	ETP
1962	37,9082001	91,0083332	48,6228088	4,4773243
1963	45,7480722	101,247221	51,0218246	4,4773243
1964	35,1219632	87,2611112	47,6618237	4,4773243
1965	45,4967167	100,925	50,9509592	4,4773243
1966	33,3856994	84,8916678	47,0286441	4,4773243
1967	38,4067619	91,6722221	48,7881359	4,4773243
1968	32,7477504	84,0138889	46,7888142	4,4773243
1969	32,5042449	83,6777778	46,6962085	4,4773243
1970	38,8062262	92,2027777	48,9192271	4,4773243
1971	49,6790819	106,241667	52,0852604	4,4773243
1972	41,7591948	96,088889	49,8523699	4,4773243
1973	40,8338983	94,8777779	49,5665553	4,4773243
1974	37,4297856	90,3694456	48,4623357	4,4773243
1975	33,8619886	85,5444443	47,2051314	4,4773243
1976	41,9912074	96,3916667	49,9231349	4,4773243
1977	16,6985865	60,0833332	38,9074224	4,4773243
1978	25,4354399	73,625	42,8019362	4,4773243
1979	46,1017475	101,7	50,2106285	5,387624
1980	26,8853499	75,7388878	43,465914	5,387624
1981	26,5309755	75,2249999	43,3064005	5,387624
1982	17,7233862	61,7611112	38,6501011	5,387624
1983	42,4752619	97,0222221	49,1593362	5,387624
1984	46,360299	102,030554	50,2826315	5,387624

Fuente: Resultado del estudio

Tabla 8. Calculo de Infiltración, basado en los valores de escorrentía (R) y precipitación (P).  
Estación Guateque.

1985	47,142064	103,027778	50,4980898	5,387624
1986	50,5887461	107,38611	51,40974	5,387624
1987	40,9291933	95,0027779	48,6859606	5,387624
1988	40,8910694	94,9527777	48,6740843	5,387624
1989	34,3948499	86,2722223	46,4897484	5,387624
1990	38,2376318	91,4472223	47,8219666	5,387624
1991	47,4672984	103,441668	50,5867454	5,387624
1992	36,6382189	89,3083322	47,2824894	5,387624
1993	46,4537983	102,15	50,3085778	5,387624
1994	49,8378207	106,441667	51,216222	5,387624
1995	37,0604676	89,875	46,5870336	5,387624
1996	44,799395	100,029167	49,0022727	6,2274988
1997	29,5116465	79,4958333	43,756688	6,2274988
1998	49,7948193	106,3875	50,365182	6,2274988
1999	50,3643454	107,104167	50,5123226	6,2274988
2000	54,8093173	112,645833	51,6090173	6,2274988
2001	34,2044656	86,0125	45,5805355	6,2274988
2002	48,8374507	105,179167	50,1142171	6,2274988
2003	48,5081736	104,7625	50,0268276	6,2274988
2004	64,7876368	124,8	53,7848646	6,2274988
2005	49,4774943	105,9875	50,2825069	6,2274988
2006	46,9698068	102,808333	49,6110277	6,2274988
2007	39,3703581	92,95	47,3521431	6,2274988
2008	51,6270149	108,6875	50,8329864	6,2274988
2009	30,7197092	81,1958334	44,2486253	6,2274988
2010	43,237812	98,0125	48,5471892	6,2274988
2011	76,015085	138,104167	55,8615827	6,2274988
2012	81,9906172	145,058333	56,8402173	6,2274988

Fuente: Resultado del estudio



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

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



Tabla 9. Estimación del Balance Hídrico

AÑO	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970
PRECIPITACION PROMEDIO	91,0083332	101,247221	87,2611112	100,925	84,8916678	91,6722221	84,0138889	83,6777778	92,2027777
ESCORRENTIA	37,9082001	45,7480722	35,1219632	45,4967167	33,3856994	38,4067619	32,7477504	32,5042449	38,8062262
EVAPOTRANSPIRACION	4,47732431	4,47732431	4,47732431	4,47732431	4,47732431	4,47732431	4,47732431	4,47732431	4,47732431
DELTA	48,62280879	51,02182449	47,66182369	50,95095899	47,02864409	48,78813589	46,78881419	46,69620859	48,91922719
ALMACENAMIENTO	48,6228088	51,0218245	47,6618237	50,950959	47,0286441	48,7881359	46,7888142	46,6962086	48,9192272
DEFICIT									
RECARGA	48,6228088	51,0218245	47,6618237	50,950959	47,0286441	48,7881359	46,7888142	46,6962086	48,9192272

AÑO	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
PRECIPITACION PROMEDIO	106,241667	96,088889	94,8777779	90,3694456	85,5444443	96,3916667	60,0833332	73,625	101,7	75,7388878	75,2249999
ESCORRENTIA	49,6790819	41,7591948	40,8338983	37,4297856	33,8619886	41,9912074	16,6985865	25,4354399	46,1017475	26,8853499	26,5309755
EVAPOTRANSPIRACION	4,47732431	4,47732431	4,47732431	4,47732431	4,47732431	4,47732431	4,47732431	4,47732431	5,38762396	5,38762396	5,38762396
DELTA	52,08526079	49,85236989	49,56655529	48,46233569	47,20513139	49,92313499	38,90742239	43,71223579	50,21062854	43,46591394	43,30640044
ALMACENAMIENTO	52,0852608	49,8523699	49,5665553	48,4623357	47,2051314	49,923135	38,9074224	43,7122358	50,2106285	43,4659139	43,3064004
DEFICIT											
RECARGA	52,0852608	49,8523699	49,5665553	48,4623357	47,2051314	49,923135	38,9074224	43,7122358	50,2106285	43,4659139	43,3064004

AÑO	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
PRECIPITACION PROMEDIO	61,7611112	97,0222221	102,030554	103,027778	107,38611	95,0027779	94,9527777	86,2722223	91,4472223	103,441668	89,3083322
ESCORRENTIA	17,7233862	42,4752619	46,360299	47,142064	50,5887461	40,9291933	40,8910694	34,3948499	38,2376318	47,4672984	36,6382189
EVAPOTRANSPIRACION	5,38762396	5,38762396	5,38762396	5,38762396	5,38762396	5,38762396	5,38762396	5,38762396	5,38762396	5,38762396	5,38762396
DELTA	38,65010104	49,15933624	50,28263104	50,49809004	51,40973994	48,68596064	48,67408434	46,48974844	47,82196654	50,58674564	47,28248934
ALMACENAMIENTO	38,650101	49,1593362	50,282631	50,49809	51,4097399	48,6859606	48,6740843	46,4897484	47,8219665	50,5867456	47,2824893
DEFICIT											
RECARGA	38,650101	49,1593362	50,282631	50,49809	51,4097399	48,6859606	48,6740843	46,4897484	47,8219665	50,5867456	47,2824893

Fuente: Resultado del estudio



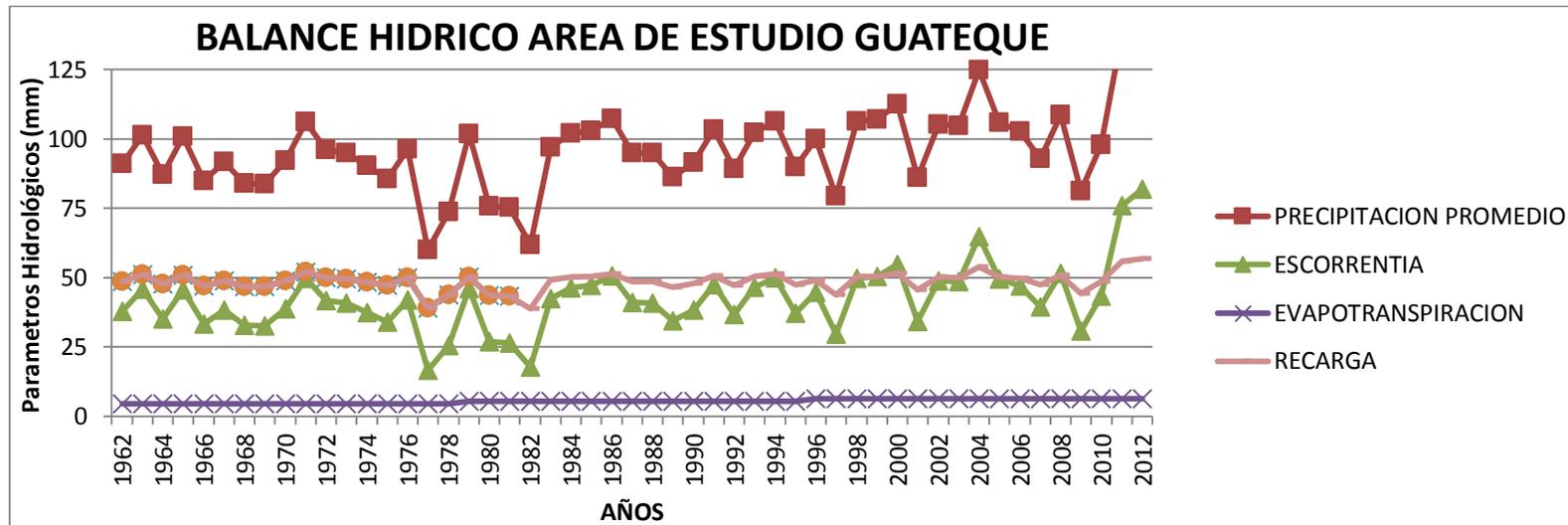
Tabla 10. Estimación del Balance Hídrico

AÑO	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
PRECIPITACION PROMEDIO	102,15	106,441667	89,875	100,029167	79,4958333	106,3875	107,104167	112,645833	86,0125	105,179167	104,7625	124,8
ESCORRENTIA	46,4537983	49,8378207	37,0604676	44,799395	29,5116465	49,7948193	50,3643454	54,8093173	34,2044656	48,8374507	48,5081736	64,7876368
EVAPOTRANSPIRACION	5,38762396	5,38762396	5,38762396	6,22749881	6,22749881	6,22749881	6,22749881	6,22749881	6,22749881	6,22749881	6,22749881	6,22749881
DELTA	50,30857774	51,21622234	47,42690844	49,00227319	43,75668799	50,36518189	50,51232279	51,60901689	45,58053559	50,11421749	50,02682759	53,78486439
ALMACENAMIENTO	50,3085777	51,2162223	47,4269084	49,0022732	43,756688	50,3651819	50,5123228	51,6090169	45,5805356	50,1142175	50,0268276	53,7848644
DEFICIT												
RECARGA	50,3085777	51,2162223	47,4269084	49,0022732	43,756688	50,3651819	50,5123228	51,6090169	45,5805356	50,1142175	50,0268276	53,7848644

AÑO	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
PRECIPITACION PROMEDIO	105,9875	102,808333	92,95	108,6875	81,1958334	98,0125	138,104167	145,058333
ESCORRENTIA	49,4774943	46,9698068	39,3703581	51,6270149	30,7197092	43,237812	76,015085	81,9906172
EVAPOTRANSPIRACION	6,22749881	6,22749881	6,22749881	6,22749881	6,22749881	6,22749881	6,22749881	6,22749881
DELTA	50,28250689	49,61102739	47,35214309	50,83298629	44,24862539	48,54718919	55,86158319	56,84021699
ALMACENAMIENTO	50,2825069	49,6110274	47,3521431	50,8329863	44,2486254	48,5471892	55,8615832	56,840217
DEFICIT								
RECARGA	50,2825069	49,6110274	47,3521431	50,8329863	44,2486254	48,5471892	55,8615832	56,840217

Fuente: Resultado del estudio

Figura 9. 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:

Nº	X
1	149,0
2	237,0
3	191,0
4	276,0
5	238,0
6	210,0
7	180,0
8	296,0
9	167,0
10	208,0
11	270,0

Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov:

m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom Lineal	Delta
1	149,0	0,0833	0,0215	0,0415	0,0618
2	167,0	0,1667	0,0944	0,1284	0,0723
3	180,0	0,2500	0,1898	0,2242	0,0602
4	191,0	0,3333	0,2909	0,3187	0,0424
5	208,0	0,4167	0,4583	0,4697	0,0417
6	210,0	0,5000	0,4775	0,4869	0,0225
7	237,0	0,5833	0,7001	0,6889	0,1168
8	238,0	0,6667	0,7068	0,6951	0,0401
9	270,0	0,7500	0,8639	0,8465	0,1139
10	276,0	0,8333	0,8830	0,8659	0,0497
11	296,0	0,9167	0,9301	0,9153	0,0134



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

Como el delta teórico 0,1168, es menor que el delta tabular 0,4101. Los datos se ajustan a la distribución Gumbel, con un nivel de significación del 5%

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

Con momentos ordinarios:

Parámetro de posición ( $\mu$ )= 198,8056

Parámetro de escala (alfa)= 37,0332

Con momentos lineales:

Parámetro de posición ( $\mu_l$ )= 196,5015

Parámetro de escala (alfal)= 41,025

-----  
Caudal de diseño:  
-----

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 2 años, es 212,38

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 5 años, es 254,35

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 10 años, es 282,14

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 25 años, es 317,26

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 50 años, es 343,31

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 75 años, es 358,45

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 100 años, es 369,16

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 500 años, es 428,92

## **2.6. MORFOMETRÍA DE LA CUENCA**

Los parámetros morfométricos de una cuenca permiten establecer las características geométricas de la misma, la cual determina en alto grado la susceptibilidad que ésta tiene para presentar, en sucesos eventuales o con el transcurso del tiempo, inundaciones y Avenidas Torrenciales; por ejemplo: una

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

microcuenca alargada muestra una amenaza baja por avenidas torrenciales, porque permite disipar con facilidad una precipitación abundante de corta duración, lo inverso sucede con una microcuenca redonda. Para objeto de este estudio, se analizarán únicamente las Avenidas Torrenciales, ya que por las características topográficas de la región, es poco posible que se presentes inundaciones propiamente dichas. Los parámetros morfométricos determinados para todas las cuencas de la jurisdicción se enuncian a continuación:

Área de la Cuenca (A)

Perímetro de la cuenca (P)

Coeficiente de compacidad (C).

Coeficiente de redondez (K).

Densidad de drenaje (Dd)

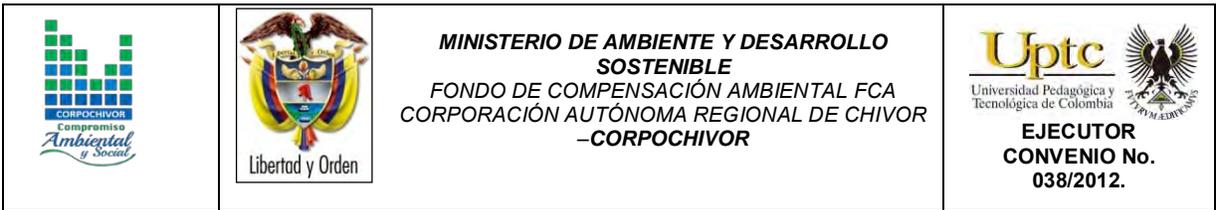
Pendiente media de la corriente (IC)

Área de la Cuenca (A)

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

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

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



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

C= 1: Cuenca de forma compacta redonda.

C= 1.20: Cuenca semicompacta semioxal redonda

C= 1.50: Cuenca semicompacta oblonga

C > 1: Cuenca semicompacta rectángulo – oblonga

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

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

K = 1: Redonda

K > 1: Semiredonda

K < 1: Irregular

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

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

Dd < 0.5 : Baja

Dd = 0.5 : Media

Dd > 1 : Alta

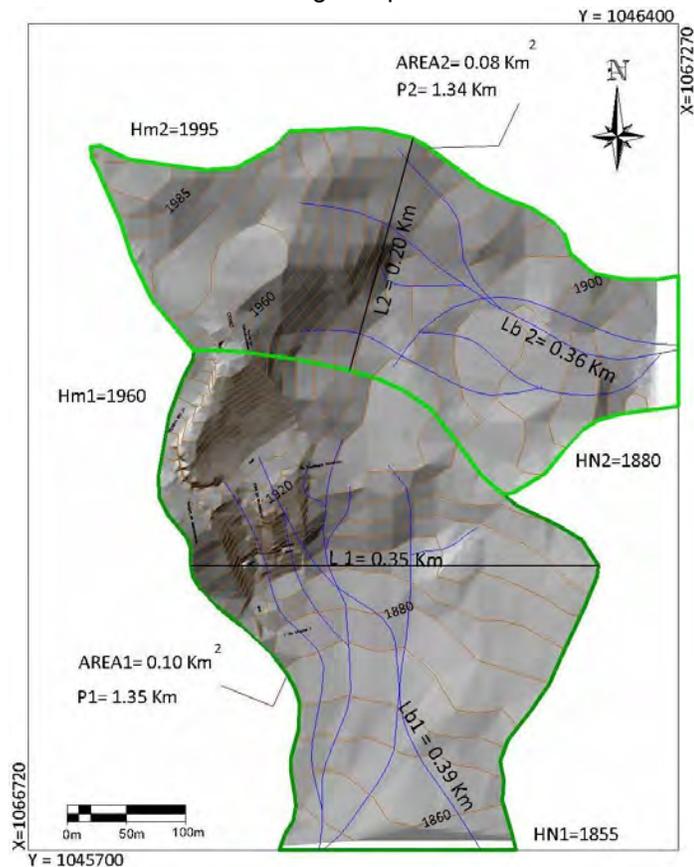
▪ **Tiempo de concentración (Tc)** Es el tiempo que gasta una gota de agua en recorrer el sitio más lejano de la cuenca a la desembocadura del cauce principal.

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

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

A continuación resumimos en la Tabla 11 y Tabla 12 el resultado de los cálculos morfométricos a la cuenca local de Guateque analizadas para el presente estudio.

