



INFORME FINAL



**ELABORACIÓN DE ESTUDIO DE RIESGO (AMENAZA Y VULNERABILIDAD)
Y DISEÑO DE OBRAS DE ESTABILIZACION EN LA VEREDA GAQUE VIA
COLEGIO CENTRAL, MUNICIPIO DE SUTATENZA, JURISDICCION DE LA
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR (CORPOCHIVOR).**

CONVENIO

Nº 038 DEL 2012

UPTC - CORPOCHIVOR

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1 GENERALIDADES.....	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 LOCALIZACIÓN.	17
1.4 PERSONAL	18
1.5 DESCRIPCION DE ACTIVIDADES REALIZADAS.....	19
1.5.1. Trabajo de campo	19
1.6. ANÁLISIS DE LABORATORIO.....	21
1.6.1. Trabajos de Oficina	22
1.7. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y SUS POSIBLES CAUSAS	22
1.8. ESTADO DE LA INFORMACIÓN	23
2 ASPECTOS CLIMATICOS E HIDROLOGICOS.....	24
2.1. ANÁLISIS HIDROLÓGICO	25
2.2. BALANCE HÍDRICO.....	25
2.2.1. Tipos de recarga.....	26
2.3. ESTIMACIÓN DE LA ESCORRENTÍA	28
2.4. ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN.	34
2.4.1. Mapas de Isoyetas generados a partir de los datos de Precipitación. .	41
2.4.2. ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP). 47	
2.4.2.1. Formula de J. B. García y J.D. López.	47
2.4.3. Estimación del Balance Hídrico	48
2.4.4. Metodología.....	49
2.4.5. RESULTADOS OBTENIDOS	53

2.5.	CALCULO DE CAUDAL DE DISEÑO A PARTIR DE LAS CURVAS IDF	
	57	
2.5.1.	Resultados	57
2.6.	MORFOMETRÍA DE LA CUENCA	58
2.7.	USO ACTUAL Y COBERTURA DEL SUELO	63
2.7.1.	DESCRIPCIÓN REGIONAL	65
2.7.2.	COBERTURA Y USO DE SUELO PARA EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL ESTUDIO	68
2.7.3.	ÁREAS Y PORCENTAJES DE LAS COBERTURAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO	91
2.7.4.	UNIDADES DE COBERTURA VEGETAL	93
3	GEOLOGIA	97
3.1.	GEOLOGÍA HISTÓRICA	98
3.3.	GEOLOGIA LOCAL	98
3.3.1.	Formación Fόμεque (Kif)	98
3.3.2.	Depósitos Cuaternarios	99
3.4.	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	99
3.4.1.	Estructuras Plegadas	99
3.4.2.	Fallas	100
4	GEOMORFOLOGÍA	101
4.1	GEOMORFOLOGÍA LOCAL	102
4.2	ANÁLISIS FOTOGEOLÓGICO	103
4.3	PROCESOS MORFODINÁMICOS	104
4.3.1	Desprendimiento	104
4.4	INCLINACIÓN DE LAS PENDIENTES	106
4.5	UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	109
4.5.1	Geoformas de Origen Denudacional	111
4.6	EROSIÓN	113
4.6.1	Algunas Formas de Erosión	115
4.6.2	Factores externos	116
4.6.3	Factores internos	116
4.6.4	Morfodinámica - intensidad de erosión	117

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
6.2	INTRODUCCION.....	122
6.3	OBJETIVO.....	124
6.4	PRINCIPIO DEL METODO GEOFISICO.....	125
6.4.1	Resistividad Aparente:.....	125
6.4.2	Dispositivos:.....	127
6.5	METODOLOGIA.....	128
6.5.1	TOMOGRAFIA N°1.....	130
6.5.2	TOMOGRAFIA N°2.....	133
6.5.3	RESULTADOS.....	136
7	GEOTECNIA.....	137
7.1	EXPLORACIÓN DE CAMPO.....	137
7.1.1	Sondeos geotécnicos.....	137
7.2	CARACTERIZACIÓN DEL SUELO Y SUBSUELO.....	140
7.2.1	Trabajos de Laboratorio.....	140
7.2.2	Trabajos de Laboratorio.....	140
7.2.3	Resumen de resultados.....	144
7.3	Clasificación del Macizo Rocoso.....	145
7.3.1	Índice de Calidad de la Roca (RQD):.....	145
7.3.2	Clasificación Según el RMR:.....	148
7.3.3	Clasificación Según el Índice Geológico de Resistencia (GSI):.....	150

7.4	CINEMÁTICA DE LOS MOVIMIENTOS	152
7.5	CAUSAS DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA	152
7.5.1	Causas Reales.....	152
7.5.2	Causas Inmediatas	153
7.6	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y MODELACIÓN GEOTÉCNICA	154
7.6.1	Análisis estructuralmente controlado	157
7.6.2	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	ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD	172
9.1	ANÁLISIS Y GRAFICAS ESTADÍSTICAS DE LAS ENCUESTAS REALIZADAS EN EL MUNICIPIO DE SUTATENZA VEREDA GAQUE.....	173
10	OBRAS RECOMENDADAS	183
11	CONCLUSIONES.....	184
12	RECOMENDACIONES.	185
13	BIBLIOGRAFÍA.....	186

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización geográfica.....	17
Figura 2. Gráfico de precipitación media multianual mensual.	39
Figura 3. Gráfico de precipitación media multianual.....	40
Figura 4. Isoyetas mes de Enero y Febrero	41
Figura 5. Isoyetas mes de Marzo y Abril	42
Figura 6. Isoyetas mes de Mayo y Junio	43
Figura 7. Isoyetas mes de Julio y Agosto	44
Figura 8. Isoyetas mes de Septiembre y Octubre	45
Figura 9. Isoyetas mes de Noviembre y Diciembre	46
Figura 10. Comportamiento de las Curvas del Balance Hídrico.....	56
Figura 11. Imagen ilustrativa de la cuenca local sutatenza	61
Figura 12. Posiciones aproximadas de las Líneas gula de las regiones latitudinales y las fajas altitudinales del sistema mundial de zonas de vida de Holdridge, (basado en una tasa de cambio de .6°C por,cada 1000m).	66
Figura 13. Criterios para la clasificación de los bosques.....	84
Figura 14. Mapa cobertura vegetal y uso de suelo.....	91
Figura 15. Porcentaje áreas de coberturas.	92
Figura 16. Imagen mapa geológico área de estudio	97
Figura 17. Ventana extraida del mapa regional de Consultoría para la Homologación y Estructuración de la Información Cartográfica Base.....	101
Figura 18. Fotografías pertenecientes al vuelo 2804- 6,7 tomadas por el IGAC, durante los años 90.....	104
Figura 19. Esquema del Proceso de Desprendimiento	105
Figura 20. Esquema del movimiento, perfil desprendimiento	106
Figura 21. Imagen del Mapa de inclinación de las pendientes.....	107
Figura 22. Imagen del Mapa geomorfológico.	110
Figura 23. Imagen del Mapa erosión.....	118
Figura 24. Imagen del Mapa Hidrogeológico del área de estudio	120
Figura 25. Principio teórico de operación de las TER's.	123
Figura 26. Rangos de resistividad para diferentes materiales.....	123
Figura 27. Dispositivo Wenner.	128
Figura 28. Localización líneas de tomografía.	130
Figura 29. Perfil 1 tomografía.....	132
Figura 30. Perfil litológico 1	133
Figura 31. Perfil 2 tomografía.	135
Figura 32. Perfil litológico 2	136
Figura 33. Perfil Geotécnico S1.....	141

Figura 34. Límites de Atterbeg	142
Figura 35. Guía para la definición del Índice geológico de resistencia (GSI).	151
Figura 36. Análisis cinemático, falla por volcamiento	159
Figura 37. Análisis cinemático falla planar	160
Figura 38. Análisis cinemático falla por cuña	160
Figura 39. Perfil geológico AA'	162
Figura 40. Modelo de análisis perfil A-A'	162
Figura 41. Imagen Mapa de Amenazas.....	169
Figura 42. Imagen Mapa de Vulnerabilidad Física y Social.....	171

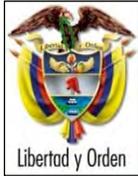
LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tabla general para la determinación de número de curva (CN).	30
Tabla 2. Escorrentía Estación Sutatenza, suelo tipo CL.....	32
Tabla 3. Escorrentía Estación Sutatenza, suelo tipo CL.....	33
Tabla 4. Estación pluviométrica utilizada en la estimación de la precipitación para el área de estudio.....	34
Tabla 5. Precipitación media multianual mensual por estación.	36
Tabla 6. Precipitación media multianual mensual por estación.	37
Tabla 7. Precipitación media multianual mensual por estación.	38
Tabla 8. Rangos de temperatura Sutatenza.....	48
Tabla 9. Valores de Evapotranspiración.....	48
Tabla 10. Calculo de Infiltración, basado en los valores de escorrentía (R) y precipitación (P). Estación Sutatenza.....	51
Tabla 11. Calculo de Infiltración, basado en los valores de escorrentía (R) y precipitación (P). Estación Sutatenza.....	52
Tabla 12. Estimación del Balance Hídrico.....	54
Tabla 13. Estimación del Balance Hídrico.....	55
Tabla 14. Valores de parámetros morfométricos para la cuenca local 1.....	62
Tabla 15. Valores de parámetros morfométricos para la cuenca local 2.....	63
Tabla 16. Areas metricas de las coberturas.....	92
Tabla 17. Unidades de cobertura vegetal.....	94
Tabla 18. Clasificación de las pendientes.....	108
Tabla 19. Descripción geomorfológica.....	113
Tabla 20. Resistividades de algunos suelos y rocas.....	127
Tabla 21. Resistividades de los materiales presentes en el área de estudio.....	132
Tabla 22. Resistividades de los materiales presentes en el área de estudio.....	134
Tabla 23. Coordenadas de los sondeos realizados.....	138
Tabla 24. Resumen de resultados ensayos de laboratorio.....	147
Tabla 25. Resumen de Resultados de la Clasificación RMR.....	150
Tabla 26. Coeficientes de reducción de coeficientes de aceleración sísmica.....	156
Tabla 27. Coeficientes de aceleración sísmica para el departamento Boyacá.....	157
Tabla 28. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla planar.....	158
Tabla 29. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.....	158
Tabla 30. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla por volteo.....	159
Tabla 31. Valores de Propiedades Físicas y Mecánicas Utilizadas en los Modelos de estabilidad.....	161
Tabla 32. Factores de seguridad para el modelo perfil A-A'.....	163

Tabla 33. Parámetros físicos y naturales estimados para la Identificación de Zonas Inestables (Deslizamientos)	165
Tabla 34. Categorización de amenazas por FRM	167
Tabla 35. Categorización de amenaza por (FRM) según nsr-10.....	168

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1.	Exploración directa del subsuelo (SPT).....	20
Fotografía 2.	Georeferenciación área de estudio.	65
Fotografía 3.	Tejido urbano discontinuo	74
Fotografía 4.	Tejido artificializado de nivel 4 red vial 122 C.L.C.	75
Fotografía 5.	Psidium guajava	76
Fotografía 6.	Musa sapientum L.J	78
Fotografía 7.	Cultivo agroforestal	79
Fotografía 8.	Pastos limpios presente en la zona de estudio.	81
Fotografía 9.	Pastos enmalezados.	82
Fotografía 10.	Bosque denso bajo de tierra firme.	85
Fotografía 11.	Cupressaceae.....	87
Fotografía 12.	Arbustal Abierto Mesofilo	89
Fotografía 13.	Rio presente en el área de estudio.	90
Fotografía 14.	Parte media-baja del deslizamiento.....	131
Fotografía 15.	Parte media-baja del deslizamiento	131
Fotografía 16.	Parte alta del deslizamiento.....	133
Fotografía 17.	Parte alta del deslizamiento.....	134
Fotografía 18.	Perforación realizada en la zona de estudio	139
Fotografía 19.	Prueba de Penetrometro de Bolsillo	139
Fotografía 20.	Muestra fallada en el ensayo de compresión no confinada. ...	143
Fotografía 21.	Muestras a las que se les realizó la prueba de corte directo. .	144
Fotografía 22.	Parte superior del movimiento	161
Fotografía 23.	Vista del movimiento. Frente a la vivienda afectada.....	173
Fotografía 24.	Vista de la vivienda afectada.	174
Fotografía 25.	vista del movimiento en masa.....	176
Fotografía 26.	Afectaciones del terreno.	179
Fotografía 27.	Hundimientos en el terreno.....	180
Fotografía 28.	Parte baja del movimiento. (Galpones) Avícola valle de tenza.....	181



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



EJECUTOR
CONVENIO No.
038/2012.

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

		<p style="text-align: center;">MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE 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.

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

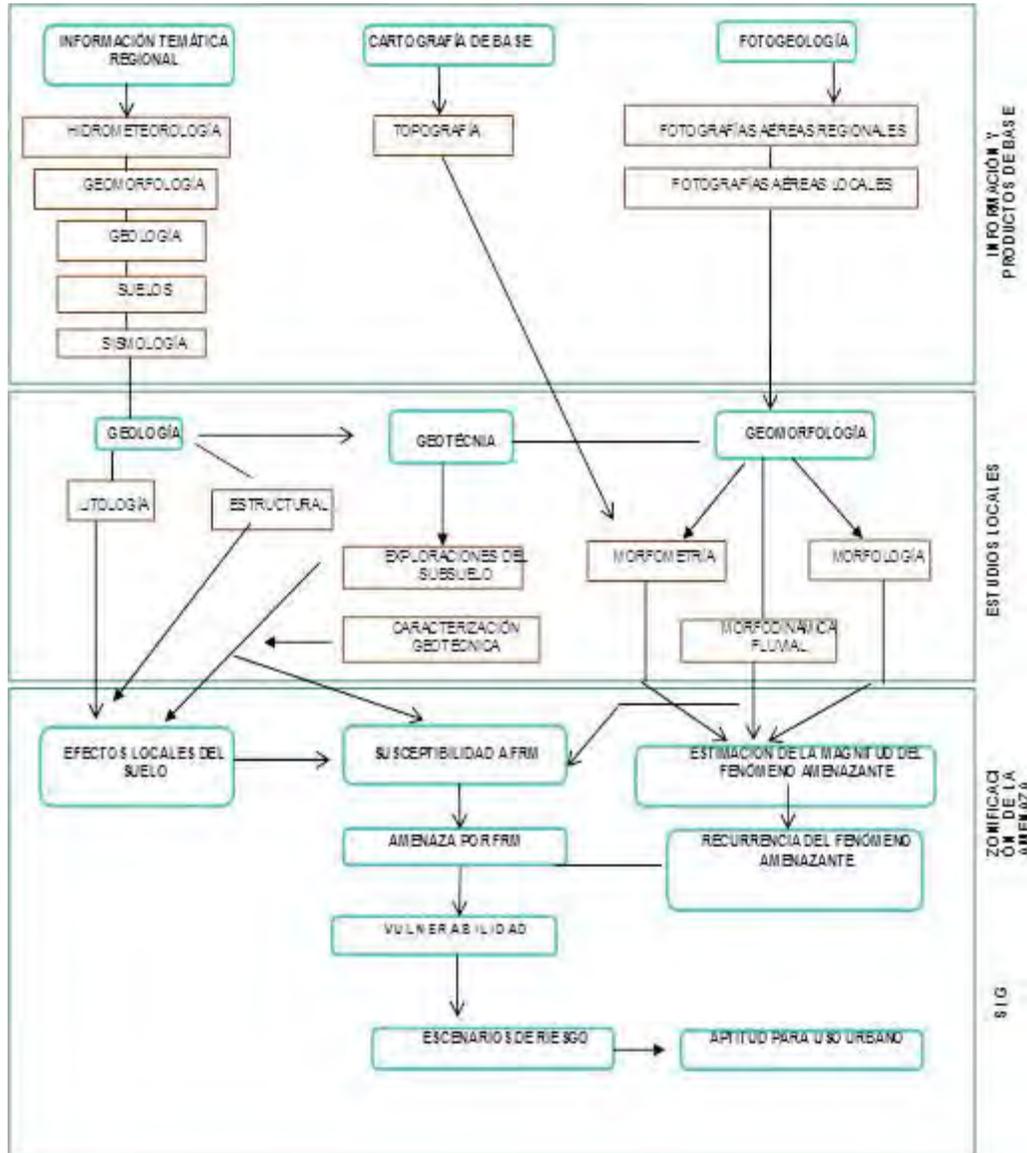
Se aclara que, la metodología de evaluación de amenazas propuesto, involucra como detonantes, las precipitaciones, la actividad sísmica y antrópica, por lo que igualmente se hará una revisión de aspectos endógenos como la ocurrencia, magnitud y posibles áreas de afectación de los sismos asociados.