Figura 10. Imagen ilustrativa de la cuenca local guateque



Fuente: Resultado del estudio

Tabla 11. Valores de parámetros morfométricos para la cuenca local 1

NOMBRE CUENCA	Área de la Cuenca en Km (A)	Perímetro de la cuenca Km (P)	longitud de la cuenca Km (Lb)	el ancho mayor Km (l)	longitud acumulada de todas las corrientes Km (Ld)	longitud acumulada de todas las corrientes Km (Ld)
Río Garagoa	0.10	1.35	0.39	0.35	1.71	1960
Cota Mínima de la Cuenca(Hn)	Diferencia de Altura Km (Hc)	Razón de Relieve (Rr)	Número de Corrientes(Nc)	Frecuencia de Corrientes (Cauces/Km2)	Pendiente media de Corriente Ic % (Ic)	Índice de Alargamiento (Ia)
1855	0.11	0.27	2.00	19.94	26.60	1.14
COEFICIENTE DE COMPACIDAD (C). FORMA Y SUSCEPTIBILIDAD		COEFICIENTE DE REDONDEZ (K). FORMA Y SUSCEPTIBILIDAD		DENSIDAD DE DRENAJE (Dd)		TIEMPO DE CONCENTRACIÓN en horas (TC)
0.39	SEMI REDONDA	0.39	Irregular	17.06	Densidad Muy Alta	0.07
AMPLITUD DE LA CUENCA (W). TIEMPO DE CONCENTRACIÓN DE ESCORRENTÍA		ELONGACIÓN DE LA CUENCA (RE). FORMA		ÍNDICE DE HOMOGENEIDAD (IH). FORMA		SUSCEPTIBILIDAD
0.25	crítico	0.91	Redonda	0.74	Irregular	4

Fuente: Resultado del estudio

Tabla 12. Valores de parámetros morfométricos para la cuenca 2

NOMBRE CUENCA	Área de la Cuenca en Km (A)	Perímetro de la cuenca Km (P)	longitud de la cuenca Km (Lb)	el ancho mayor Km (l)	longitud acumulada de todas las corrientes Km (Ld)	longitud acumulada de todas las corrientes Km (Ld)
Rio Garagoa	0.08	1.34	0.36	0.20	1.32	1995
Cota Mínima de la Cuenca(Hn)	Diferencia de Altura Km (Hc)	Razón de Relieve (Rr)	Número de Corrientes(Nc)	Frecuencia de Corrientes (Cauces/Km2)	Pendiente media de Corriente Ic % (Ic)	Índice de Alargamiento (Ia)
1880	0.12	0.32	2.00	23.78	32.12	1.75
COEFICIENTE DE COMPACIDAD (C). FORMA Y SUSCEPTIBILIDAD		COEFICIENTE DE REDONDEZ (K). FORMA Y SUSCEPTIBILIDAD		DENSIDAD DE DRENAJE (Dd)		TIEMPO DE CONCENTRACIÓN en horas (TC)
0.38	SEMI REDONDA	0.38	Irregular	15.74	Densidad Muy Alta	0.07
AMPLITUD DE LA CUENCA (W). TIEMPO DE CONCENTRACIÓN DE ESCORRENTÍA		ELONGACIÓN DE LA CUENCA (RE). FORMA		ÍNDICE DE HOMOGENEIDAD (IH). FORMA		SUSCEPTIBILIDAD
0.23	crítico	0.91	Redonda	1.15	Semicuadrada	4

Fuente: Resultado del estudio

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

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

## 2.7. USO ACTUAL Y COBERTURA DEL SUELO

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

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

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

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



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

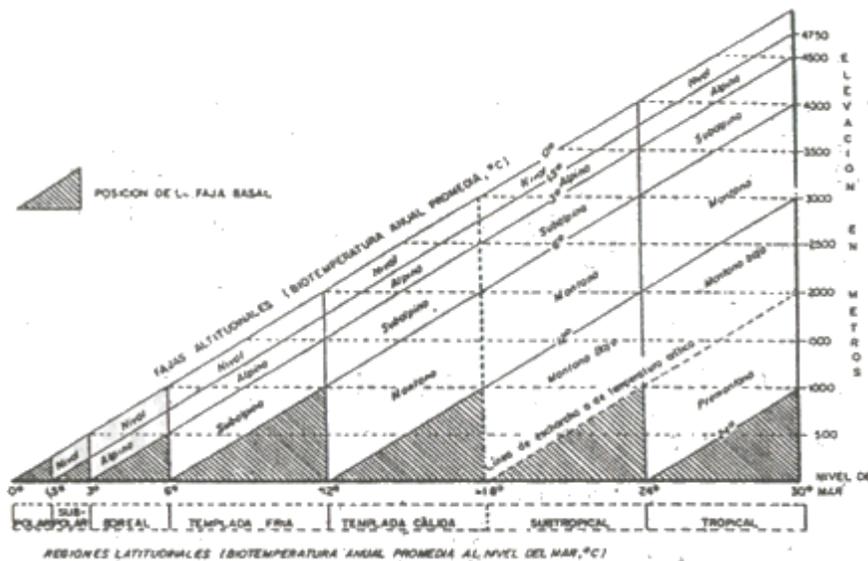
Investigaciones aplicadas a los cambios en la cobertura vegetal están teniendo un mayor grado atención debido esencialmente a las implicaciones de la deforestación. A nivel regional, dicho mecanismo ocasiona la disminución e incluso la pérdida de la cobertura vegetal, el detrimento de los recursos forestales,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

### **2.7.1. 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 guía de las regiones latitudinales y las fajas altitudinales del sistema mundial de zonas de vida de Holdridge, (basado en una tasa de cambio de .6°C por cada 1000m).



Fuente: Holdridge, L., 1987.

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

#### BOSQUE PREMONTANO TROPICAL SUB HUMEDO A HUMEDO

Las características más importantes de estos pisos son: En general las condiciones climáticas de la zona presentan una biotemperatura que oscila entre los 15° y 18° y un promedio anual de lluvias entre 1000 y 1400 mm, aproximadamente se presentan en altitudes entre 1600 y 2000 m.s.n.m. para el



municipio. La topografía se da en una variedad de paisajes territorios en donde sus terrenos muestran: valles aluviales, ríos con cuencas de arrugadas topografías y laderas, desde suavemente inclinadas hasta fuertemente quebradas, relieve de cuevas y coluvios de abanico, colinas erosiónales.

La vegetación ha sido muy cambiada, resultado de la gran afinidad del hombre por estos climas colocando en ellas grandes asentamientos humanos. En estas zonas se hace una explotación intensiva del suelo con cultivos como café, plátano, maíz, frijol, yuca, arracacha, y frutales en menor intensidad como: Cítricos, aguacate, pomo, mango, papaya, guayaba, chirimoya.

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

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

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



Colombia existen actualmente múltiples metodologías y sistemas de clasificación para levantar información de las coberturas de la tierra.

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

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

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



- Estructuración de la información.

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

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

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

### **2.7.3. 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).
- Identificación de los usos y/o destinos específicos dados por las comunidades, incluyendo los usos culturales.

#### **2.7.4. 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:

### TEJIDO URBANO DISCONTINUO

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

Fotografía 2. Tejido urbano discontinuo presente en la zona de estudio.



Fuente: Registro Fotográfico

## ZONAS INDUSTRIALES O COMERCIALES Y REDES DE COMUNICACIÓN

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

## RED VIAL, FERROVIARIA Y TERRENOS ASOCIADOS

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

Fotografía 3. Tejido artificializado de nivel 4 red vial.



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

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

### CULTIVOS TRANSITORIOS

Comprende las áreas ocupadas con cultivos cuyo ciclo vegetativo es menor a un año, Llegando incluso a ser de solo unos pocos meses, como por ejemplo algunas *solanaceaes*, *cucurbitaceaes*, *rosáceas*, la mayor parte de las hortalizas y algunas especies de flores a cielo abierto. Tienen como característica fundamental, que después de la cosecha es necesario volver a sembrar o plantar para seguir produciendo.

### CEREALES

Cobertura compuesta principalmente por cultivos transitorios de gramíneas (las gramíneas son plantas herbáceas que presentan una gran amplitud ecológica, por lo que se suelen encontrar formando parte de la vegetación natural y ornamental o agronómica de las poblaciones humanas. A esta familia botánica pertenecen especies que son fuentes importantes de alimento para el hombre y para el ganado).

### MAÍZ

Tierras que presentan una cobertura vegetal compuesta por plantas herbáceas de la familia de las gramíneas, de altura muy variable (entre 60 cm y 3 m), hojas grandes, alternas y lineares, tallos rectos y flores agrupadas en panículas las masculinas y en espigas las femeninas.

Fotografía 4. Cultivo De Zea Mays



Fuente: Registro Fotográfico

## CULTIVOS PERMANENTES

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

## CULTIVOS PERMANENTES HERBÁCEOS

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

## CAÑA

La *Saccharum officinarum* de la familia de la familia de las Poaceas, son plantas cespitosas con tallos de hasta 5 m x 2-5 cm, con numerosos entrenudos alargados vegetativamente, dulces y jugosos, desnudos abajo. vainas glabras o

pelosas; lígula de 2-4 mm; láminas 1-2 m x 2-6 cm, glabras o la costilla media pelosa. Panícula 25-50 cm; pedúnculo glabro o densamente puberulento; eje peloso; entrenudos del raquis de 5 mm, glabros. Espiguillas 3-4 mm, agudas, con tricomas de hasta 7 mm; gluma inferior glabra; lema inferior ciliada in el 1/ 2 superior; lema superior y arista generalmente ausentes; anteras 3, 1.5-2 mm.

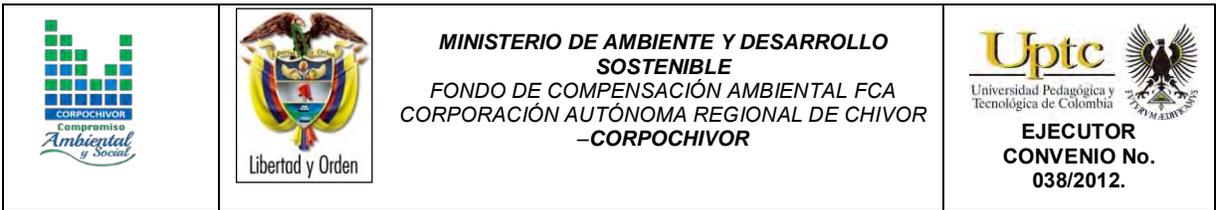
Fotografía 5. *Saccharum Officinarum* Cultivo Presente en la zona de estudio



Fuente: Registro Fotográfico

## PLÁTANO

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



vainas presenta marcas negras, mientras que la basal se orla de rojo. Ambas son glaucas y pruinosas.

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

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

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

Fotografía 6. *Musa Sapientum L.J* Presente en la zona de estudio



Fuente: Registro Fotográfico

## CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS

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

Fotografía 7. Cultivo permanente de *Myrtaceae*



Fuente: Registro Fotográfico

## CULTIVOS AGROFORESTALES

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

Fotografía 8. Cultivos agroforestales



Fuente: Registro Fotográfico

### PASTOS PLANTADOS

Cobertura ocupada por arreglos espaciales antrópicos donde se combinan pastos destinados a ganadería con plantaciones arbóreas destinadas a todo tipo de producción (madera, leña, rútales, resinas, etc.), frecuentemente llamados silvopastoriles; donde la característica principal de la cobertura es que el aumento en el detalle no implica la subdivisión en unidades puras, porque éstas se encuentran combinadas en la misma área, alternadas por surcos o hileras de árboles con pastos.

Fotografía 9. Pastos plantados



Fuente: Registro Fotográfico

## PASTOS

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

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

## PASTOS ENMALEZADOS O ENRASTROJADOS.

Son las coberturas representadas por tierras con pastos y malezas conformando asociaciones de rastrojos, debido principalmente a la realización de escasas

prácticas de manejo o la ocurrencia de procesos de abandono. En general, la altura del rastrojo es menor a 1,5 metros.

Fotografía 10. Pastos enmalezados



Fuente: Registro Fotográfico

## PASTOS LIMPIOS

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

El deslizamiento descendió por esta cobertura, facilitándole su avance y velocidad debido a la ausencia de cobertura vegetales mayores como bosques bajos. esta exposición del suelo a los agentes erosivos es debido a la disminución de la cubierta vegetal por el pastoreo y a la remoción del suelo por el pisoteo. Estos

factores favorecen a la erosión hídrica y a la erosión Eólica Sumados a la Inclinación Facilitaron El Deslizamiento. El sobrepastoreo facilita la desertificación de áreas semiáridas y la desprotección de las escorrentías. Esto último influye también en el balance de las aguas superficiales y subterráneas.

Fotografía 11. Pastos limpios presente en la zona de estudio



Fuente: Registro Fotográfico

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

- Presencia de vegetación herbácea muy baja, como si se hubiera "cortado el pasto" en un jardín. Esto se puede ver si el lugar tiene cierta humedad que permita su recuperación.
- Presencia de "pie de vaca", que se visualiza a la distancia como líneas paralelas aproximadamente horizontales que se ven en las zonas serranas, a modo de "arrugas" en la montaña y que son caminos de recorrido y pastoreo del ganado.

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

- Vegetación herbácea muy rala, en algunos casos inexistente, con tierra suelta y removida, hasta incluso con abundancia de huellas de animales.
- Preponderancia de especies leñosas espinosas bajas, con muy pocas hierbas, característica del *fachinal*.
- Composición florística herbácea conformada fundamentalmente por hierbas poco *palatables* o no *palatables* para el ganado, debido a que las apetecidas por los animales fueron comidas por el constante pastoreo.

## BOSQUES

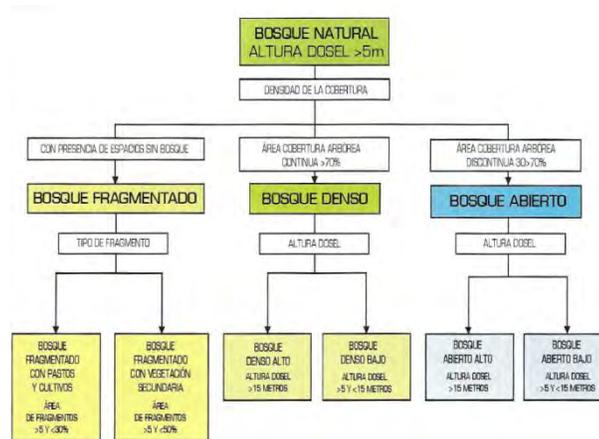
Comprende las áreas naturales o seminaturales, constituidas principalmente por elementos arbóreos de especies nativas o exóticas. Los árboles son plantas leñosas perennes con un solo tronco principal, que tiene una copa más o menos definida.

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

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

La altura es definida por la altura total del dosel, sin incluir emergentes. Para efectos de este estudio, se adaptó la clasificación propuesta por Caín y Castro (1959), quienes definen como bajos los estratos de árboles con altura menor a ocho metros; intermedios a los estratos de árboles con alturas comprendidas entre 8 y 15 metros; y como estratos de árboles altos los que tienen altura superior a 15 metros. De esta manera, para esta leyenda, se unieron los estratos bajo e intermedio en uno solo denominado como bajo. Para la interpretación de las coberturas de la tierra, los bosques se clasifican, entonces, a partir de la densidad de la cobertura arbórea, en densos y abiertos; de acuerdo con la altura del dosel, los bosques se clasifican en altos y bajos; y de acuerdo con la condición de inundabilidad del terreno donde se ubican los bosques, se clasifican en inundables y de tierra firme. De esta manera, se obtiene la clasificación que se explica a continuación:

Fotografía 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 13. Bosque denso bajo de tierra firme



Fuente: Registro Fotográfico

## PLANTACIÓN FORESTAL

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

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

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

## CUPRESSACEAE

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

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

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

Fotografía 14. Cupressaceae



Fuente: Registro Fotográfico

### 2.7.5. 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

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

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.

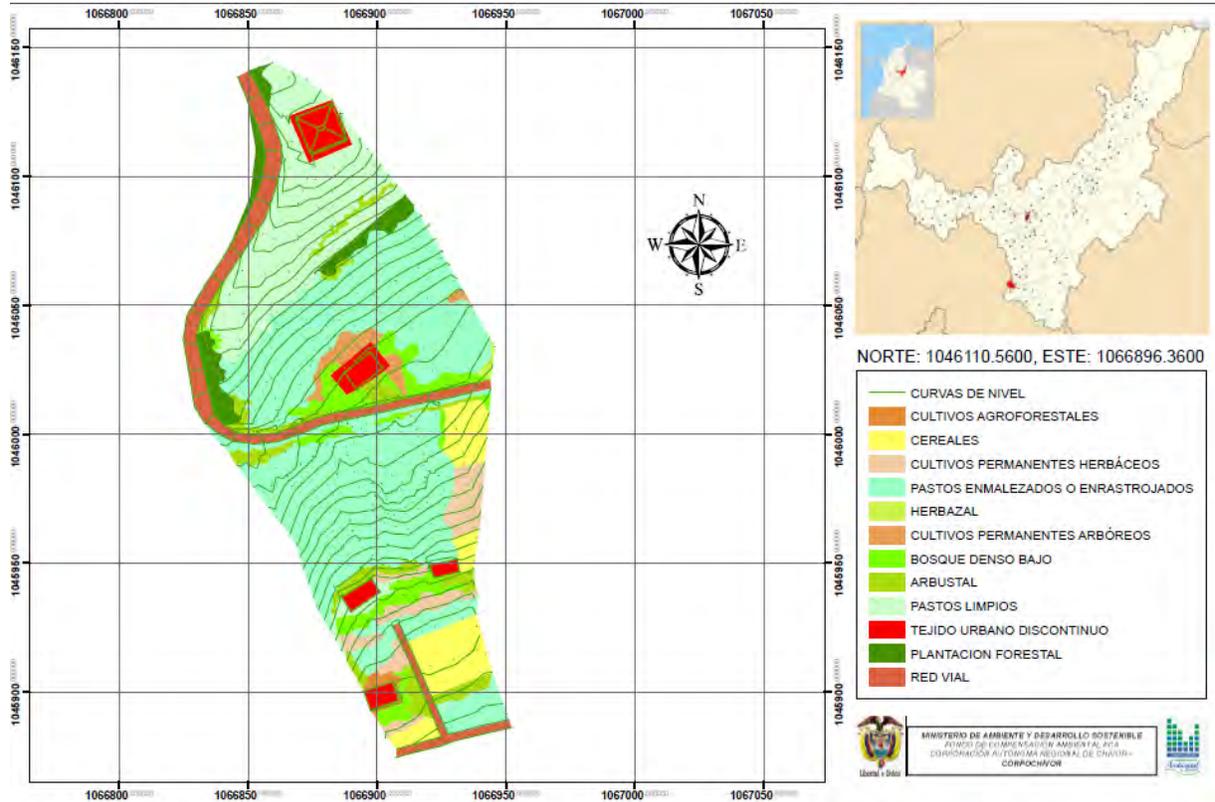
Fotografía 15. Arbustos mesofilos



Fuente: Registro Fotográfico

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

Figura 12. Mapa cobertura vegetal y uso de suelo



Fuente: Resultado del estudio

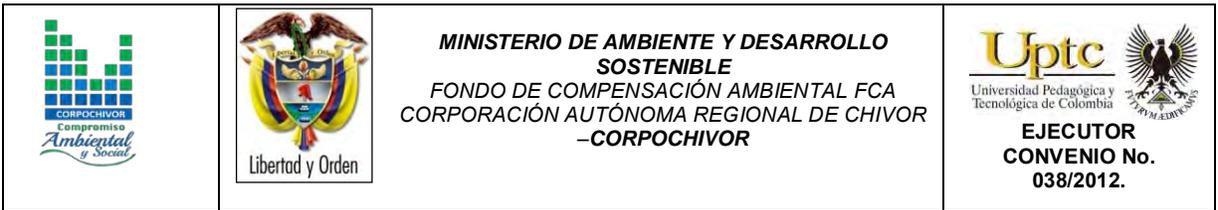
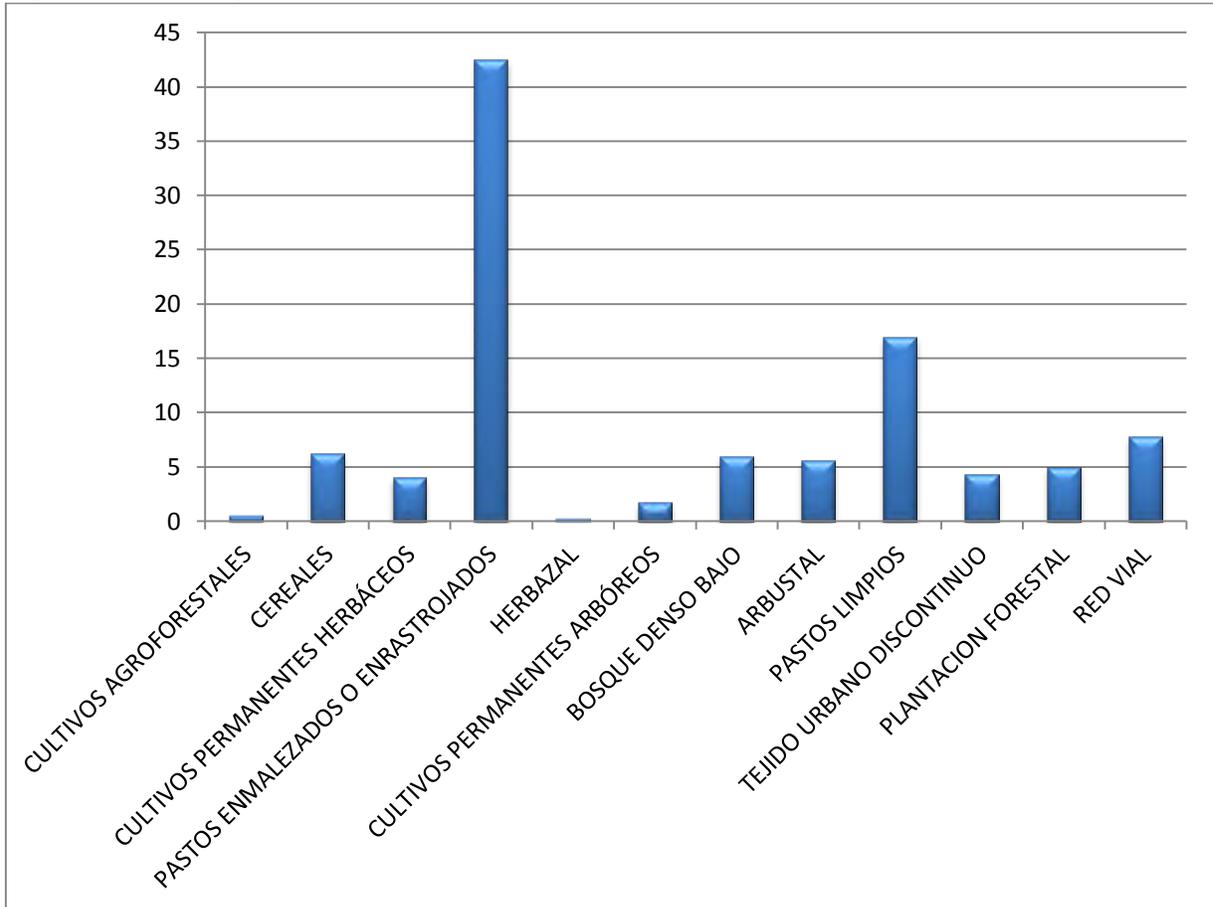


Tabla 13. Áreas de coberturas.

<b>TIPO DE COBERTURA</b>	<b>AREA m<sup>2</sup></b>
<b>CULTIVOS AGROFORESTALES</b>	89
<b>CEREALES</b>	1231
<b>CULTIVOS PERMANENTES HERBÁCEOS</b>	781
<b>PASTOS ENMALEZADOS O ENRASTROJADOS</b>	8425
<b>HERBAZAL</b>	36
<b>CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS</b>	320
<b>BOSQUE DENSO BAJO</b>	1165
<b>ARBUSTAL</b>	1095
<b>PASTOS LIMPIOS</b>	3348
<b>TEJIDO URBANO DISCONTINUO</b>	842
<b>PLANTACION FORESTAL</b>	981
<b>RED VIAL</b>	1538

Fuente: Resultado del estudio

Figura 13. Porcentaje de coberturas



Fuente: Resultado del estudio

### 2.7.7. 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.

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

<b>Familia</b>	<b>Nombre científico</b>	<b>Nombre común</b>
Agavaceae	Agave americana	Fique
Agavaceae	Furcraea sp	Maguey
Asteraceae	Baccharis latifolia (Ruiz & pav.) Pers.	Chilca
Asteráceae	Diplostephium rosmarinifolius (Benth.) Wedd.	Romero de paramo
Asteraceae	Baccharis floribundum kunth	Chilca
Asteraceae	Bidens simplicifolia c.h. Wright	Chipaca
Asteraceae	Vernonia sp.	Hoja de agua
Asteraceae	Hypochoeris radicata	Roseta
Asteraceae	Chromolaena scabra (l. F.) R.m. King & h. Rob.	
Asteraceae	Gnaphalium sp.	
Asteraceae	Ageratina boyacensis r.m. King & h. Rob.	
Betulaceae	Alinus jorullensis	Aliso
Bromeliaceae	Racinaetha tetrantha (ruiz & Pav) M.A. Spencer & L.B. Sm.	Bromelia, quinche
Escalloniaceae	Escallonia pendula	
Euforbiaceae	Manihot utilissima	Yuca
Euphorbiaceae	Croton funckianus	Sangregao
Fabaceae	Erythrina rubrinervia kunth	Chocho
Melastomatacea	Miconia ligustina	Tuno

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

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

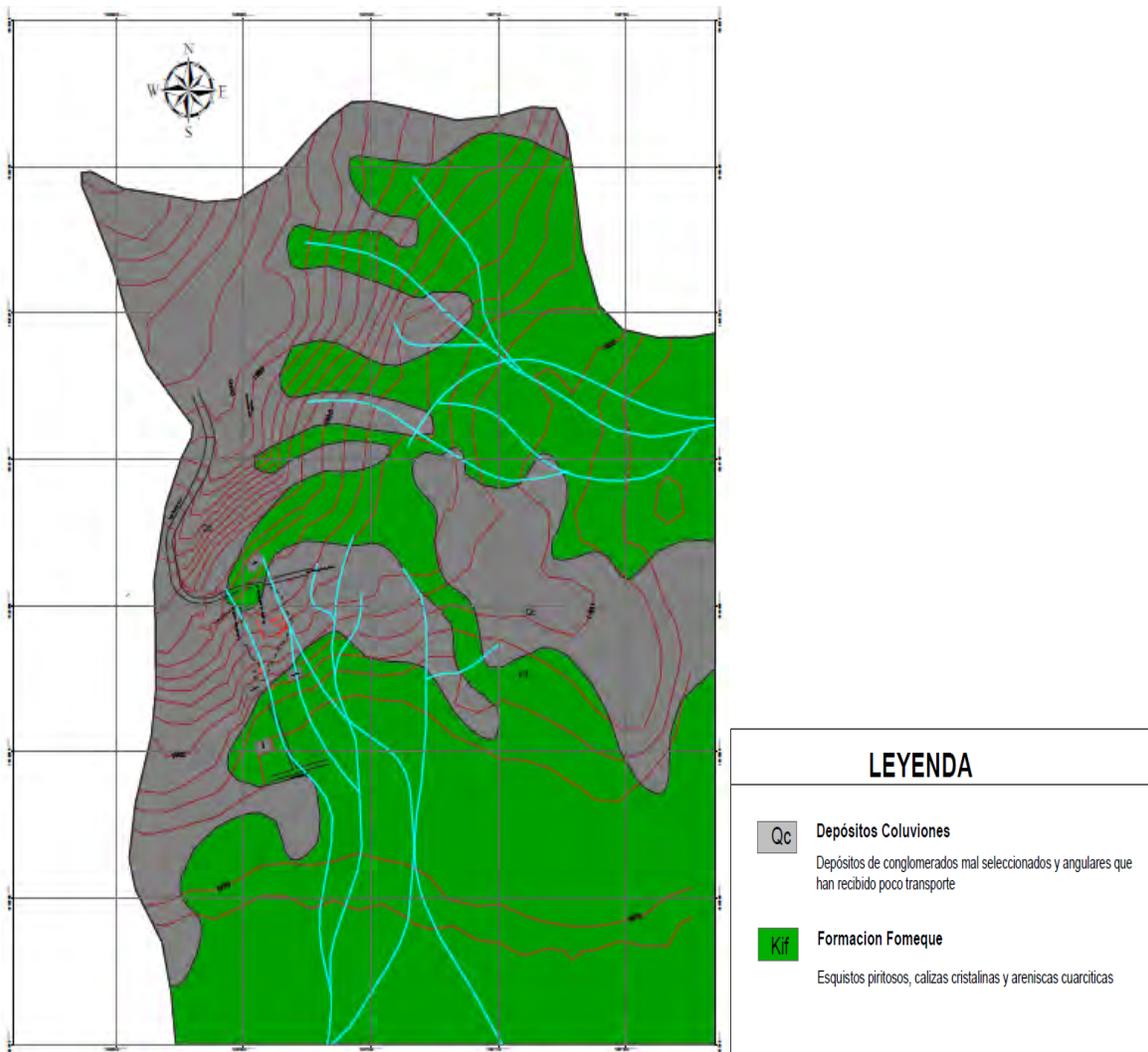
Melastomataceae	Miconia sp	Tuno
Myrtaceae	psidium guajava	Guayaba
Poaceae	Holcus lanatus l.	Pasto
Poaceae	Anthoxanthum odoratum	Pasto de olor
Poaceae	Andropogon rufus (nees) kunth	
Poaceae	Sacharum officinarun	Caña dulce
Poaceae	Zea mays	Maiz
Poaceae	Melinis minutiflora	Pasto gordura
Poaceae	Axonopus scoparius	Pasto imperial
Poaceae	Pennisetum clandestinum	Pasto kikuyo
Salicaceaea	Salix humboltiana	Sauce
Solanaceae	Salanum licopersicum	Tomate

Fuente: Resultado del estudio

### 3. GEOLOGIA

En el área del municipio afloran rocas de edad cretácea de origen marino, hasta depósitos más recientes de edad cuaternaria depositados en ambientes continentales (aluviales y coluviales)

Figura 14. Imagen mapa geológico área de estudio



Fuente: Resultado del estudio

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

### 3.1. GEOLOGÍA HISTÓRICA

Las rocas encontradas en el municipio de Guateque, fueron depositadas en un ambiente sedimentario marino somero, con circulación restringida (Rodríguez y Ulloa, 1976), cuando existía una cuenca oceánica antigua, en la que por fluctuaciones del nivel del mar se sedimentaron, acumularon y litificaron diferentes tipos de rocas, originando de esta manera las formaciones presentes a lo largo de la Cordillera Oriental.

Las rocas encontradas en el área municipal de Guateque, tienen edades que van desde el Cretáceo (Formación Fómeque), las cuales fueron depositadas en un ambiente marino somero, hasta depósitos más recientes, representados en cuaternarios, derivados en su mayoría por eventos fluviales y glaciáricos.

### 3.2. GEOLOGIA LOCAL.

#### 3.2.1. Formación Fómeque (Kif).

El nombre de esta unidad fue dado por Hubach (1957 a); en Rodríguez y Ulloa, 1979 a); en Rodríguez y Ulloa, 1979b). Esta Formación está constituida principalmente por shales grises a negros, interestratificados, con limolitas grises, lodolitas calcáreas y lentejones de calizas grises oscuras a negras, con frecuentes intercalaciones de cuarzo, arenitas grises oscuras a negra, con frecuentes intercalaciones de cuarzo, arenitas grises, micáceas, de grano fino, en capas medias a gruesas de hasta 3 m de espesor.

Las características litológicas y paleontológicas de esta unidad indican un ambiente deposito marino somero. Su edad fue establecida por Hubach (en

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

Kehrer, 1933), como Barremiano Medio a Aptiano Superior. Hubach considera que la parte superior de la unidad abarca el Albiano Inferior, opinión que es sustentada por Burgl (1961) y por Rodríguez y Ulloa (1976), con base en la fauna colectada en la carretera Guateque – Santa María.

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

Son depósitos recientes, poco consolidados y que se presentan en formas irregulares y de origen variado, en la zona están representados principalmente por depósitos Coluviales (Qc) y depósitos aluviales (Qal)

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

Este tipo de depósitos son formados principalmente en las laderas de los ríos y quebradas, cuyos agentes geodinámicos son generalmente de orden hidrogravitacional y fluvio-glaciar.

#### **3.2.2.2. Depósitos Aluviales (Al).**

Corresponden a los materiales depositados en los valles actuales de los ríos y afluentes mayores de la región, como la Quebrada Los Carranzas y el Río Súnuba.

### **3.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.**

En el área de influencia del municipio se observan amplios anticlinales y sinclinales, alargados y simétricos, los cuales se presentan principalmente en las secuencias Cretácicas de la Formación Fomeque (Kif), y en algunos sectores cubiertos por depósitos Coluviales; la dirección preferencial de dichas estructuras



es NE –SW, producto de compresión de esfuerzos perpendiculares a la dirección de estas.

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

#### **3.3.1.1. Sinclinal de Movitas.**

Estructura simétrica con una dirección de su eje entre 45° y 50° hacia el NE, y afecta principalmente rocas de la Formación Fómeque, en la parte sur de la Vereda Cantoras, mientras que en la parte Central y norte de la misma vereda, así como en la Vereda Chorro Tinto, Chorro de Oro Y Sibatá, se encuentra cubierto por un depósito coluvial.

### **3.3.2. Fallas.**

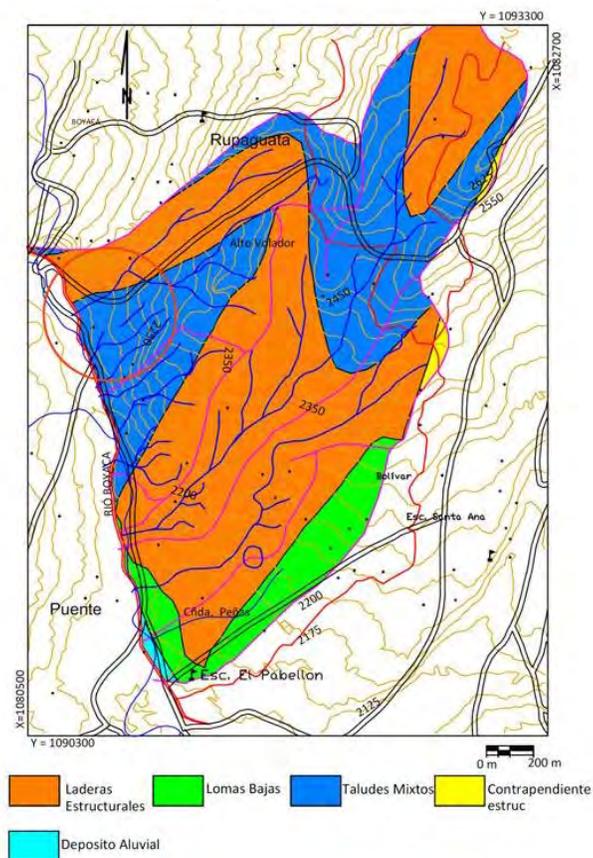
#### **3.3.2.1. Falla Súnuba.**

Es una falla de tipo normal, con una dirección perpendicular a los pliegues estructurales, truncado al Anticlinal de Guayatá. El eje de la falla es casi paralelo al cauce del Río Súnuba.