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

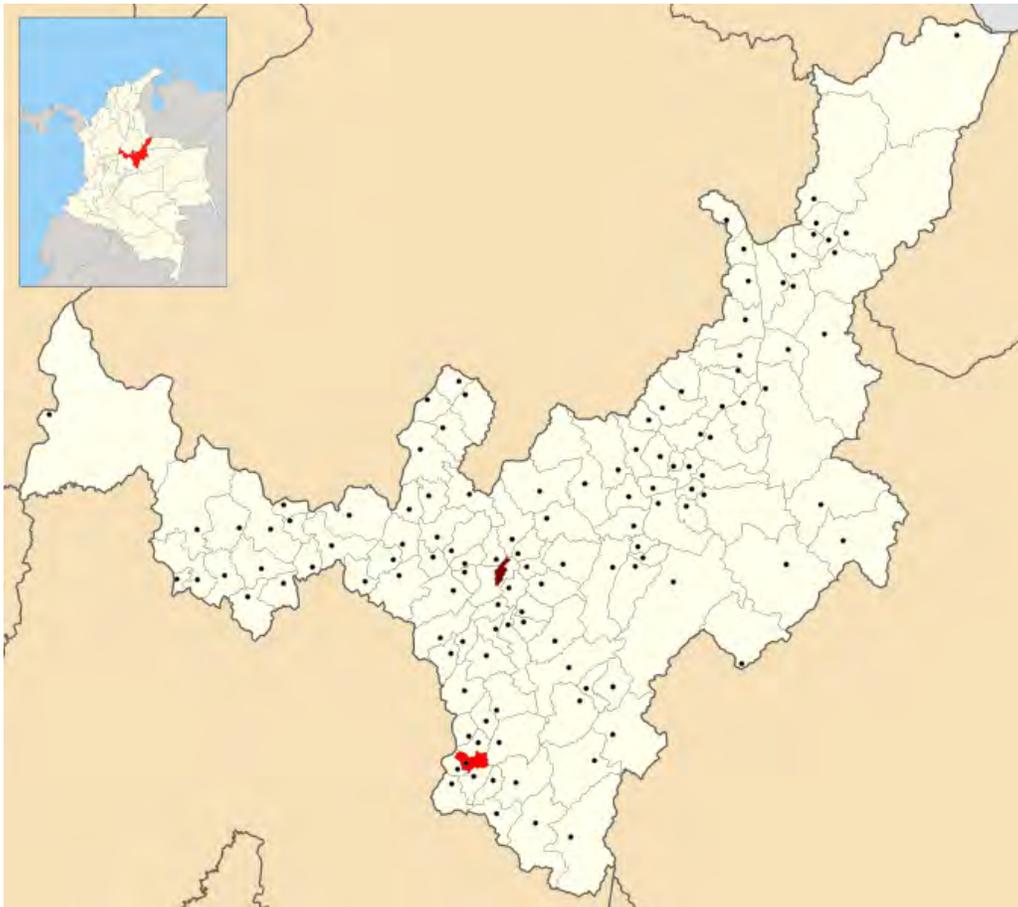
1.2.2 Metodología



ELABORACIÓN DE ESTUDIO DE RIESGO (AMENAZA Y VULNERABILIDAD) Y DISEÑO DE OBRAS DE ESTABILIZACIÓN EN LA VEREDA GAQUE VIA COLEGIO CENTRAL, MUNICIPIO DE SUTATENZA JURISDICCIÓN DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR (CORPOCHIVOR).

1.3 LOCALIZACIÓN.

Figura 1. Localización geográfica.

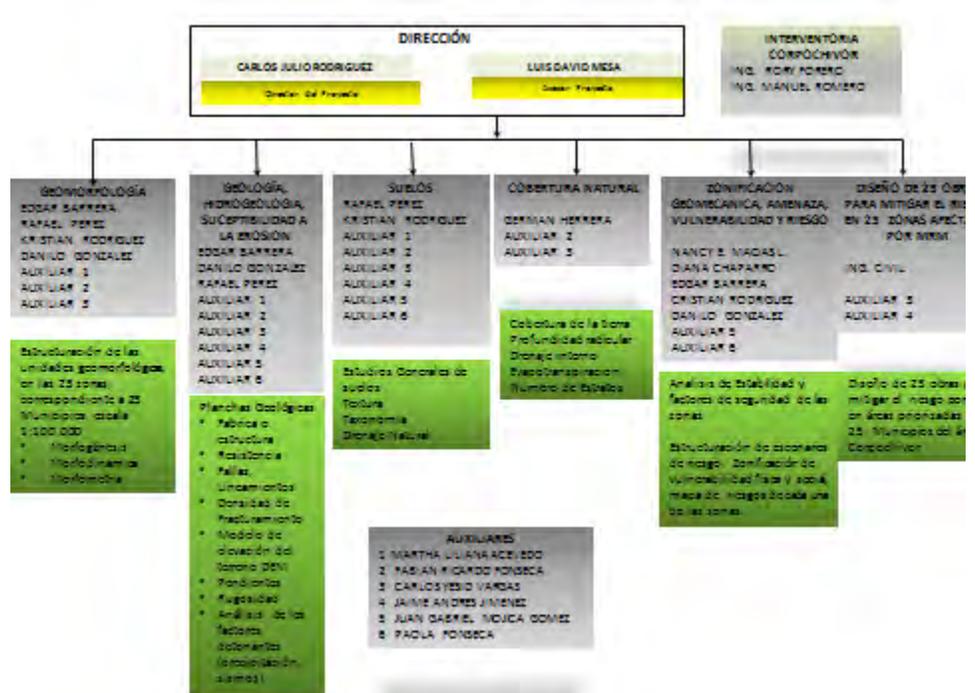


Fuente: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colombia_-_Boyaca_-_Sutatenza.svg

El área de Estudio se encuentra en las coordenadas N 1046326, E 1068860, a una altura de 1739 msnm; en la Provincia del Oriente, en el Municipio de Sutatenza, en la vereda Gaque vía colegio central.

1.4 PERSONAL

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



ORGANIGRAMA

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

1.5 DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES REALIZADAS

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

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

1.5.1. Trabajo de campo

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

El trabajo de campo consistió en:

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

Fotografía 1. Exploración directa del subsuelo (SPT)



Fuente: Resultado del estudio.

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

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

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



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

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

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

1.6. ANÁLISIS DE LABORATORIO.

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

1.7. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y SUS POSIBLES CAUSAS

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



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

1.8. ESTADO DE LA INFORMACIÓN

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

La información recopilada tuvo en cuenta aspectos tales como:

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

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



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



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

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

2.2.1. Tipos de recarga

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

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

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



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

3. Flujos laterales, procedentes de otros acuíferos

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

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

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

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

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

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



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

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

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

2.3. ESTIMACIÓN DE LA ESCORRENTÍA

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

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



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

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

Dónde:

S= (25400/CN)-254

P= Precipitación

CN= Número de curva (tablas)

Q= Escorrentía

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

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

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

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

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

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

Dónde:

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

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

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

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

Escorrentía Estación Sutatenza, suelo tipo CL

P	R	S CL (C)	CN
94,9166667	40,8635405	75,87013	77
98,0833333	43,2924651		
87,0833333	34,9909878		
106,666667	50,0165196		
75,4166667	26,663007		
93,0833333	39,4712081		
80,3333333	30,1053129		
76,1666667	27,1812576		
90,45	37,490032		
115,308333	56,96947		
99,125	44,0978436		
90,825	37,7707773		
78,7166667	28,9619607		
79,1416667	29,2614723		
92,025	38,6722729		
18,8333333	0,168372		
31,9916667	3,05146015		
89,8	37,0045194		
30,7833333	2,66344529		
41,8666667	6,94693663		

Fuente: Resultado del estudio

Escorrentía Estación Sutatenza, suelo tipo CL

98,75	43,8075517
92	38,6534439
89,525	36,7995388
108,45	51,4372317
101,941667	46,2907444
98,9083333	43,9300708
98,7333333	43,7946591
102,925	47,0613708
98,6416667	43,7237638
76,5166667	27,4239748
107,125	50,3809201
106,85	50,1622182
92,0166667	38,6659964
103,408333	47,4410877
78,0083333	28,4644836
109,991667	52,6715239
107,491667	50,6728091
112,75	54,8935404
89,2083333	36,5638187
105,65	49,2100607
103,775	47,729555
124,216667	64,3021975
107,2	50,4405981
104,925	48,6365394
94	40,1660677
111,091667	53,5555806
81,2416667	30,7524426
97,0583333	42,5030187
151,408333	87,5030563
160,55	95,5233717

Fuente: Resultado del estudio

2.4. ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN.

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

Con el fin de conocer el comportamiento de este parámetro hidroclimatológico se utilizaron los datos de 1 estación climatológica (Tabla 4) las cuales se encuentran ubicadas dentro y en áreas colindantes del área de estudio del presente convenio. Con el propósito de obtener el valor (mm) de precipitación media mensual multianual de la zona de estudio se utilizaron los datos mensuales de las estaciones seleccionadas para un periodo de 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.

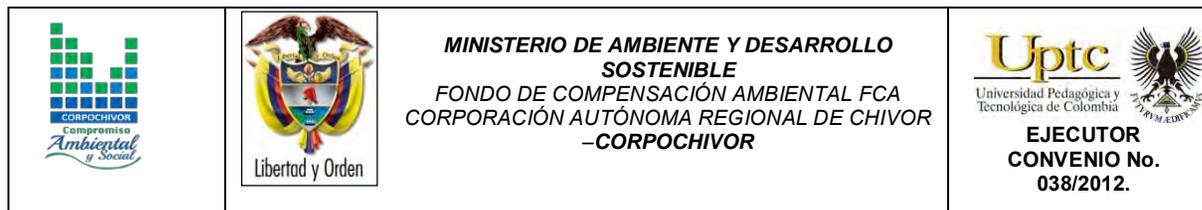
Estación pluviométrica utilizada en la estimación de la precipitación para el área de estudio.

CODIGO	NOMBRE ESTACION	CORRIENTE	NOMBRE DEPARTAMENTO	NOMBRE MUNICIPIO
3507502	SUTATENZA	RIO GARAGOA	BOYACA	SUTATENZA

Fuente: Resultado del estudio

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



Precipitación media multianual mensual por estación.

NOMBRE ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
SUTATENZA	6,0	9,0	1,0	63,0	227,0	205,0	238,0	129,0	116,0	49,0	56,0	40,0	94,9166667
SUTATENZA	14,0	57,0	26,0	167,0	198,0	147,0	154,0	167,0	101,0	45,0	88,0	13,0	98,0833333
SUTATENZA	0,0	5,0	4,0	91,0	209,0	173,0	137,0	82,0	161,0	101,0	63,0	19,0	87,0833333
SUTATENZA	17,0	30,0	39,0	135,0	213,0	170,0	236,0	149,0	88,0	100,0	73,0	30,0	106,6666667
SUTATENZA	12,0	5,0	100,0	50,0	87,0	120,0	137,0	115,0	85,0	53,0	97,0	44,0	75,4166667
SUTATENZA	15,0	6,0	77,0	130,0	103,0	212,0	159,0	182,0	120,0	74,0	35,0	4,0	93,0833333
SUTATENZA	9,0	17,0	20,0	147,0	80,0	164,0	205,0	89,0	72,0	106,0	47,0	8,0	80,3333333
SUTATENZA	52,0	33,0	20,0	116,0	148,0	139,0	37,0	112,0	37,0	151,0	41,0	28,0	76,1666667
SUTATENZA	42,0	23,0	46,5	121,0	129,0	162,5	22,4	186,0	110,0	120,0	62,0	61,0	90,45
SUTATENZA	21,0	54,0	128,0	124,0	220,0	177,0	243,0	159,0	81,7	70,0	75,0	31,0	115,3083333
SUTATENZA	52,0	22,0	56,7	179,2	185,3	168,1	160,1	111,9	129,0	78,2	42,5	4,5	99,125
SUTATENZA	7,1	11,4	15,8	70,8	170,9	135,0	132,5	193,6	123,4	104,7	109,9	14,8	90,825
SUTATENZA	22,5	31,7	56,1	106,9	134,2	118,3	175,7	99,0	80,4	71,2	46,5	2,1	78,7166667
SUTATENZA	6,6	16,2	43,6	86,9	84,6	185,3	138,3	132,7	60,9	92,4	42,6	59,6	79,1416667
SUTATENZA	10,6	10,2	57	117,9	152,5	248,7	157,2	117,5	71,8	46,1	85,4	29,4	92,025
SUTATENZA	0	19	18,5	85,8	102,7								18,8333333
SUTATENZA								139,9	103,61	108,8	15,52	16,02	31,9916667
SUTATENZA	1,52	0	27,44	133,64	99,3	143,3	168,7	143	50,9	139,4	102,9	67,5	89,8
SUTATENZA	3	1,5	24,54					137	116,8	71	3,6	12	30,7833333
SUTATENZA	0	39,7	25,9	138,1			82,5	136,9	79,3				41,8666667

Fuente: Resultado del estudio.

ELABORACIÓN DE ESTUDIO DE RIESGO (AMENAZA Y VULNERABILIDAD) Y DISEÑO DE OBRAS DE ESTABILIZACION EN LA VEREDA GAQUE VIA COLEGIO CENTRAL, MUNICIPIO DE SUTATENZA JURISDICCIÓN DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR (CORPOCHIVOR).



Precipitación media multianual mensual por estación.

SUTATENZA	11,3	108,0	68,9	165,8	114,1	144,7	179,1	130,6	113,3	81,6	35,9	31,7	98,75
SUTATENZA	13,6	53,5	30,0	0,0	100,7	300,8	184,8	217,4	111,9	19,3	58,9	13,1	92
SUTATENZA	8,1	16,6	35,2	96,3	181,3	192,5	146,0	134,8	88,7	86,1	66,0	22,9	89,525
SUTATENZA	0,0	105,7	41,7		149,2	300,5	288,2	77,8	31,9	260,4	24,5	21,5	108,45
SUTATENZA	15,7	48,0	42,1	111,0	166,6	149,6	203,0	156,6	97,0	131,0	37,6	65,2	101,941667
SUTATENZA	1,5	20,4	24,1	128,3	209,2	169,6	150,8	112,8	152,0	107,9	83,1	27,2	98,9083333
SUTATENZA	18,2	40,5	62,2	66,3	229,3	180,9	207,0	92,9	104,2	106,9	60,5	15,9	98,7333333
SUTATENZA	23,5	22,4	116,6	79,5	166,7	204,8	171,6	161,4	87,9	81,1	45,0	74,6	102,925
SUTATENZA	1,4	25,8	52,8	66,9	172,4	144,6	264,2	195,7	84,3	109,7	58,5	7,4	98,6416667
SUTATENZA	19,62	21,18	16,31	106	63,02	123,07	198,12	131,71	132,89	40,98	57,38	7,92	76,5166667
SUTATENZA	40,0	9,5	52,7	116,4	157,1	184,2	225,4	113,2	140,1	71,5	157,9	17,5	107,125
SUTATENZA	10,2	22,2	60,4	107,2	225,9	152,9	168,7	212,9	97,3	124,0	69,5	31,0	106,85
SUTATENZA	40,9	2,5	63,4	145,1	166,0	190,2	134,5	140,7	75,8	78,3	40,8	26,0	92,0166667
SUTATENZA	37,1	69,7	49,9	101,3	146,6	206,7	156,8	152,8	116,8	109,1	57,3	36,8	103,408333
SUTATENZA	19,2	25,8	28,5	50,9	155,3	158,6	190,2	136,7	54,2	56,7	53,1	6,9	78,0083333
SUTATENZA	3	27,2	85,4	112,5	213,7	200,6	265,3	93,3	99,5	66,6	52,2	100,6	109,991667
SUTATENZA	25,4	91,8	52,1	216,6	108,7	164,1	145,5	58,7	155,1	156,2	103,1	12,6	107,491667

Fuente: Resultado del estudio



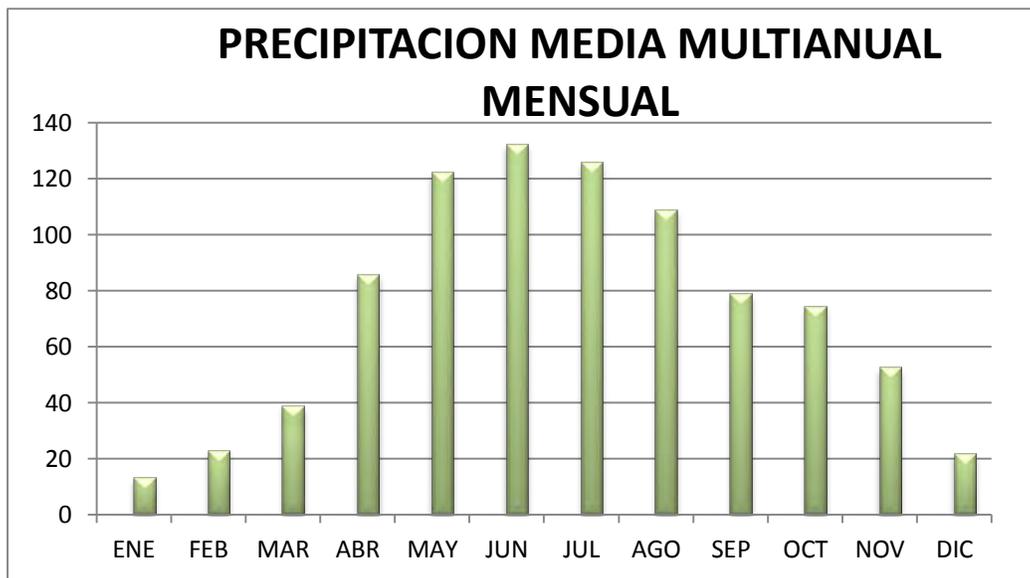
Precipitación media multianual mensual por estación.

SUTATENZA	27,2	33,9	58,6	75,3	216,4	155,4	194,1	231,9	159,5	91,6	74,1	35,0	112,75
SUTATENZA	3,5	8,1	23,5	81,4	146,1	125,8	149,2	129,4	143,8	134,3	86,0	39,4	89,2083333
SUTATENZA	10,1	18,5	49,6	155,7	207,7	144,2	185,9	237,3	136,8	67,8	45,0	9,2	105,65
SUTATENZA	14,5	13,9	73,2	84,7	187,8	191,2	178,8	147,0	117,5	116,6	69,5	50,6	103,775
SUTATENZA	16,8	45,7	56,2	127,0	265,2	276,8	225,1	181,8	92,6	107,0	82,7	13,7	124,216667
SUTATENZA	28,7	73,8	30,9	135,9	248,0	123,9	97,0	153,3	159,6	135,4	94,9	5,0	107,2
SUTATENZA	79,4	1,9	100,9	181,2	100,1	234,0	160,8	129,7	76,3	121,8	48,3	24,7	104,925
SUTATENZA	0,6	22,5	66,9	135,6	195,5	178,9	74,0	147,2	127,0	91,7	61,7	26,4	94
SUTATENZA	14,1	8,4	25,5	81,5	168,5	265,4	196,1	103,2	136,6	128,1	181,8	23,9	111,091667
SUTATENZA	26,8	9,5	64,4	110,3	84,8	178,7	128,9	178,4	74,0	71,3	46,6	1,2	81,2416667
SUTATENZA	4,2	28,9	95,5	155,2	179,3	150,9	165,0	100,5	37,1	81,3	93,9	72,9	97,0583333
SUTATENZA	5,0	48,2	85,7	254,3	293,4	249,6	127,3	154,3	161,0	183,6	218,9	35,6	151,408333
SUTATENZA	42,1	60,3	186,8	220,2	194,9	232,9	367,6	222,6	93,5	134,4	111,7	59,6	160,55

Fuente: Resultado del estudio

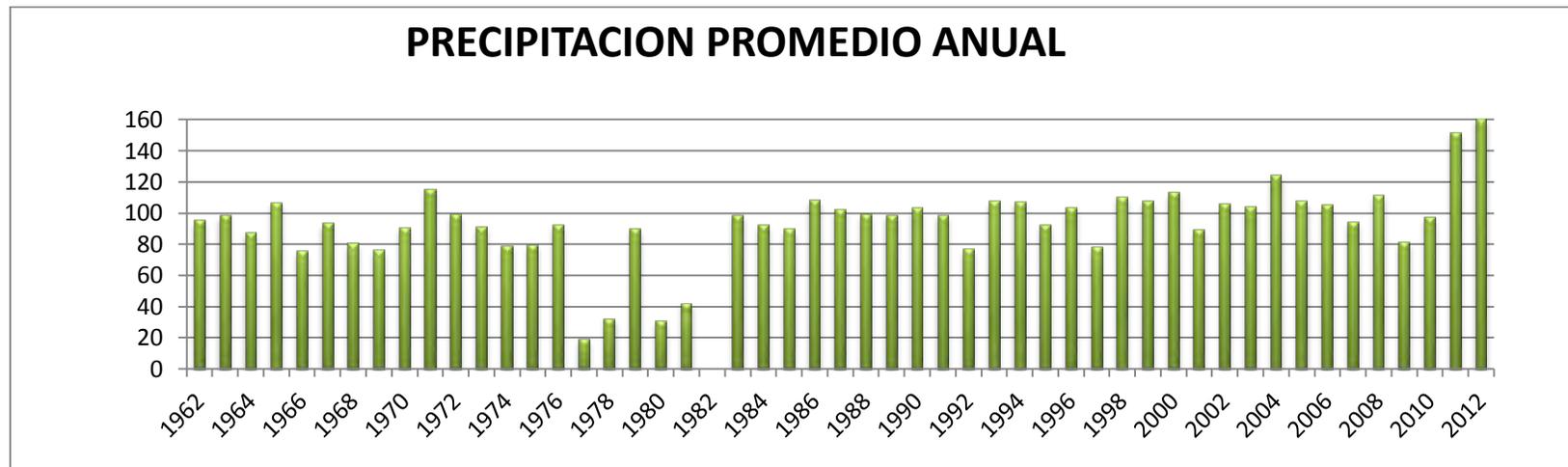
La precipitación media del área de estudio presenta un comportamiento bimodal, que muestra dos periodos de precipitación alta comprendidos en los meses Mayo-Junio y Julio-Agosto (Figura 2) y dos periodos de sequía comprendidos en los meses Noviembre – Diciembre, Enero- Febrero.

Figura 2. Gráfico de precipitación media multianual mensual.



Fuente: Resultado del estudio.

Figura 3. Gráfico de precipitación media multianual.

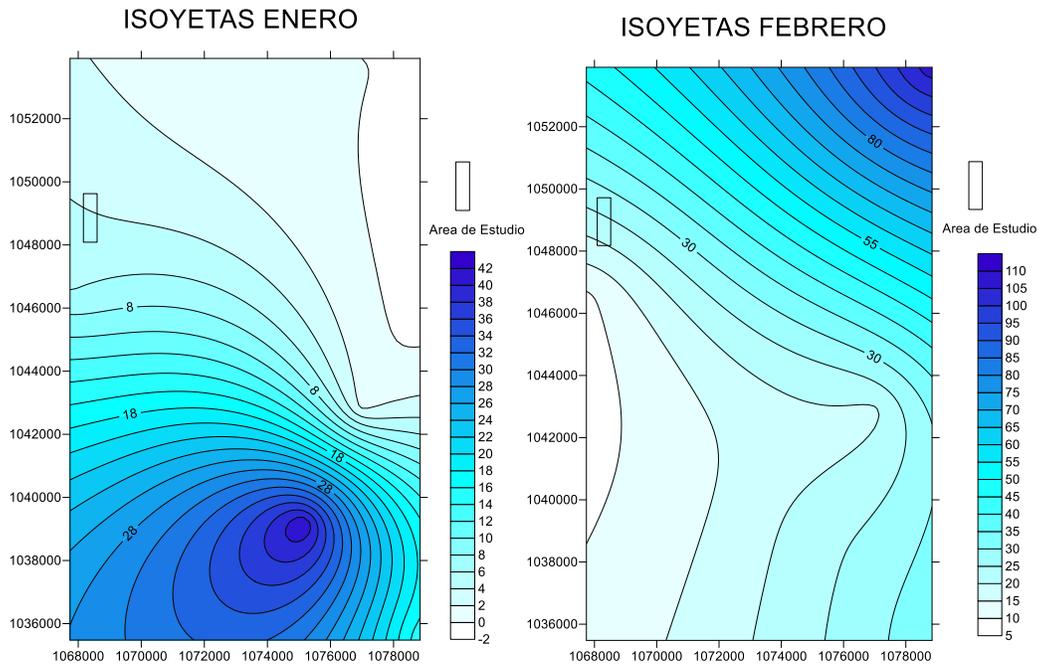


Fuente: Resultado del estudio

El comportamiento de la precipitación promedio anual, para los años 1975, 1978, 1980, 1981, (Figura 3) se encuentran valores que varían entre los 15- 45 mm, en los años 1966 -1968 -1974 – 1976 – 1992 – 1997 – 1998 - 2002 -2010 – 2011 se encuentran valores que varían entre los 50 - 90 mm y los años restantes se presentan valores que varían entre 90 - 180 mm.

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

Figura 4. Isoyetas mes de Enero y Febrero

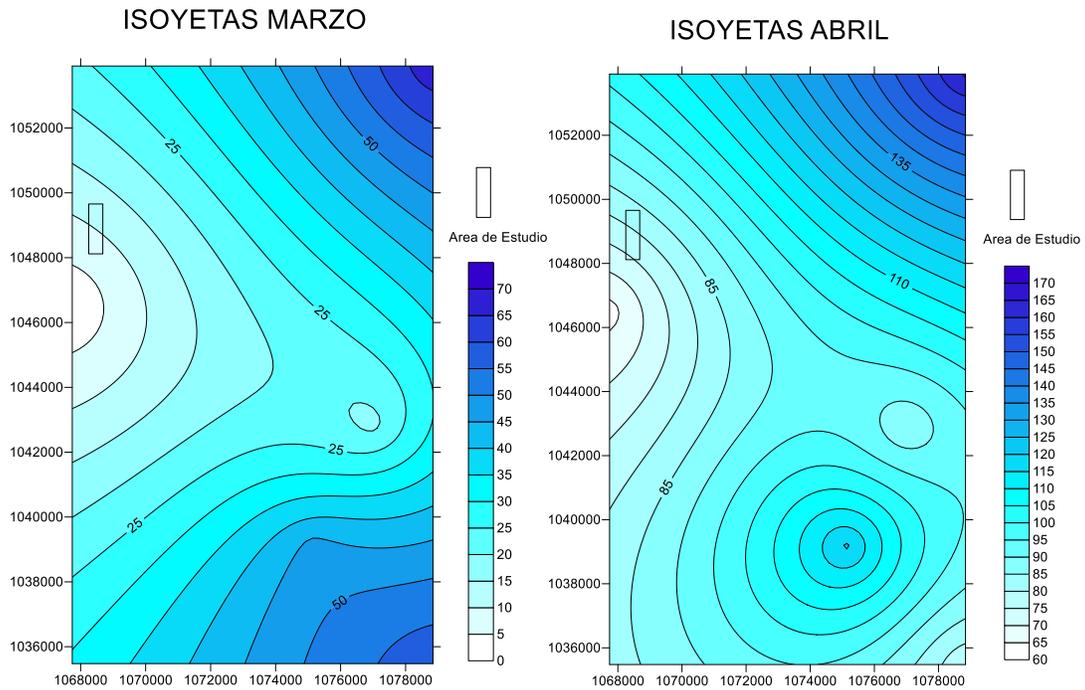


Fuente: Resultado del estudio

El comportamiento de la precipitación para el mes de Enero correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 4 y 10 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Febrero correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 15 y 35 mm.

Figura 5. Isoyetas mes de Marzo y Abril

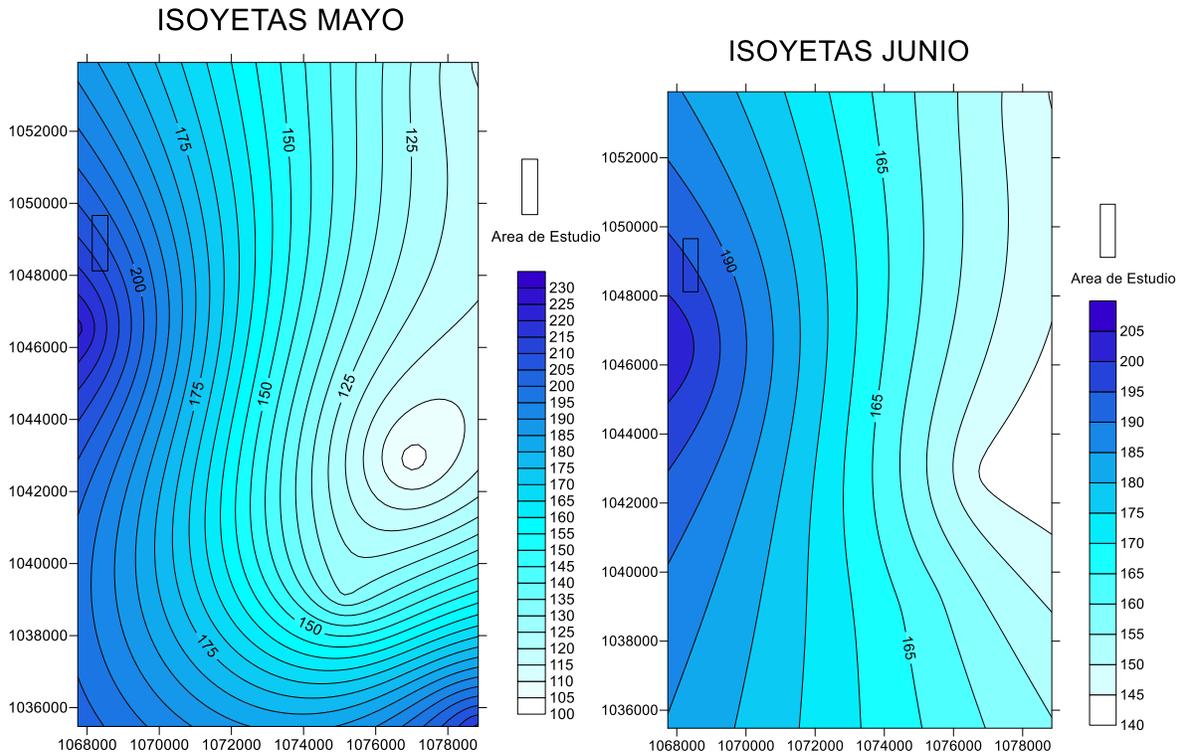


Fuente: Resultado del estudio

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

El comportamiento de la precipitación para el mes de Abril correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 70 y 85 mm.