#### 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 Guateque, se pueden distinguir claramente 5 unidades geomorfológicas, diferenciadas por su relieve y procesos geodinámicos, las cuales son; lomas bajas, taludes mixtos, contrapendiente estructural y deposito; aluvial tal como se muestra en la Figura 15.

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



Fuente: CORPOCHIVOR para ser integrada al SIAT.

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

#### ▪ **Lomas bajas**

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

#### ▪ **Contrapendiente estructural**

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

#### ▪ **Deposito aluvial**

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

### **4.1. GEOMORFOLOGÍA LOCAL**

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

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



Igualmente, se aclaran los criterios utilizados para definir las unidades geomorfológicas. Como resultado final, se elaboró el Plano geomorfológico del área de estudio y las fichas de los Inventarios de los procesos.

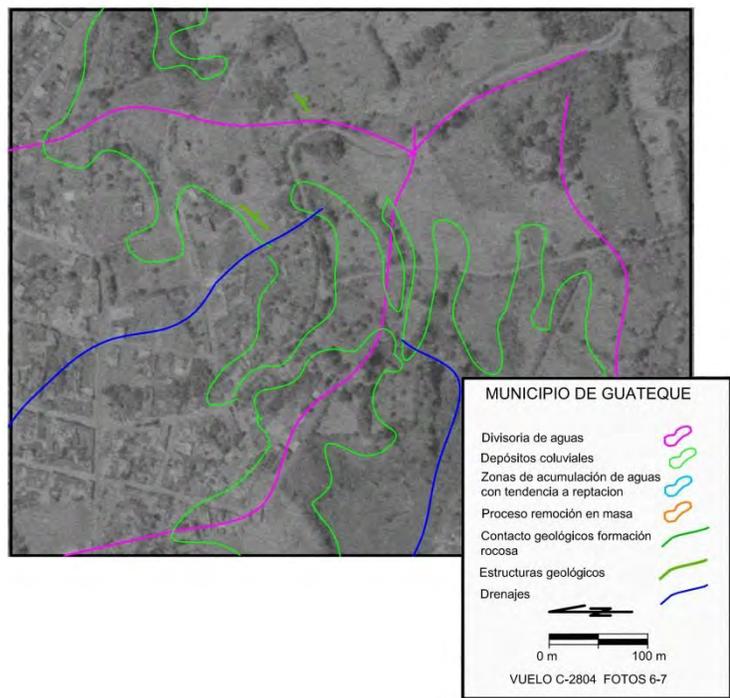
#### **4.2. ANÁLISIS FOTOGEOLÓGICO**

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

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

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

**Figura 1. Fotografías pertenecientes al vuelo 2804- 6,7 tomadas por el IGAC, durante los años 90.**



Fuente: Resultado del estudio.

### **4.3. PROCESOS MORFODINÁMICOS**

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

#### **4.3.1. Desprendimientos**

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

perdiendo apoyo en su base, se van desplomando progresivamente, en el área predomina una vegetación rala y pequeña, incapaz de retener el suelo, donde facilita la inestabilidad de proceso.

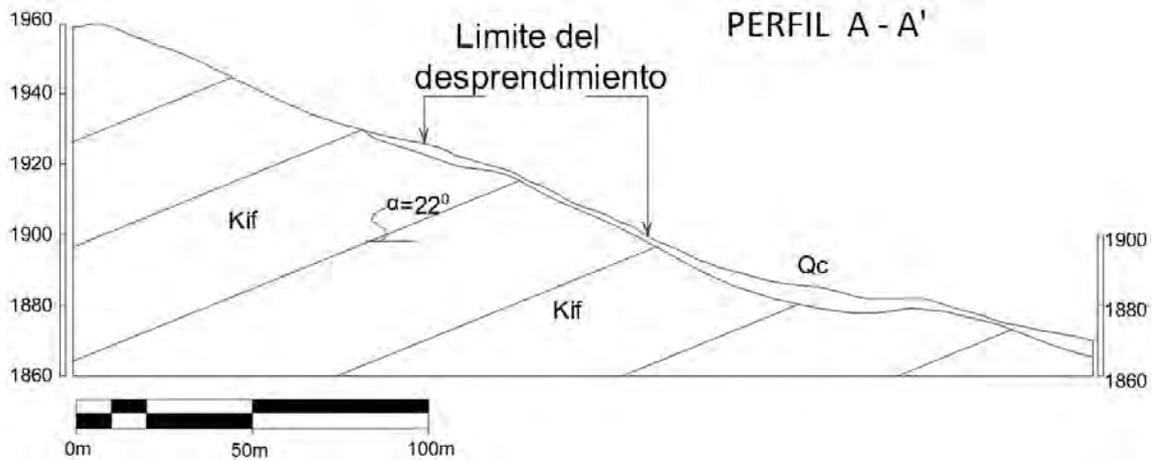
**Figura 2. Esquema del Proceso de Desprendimiento**



Fuente: Resultado del estudio.

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

**Figura 3. Esquema del movimiento, perfil desprendimiento**

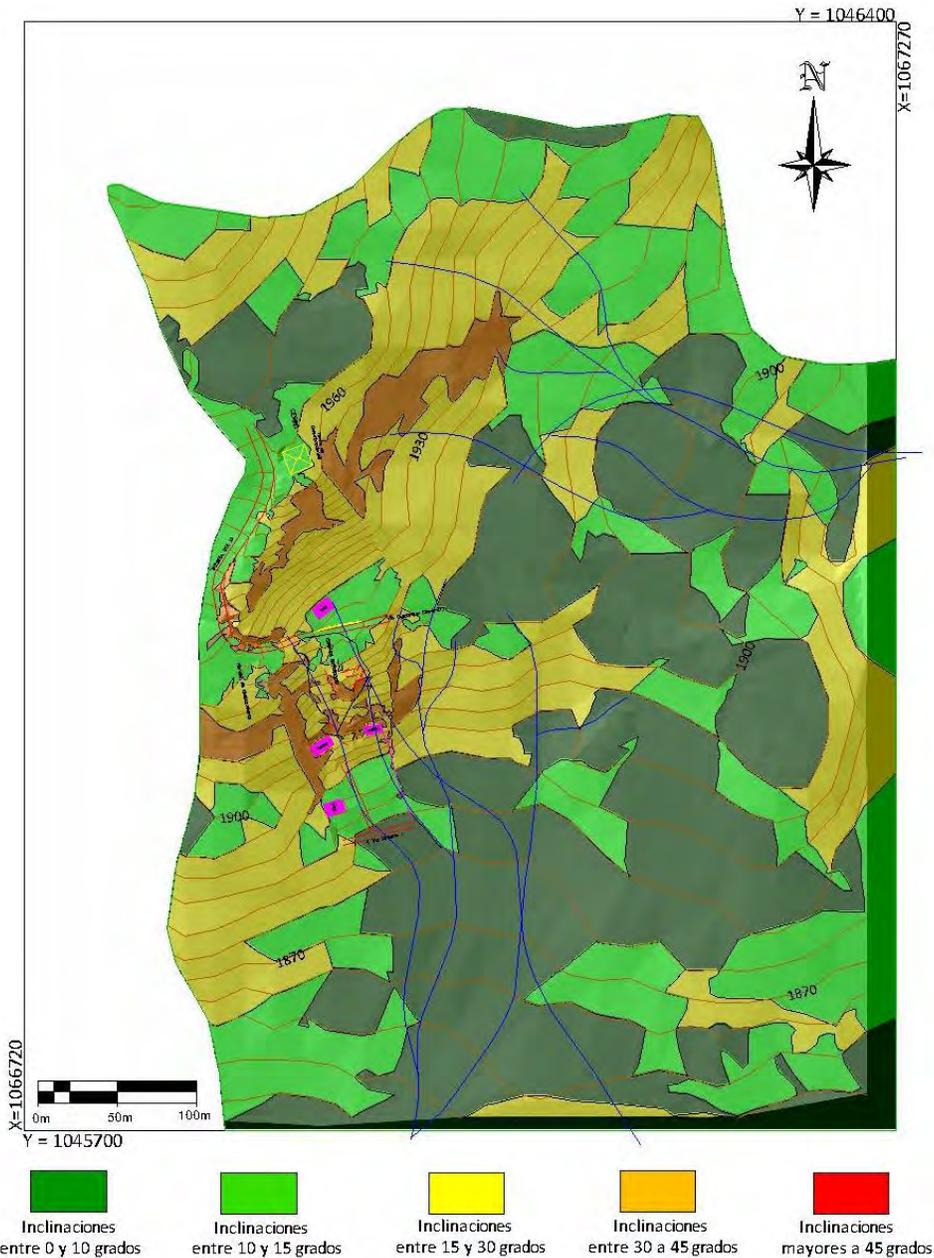


Fuente: Resultado del estudio

#### 4.4. INCLINACIÓN DE LAS PENDIENTES

A partir de un modelo digital de terreno generado tras la digitalización de curvas de nivel a una escala 1:25.000, se generó el mapa de pendientes con cinco clases para el área de estudio. Los valores de susceptibilidad de este parámetro o variable son presentados en la Figura 16.

Figura 16. Imagen del Mapa de inclinación de las pendientes.



Fuente: Resultado del estudio

Tabla 14. Clasificación de las pendientes.

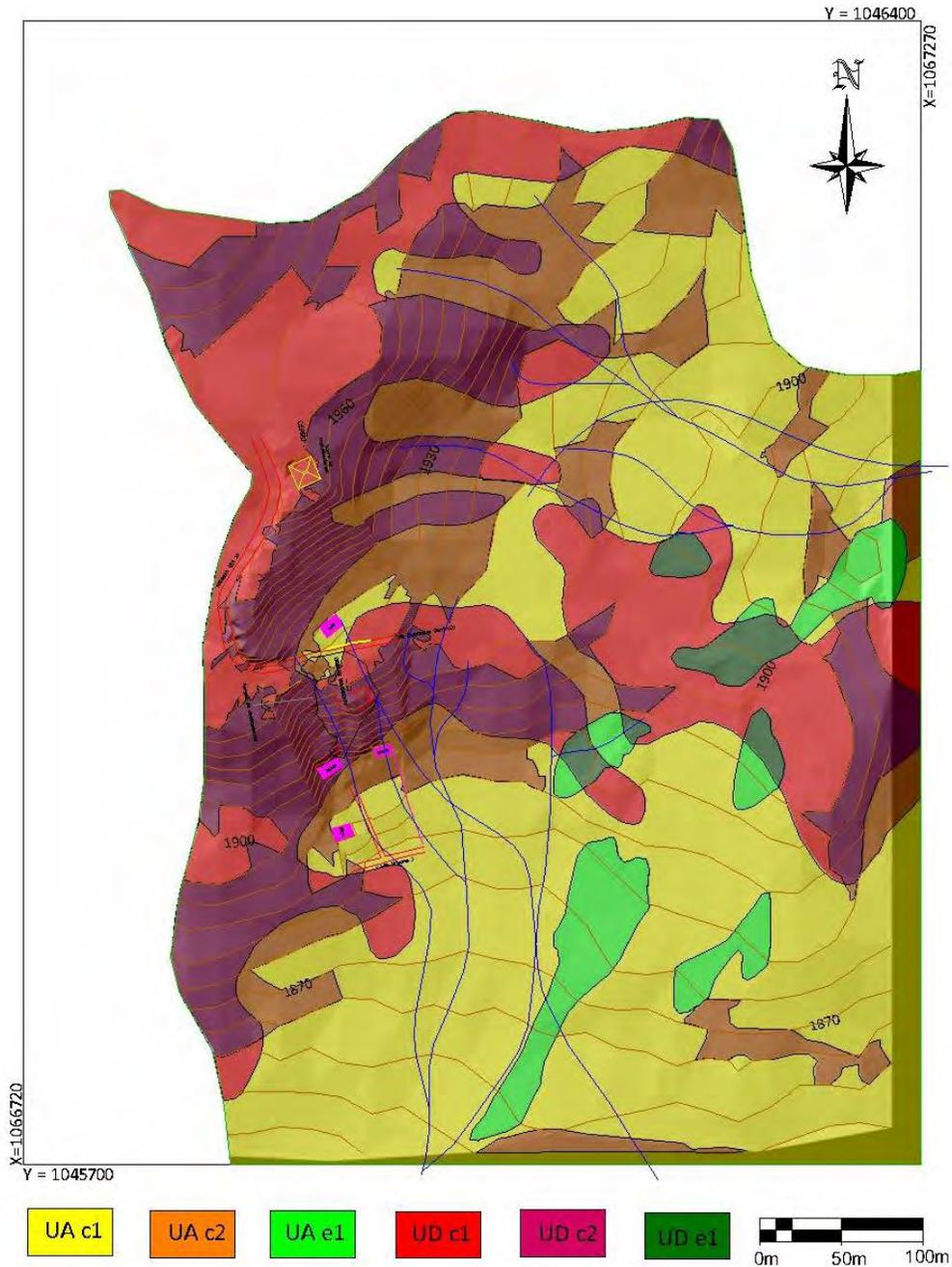
<b>CLASIFICACIÓN DE LAS PENDIENTES</b>	
<b>UNIDAD CARTOGRÁFICA</b>	<b>GRADOS</b>
Suavemente inclinada	0-10
Inclinada	10 15
Abrupta	15-30
Escarpada	30 - 45
Muy Escarpada	> 45

Fuente: Resultado del estudio.

#### **4.5. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS**

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

Figura 17. Imagen del Mapa geomorfológico.



Fuente: Resultado del estudio.

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

#### **4.5.1. Geformas de Origen Denudacional.**

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

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

Dicha unidad está compuesta por depósitos coluviales, los cuales yacen sobre estratificaciones en contra a la dirección de las pendientes presenta un área de 11.17 ha, de las cuales el 0.10 % presenta inestabilidad. Siendo susceptible a reptaciones y desprendimientos.

##### **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 3.56 ha, de las cuales el 0.46 % presenta inestabilidad.

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

Dicha unidad está compuesta por depósitos coluviales, los cuales yacen sobre estratificaciones en contra a la dirección de las pendientes presenta un área de 1.14 ha. Es la unidad que presenta más afectación a movimientos 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>	 <p style="text-align: center;"><b>EJECUTOR CONVENIO No. 038/2012.</b></p>
---	---	---	---

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

Dicha unidad está compuesta por formaciones rocosas, cuyas estratificaciones se encuentran en contra a la dirección de las pendientes, presenta un área de 4.8 ha, de las cuales el 0.67 % presenta inestabilidad.

**4.5.1.5. 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 5.04 ha, de las cuales el 2.24 % presenta inestabilidad.

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

Dicha unidad está compuesta por formaciones rocosas, los cuales yacen sobre estratificaciones en contra a la dirección de las pendientes presenta un área de 0.40 ha.

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

Tabla 15. Descripción geomorfológica.

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

Fuente: Resultado del estudio.

#### 4.6. EROSIÓN

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

El fenómeno de erosión se considera como un proceso lento, cuando es en forma natural, y sus manifestaciones no se identifican a corto plazo sino cuando se encuentra en una fase final, desgraciadamente cuando se ha perdido la mayor



cantidad de suelo fértil. Al intervenir el hombre, para abrir caminos, desmontar áreas para campos de cultivo, explotar los bosques, ampliar las zonas urbanas, etc. entonces, se altera el equilibrio natural y se acelera el proceso. Este fenómeno implica dos problemas importantes: por un lado es la pérdida de suelo en la cuenca, sobre todo la pérdida de suelo fértil en los campos de cultivo con cierta inclinación y por otro lado el depósito del sedimento en embalses o en sitios donde esto es indeseable.

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

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

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

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

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



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

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

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

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

#### **4.6.1. Algunas Formas de Erosión**

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



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

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

#### **4.6.2. Factores externos**

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

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

#### **4.6.3. Factores internos**

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



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

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

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

#### **4.6.4. Morfodinámica - intensidad de erosión**

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

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

Posteriormente para cumplir con los objetivos del estudio y conocer la dinámica del área, realizamos la suma en un SIG (utilizando los mapas densidad de drenaje, geomorfológico y de cobertura) junto con los levantamientos 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 18).

Figura 18. Imagen del Mapa erosión.



Fuente: Resultado del estudio.