Figura 6. Isoyetas mes de Mayo y Junio

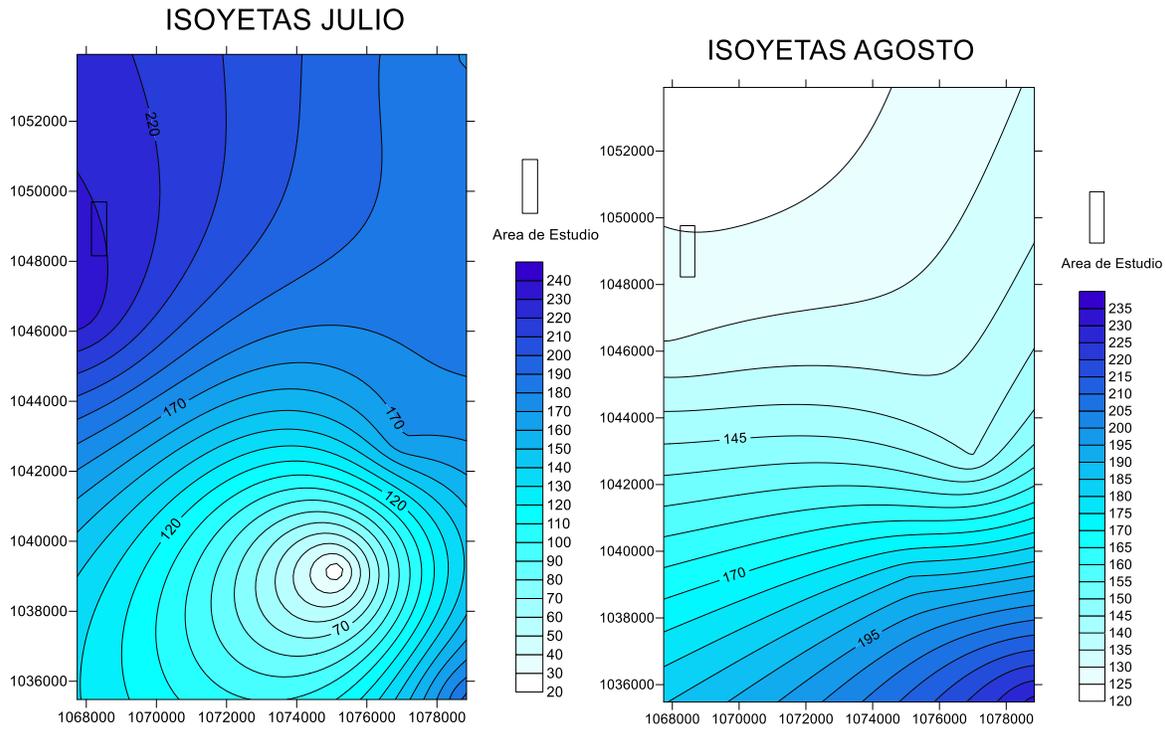


Fuente: Resultado del estudio

El comportamiento de la precipitación para el mes de Mayo correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 200 y 230 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Junio correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 180 y 205 mm.

Figura 7. Isoyetas mes de Julio y Agosto

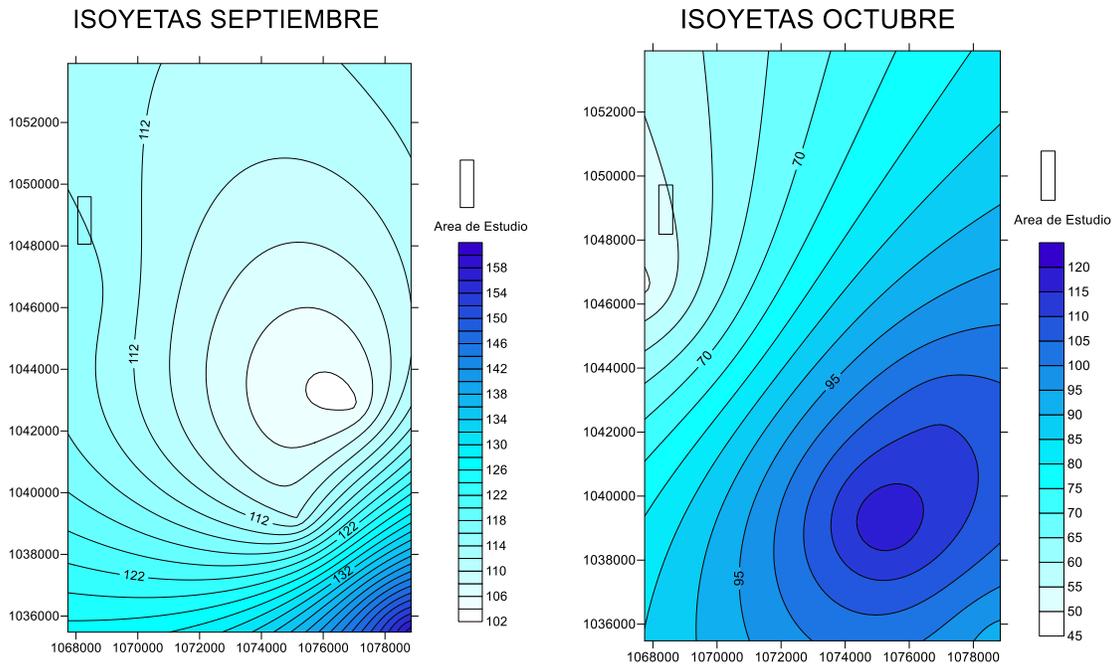


Fuente: Resultado del estudio

El comportamiento de la precipitación para el mes de Julio correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 190 y 240 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Agosto correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 125 y 145 mm.

Figura 8. Isoyetas mes de Septiembre y Octubre

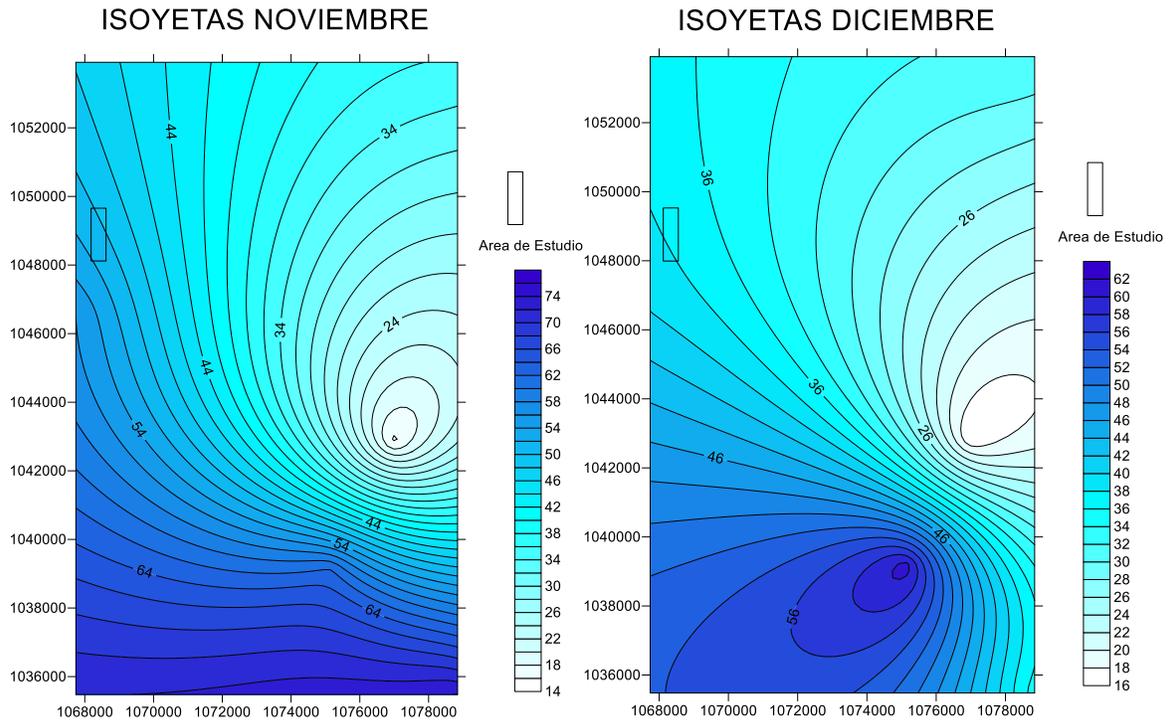


Fuente: Resultado del estudio

El comportamiento de la precipitación para el mes de Septiembre correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 102 y 114 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Octubre correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 60 y 70 mm.

Figura 9. Isoyetas mes de Noviembre y Diciembre



Fuente: Resultado del estudio

El comportamiento de la precipitación para el mes de Noviembre correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 42 y 54 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Diciembre correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 36 y 40 mm.

2.4.2. ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP)

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

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

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

Dónde:

ETP: Evapotranspiración

T: Temperatura media del aire en grados Celsius

HR: Humedad relativa media (%)

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

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

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



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

Rangos de temperatura Sutatenza.

	Temperatura (°C)
Periodo 1	15.6
Periodo 2	17.5
Periodo 3	19.4

Fuente: Resultado del estudio

El valor de la humedad relativa (HR) se toma del POT del municipio de Sutatenza, que corresponde al valor del 83 %. De donde obtenemos:

Valores de Evapotranspiración

ETP1	ETP2	ETP3
4,471333	5,3206314	6,2198776

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.

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

- Con la ecuación propuesta por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de Norteamérica se calcula la escorrentía para cada categoría y microcuenca, que utiliza el número de curva de escorrentía y la precipitación media mensual como variables.
- Se realiza un balance hídrico, con los datos de precipitación, escorrentía, evapotranspiración para encontrar la cantidad de recarga, siguiendo las normas del IDEAM.

Cálculo del balance hídrico.

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

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

P= precipitación

ESC = escorrentía

ETR= evapotranspiración

ΔS= cambios en el contenido de humedad del suelo

REC= recarga o infiltración potencial

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

$$I = P - ETR - R$$

Dónde:

P = precipitación media por el método de las isoyetas.

ETR = evapotranspiración real.

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

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

AÑO	P	R	I	ETP
1962	94,9166667	40,86354	54,0531263	4,471333
1963	98,0833333	43,292465	54,7908682	4,471333
1964	87,0833333	34,990988	52,0923455	4,471333
1965	106,666667	50,01652	56,6501474	4,471333
1966	75,4166667	26,663007	48,7536597	4,471333
1967	93,0833333	39,471208	53,6121252	4,471333
1968	80,3333333	30,105313	50,2280204	4,471333
1969	76,1666667	27,181258	48,9854091	4,471333
1970	90,45	37,490032	52,959968	4,471333
1971	115,308333	56,96947	58,338863	4,471333
1972	99,125	44,097844	55,0271564	4,471333
1973	90,825	37,770777	53,0542227	4,471333
1974	78,7166667	28,961961	49,754706	4,471333
1975	79,1416667	29,261472	49,8801944	4,471333
1976	92,025	38,672273	53,3527271	4,471333
1977	18,8333333	0,168372	18,6649613	4,471333
1978	31,9916667	3,0514602	28,9402065	4,471333
1979	89,8	37,004519	52,7954806	5,3206314
1980	30,7833333	2,6634453	28,119888	5,3206314
1981	41,8666667	6,9469366	34,9197301	5,3206314
1983	98,75	43,807552	54,9424483	5,3206314
1984	92	38,653444	53,3465561	5,3206314

Fuente: Resultado del estudio

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

1985	89,525	36,799539	52,7254612	5,3206314
1986	108,45	51,437232	57,0127683	5,3206314
1987	101,941667	46,290744	55,6509226	5,3206314
1988	98,9083333	43,930071	54,9782625	5,3206314
1989	98,7333333	43,794659	54,9386743	5,3206314
1990	102,925	47,061371	55,8636292	5,3206314
1991	98,6416667	43,723764	54,9179029	5,3206314
1992	76,5166667	27,423975	49,0926919	5,3206314
1993	107,125	50,38092	56,7440799	5,3206314
1994	106,85	50,162218	56,6877819	5,3206314
1995	92,0166667	38,665996	53,3506704	6,2198776
1996	103,408333	47,441088	55,9672453	6,2198776
1997	78,0083333	28,464484	49,5438497	6,2198776
1998	109,991667	52,671524	57,3201431	6,2198776
1999	107,491667	50,672809	56,818858	6,2198776
2000	112,75	54,89354	57,8564596	6,2198776
2001	89,2083333	36,563819	52,6445146	6,2198776
2002	105,65	49,210061	56,4399393	6,2198776
2003	103,775	47,729555	56,045445	6,2198776
2004	124,216667	64,302197	59,9144695	6,2198776
2005	107,2	50,440598	56,7594019	6,2198776
2006	104,925	48,636539	56,2884606	6,2198776
2007	94	40,166068	53,8339323	6,2198776
2008	111,091667	53,555581	57,5360864	6,2198776
2009	81,2416667	30,752443	50,4892241	6,2198776
2010	97,0583333	42,503019	54,5553146	6,2198776
2011	151,408333	87,503056	63,9052768	6,2198776
2012	160,55	95,523372	65,0266283	6,2198776

Fuente: Resultado del estudio



2.4.5. RESULTADOS OBTENIDOS

Los valores obtenidos dentro del balance hídrico se encuentran resumidos en la Figura 10 y expresados esquemáticamente en la Tabla 12.



Estimación del Balance Hídrico

AÑO	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970
PRECIPITACION PROMEDIO	94,9166667	98,0833333	87,0833333	106,666667	75,4166667	93,0833333	80,3333333	76,1666667	90,45
ESCORRENTIA	40,86354045	43,29246511	34,9909878	50,01651964	26,66300702	39,47120813	30,1053129	27,18125757	37,49003196
EVAPOTRANSPIRACION	4,471333	4,471333	4,471333	4,471333	4,471333	4,471333	4,471333	4,471333	4,471333
DELTA	49,58179325	50,31953519	47,6210125	52,17881436	44,28232668	49,14079217	45,7566874	44,51407613	48,48863504
ALMACENAMIENTO	49,5817933	50,3195352	47,6210125	52,1788144	44,2823267	49,1407922	45,7566874	44,5140761	48,488635
DEFICIT									
RECARGA	49,5817933	50,3195352	47,6210125	52,1788144	44,2823267	49,1407922	45,7566874	44,5140761	48,488635

AÑO	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
PRECIPITACION PROMEDIO	115,308333	99,125	90,825	78,7166667	79,1416667	92,025	18,8333333	31,9916667	89,8	30,7833333
ESCORRENTIA	56,96947002	44,09784358	37,7707773	28,96196073	29,26147234	38,67227291	0,168371999	3,051460152	37,00451942	2,66344529
EVAPOTRANSPIRACION	4,471333	4,471333	4,471333	4,471333	4,471333	4,471333	4,471333	4,471333	5,3206314	5,3206314
DELTA	53,86752998	50,55582342	48,5828897	45,28337297	45,40886136	48,88139409	14,1936283	24,46887355	47,47484918	22,79925661
ALMACENAMIENTO	53,86753	50,5558234	48,5828897	45,283373	45,4088614	48,8813941	14,1936283	24,4688735	47,4748492	22,7992566
DEFICIT										
RECARGA	53,86753	50,5558234	48,5828897	45,283373	45,4088614	48,8813941	14,1936283	24,4688735	47,4748492	22,7992566

AÑO	1981	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
PRECIPITACION PROMEDIO	41,8666667	98,75	92	89,525	108,45	101,941667	98,9083333	98,7333333	102,925
ESCORRENTIA	6,946936625	43,80755167	38,6534439	36,79953878	51,43723166	46,29074443	43,93007081	43,79465905	47,06137081
EVAPOTRANSPIRACION	5,3206314	5,3206314	5,3206314	5,3206314	5,3206314	5,3206314	5,3206314	5,3206314	5,3206314
DELTA	29,59909868	49,62181693	48,0259247	47,40482982	51,69213694	50,33029117	49,65763109	49,61804285	50,54299779
ALMACENAMIENTO	29,5990987	49,6218169	48,0259247	47,4048298	51,6921369	50,3302912	49,6576311	49,6180429	50,5429978
DEFICIT									
RECARGA	29,5990987	49,6218169	48,0259247	47,4048298	51,6921369	50,3302912	49,6576311	49,6180429	50,5429978

Fuente: Resultado del estudio

ELABORACIÓN DE ESTUDIO DE RIESGO (AMENAZA Y VULNERABILIDAD) Y DISEÑO DE OBRAS DE ESTABILIZACION EN LA VEREDA GAQUE VIA COLEGIO CENTRAL, MUNICIPIO DE SUTATENZA JURISDICCIÓN DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR (CORPOCHIVOR).



Estimación del Balance Hídrico

AÑO	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
PRECIPITACION PROMEDIO	98,6416667	76,5166667	107,125	106,85	92,0166667	103,408333	78,0083333	109,991667	107,491667
ESCORRENTIA	43,72376379	27,42397484	50,38092009	50,16221815	38,66599635	47,44108768	28,46448362	52,6715239	50,67280905
EVAPOTRANSPIRACION	5,3206314	5,3206314	5,3206314	5,3206314	6,2198776	6,2198776	6,2198776	6,2198776	6,2198776
DELTA	49,59727151	43,77206046	51,42344851	51,36715045	47,13079275	49,74736772	43,32397208	51,1002655	50,59898035
ALMACENAMIENTO	49,5972715	43,7720605	51,4234485	51,3671505	47,1307928	49,7473677	43,3239721	51,1002655	50,5989804
DEFICIT									
RECARGA	49,5972715	43,7720605	51,4234485	51,3671505	47,1307928	49,7473677	43,3239721	51,1002655	50,5989804

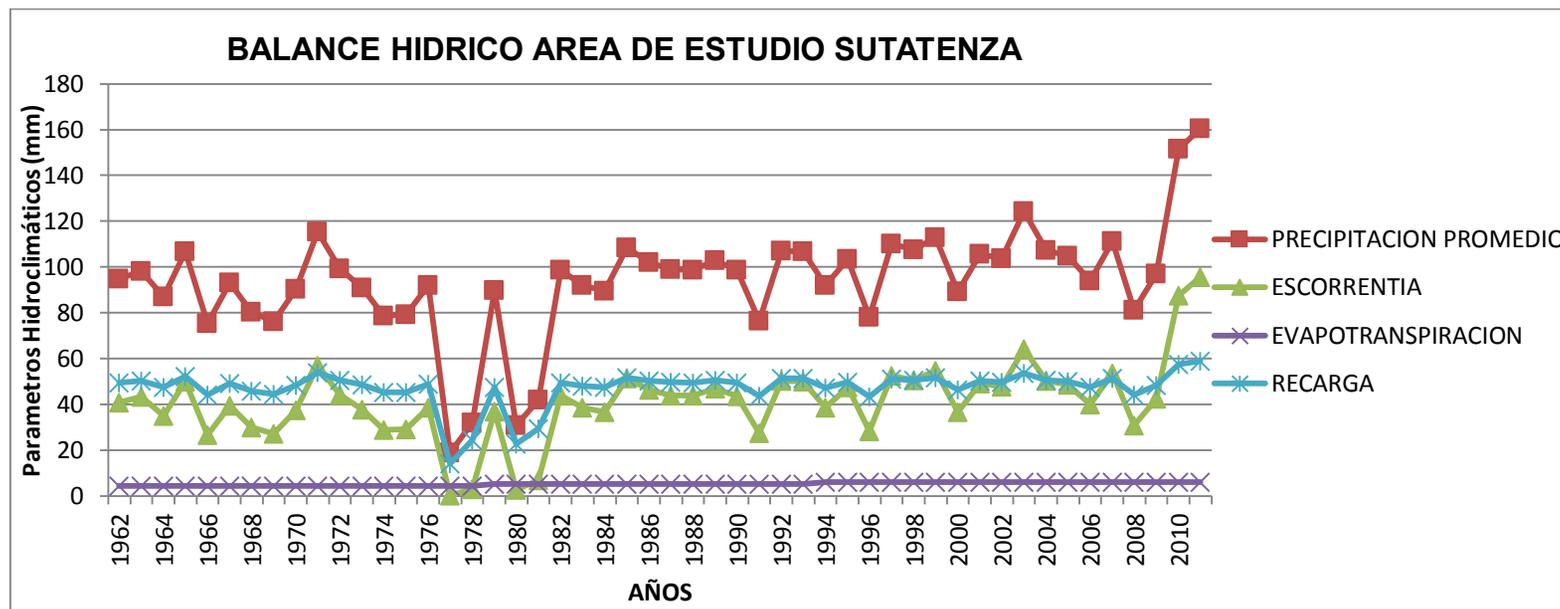
AÑO	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
PRECIPITACION PROMEDIO	112,75	89,2083333	105,65	103,775	124,216667	107,2	104,925
ESCORRENTIA	54,89354038	36,56381871	49,21006074	47,72955499	64,30219748	50,44059808	48,63653936
EVAPOTRANSPIRACION	6,2198776	6,2198776	6,2198776	6,2198776	6,2198776	6,2198776	6,2198776
DELTA	51,63658202	46,42463699	50,22006166	49,82556741	53,69459192	50,53952432	50,06858304
ALMACENAMIENTO	51,636582	46,424637	50,2200617	49,8255674	53,6945919	50,5395243	50,068583
DEFICIT							
RECARGA	51,636582	46,424637	50,2200617	49,8255674	53,6945919	50,5395243	50,068583

AÑO	2007	2008	2009	2010	2011	2012
PRECIPITACION PROMEDIO	94	111,091667	81,2416667	97,0583333	151,408333	160,55
ESCORRENTIA	40,16606769	53,55558062	30,75244263	42,50301868	87,50305625	95,52337172
EVAPOTRANSPIRACION	6,2198776	6,2198776	6,2198776	6,2198776	6,2198776	6,2198776
DELTA	47,61405471	51,31620878	44,26934647	48,33543702	57,68539915	58,80675068
ALMACENAMIENTO	47,6140547	51,3162088	44,2693465	48,335437	57,6853992	58,8067507
DEFICIT						
RECARGA	47,6140547	51,3162088	44,2693465	48,335437	57,6853992	58,8067507

Fuente: Resultado del estudio

ELABORACIÓN DE ESTUDIO DE RIESGO (AMENAZA Y VULNERABILIDAD) Y DISEÑO DE OBRAS DE ESTABILIZACION EN LA VEREDA GAQUE VIA COLEGIO CENTRAL, MUNICIPIO DE SUTATENZA JURISDICCIÓN DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR (CORPOCHIVOR).

Figura 10. Comportamiento de las Curvas del Balance Hídrico.



Fuente: Resultado del estudio.

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

2.5.1. Resultados

Ajuste de una serie de datos a la distribución Gumbel

Serie de datos X:

N°	X
1	149,0
2	237,0
3	191,0
4	276,0
5	248,0
6	234,0
7	195,0
8	265,0
9	178,0
10	179,0
11	293,0

Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov:

m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom Lineal	Delta
1	149,0	0,0833	0,0145	0,0301	0,0688
2	178,0	0,1667	0,1492	0,1832	0,0174
3	179,0	0,2500	0,1572	0,1911	0,0928
4	191,0	0,3333	0,2646	0,2934	0,0687
5	195,0	0,4167	0,3040	0,3296	0,1126
6	234,0	0,5000	0,6660	0,6578	0,1660
7	237,0	0,5833	0,6879	0,6780	0,1045
8	248,0	0,6667	0,7586	0,7443	0,0919
9	265,0	0,7500	0,8412	0,8244	0,0912
10	276,0	0,8333	0,8801	0,8636	0,0468
11	293,0	0,9167	0,9232	0,9085	0,0065



Ajuste con momentos ordinarios:

Como el delta teórico 0,1660, 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 (μ)= 201,3299

Parámetro de escala (alfa)= 36,2825

Con momentos lineales:

Parámetro de posición (μ_l)= 199,1678

Parámetro de escala (alfal)= 40,0282

Caudal de diseño:

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 2 años, es 214,63

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 5 años, es 255,75

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 10 años, es 282,98

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 25 años, es 317,38

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 50 años, es 342,90

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 75 años, es 357,74

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 100 años, es 368,23

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 500 años, es 426,77

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

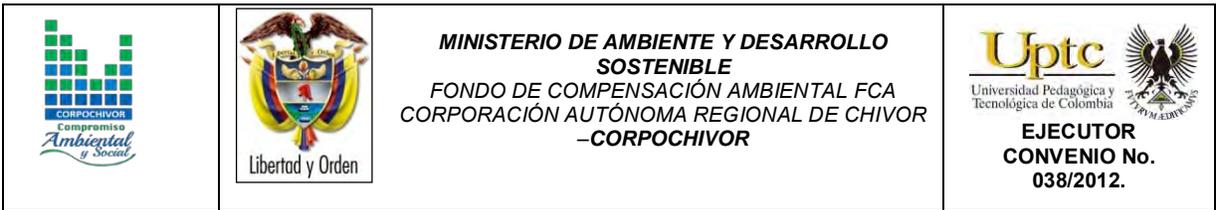
Pendiente media de la corriente (IC)

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 Km².

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

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



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

C= 1: Cuenca de forma compacta redonda.

C= 1.20: Cuenca semicompacta semioxal redonda

C= 1.50: Cuenca semicompacta oblonga

C > 1: Cuenca semicompacta rectángulo – oblonga

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

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

K = 1: Redonda

K > 1: Semiredonda

K < 1: Irregular

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

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

Dd < 0.5 : Baja

Dd = 0.5 : Media

Dd > 1 : Alta

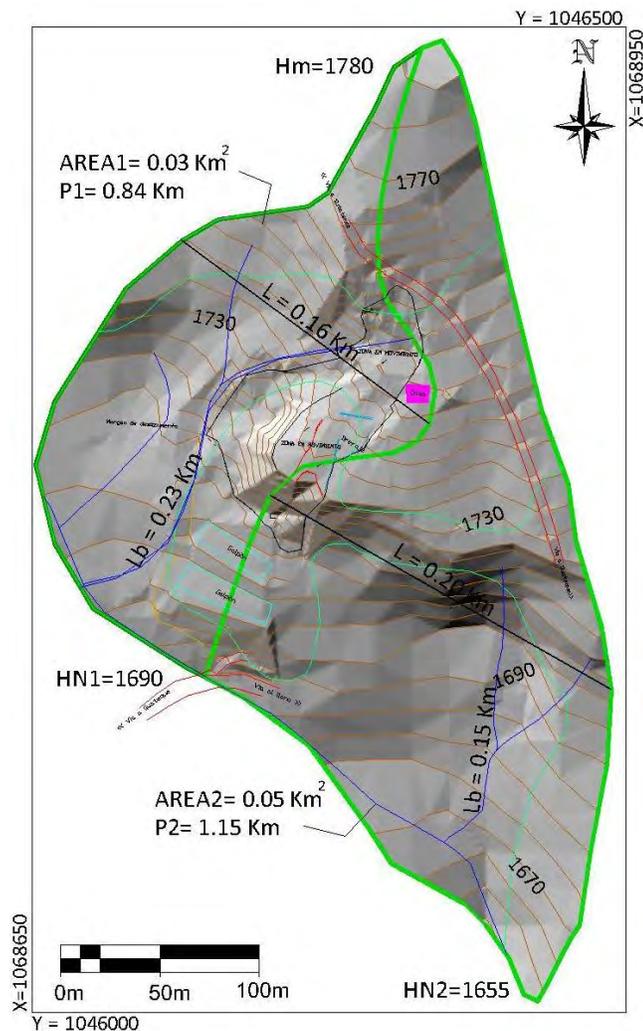
▪ **Tiempo de concentración (Tc)** Es el tiempo que gasta una gota de agua en recorrer el sitio más lejano de la cuenca a la desembocadura del cauce principal.

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

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

A continuación resumimos en la Tabla 14 y Tabla 15, el resultado de los cálculos morfométricos a la cuenca local de Sutatenza analizadas para el presente estudio.

Figura 11. Imagen ilustrativa de la cuenca local sutatenza



Fuente: Resultado del estudio

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 (I)	longitud acumulada de todas las corrientes Km (Ld)	longitud acumulada de todas las corrientes Km (Ld)
Rio Garagoa	0.03	0.84	0.23	0.16	0.62	1780
Cota Mínima de la Cuenca(Hn)	Diferencia de Altura Km (Hc)	Razón de Relieve (Rr)	Número de Corrientes(Nc)	Frecuencia de Corrientes (Cauces/Km2)	Pendiente media de Corriente lc % (Ic)	Índice de Alargamiento (Ia)
1690	0.09	0.38	2.00	68.97	38.46	1.50
COEFICIENTE DE COMPACIDAD (C). FORMA Y SUSCEPTIBILIDAD		COEFICIENTE DE REDONDEZ (K). FORMA Y SUSCEPTIBILIDAD		DENSIDAD DE DRENAJE (Dd)		TIEMPO DE CONCENTRACIÓN en horas (TC)
0.47	SEMI REDONDA	0.47	Irregular	21.43	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
0.12	crítico	0.82	Redonda	0.80	Irregular	4

Fuente: Resultado del estudio

De la anterior tabla se concluye que por sus morfometría la cuenca local 1 presenta susceptibilidad alta a la torrencialidad.

Valores de parámetros morfométricos para la cuenca local 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	0.05	1.15	0.15	0.20	0.22	1780
Cota Mínima de la Cuenca(Hn)	Diferencia de Altura Km (Hc)	Razón de Relieve (Rr)	Número de Corrientes(Nc)	Frecuencia de Corrientes (Cauces/Km2)	Pendiente media de Corriente lc % (lc)	Índice de Alargamiento (Ia)
1655	0.13	0.83	1.00	21.41	82.78	0.76
COEFICIENTE DE COMPACIDAD (C). FORMA Y SUSCEPTIBILIDAD		COEFICIENTE DE REDONDEZ (K). FORMA Y SUSCEPTIBILIDAD		DENSIDAD DE DRENAJE (Dd)		TIEMPO DE CONCENTRACIÓN en horas (TC)
0.12	SEMI REDONDA	0.12	Irregular	4.69	Densidad Muy Alta	0.06
AMPLITUD DE LA CUENCA (W). TIEMPO DE CONCENTRACIÓN DE ESCORRENTÍA		ELONGACIÓN DE LA CUENCA (RE). FORMA		ÍNDICE DE HOMOGENEIDAD (IH). FORMA		SUSCEPTIBILIDAD
0.31	crítico	1.61	Irregular	1.56	RECTANGULAR	3

Fuente: Resultado del estudio

De la anterior tabla se concluye que por sus morfometría la cuenca local 2 presenta susceptibilidad moderada a la torrencialidad.

2.7. USO ACTUAL Y COBERTURA DEL SUELO

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

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

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

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

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

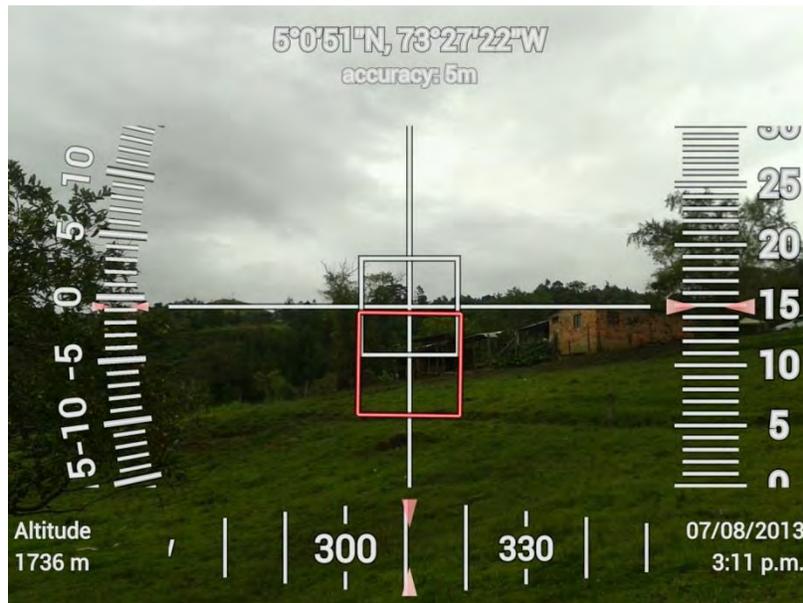
Todas las estimaciones de la superficie afectada por estos fenómenos, son indicadores de un severo problema que se está marcando y que tiene que ver directamente con el cambio en la cobertura vegetal hacia otro uso del suelo y el deterioro ambiental.

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

el deterioro físico y químico del suelo, alteración del balance hídrico y la desestabilización de cuencas.

2.7.1. DESCRIPCIÓN REGIONAL

Fotografía 2. Georeferenciación área de estudio.



Fuente: Registro Fotográfico.

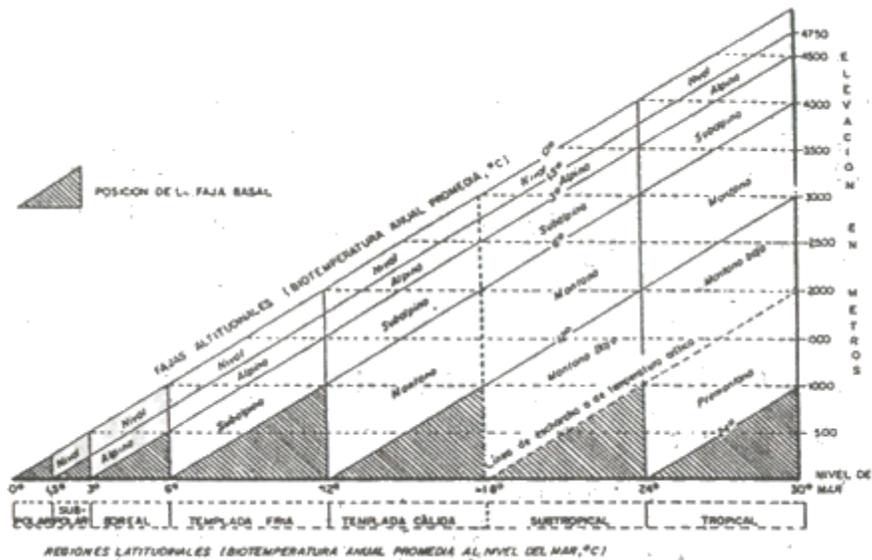
3.2.1.1. VEGETACIÓN

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

constituyen asociaciones del segundo nivel del sistema, y se mencionan el uso de la tierra, trabajado con la nomenclatura Corine Land Cover.