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

## 5. HIDROGEOLOGÍA

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

### 5.1. Unidades Hidrogeológicas.

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

#### 5.1.1. Acuífero.

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

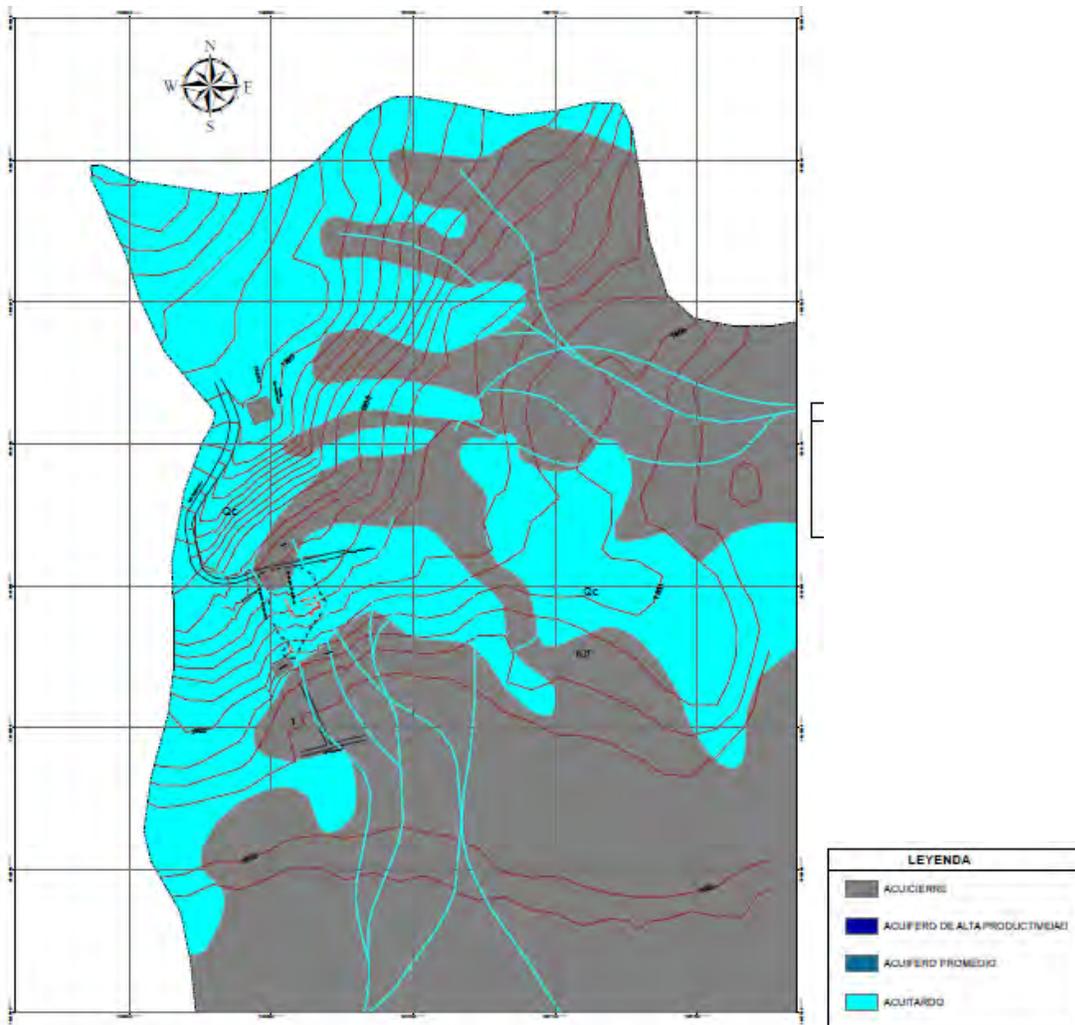
#### 5.1.2. Acuitardo.

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

### 5.1.3. Acuíferos.

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

Figura 19. Imagen del Mapa Hidrogeológico del área de estudio



Fuente: Resultado del estudio.

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

## 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.

### 5.2.2. UNIDAD III (Permeabilidad Baja)

Rocas con porosidad pero que no permiten el tránsito a través de ellas porque su permeabilidad es muy baja; constituidas por capas de arcillas, presentes en la Formación Fómeque (Kif), las cuales se clasifican como acuícierres.

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

## 6. GEOELECTRICA

### 6.1. ESTUDIO GEOELECTRICO (TOMOGRAFIA ELECTRICA RESISTIVA)

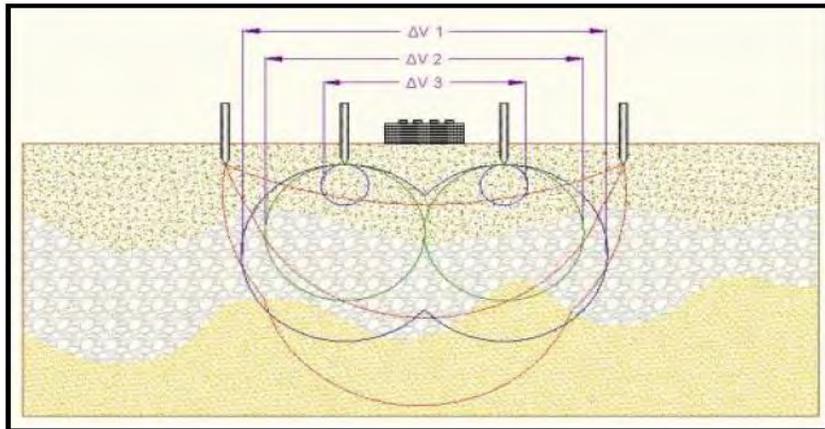
#### 6.1.1. INTRODUCCION

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

La Tomografía Eléctrica Resistiva es una técnica geofísica para generar secciones o perfiles del subsuelo en base a mediciones de caída de potencial eléctrico. Éste método consiste en inyectar una corriente al interior del suelo, la cual, regresa al voltímetro en forma de una diferencia de potencial ( $\Delta V$ ) producto de las variaciones en resistencia que resultan de cada tipo de material o estrato de suelo (Figura 20); 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 21). 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

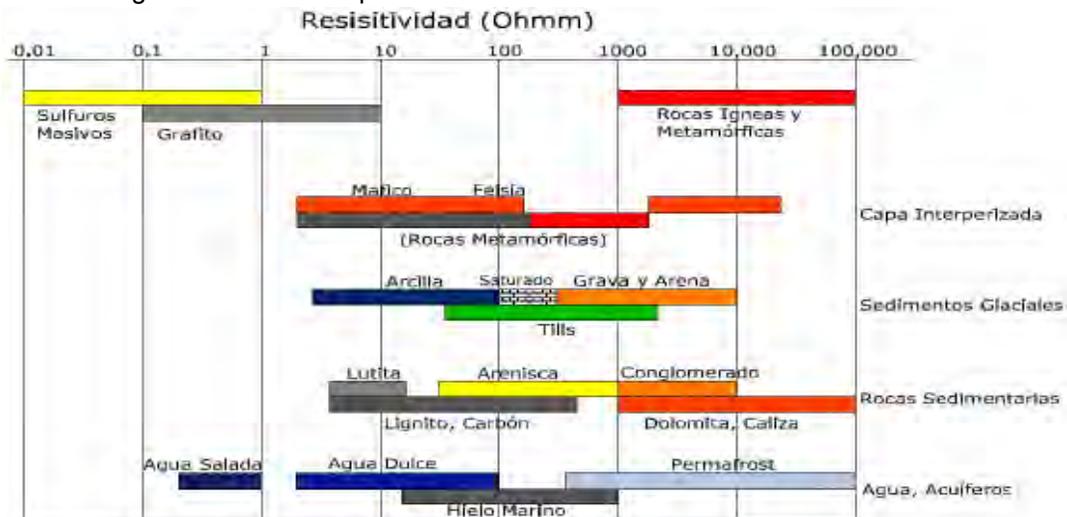
dentro del material de estudio. Durante décadas, los Estudios de Resistividad Eléctrica han sido utilizados en investigaciones sobre hidrogeología, geotecnia y también actualmente en estudios ambientales (Loke 2004).

Figura 20. 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 21. Rangos de resistividad para diferentes materiales.



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

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

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

La adquisición de datos de campo puede llevarse a cabo con configuraciones de electrodos que pueden variar su arreglo y que dependen estrictamente del objeto para el cual se realiza la exploración. De introducción reciente es la tomografía eléctrica, técnica multielectrónica en la que todo el proceso de adquisición de datos está totalmente automatizado. Esto nos permite poder realizar un gran número de medidas, tanto en profundidad como lateralmente, en un breve espacio de tiempo (del orden de 500 medidas en una hora y media), obteniendo por tanto modelos 2-D de gran resolución.

## 6.2. OBJETIVO

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

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

### 6.3. PRINCIPIO DEL METODO GEOFISICO.

#### 6.3.1. Resistividad Aparente:

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

La intensidad de corriente que circula por un circuito dado es directamente proporcional a la tensión aplicada e inversamente proporcional a la resistencia del mismo. La ecuación matemática que describe esta relación es:

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

Donde,  $I$  es la corriente que pasa a través del objeto en amperios,  $V$  es la diferencia de potencial de las terminales del objeto en voltios,  $G$  es la conductancia en siemens y  $R$  es la resistencia en ohmios ( $\Omega$ ). 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 11, se observan los valores de resistividad de las rocas más comunes, materiales de suelo y algunas sustancias químicas (Keller y Frischknecht 1966, Daniels y Alberty 1966, Orellana 1982).

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

Diferentes contenidos de humedad en un mismo terreno darían lugar a resistividades diferentes que podrían llevarnos a interpretaciones erróneas de los materiales constituyentes del suelo. En la Tabla 16 se encuentra un conjunto de valores típicos de resistividad de geomateriales.

Tabla 16. Resistividades de algunos suelos y rocas.

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

Fuente: Exploracion Geotecnica-Relaciones Geoelectricas- DANIEL EDUARDO ARIAS.

### 6.3.2. Dispositivos:

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

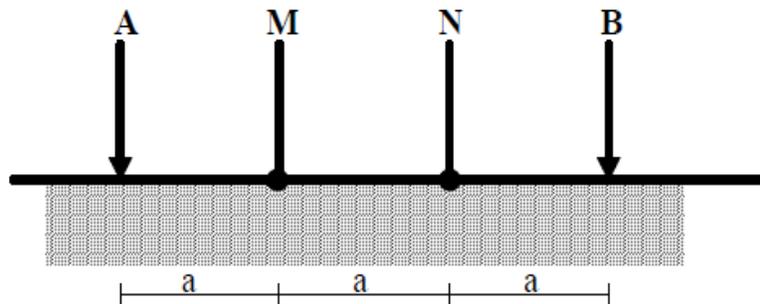
la zona de estudio.

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

### 6.3.2.1. Dispositivo Wenner.

Los electrodos se disponen equidistantes sobre una línea en el orden AMNB (Figura 22).

Figura 22. Dispositivo Wenner.



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

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

## 6.4. METODOLOGIA

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

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

La Tomografía eléctrica tiene por objetivo específico determinar la distribución real de la resistividad del subsuelo en el ámbito comprendido entre dos sondeos o bien hasta un cierto rango de profundidad a lo largo de un perfil de medida, a partir de los valores de resistividad aparente obtenidos mediante medidas realizadas por métodos convencionales de corriente continua. Un factor clave de esta técnica es el número y distribución de las medidas de campo ya que de él depende tanto su resolución como la profundidad de investigación. Como regla general, un estudio mediante Tomografía eléctrica requiere la obtención de un número muy elevado de datos, con un pequeño espaciado entre medidas para conseguir la necesaria resolución lateral que viene dada por la siguiente fórmula:

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

Donde:

d= Distancia entre elctrodos

Xtotal= Distancia de la línea extendida

N°electrodos= electrodos a utilizar

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

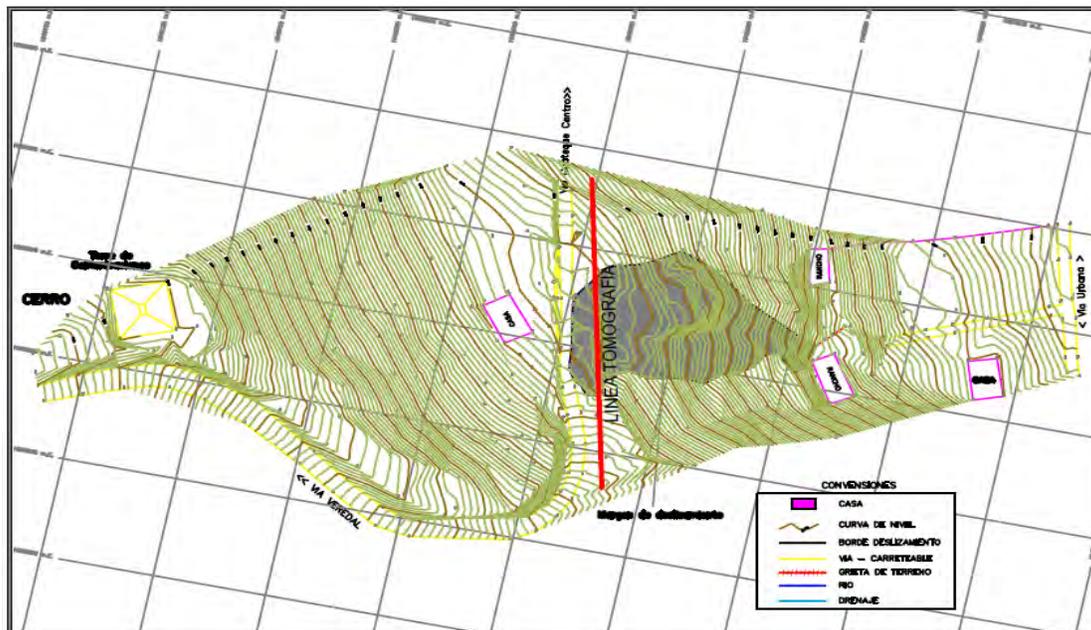
El resultado final de este tipo de estudio es una sección distancia-profundidad con la distribución de la resistividad real del subsuelo, fácilmente comprensible en términos geológicos o geotécnicos. Para obtener estos resultados se procede a insertar los parámetros para el cálculo y la medición de las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

Para la realización de las tomografías en el sector vereda Sibata, del municipio de Guateque, 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: 1066849, Y: 1045990, parte final X: 1066940, Y: 1046011, orientación N78°E, con una longitud de 92.25 mts., profundidad obtenida de 16.6 mts., y los electrodos conectados a una distancia de 2.25 mts cada uno, ver figura 4.

Figura 23. Imagen mapa topográfico Guateque.



Fuente: Resultado del estudio.

Fotografía 16. Parte media del deslizamiento.



Fuente: Registro fotográfico.

Fotografía 17. Equipo TERRAMETER LS 04-064-250.



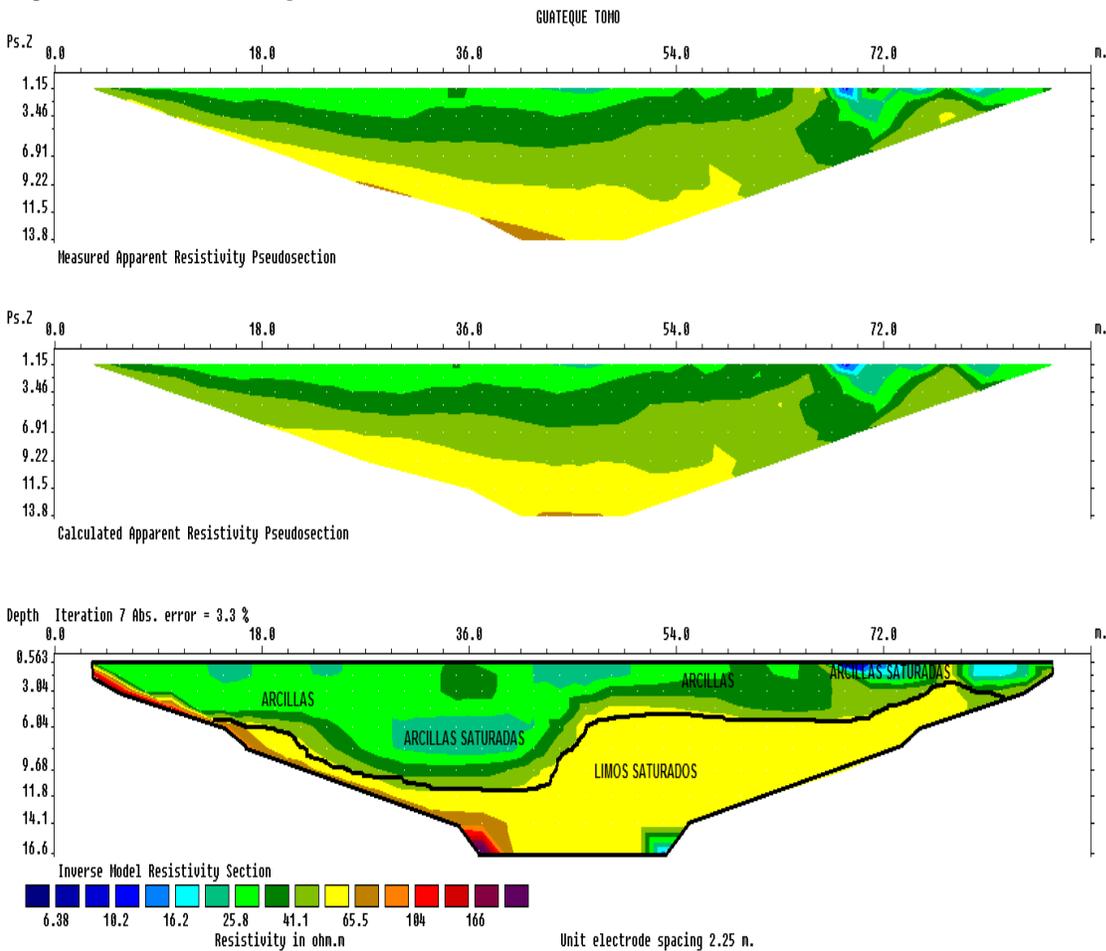
Fuente: Registro fotográfico.

Tabla 17. Resistividades de los materiales presentes en el área de estudio.

MATERIAL	PROFUNDIDAD (m)	RESISTIVIDAD ( $\Omega \cdot m$ )	INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA
1	0 – 10	6.38 – 25.8	Arcillas saturadas
2	0 – 24	26 – 41.1	Arcillas
3	0 – 16.	41.2 - 166	Limos saturados

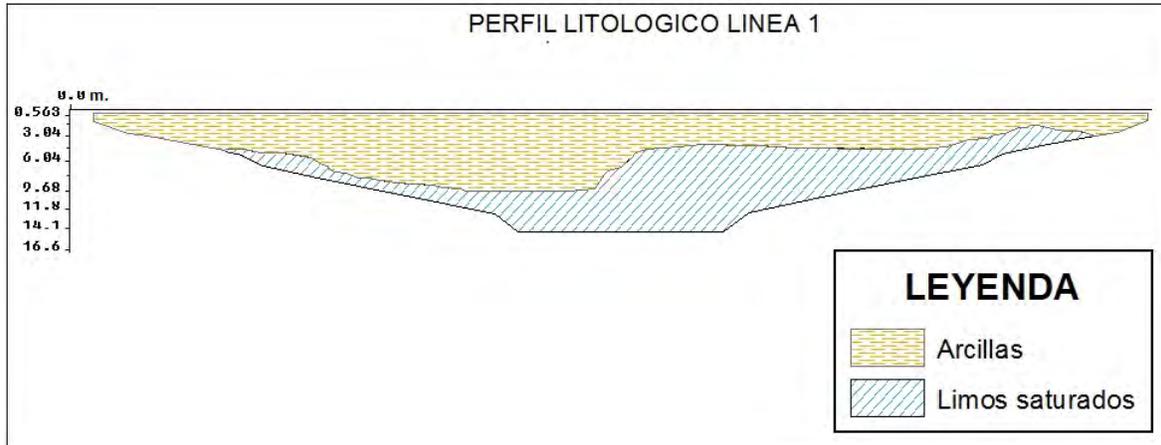
Fuente: Resultado del estudio.

Figura 24. Perfil 1 tomografía.



Fuente: Resultado del estudio.

Figura 25. Perfil litológico 1



Fuente: Resultado del estudio.

#### 6.4.2. RESULTADOS

Con ayuda del software Res2DIN VX64, se relacionaron datos de las respectivas resistividades de los materiales del área obtenidas por el equipo, resultando así el modelamiento del talud, donde se observan que el área está conformada por tres unidades Geoelectricas bien definidas, donde encontramos niveles de arcillas saturadas con rangos de resistividades que oscilan entre 6.38 – 25.8  $\Omega^*m$ , arcillas con resistividades que van desde 26 – 41.1  $\Omega^*m$ , y finalmente intercalación de areniscas saturadas y no saturadas que poseen resistividades que oscilan entre 41.2 - 166  $\Omega^*m$ , ver Figura 24 y Figura 25.

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

## 7. GEOTECNIA

En este capítulo se consignan los aspectos relacionados con la evaluación geotécnica de los fenómenos de remoción en masa (FRM) presentes en la vereda Sibata, municipio de Guateque, sucedidos desde hace unos años, y que han evolucionado hasta afectar considerablemente viviendas y la escuela presente en la zona.

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

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

### 7.1. EXPLORACIÓN DE CAMPO

#### 7.1.1. Sondeos geotécnicos

##### 7.1.1.1. Exploración indirecta del sub suelo

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

### 7.1.1.2. Exploración directa del sub suelo.

La exploración directa del sub suelo consiste en la realización una apique y una trinchera, De estos se tomaron muestras alteradas e inalteradas para realizar los ensayos pertinentes para caracterizar los materiales presentes en esta zona. Además se realizaron sondeos a profundidades de que tienen una profundidad de hasta 8,50 metros de y sus ubicaciones se relacionan en la siguiente Tabla 18; de estos se realizaron los también ensayos de propiedades índices y propiedades mecánicas.

Tabla 18. Coordenadas de los sondeos realizados

GUATEQUE			
Sondeo	Coordenadas		Profundidad (metros)
	Este	Norte	
sondeo 1	1,066,918	1,046,031	7,73
sondeo 2	1,066,907	1,045,971	8,50

Fuente: Resultados de la Investigación

De estos se obtuvieron perfiles geotécnicos del sitio como se observa en la Figura 26.

Fotografía 18. Perforación realizada en la zona de estudio



Fuente: Registro Fotográfico.

También se realizaron pruebas in situ como la prueba de penetrometro de bolsillo como se observa en la Fotografía 19.

Fotografía 19. Prueba de Penetrometro de Bolsillo



Fuente: Registro Fotográfico.

## 7.2. CARACTERIZACIÓN DEL SUELO Y SUBSUELO

### 7.2.1. Trabajos de Laboratorio

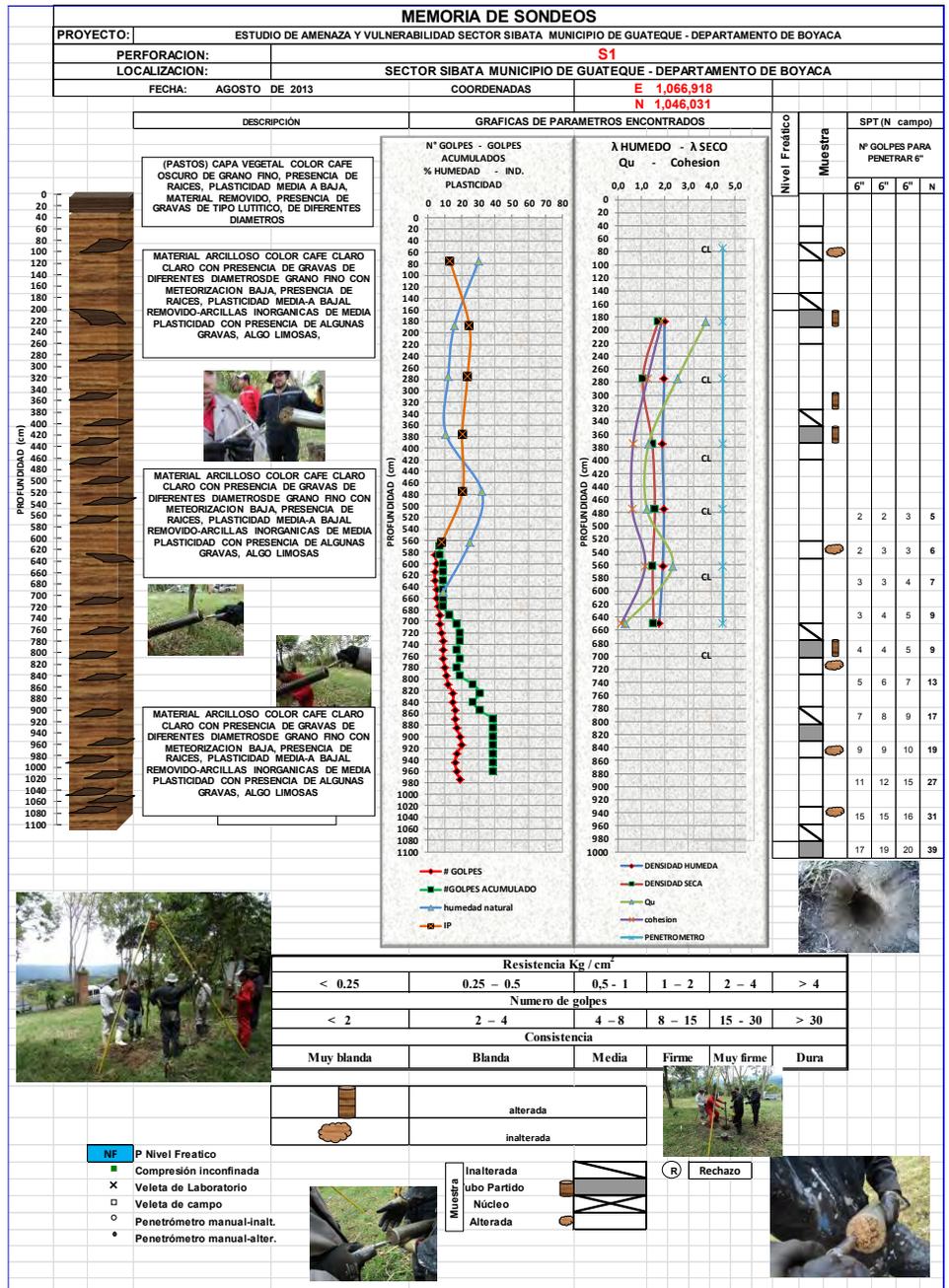
De acuerdo con el muestro anterior y con las muestras recolectadas tanto en los sondeos (Suelos) y en los afloramientos (Rocas), en el laboratorio de Mecánica de Suelos y Rocas de la UPTC Sede Sogamoso se realizaron pruebas índice (Límites de Atterberg, Granulometría, humedad natural, peso unitario), compresión inconfiada y corte directo.

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

### 7.3. Trabajos de Laboratorio

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

Figura 26. Perfil Geotécnico S1



Fuente: Resultado del estudio

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

### 7.3.1.1. 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 27. Límites de Atterbeg



Fuente: Juárez Badillo y Rico Rodríguez

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

**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.

### 7.3.1.2. 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 20. Muestra fallada en el ensayo de compresión no confinada.



Fuente: Resultado del estudio.

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

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

Fotografía 21. Muestras a las que se les realizó la prueba de corte directo.



Fuente: Resultado del estudio.

### 7.3.2. 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 ML-CL (material limoso de baja plasticidad) correspondientes al material de relleno, arcillas limosas, con peso unitario de 1.8 – 2.7 gr/cm<sup>3</sup>, con límite líquido < 40% e IP entre 03% y 11%.

Los resultados de las propiedades mecánicas reflejan una resistencia a la compresión simple de 2.3 5.88 kg/cm<sup>2</sup>, cohesión de 0.6 – 0.88 Kgf/cm<sup>2</sup>, ángulos de fricción entre 8° y 13°. Estos resultados de las propiedades físicas y mecánicas se utilizaron para el análisis de estabilidad. En el anexo 4, se presentan los formatos correspondientes a los ensayos de laboratorio, de los cuales se presenta una tabla resumen (Tabla 19).



#### 7.4. Clasificación del Macizo Rocos.

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

##### 7.4.1. Índice de Calidad de la Roca (RQD):

EL RQD determina el grado de fracturación del macizo rocoso. Este parámetro se puede determinar a partir de núcleos de roca recuperados en sondeos con longitud mayor de 10cm; a partir del número volumétrico de juntas (Jv), como el número de discontinuidades por metro cúbico de macizo; ó, en función de la frecuencia de discontinuidades ( $\lambda$ ), que indica el número de juntas por metro lineal en el macizo. Para el proyecto se determinó por medio de la frecuencia de discontinuidades obtenida del mapeo geológico y de la descripción de las perforaciones de exploración. La determinación del RQD a partir de la frecuencia de discontinuidades se puede realizar por medio de la siguiente expresión que proporciona el valor teórico mínimo del RQD:

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

Donde,



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

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

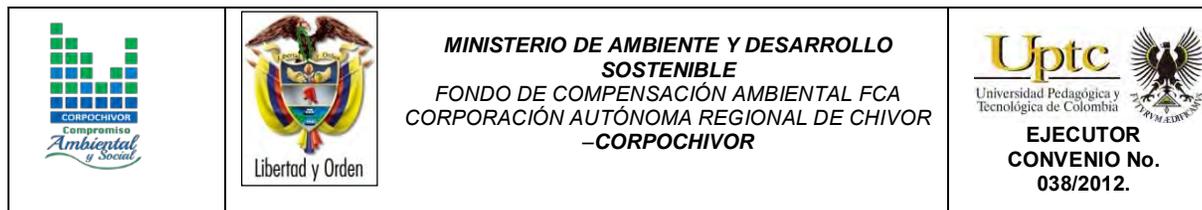


Tabla 19. Resumen de resultados ensayos de laboratorio

<b>MEMORIA DE SONDEOS</b>																			
<b>PROYECTO:</b>		ESTUDIO DE AMENAZA Y VULNERABILIDAD SECTOR SIBATA MUNICIPIO DE GUATEQUE - DEPARTAMENTO DE BOYACA																	
<b>PERFORACION:</b>		<b>SONDEOS 1 - 2</b>																	
<b>LOCALIZACION:</b>		SECTOR SIBATA MUNICIPIO DE GUATEQUE - DEPARTAMENTO DE BOYACA																	
<b>FECHA:</b>		AGOSTO DE 2013																	
inalterada																			
alterada																			
												RESISTENCIA AL CORTE SUELOS							
SONDEO / APIQUE N°	MUESTRA N°	TIPO DE MUESTRA	PROF. (m)	COORDENADAS		PROPIEDADES FISICAS SUELOS					CORTE DIRECTO		λ HUMEDO		λ SECO		COMPRESION INCONFINADA		PENETROMETRO
				E	N	Wn (%)	LL	LP	IP	CLASIF (U.S.C.)	P.T.N° 200 %	φ	C	Peso Unitario	Peso Unitario	qu	C	BOLSILLO Kg/cm <sup>2</sup>	
S 1	1		0,85	1,066,918	1,046,031	30,20	34,71	21,67	13,04	CL									4,5
	2		1,60	1,066,918	1,046,031	15,67	48,96	24,36	24,60	CL	2,212			1,9996	1,7279	3,7739	1,88695	4,5	
	3		2,85	1,066,918	1,046,031	12,12	48,51	25,00	23,51	CL	2,906	13,496	2,101	1,9855	1,076	2,5432	1,2716	4,5	
	4		3,65	1,066,918	1,046,031	10,63	42,75	22,45	20,30	CL	5,495			1,9124	1,4815	1,322	0,661	4,5	
	5		4,80	1,066,918	1,046,031	32,14	43,89	23,33	20,56	CL	4,589			1,9729	1,5888	1,25	0,625	4,5	
	6		5,50	1,066,918	1,046,031	25,03	23,62	15,38	8,24	CL	3,524			1,9242	1,4963	2,3445	1,17225	4,5	
	7		7,73	1,066,918	1,046,031	8,80					5,983			1,7753	1,5366	0,3172	0,1586	4,5	
S2	1		1,50	1,066,907	1,045,971	32,31	21,32	12,50	8,82	CL	5,167			2,087	1,7308	1,242	0,621	2,5	
	2		2,00	1,066,907	1,045,971	26,62	25,8	11,36	14,44	CL	4,079	12,189	2,207	2,0432	1,6486	2,5111	1,25555	3	
	3		3,15	1,066,907	1,045,971	29,04	27,43	16,67	10,76	CL	6,45			1,897	1,4902	2,0616	1,0308	3,5	
	4		4,50	1,066,907	1,045,971	28,31	26,06	16,88	9,18	CL	5,628			1,916	1,4913	2,1507	1,07535	4	
	5		5,25	1,066,907	1,045,971	24,76	27,86	20,00	7,86	CL	4,58	12,189	2,207	1,9508	1,5828	2,7965	1,39825	4,5	
	6		6,75	1,066,907	1,045,971	18,65	25,78	15,22	10,56	CL	6,815			1,9304	1,5591	0,9819	0,49095	3,5	
	7		7,50	1,066,907	1,045,971	21,55					6,162			1,9412	1,5529	3,5766	1,7883	2,5	
	8		8,50	1,066,907	1,045,971	21,66					5,033			1,8846	1,6514	0,2899	0,14495	1	

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

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

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

#### **7.4.2. Clasificación Según el RMR:**

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

- Resistencia a la compresión uniaxial de la matriz rocosa.
- Grado de fracturación en términos del RQD.
- Espaciado de las discontinuidades.
- Condiciones de las discontinuidades.
- Condiciones de agua subterránea.
- Corrección por la orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación.



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

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

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

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

Tabla 20. Resumen de Resultados de la Clasificación RMR

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

Fuente: Resultados de la investigación.

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

Clasificación de macizos propuesta por Hoek y Brown, como un parámetro de condición del macizo rocoso en función de la condición estructural y del estado de las discontinuidades, para la aplicación del criterio generalizado de Hoek y Brown (2002), con el fin de establecer la envolvente de resistencia del macizo rocoso. Para su determinación se propone la utilización de la Figura 28

Figura 28. Guía para la definición del Índice geológico de resistencia (GSI).

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

Fuente: Resultados de la investigación.

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

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

## 7.5. CINEMÁTICA DE LOS MOVIMIENTOS

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

- El volumen o caudal de suelo en movimiento. Este volumen puede ser suministrado por un deslizamiento o por varios deslizamientos.
- Las propiedades mecánicas de los materiales constitutivos del flujo, especialmente la resistencia y compresibilidad.
- La pendiente o canal sobre el cual fluye el suelo.
- El contenido de agua.

## 7.6. CAUSAS DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA

### 7.6.1. Causas Reales

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

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

### 7.6.2. Causas Inmediatas

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

Como detonantes de los eventos se han establecido los siguientes:}

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

- El agua proveniente de las precipitaciones, que aunque no son frecuentes, han ocurrido en épocas que están asociadas a los mayores movimientos ocurridos.
- La baja resistencia al corte o de fricción del material en el cual se produce la superficie de falla.
- El mal uso de suelo, la ocupación de drenajes naturales para regadío de cultivos, tala y pastoreo.
- Los eventos sísmicos con alguna influencia en la zona se constituyen también en factores detonantes.
- Existen otros factores detonantes de menor importancia que pueden mencionarse, como las vibraciones y sobrecargas provenientes del tránsito vehicular, las sobrecargas asociadas a los botaderos y el mal uso del suelo.

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

## 7.7. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y MODELACIÓN GEOTÉCNICA

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\sum F = m * a$$

Donde,

F: Fuerzas.

m: Masa de la dovela.

a: aceleración.

La aceleración aplicada a cada masa, corresponde a un porcentaje de la aceleración de la gravedad, el cual se define de acuerdo a los coeficientes de aceleración horizontal y vertical propuestos en la norma sismorresistente y a un coeficiente de reducción del coeficiente de aceleración, de acuerdo a las características del terreno. Para el Municipio de Guateque los coeficientes de aceleración horizontal (Aa) y vertical (Ad) son iguales a 0.14 y 0.06 respectivamente, de acuerdo a la NSR-10, sin embargo la versión vigente del

código colombiano sismorresistente, indica que los coeficientes se tomen igual al valor mayor, en este caso 0.20 y 0.20. El coeficiente de reducción de los coeficientes de aceleración para suelos y macizos rocosos con R.Q.D menores a 50%, es igual a 0.8 (Tabla 21).

Tabla 21. Coeficientes de reducción de coeficientes de aceleración sísmica

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

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

Tabla 22. Coeficientes de aceleración sísmica para el departamento Boyacá

Nº	Municipio	Código	Aa	Av	Zona de Amenaza Sísmica	Ae	Ad
1	Tunja	15001	0.20	0.20	Intermedia	0.15	0.07
38	Gámeza	15296	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
40	Guacamayas	15317	0.25	0.25	Alta	0.18	0.08
41	Guateque	15322	0.20	0.25	Alta	0.16	0.07
42	Guayatá	15325	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
123	Zetaquirá	15897	0.20	0.25	Alta	0.16	0.08

Fuente: Título A NSR – 10

Por tanto el coeficiente de aceleración para análisis pseudoestático resulta:

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

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

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

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

### 7.7.1. Análisis estructuralmente controlado

Se realizó un análisis estructuralmente controlado para determinar esas zonas donde es probable posibles mecanismos de falla por consecuencia de las

estructuras geológicas, este se realizó respecto a las diferentes direcciones de las laderas presentes en la zona y se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 23. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla planar.