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

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



Fuente: Holdridge, L., 1987.

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

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

BOSQUE HÚMEDO PRE – MONTANO (bh – PM)

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

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

BOSQUE HÚMEDO MONTANO BAJO (bh – MB)

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

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



mortiño, laurel, cucharo, pegamosco, y mano de oso, gualmente, helechos, orquideas y quiches.

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

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.

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

3.2.1.2. ESTUDIO DE LA FLORA

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

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

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

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



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

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

3.2.1.3. IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE COBERTURAS

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

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

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

TEJIDOS ARTIFICIALES

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

ZONAS URBANIZADAS

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

TEJIDO URBANO DISCONTINUO

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

Fotografía 3. Tejido urbano discontinuo



Fuente: Registro Fotográfico

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.

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

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



Fuente: Registro Fotográfico

TERRITORIOS AGRÍCOLAS

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

CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS

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

GUAYABA

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

Fotografía 5. *Psidium guajava*



Fuente: Registro Fotográfico

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.

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

PLÁTANO

Cobertura predominantemente compuesta por cultivo de banano *Musa sapientum* L.J, planta herbácea perenne 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 floras masculinos forman capullos ovoides a elípticos, con las brácteas imbricándose en el ápice trunco. Son una 20 por bráctea, en dos filas. El tépalo

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

compuesto alcanza los 5 cm de largo y los 1,2 de ancho; es blanquecino o más raramente violáceo por el interior, con el color trasluciéndose a la vista desde fuera como una delicada tonalidad purpúrea. Su parte superior es amarilla a naranja, con los dientes de unos 5 mm de largo, los dos más externos con un apéndice filiforme de hasta 2 mm de largo. El tépalo libre es aproximadamente de la mitad de tamaño, blanco o rosáceo, obtuso o trunco, con la apícula mucronada y corta.

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

Fotografía 6. *Musa sapientum* L.J



Fuente: Registro Fotográfico

CULTIVOS AGROFORESTALES

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

Fotografía 7. Cultivo agroforestal



Fuente: Registro Fotográfico

PASTOS

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

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

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 LIMPIOS

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

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

Fotografía 8. Pastos limpios presente en la zona de estudio.



Fuente: Registro Fotográfico

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

- Presencia de vegetación herbácea muy baja, como si se hubiera "cortado el pasto" en un jardín. Esto se puede ver si el lugar tiene cierta humedad que permita su recuperación.
- Presencia de "pie de vaca", que se visualiza a la distancia como líneas paralelas aproximadamente horizontales que se ven en las zonas serranas, a modo de "arrugas" en la montaña y que son caminos de recorrido y pastoreo del ganado.
- Vegetación herbácea muy rala, en algunos casos inexistente, con tierra suelta y removida, hasta incluso con abundancia de huellas de animales.

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

- Preponderancia de especies leñosas espinosas bajas, con muy pocas hierbas, característica del *fachinal*.
- Composición florística herbácea conformada fundamentalmente por hierbas poco *palatables* o no *palatables* para el ganado, debido a que las apetecidas por los animales fueron comidas por el constante pastoreo.

PASTOS ENMALEZADOS O ENRASTROJADOS

Son las coberturas representadas por tierras con pastos y malezas conformando asociaciones de rastrojos, debido principalmente a la realización de escasas prácticas de manejo o la ocurrencia de procesos de abandono. En general, la altura del rastrojo es menor a 1,5 metros.

Fotografía 9. Pastos enmalezados.



Fuente: Registro Fotográfico



BOSQUES

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

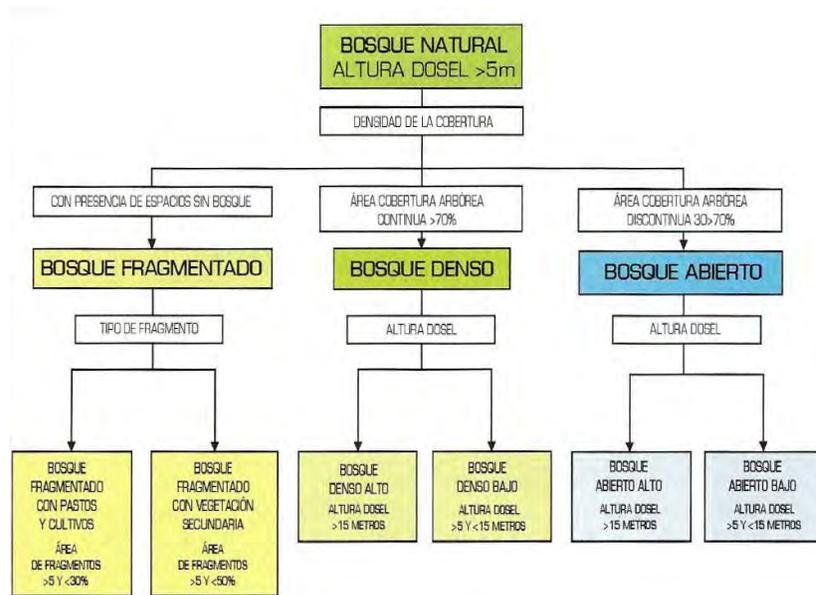
Para efectos de clasificación los bosques son determinados por la presencia de árboles que deben alcanzar una altura del dosel superior a los cinco metros.

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

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

los bosques se clasifican en altos y bajos; y de acuerdo con la condición de inundabilidad del terreno donde se ubican los bosques, se clasifican en inundables y de tierra firme. De esta manera, se obtiene la clasificación que se explica a continuación:

Figura 13. Criterios para la clasificación de los bosques



Fuente: Corine land cover 2010

BOSQUE DENSO

Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) más o menos continuo, y con altura del dosel superior a cinco metros. Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva y no ha

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

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 10. Bosque denso bajo de tierra firme.



Fuente: Registro Fotográfico

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

PLANTACIÓN FORESTAL

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

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

CUPRESSACEAE

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

La polinización es anemófila. Producen conos masculinos y femeninos, con escamas enfrentadas o en verticilios, que pueden ir en la misma planta o en plantas de distinto sexo. Los conos masculinos están constituidos por diversos verticilios de estambres, cada uno de éstos tiene forma de escama y lleva en el envés de 3 a 7 sacos polínicos; las escamas tienen, a veces, forma de parasol y otras veces son casi planas y más o menos triangulares. Los conos femeninos

suelen ser globosos u ovoides y tienen, por lo general, las dos brácteas soldadas en una sola, indiferenciadas; hay generalmente de 2 a 15 rudimentos seminales por escama. La mayoría de los géneros producen fructificaciones leñosas a modo de piñas esféricas (gábulos leñosos), las inflorescencias femeninas del género *Juniperus*, en cambio, dan lugar a una estructura carnosa denominada gábulos carnosos, originada por la concrecencia de las tres hojas escumiformes superiores.

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

Fotografía 11. Cupressaceae



Fuente: Registro Fotográfico



ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA Y/O ARBUSTIVA

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

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

ARBUSTAL

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

ARBUSTAL ABIERTO MESOFILO

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

Fotografía 12. Arbustal Abierto Mesófilo



Fuente: Registro Fotográfico

AGUAS CONTINENTALES

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

RÍOS

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

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

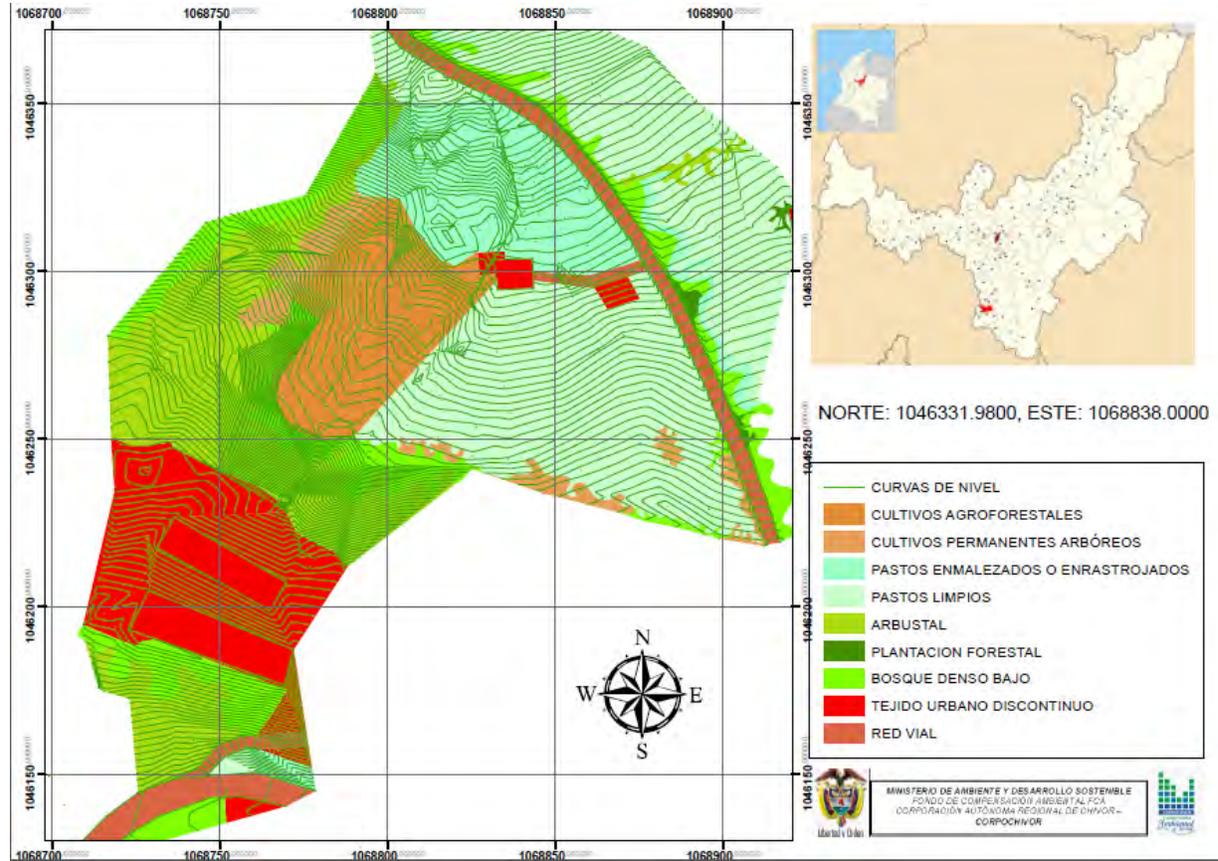
Fotografía 13. Río presente en el área de estudio.



Fuente: Registro Fotográfico

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

Figura 14. Mapa cobertura vegetal y uso de suelo



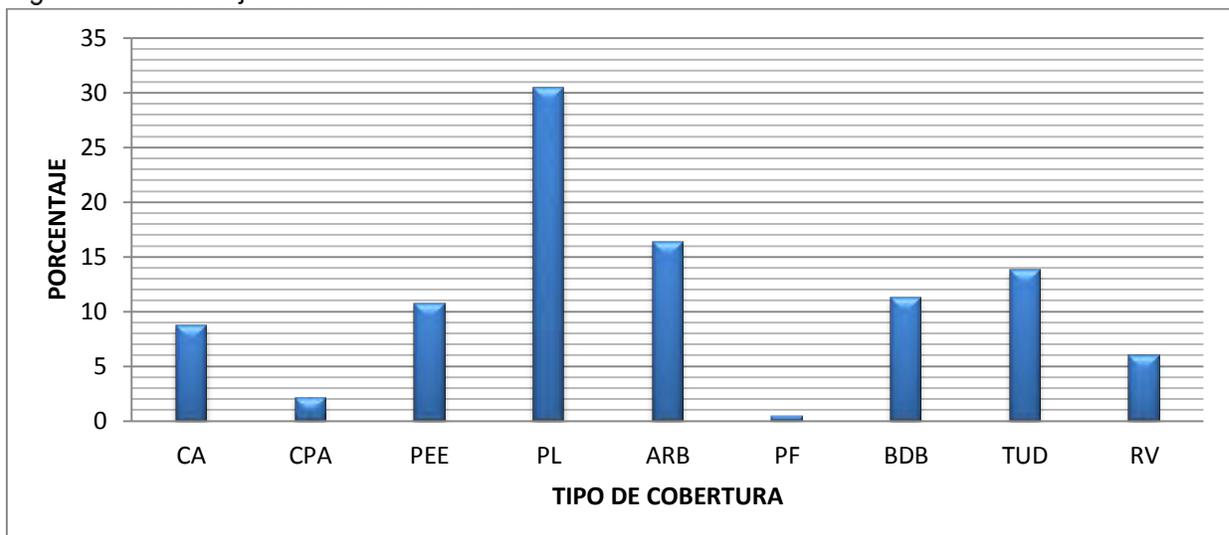
Fuente: Resultado del estudio.

Áreas métricas de las coberturas

COBERTURA	ÁREA m2
CULTIVOS AGROFORESTALES (CA)	2606
CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS (CPA)	641
PASTOS ENMALEZADOS O ENRASTROJADOS (PEE)	3199
PASTOS LIMPIOS (PL)	9075
ARBUSTAL (ARB)	4876
PLANTACION FORESTAL (PF)	129
BOSQUE DENSO BAJO (BDB)	3357
TEJIDO URBANO DISCONTINUO (TUD)	4121
RED VIAL (RV)	1768

Fuente: Resultado del estudio.

Figura 15. Porcentaje áreas de coberturas.



Fuente: Resultado del estudio.

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

2.7.4. UNIDADES DE COBERTURA VEGETAL

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

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

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

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

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

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

Unidades de cobertura vegetal.

FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
Poaceae	Saccharium officinarum L	Caña miel
Quenopodiáceae	Beta vulgaris var	Acelga
Musaceae	Musa sapientum L.J	Plátano
Poaceae	Pennisetum purpureum	Pasto elefante
Melastomatáceae	Miconia ligustina	Tuno
Myrtaceae	Psidium guajava	Guayaba
Myrtaceae	Eucalyptus globulus	eucaliptos
Poaceae	Zea mays	Maíz
Poaceae	Axonopus scoparius	Imperial
Amarillidaceae	Orthrosanthus chimboracens	Espadilla
Asteraceae	plantafo australis	Plantago
Melastomatáceae	Tibouchina lepidota (Bonpl.) Baill	Siete cueros
Melastomatáceae	Monochaetum myrtoideum	Angelito
Myrtaceae	Myrsianthes leucoxylla	Arrayan
Boraginaceae	Cordia archeri	Brazo de tigre
Euphorbiaceae	Crotón sp.	
Myrsinaceae	Myrsine guianensis	Cucharo
Bromeliaceae	Racinaetha tetrantha (ruiz & Pav) M.A. Spencer & L.B. Sm.	Bromelia, quinche
Aráceae	Anthurium sp	Anturios
Poaceae	Chusquea scandens kumth	Chusque, carrizo

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

Melastomataceae	Miconia ligustrina	Tuno
Asteraceae	Sonchus asper	Lechuguilla espinosa
Asteraceae	Euphrosyne partheniifolia	
Melastomataceae	Heterocentron axillare Naudin	Caña agria
Melastomataceae	Miconia sp	Tuno
Poaceae	Holcus lanatus L.	Pasto
Rosaceae	Polylepsis quadrifuga	Colorado
Cecropiaceae	Cecropia teleincana	Yarumo
Fabáceae	Acacia decurrens	Acacia Blanca
Verbenáceae	Duranta mutissii	Espino
Moráceae	Ficus soatensis	Caucho sabanero
Poaceae	Anthoxanthum odoratum	Pasto de olor
Poaceae	Pennicetum clandestinum	Pasto
Poaceae	Dactylis glomerata	pasto azul archoro
Asteraceae	Baccharis latifolia (Ruiz & Pav.) Pers.	Chilca
Myrtaceae	Eucalyptus pellita	Eucalipto
Asteraceae	Bidens sp.	Bernada
Cupresáceas	Cupressus sempervirens L.	Ciprés
Asteráceae	Taraxacum officinale	Diente de león
Cupresáceas	Pinus halepensis	pino de piña
Poaceae	Andropogon rufus (Nees) Kunth	
Melastomataceae	Miconia squamulosa Triana	Tuno
Musáceae	Musa sapientum L.J	Maduro
Myrtaceae	Eucalyptus grandis	Eucalipto

ELABORACIÓN DE ESTUDIO DE RIESGO (AMENAZA Y VULNERABILIDAD) Y DISEÑO DE OBRAS DE ESTABILIZACIÓN EN LA VEREDA GAQUE VIA COLEGIO CENTRAL, MUNICIPIO DE SUTATENZA JURISDICCIÓN DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR (CORPOCHIVOR).