ANÁLISIS CINEMÁTICO						
PLANAR						
Rango	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO			RANGO BUZAMIENTO		
1	229	A	269	20	A	35
2	217	A	257	20	A	86
3	125	A	165	5	A	67

Fuente: Resultados de la investigación.

Tabla 24. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.

ANÁLISIS CINEMÁTICO						
CUÑA						
Rango	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO			RANGO BUZAMIENTO		
1	216	A	256	0	A	30
2	139	A	179	0	A	67
3	207	A	247	0	A	15

Fuente: Resultados de la investigación.

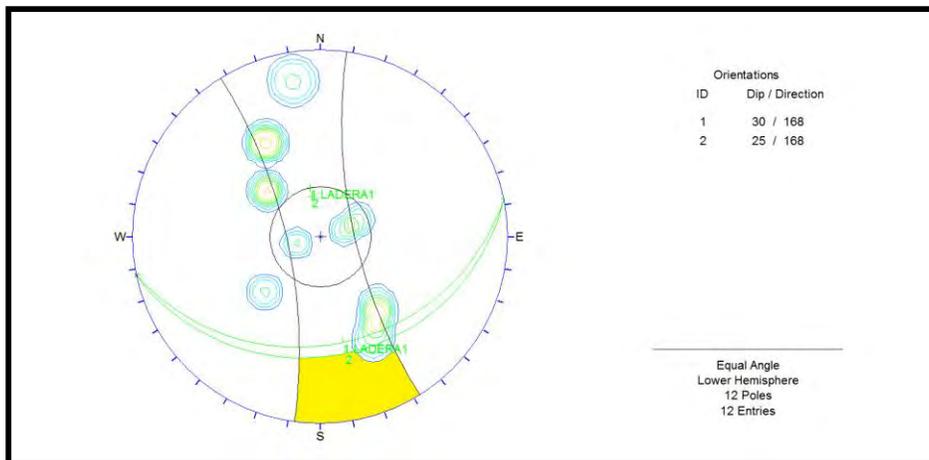
Tabla 25. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla por volteo.

ANÁLISIS CINEMÁTICO						
VOLTEO						
Rango	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO			RANGO BUZAMIENTO		
1	39	A	89	65	A	90
2	295	A	345	65	A	90
3	150	A	200	65	A	90

Fuente: Resultados de la investigación.

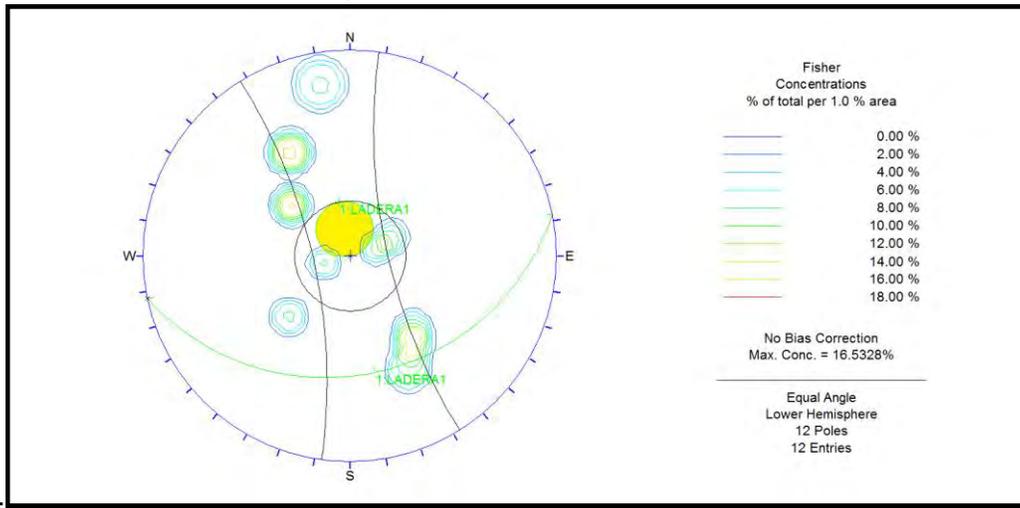
Las anteriores tablas reflejan los posibles rangos de dirección de buzamiento de las laderas y la inclinación que deben cumplir para que cada una de las fallas ocurra; estas se obtienen tras analizar cada una de las estructuras presentes en esta zona como se observa de manera esquemática en la Figura 29, Figura 30, Figura 31.

Figura 29. Análisis cinemático, falla por volcamiento



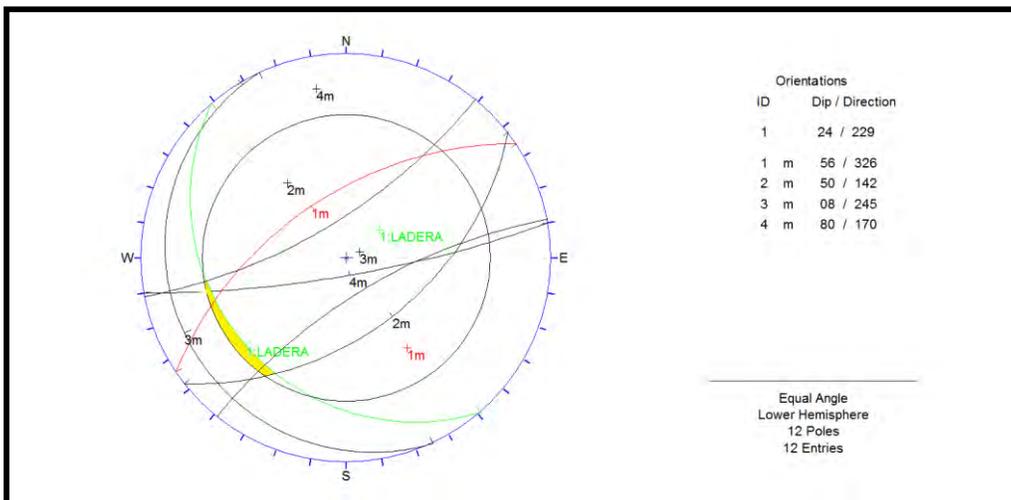
Fuente: Resultados de la investigación.

Figura 30. Análisis cinemático falla planar



Fuente: Resultados de la investigación.

Figura 31. Análisis cinemático falla por cuña



Fuente: Resultados de la investigación.

### 7.7.2. Análisis estructuralmente no controlado

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

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

Tabla 26. Valores de Propiedades Físicas y Mecánicas Utilizadas en los Modelos de estabilidad.

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

Fuente: Registro fotográfico.

La parte superior del deslizamiento se observa en la Fotografía 22La cual afecta la bancada de la vía.

Fotografía 22. Parte superior del movimiento

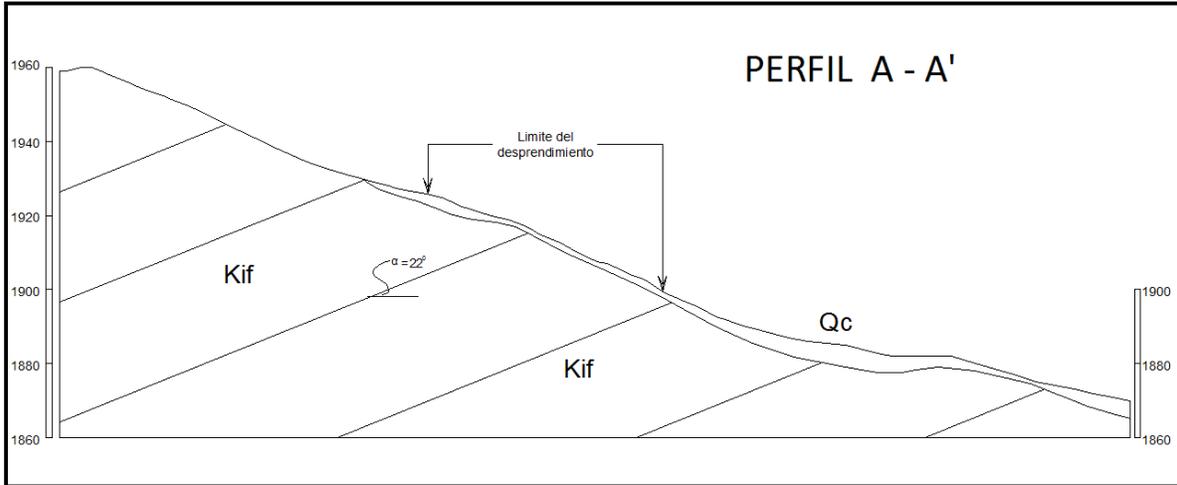


Fuente: Registro fotográfico.

El modelo 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.

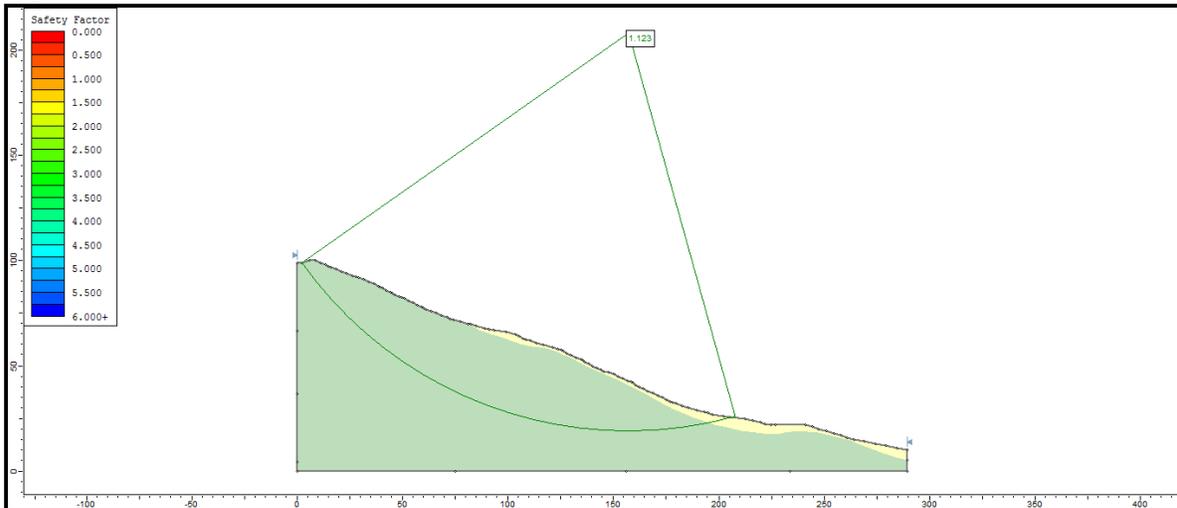
Para este caso se analizaron el perfil AA' representado en la siguiente figura.

Figura 32. Perfil geológico AA'



Fuente: Resultados del estudio.

Figura 33. Modelo de análisis perfil A-A'



Fuente: Resultados del estudio.

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

Tabla 27. Factores de seguridad para el modelo perfil A-A'

Condición del modelo	Factor de Seguridad			
	Met. Fellenious	Met. Bishop Simplificado	Metodo de Janbu Simple	Metodo de Janbu Corregido
Condición de agua subterránea normal (Ru = 0.1)	1.123	1.125	1.056	1.118
Condición de agua subterránea crítica (Ru = 0.3)	1.123	1.123	1.055	1.117
Condición de agua subterránea media (Ru = 0.5) y sismo (análisis pseudoestático)	0.749	0.758	0.714	0.751

Fuente: Resultados del estudio.

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

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

## 8. ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA

### 8.1. DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DE AMENAZAS

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

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

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

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

Tabla 28. Parámetros físicos y naturales estimados para la Identificación de Zonas Inestables (Deslizamientos)<sup>1</sup>

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

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

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

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

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

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

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

## 8.2. RESULTADO DE ANALISIS

Para la clasificación de la amenaza de la zona se utilizaron como criterios de categorización los presentados en la Tabla 29, teniendo en cuenta los parámetros de la Metodología de Leone.

Tabla 29. 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 30.



Tabla 30. Categorización de amenaza por (FRM) según nsr-10

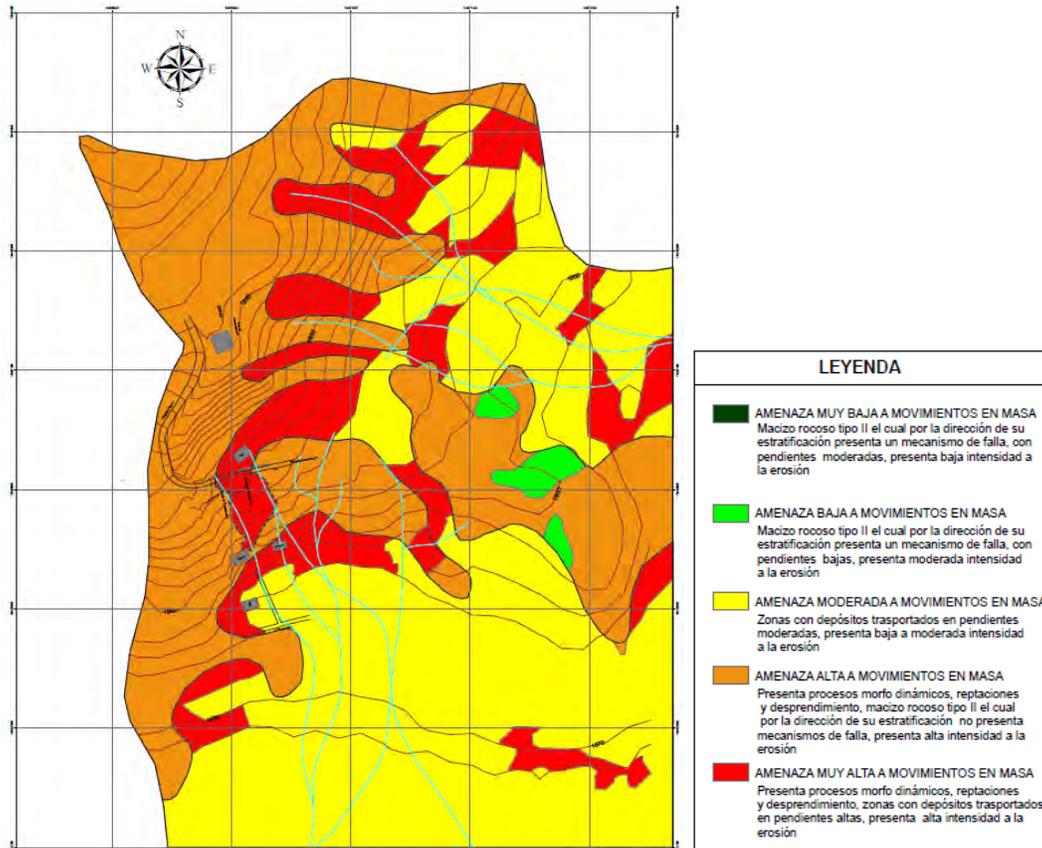
CONDICION	F.S. BASICOS MINIMOS DIRECTOS
TALUDES - CONDICION ESTATICA Y AGUA SUBTERRANEA NORMAL	1.5
TALUDES – CONDICION SEUDO – ESTATICA CON AGUA SUBTERRANEA NORMAL Y COEFICIENTE SISMICO DE DISEÑO	1.02

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.

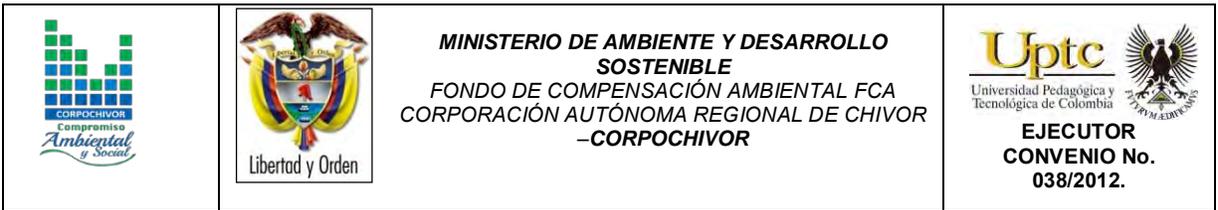
Figura 34. Imagen Mapa de Amenazas.