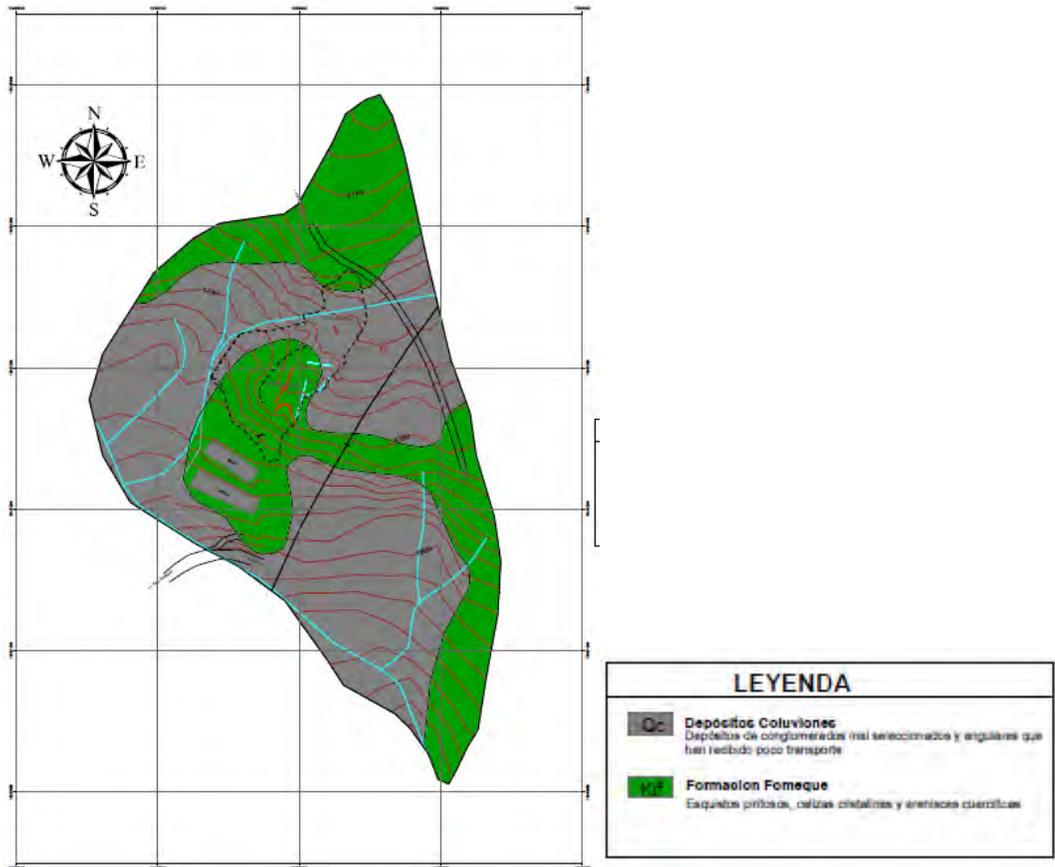
Clusiaceae	Clusia multiflora Kunth	Gaque
Poaceae	Pennicetum setaceum	Catalán
Mimosaceae	Albizzia Lophanta	Acacia
Moraceae	Ficus sp	Higuerón

Fuente: Trabajo en campo

3 GEOLOGIA

En el municipio de Sutatenza se encuentra localizado en una unidad morfológica de rumbo NE – SW como consecuencia del tectonismo existente en la región Andina que se presentó hace millones de años en la Cordillera oriental, el cual provocó el surgimiento de la misma. Para la realización de la geología local fue necesario tener en cuenta información recopilada en varias entidades, así como otros trabajos e informes realizados en la zona.

Figura 16. Imagen mapa geológico área de estudio



Fuente: Resultado del estudio

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

3.1. GEOLOGÍA HISTÓRICA

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

3.3. GEOLOGIA LOCAL.

3.3.1. Formación Fόμεque (Kif).

Definida por Hubach (1931), para designar una secuencia de esquistos piritosos, calizas cristalinas y areniscas cuarcíticas que abarcan la parte media de la angostura del Rio Une y un vasto campo en el triángulo Ubate- Choachi- Fόμεque.

Según cortes geológicos realizado por Hubach (1931), se ha calculado un espesor que varía entre 800 y 1200 m. La Formación Fόμεque suprayace concordantemente a la Formación Arenisca de las Juntas e Infrayace a la formación Une.

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

3.3.2. Depósitos Cuaternarios.

Estos depósitos son de edades recientes, compuestos por materiales poco consolidados y en algunos casos no consolidados, por lo general están conformados por arcillas, limos, arenas cantos redondeados y bloques angulares de caliza.

3.3.2.1. Depósitos Coluviales (Qc).

Son depósitos de material heterogéneo con variación en el tamaño de las partículas dispuestas muy arbitrariamente, con cantos angulares a subangulares de caliza en una matriz arcillo limosa. Localizándose en la base de laderas de montañas, colinas, lomas y escarpes. Dichos fenómenos provienen de Fenómenos de Remoción en Masa pesados y recientes

3.4. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Las características estructurales del municipio de Sutatenza siguen la tendencia regional de la Cordillera Oriental NE – SW.

3.4.1. Estructuras Plegadas.

3.4.1.1. Anticlinal de Guayatá.

Esta estructura es de las más sobresalientes, sobre su flanco oriental se encuentra el casco urbano del municipio, dicha estructura presenta una dirección N30°E. Sus flancos presentan buzamientos que van de 15° a 30°. Se encuentra afectando rocas pertenecientes a la Formación Fómeque (Kif).

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

3.4.1.2. Sinclinal de Guayatá.

Se encuentra al este del municipio de Sutatenza y sigue una dirección N25°E. Sus flancos presentan una inclinación de buzamiento entre 10° y 63°. Está afectando rocas de la Formación Fómeque.

3.4.2. Fallas.

3.4.2.1. Falla Inferida de Garagoa.

Tiene una dirección NW- SE, su identificación se realizó en campo por espejos de falla encontrados y también mediante fotogeología así como algunos rasgos topográficos, alineación del Rio Garagoa.

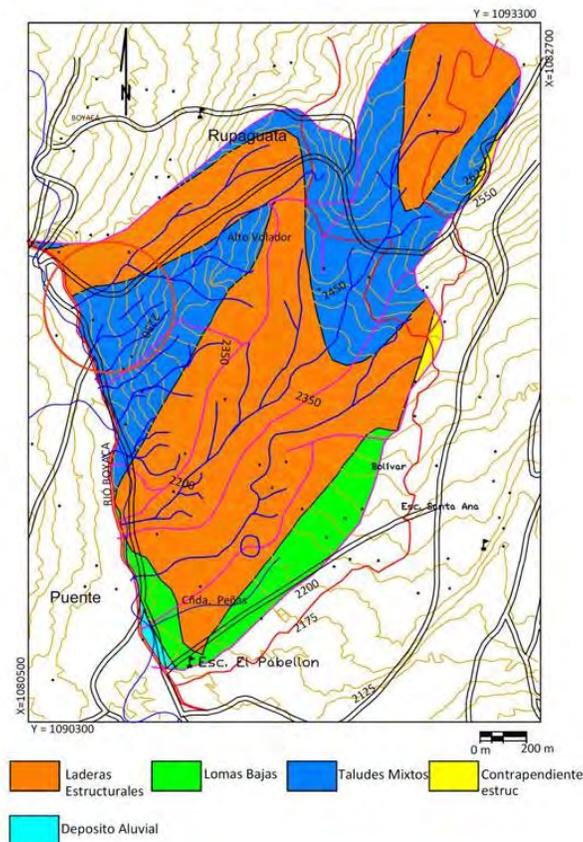
3.4.2.2. Falla Inferida de Súnuba.

Tiene una dirección NE-SW, su identificación se hizo en campo por la presencia de espejos de falla y también mediante fotogeología así como algunos rasgos topográficos, alineación del Rio 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 Sutatenza, se pueden distinguir claramente 5 unidades geomorfológicas, diferenciadas por su relieve y procesos geodinámicos, las cuales son; lomas bajas, taludes mixtos, contrapendiente estructural y deposito; aluvial tal como se muestra en la Figura 17.

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



Fuente: CORPOCHIVOR para ser integrada al SIAT.

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

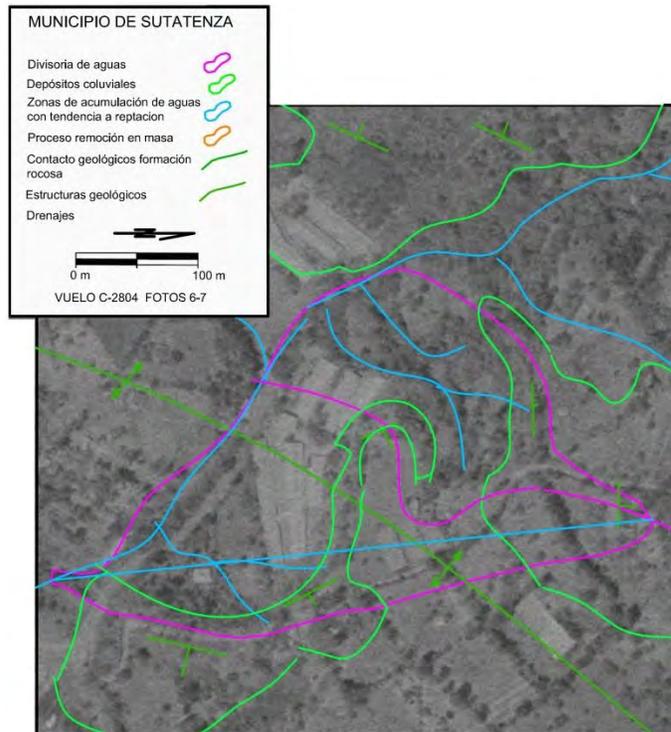
4.2 ANÁLISIS FOTOGEOLÓGICO

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 deforestación.

Figura 18. 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 Desprendimiento

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

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

Figura 19. Esquema del Proceso de Desprendimiento

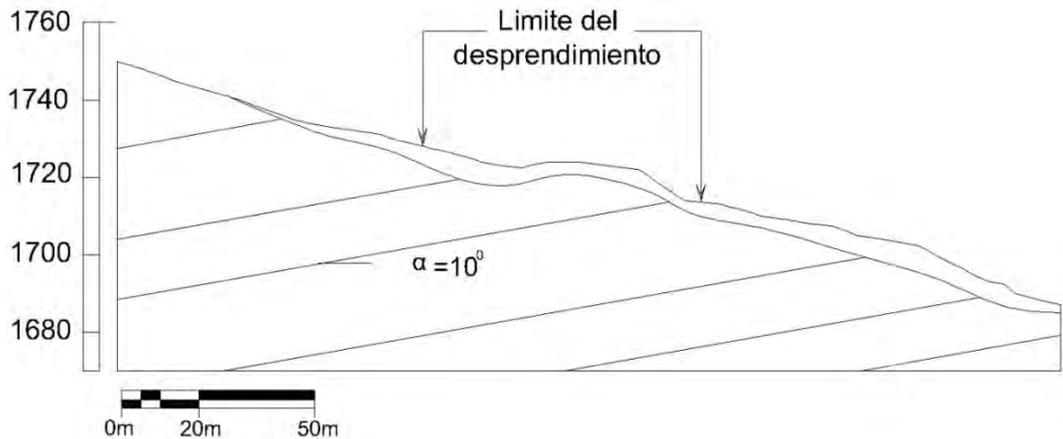


Fuente: Resultado del estudio.

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

Figura 20. Esquema del movimiento, perfil desprendimiento

PERFIL A - A'



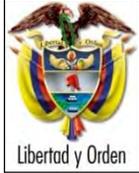
Fuente: Resultado del estudio

4.4 INCLINACIÓN DE LAS PENDIENTES

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



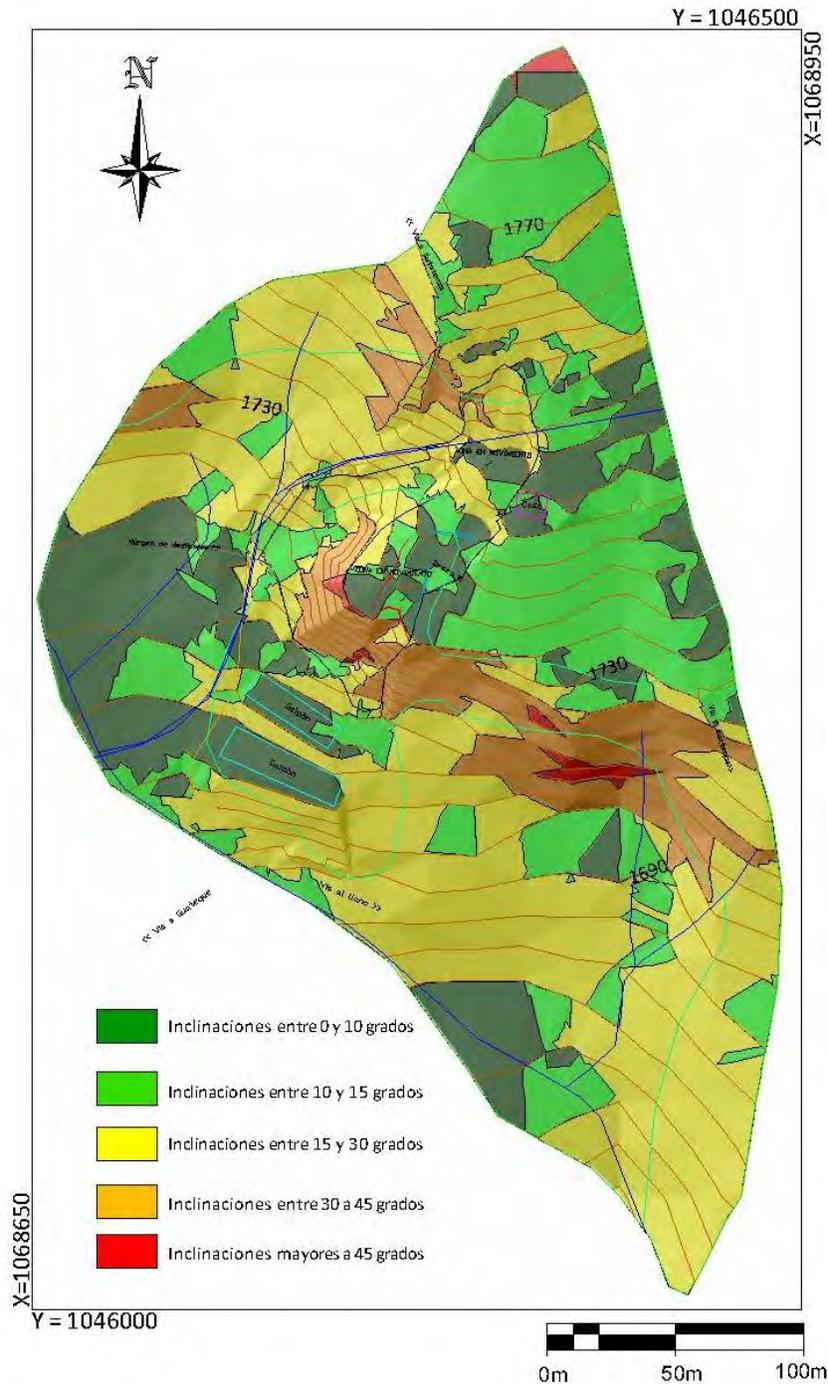
Figura 21. Imagen del Mapa de inclinación de las pendientes.