Fuente: Resultado del estudio

### 8.3.1. 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



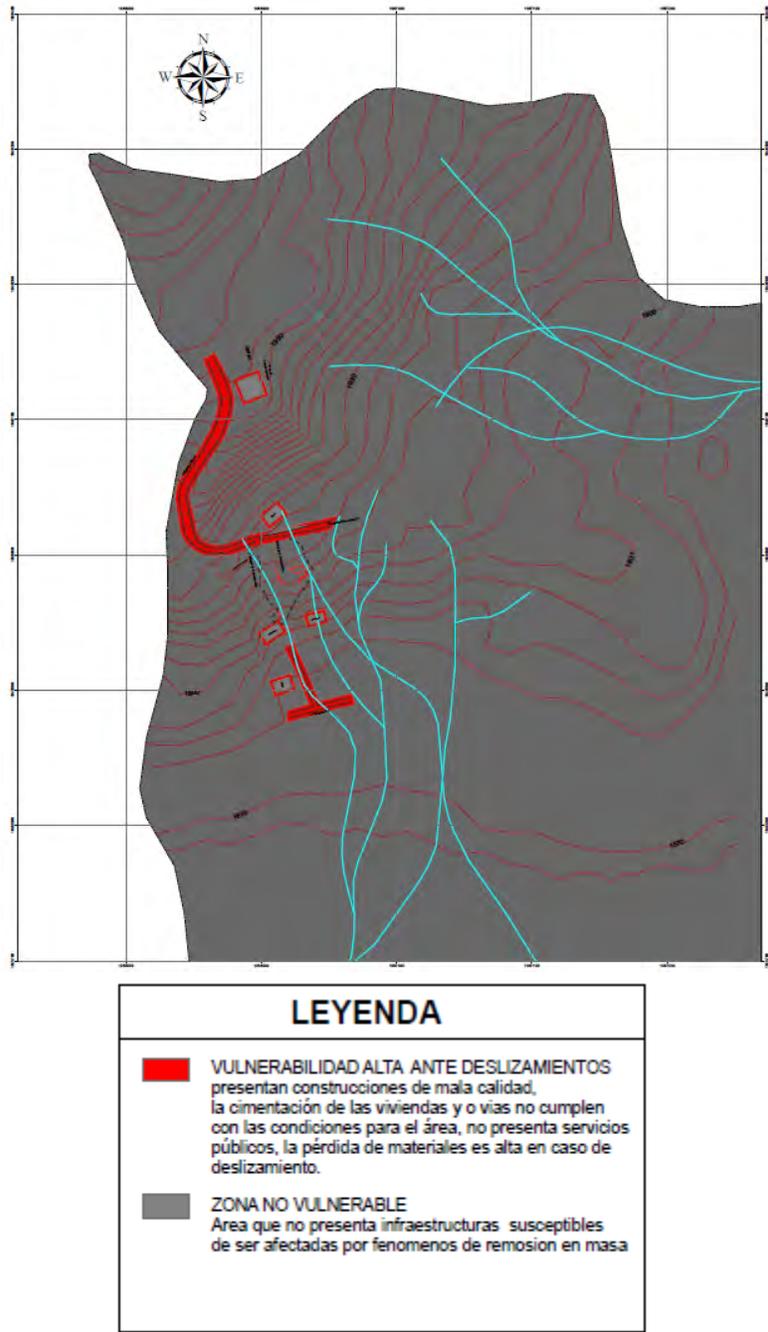
características del elemento expuesto (edificaciones y demás construcciones existentes).

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 35. Imagen Mapa de Vulnerabilidad Física y Social



Fuente: Resultado del estudio

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

## 9. EVALUACIÓN Y ANALISIS DE VULNERABILIDAD SOCIAL

### 9.1. Análisis de vulnerabilidad

Se define vulnerabilidad con relación a los siguientes aspectos:

- **La vulnerabilidad estructural:** o física describe el grado hasta el cual una estructura es susceptible de ser dañada o alterada en una situación de peligro.
  
- **La vulnerabilidad humana:** es la falta relativa de capacidad de una persona o comunidad para prever un peligro, hacerle frente, resistirlo y recuperarse de su impacto. Entre los factores que incrementan la vulnerabilidad humana a los desastres se encuentra la falta de planificación en el desarrollo o crecimiento de la infraestructura, el crecimiento demográfico, la falta de conocimientos acerca de cómo actuar frente a los efectos de los desastres y la pobreza.

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

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

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

**9.2. Análisis y graficas estadísticas de las encuestas realizadas en el municipio de guateque barrio santa barbara en límites con la vía que lleva a la vereda sibata.**

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

Fotografía 23. Vista parte alta del movimiento.



Fuente: Registro Fotográfico

**1. Tipo de sector Urbano o rural.**

La afectación de este movimiento en masa que se priorizo en el municipio de Guateque afecta primordialmente el barrio santa barbará, aunque el movimiento proviene de la parte alta de la vereda Sibatá.

**2. La vivienda es propia o arrendada.**

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

Cuatro de las viviendas afectadas por el movimiento se encuentran habitadas por sus propietarios y las otras tres son arrendadas. Estas últimas viviendas se encuentran en malas condiciones de habitabilidad y representan un riesgo para la vida de las personas que las habitan.

### **3. Servicios con que cuenta la vivienda.**

Todas las viviendas habitadas que se encuentran dentro del área de influencia del movimiento en masa, cuentan con servicios básicos de agua y luz, manifestando que el servicio es contante, sin embargo hay algunas viviendas que presentan conexiones inadecuadas de luz y servicio sanitario que presentan inconvenientes para la salud.

### **4. Servicio de acueducto.**

Todas las viviendas cuentan con servicio de acueducto, sin manifestarse quejas por interrupciones o falta de servicio.

### **5. Servicio de alcantarillado.**

En el sector se cuenta con servicio de alcantarillado en la mayoría de las viviendas, solo una de ellas de la parte alta no tiene este servicio por ser una construcción nueva, y por no contar con los recursos suficientes para la instalación de este servicio.

Fotografía 24. Habitante parte alta del movimiento vereda Sibatá.



Fuente: Registro Fotográfico

## 6. Seguridad social.

Cinco (5) familias habitantes del sector de influencia del deslizamiento cuentan con seguridad social del régimen subsidiado, y las otras dos (2) realizan aportes a su seguridad social, ya que estas familias cuentan con trabajos estables que les permiten pertenecer a este régimen.

## 7. Discapacidad

Dentro del área evaluada se hallaron dos familias que cuentan con personas con discapacidad una de ellas un adulto con discapacidad leve, por enfermedad común, y un menor de cinco (5) Años con síndrome de Down, el cual se encuentra escolarizado y recibe terapia de lenguaje según lo manifestado por su progenitora.

Fotografía 25. Menor con síndrome de Down.



Fuente: Registro Fotográfico

## 8. Presencia de Niños (a).

Cuatro (4) de las familias visitadas cuentan con la presencia menores de edad, (4 niñas y tres niños) menores de catorce años. Los cuales en su gran mayoría viven bajo el cuidado de sus padres, solo una menor de dos años vive con su abuela materna y habitan una casa en arriendo, ya que su madre trabaja en otra ciudad.

## 9. Ocupación de los niños que habitan las viviendas

Todos los menores que están en edad escolar se encuentran escolarizados, según lo manifestado por los adultos que se encuentran a su cuidado, solo la menor de dos (2) años, permanece en casa con su abuela.

Fotografía 26. Menor habitante del sector evaluado.



Fuente: Registro Fotográfico

### 10. Adultos mayores.

Dos de las familias visitadas cuentan con la presencia de adultos mayores, quienes se encuentran en buen estado de salud, desempeñando aun actividades cotidianas, del cuidado del hogar.

### 11. Estrato de la vivienda

Cuatro (4) de las viviendas visitadas pertenecen al estrato uno (1) y las otras tres (3) pertenecen al estrato dos (2) según lo manifestado por las personas que las habitan.

## 12. Tipo de vivienda.

Todas las viviendas ubicadas dentro del área de influencia del movimiento en masa son de tipo unifamiliar, la mayoría de ellas en buenas condiciones, a excepción de las que se encuentran construidas en madera.

Fotografía 27. Vivienda de menor con síndrome de Down.



Fuente: Registro Fotográfico

## 13. Área aproximada de las viviendas.

Tres (3) de las viviendas cuenta con alrededor de 50 Mtrs de área construida, dos (2) cuentan con alrededor de 80Mtrs de área construida y las otras dos (2) restantes cuentan con áreas construidas mayores a 100 Mtrs, en algunas se evidencia que se han realizado algunas adecuaciones o mejoras para hacerlas más habitables y estables, y otras carecen de condiciones mínimas de habitabilidad, como es el caso de la casa de habitación en donde vive el menor de edad con síndrome de Down.

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

#### **14. Pisos que tiene la vivienda.**

Cinco (5) de las viviendas cuentan con un solo piso, y las otras dos (2) son casa de dos pisos, estas últimas siendo las que tienen mejores condiciones de habitabilidad.

#### **15. Edad tiene la construcción.**

La construcción mas nueva tiene cinco (5) años de construida, otra tiene siete (7) años de construida, otra tiene quince (15) años de construida, tres (3) tienen entre dieciséis (16) y veinte (20) años de construidas y solo una (1) cuenta con más de veintiún (21) años de construida. Sin embargo aunque son en su mayoría viviendas nuevas, en algunas de ellas las condiciones de habitabilidad no son las mejores y requerirían de visitas posteriores para establecer estado de la construcción y algunas ayudas a las familias que las habitan, especialmente a la de la parte alta que no cuenta con puertas y la que habita el menor con síndrome de Down.

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

Predominan las viviendas construidas en bloque (5), solo dos (2) viviendas están construidas en madera por lo que representan un peligro para las personas que las habitan por su fragilidad e inestabilidad.

Fotografía 28. Construcciones en madera del sector evaluado.



Fuente: Registro Fotográfico

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

Las cubiertas de las viviendas habitadas de la zona, son variadas, tres (3) presenta coberturas en zinc, dos (2) más cubiertas en eternit y dos (2) más presentan placa de concreto. Especialmente las que tienen cobertura en zinc presentan falencias por falta de mantenimiento o cambio.

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

Los muros de las viviendas en su mayoría son de bloque, solo dos viviendas presentan muros en madera, lo que permite la filtración del frío y el agua en algunos casos, siendo estas las familias que requerirían seguimiento y atención por la zona que habitan.

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

Cuatro (4) de las viviendas tienen pisos en baldosa común, y tres (3) de las viviendas de más escasos recursos presentan pisos en tierra, lo que favorece, la presencia de virus, producto del polvo, el frio y las filtraciones de agua.

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

Una de las viviendas presenta un estado de la construcción malo y es importante resaltar la presencia de un menor de edad en condición de discapacidad, dos (2) viviendas presentan un estado de construcción regular, dos (2) viviendas presentan un estado de construcción bueno y dos (2) viviendas presentan un estado de construcción muy bueno, esto evidenciado en las observaciones realizadas y el concepto de las personas que las habitan.

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

Cuatro de las familias que habitan las viviendas visitadas, manifiestan que estas han sufrido daños por el deslizamiento del terreno y las otras tres (3) restantes manifiestan que no presentan afectaciones por el movimiento del terreno sino por otros motivos ajenos a este.

Fotografía 29. Casa de la parte urbana visitada.



Fuente: Registro Fotográfico

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

Todas las viviendas presentan daños ligeros unas a causa del movimiento en masa y otras por otros motivos ajenos a este.

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

Dos (2) de las viviendas presentan afectaciones visibles en muros y pisos, las restantes (5) presentan otro tipo de afectaciones.

Fotografía 30. Presencia de grietas y humedad en la vivienda.



Fuente: Registro Fotográfico

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

Cinco (5) de las viviendas cuentan con bases según lo manifiestan sus dueños, y las construidas en madera no cuentan con este sistema de sostenimiento.

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

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

La mayoría de los habitantes manifiestan desconocer el tema de la inestabilidad del terreno que bordea sus viviendas, pues manifiestan que no han observado cambios ni en el suelo ni en sus construcciones y nadie les había informado nada al respecto, solo una familia ha gestiona derechos de petición ante la alcaldía por este motivo, ya que sus cultivos si se han visto afectados, especialmente en la parte alta.

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

Cuatro (4) de las familias manifiestan subsistir con la mitad de un SMMV, dos (2) cuentan con aproximadamente un salario mínimo mensual cubrir sus necesidades básicas y solo una familia manifiesta tener recursos superiores a un salario mínimo mensual. Predominando así la escasez de recursos económicos en la mayoría de las familias visitadas.

## **27. Familia extensa**

Tres (3) de las familias visitadas cuentan con familia extensa en la cual apoyarse en caso de una emergencia o necesidad y las otras cuatro (4) manifiesta no contar con este tipo de red social de apoyo.

## **28. Ha implementado acciones para mitigar el riesgo.**

Cuatro (4) de los dueños de las viviendas no han realizado ningún tipo de acciones de mitigación, especialmente porque desconocían el riesgo, y tres que han presentado otro tipo de afectaciones diferentes a las del movimiento en masa han realizado algunas acciones espacialmente en cobertura de pequeñas grietas.

Fotografía 31. Agrietamiento de pisos.



Fuente: Registro Fotográfico

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

Cinco de las familias visitadas manifestaron no estar capacitados para afrontar una situación de riesgo y solo dos familias cuentan con este tipo de capacitación.

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

Cinco (5) familias manifiestan que en caso de presentarse un evento catastrófico su reacción sería salir corriendo, una familia trataría de ubicar un lugar cercano seguro y otra no sabría qué hacer ante una situación así. Lo que evidencia la necesidad de abordar este tipo de temas con la comunidad, que podría llegar a ser víctima del movimiento en masa evaluado.

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

Cinco (5) de las familias manifestaron que hace más de un año, con el invierno si habían evidenciado la caída de lodo y agua abundante desde la parte alta de la montaña, pero que desconocían que el terreno pudiera estarce moviendo a causa

de esto, dos (2) familias más manifestaron que el movimiento los ha comenzado a afectar hace menos de un año.

Fotografía 32. Familia con afectaciones en sus terrenos a causa del deslizamiento.



Fuente: Registro Fotográfico

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

La mayoría de las personas encuestadas llevan varios años viviendo en esta zona y manifiestan que desconocían que estuvieran en una zona de riesgo de deslizamiento.

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

La mayoría de las personas manifestaron sentir temor de que con la llegada del invierno, se pueda agudizar la escorrentía de agua ocasionando inundaciones en sus viviendas de la parte baja y peor aún el movimiento abrupto del terreno.

### 34. Depende económicamente del predio.

La mayoría de las familias manifiestan que no dependen económicamente de los terrenos que habitan, pero sí que estos son sus lugares de habitación que han conseguido con mucho esfuerzo, por lo que solicitan ayuda para poder seguir conservándolos como hasta el momento, estableciendo acciones de mitigación como canalizar las aguas de escorrentía que los afectan en invierno.

### 35. Qué uso tiene o tenía el predio.

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

Fotografía 33. Ganado del sector.



Fuente: Registro Fotográfico

### 36. Sabe si su municipio brinda capacitación en prevención de riesgos.

La mayoría de las personas encuestadas manifiestan no tener conocimiento de que su municipio adelante jornadas de capacitación en prevención de riesgo

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

Cuatro (4) de las familias no les gustaría cambiar de lugar de habitación, pues se sienten felices en el lugar que habitan, las otras tres (3) familias, les gustaría vivir en un lugar más central del casco urbano.

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

Una (1) familia manifiesta que en una ocasión la oficina de planeación los visito por el problema de filtraciones de agua que afectaba sus terrenos cultivables en la parte alta de su finca, las demás familias manifestaron nunca haber tenido una visita por parte de alguna entidad que les comunicara sobre este tipo de riesgo.

Fotografía 34. Vivienda afectada por el movimiento del terreno.



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

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

Una (1) de las familias esperaría que la alcaldía les ayude en cuanto a construcción de vivienda, especialmente porque dentro de su núcleo familiar carecen de recursos económicos para mejorar las condiciones de vida de su hijo menor con síndrome de Down y las demás familias esperarían que se les apoye en cuanto al manejo del riesgo.

### **40. Género:**

En la zona de influencia del deslizamiento se encuentran habitando trece (13) Hombres y trece (13) mujeres, para un total de 26 personas, de los cuales siete (7) son menores de edad y uno (1) de ellos con discapacidad.



## 10. OBRAS RECOMENDADAS

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

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

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

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

## 11. CONCLUSIONES

- EL FRM es un movimiento en masa en el cual se identifica roca y suelo desprendido de ladera con cierto grado de inclinación de la pendiente, tiene comportamiento remontante, causados por socavación de taludes debido a la acción del hombre (cortes anti técnicos del talud), provocando el retroceso del material del talud perdiendo apoyo en su base, se van desplomando progresivamente, en el área predomina una vegetación rala y pequeña, incapaz de retener el suelo, donde facilita la inestabilidad de proceso.
- Las altas precipitaciones de lluvia de la pasada ola invernal, fue uno de los factores detonantes de la agudización del movimiento en masa, al punto de que los vecinos del sector que habitan la parte baja del movimiento sufrieran inundaciones en sus viviendas.
- Las personas que han sufrido más afectaciones por el movimiento del terreno manifiestan que las filtraciones de agua, son las que refuerzan el fenómeno, por lo que solicitan obras de mitigación para la recolección de estas aguas.
- Los vecinos del sector se quejan por la humedad de las viviendas y las afectaciones físicas a las mismas, ya que algunas se han ido moviendo a causa de la falta de estabilidad del terreno.

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

- Es necesario mejorar las condiciones de drenaje de aguas lluvia en la zona, para evitar las afectaciones a las viviendas y a la calidad de vida de las personas que las habitan.
  
- Es necesario resaltar la afluencia de menores de edad en la zona, especialmente la un menor de 5 años con discapacidad, que requiere de unas mejores condiciones de vivienda para su pleno desarrollo.

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

## 12. RECOMENDACIONES.

- Debido a la vulnerabilidad estructural de los ranchos localizados en la parte baja del movimiento se deberán inspeccionar y verificar su posible reubicación.
- Una vez se realice la reparación de las vías afectadas se implementarán sistemas de drenaje que permitan el correcto drenaje de las mismas, mediante filtros o cunetas.
- Se recomienda la construcción de una estructura de contención tipo muro de contención en concreto de H=2.5m.
- Se deberán reconformar la ladera fallada mediante taludes tendidos a 45° con bermas intermedias de 1.5m, los cuales deberán empradizarse.
- Se recomienda la construcción de una serie de cunetas para la captación de agua de escorrentía. (ver ubicación en Plano Anexo).
- En la zona alta se deberá revegetalizar la zona alta del deslizamiento con arbustos bajos de la zona.
- Se recomienda realizar visitas periódicas, no mayores a seis meses a las viviendas cercanas a la zona del deslizamiento para hacer inspección de grietas, fisuras o asentamientos en la estructura.
- Se deberán amojonar puntos de la zona del deslizamiento para realizar control semestral de los desplazamientos 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>
---	---	---	---

### 13. BIBLIOGRAFÍA

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

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

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

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

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



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

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

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

Adaptado de Leone (1996)

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

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

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

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