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



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



Fuente: Resultado del estudio

Clasificación de las pendientes.

ELABORACIÓN DE ESTUDIO DE RIESGO (AMENAZA Y VULNERABILIDAD) Y DISEÑO DE OBRAS DE ESTABILIZACIÓN EN LA VEREDA GAQUE VIA COLEGIO CENTRAL, MUNICIPIO DE SUTATENZA JURISDICCIÓN DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR (CORPOCHIVOR).

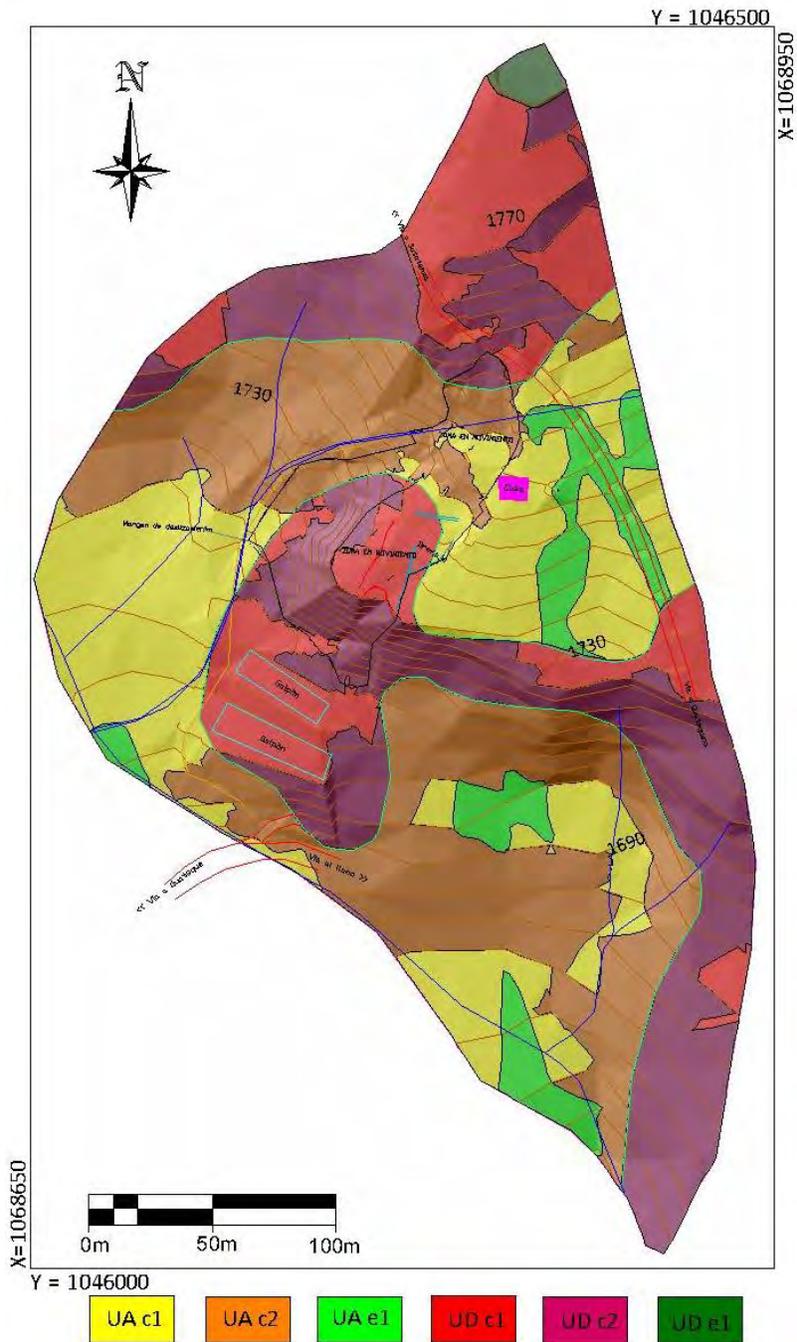
CLASIFICACIÓN DE LAS PENDIENTES	
UNIDAD CARTOGRÁFICA	GRADOS
Suavemente inclinada	0-10
Inclinada	10 15
Abrupta	15-30
Escarpada	30 - 45
Muy Escarpada	> 45

Fuente: Resultado del estudio.

4.5 UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

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

Figura 22. Imagen del Mapa geomorfológico.



Fuente: Resultado del estudio.

		<p style="text-align: center;">MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE FONDO DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL FCA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR –CORPOCHIVOR</p>	 <p style="text-align: center;">EJECUTOR CONVENIO No. 038/2012.</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 1.94 ha, de las cuales el 4.85 % presenta inestabilidad. Siendo susceptible a reptaciones y desprendimientos.

4.5.1.2 Unidad agradacional con inclinaciones mayores 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 2.16 ha, de las cuales el 7.55 % 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 0.45 ha. Es la unidad más susceptible, afectada por reptaciones y desprendimientos.

		<p style="text-align: center;">MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE FONDO DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL FCA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR –CORPOCHIVOR</p>	 <p style="text-align: center;">EJECUTOR CONVENIO No. 038/2012.</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 1.20 ha, de las cuales el 13.24 % 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 1.85 ha, de las cuales el 12.96 % 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 0.06 ha.

A continuación describimos en la Tabla 19, la descripción y análisis de las unidades geomorfológicas

Descripción geomorfológica.

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

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

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

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

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

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

4.6.1 Algunas Formas de Erosión

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

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

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

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

4.6.2 Factores externos

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

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

4.6.3 Factores internos

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

- **Geológicos:** Representan un factor de inestabilidad permanente; la litología, la estratigrafía de la roca (orientación y ángulo de inclinación), discontinuidades



estratigráficas y estructurales y la alteración de las rocas (alteración hidrotermal y/o meteorización).

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

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

4.6.4 Morfodinámica - intensidad de erosión

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

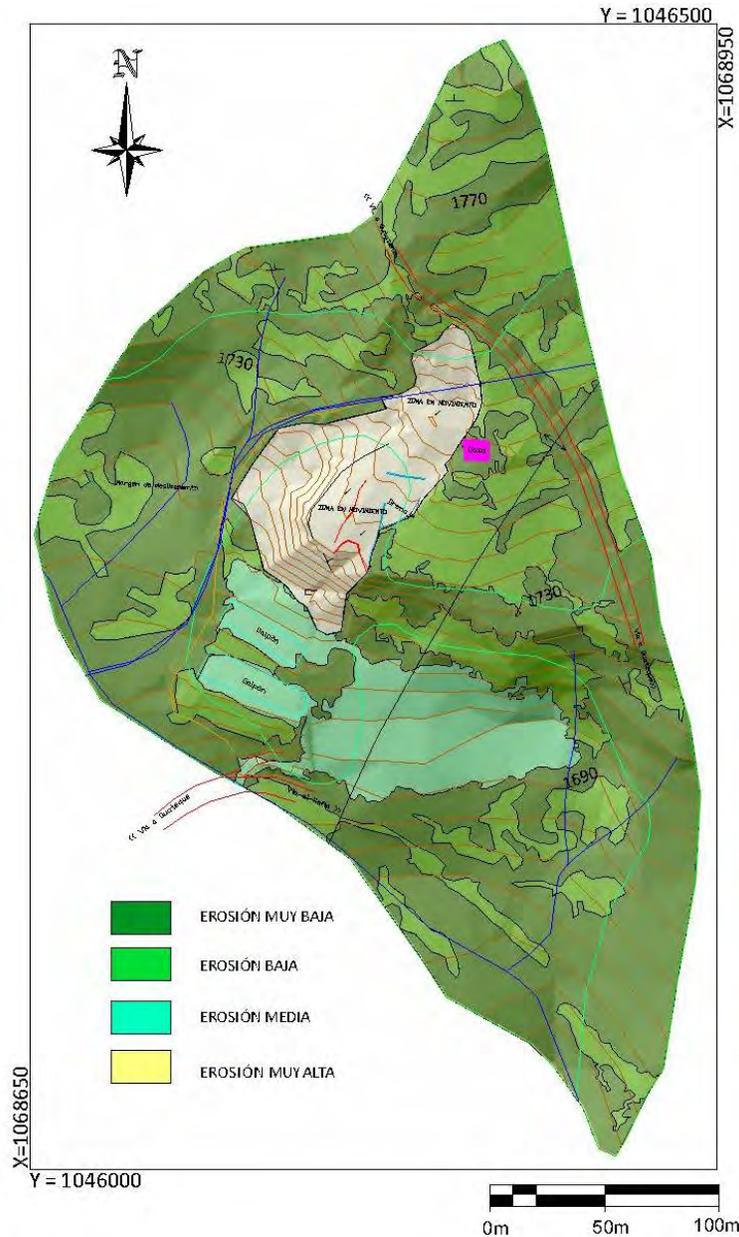
El mapa de erosión fue realizado con el procesamiento digital de imágenes mediante una clasificación supervisada, resultado de un agrupamiento en la distribución de los pixeles hechos en una clasificación resultado de la mayor o menor cobertura vegetal presente en el área.

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

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

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

Figura 23. Imagen del Mapa erosión.



Fuente: Resultado del estudio.

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

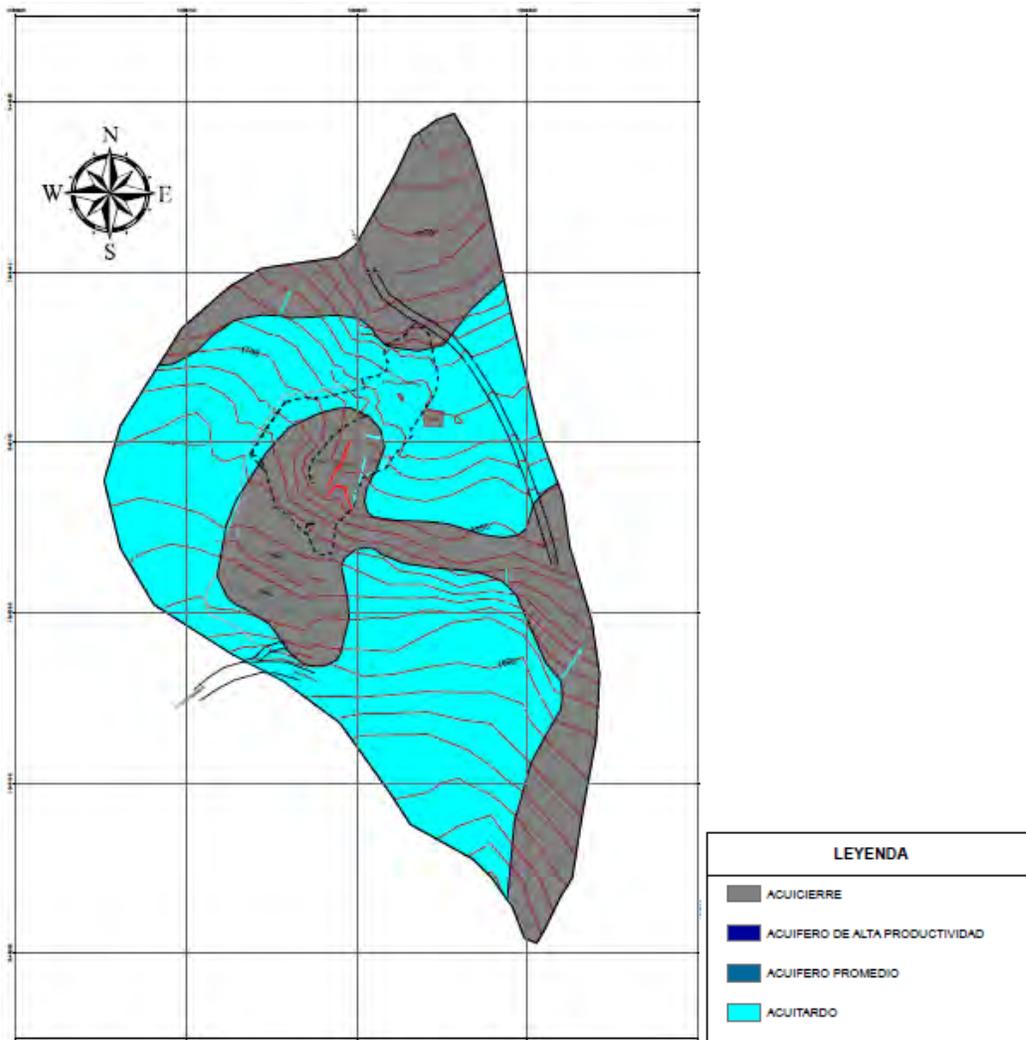
5.1.2 Acuitardo.

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 24. Imagen del Mapa Hidrogeológico del área de estudio



Fuente: Resultado del estudio.

		<p style="text-align: center;">MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE 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 Fomeque (Kif), las cuales se clasifican como acuícierres.

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

6 GEOELECTRICA

6.1 ESTUDIO GEOELECTRICO (TOMOGRAFIA ELECTRICA RESISTIVA)

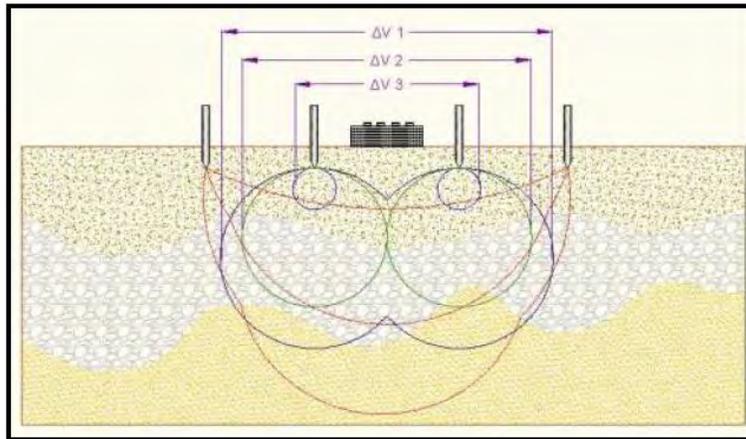
6.2 INTRODUCCION

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

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

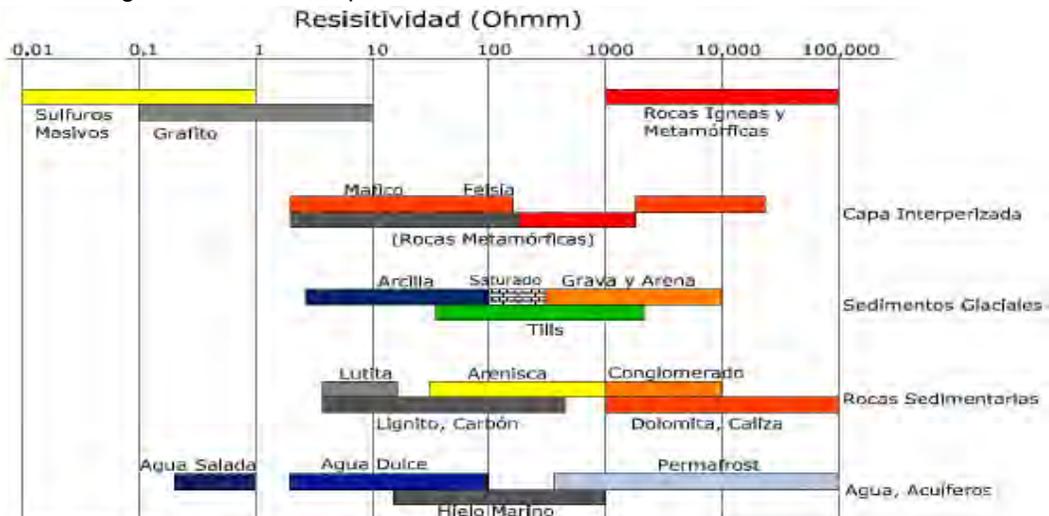
dentro del material de estudio. Durante décadas, los Estudios de Resistividad Eléctrica han sido utilizados en investigaciones sobre hidrogeología, geotecnia y también actualmente en estudios ambientales (Loke 2004).

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



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

Figura 26. Rangos de resistividad para diferentes materiales.



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

		<p style="text-align: center;">MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE 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 multielectródica en la que todo el proceso de adquisición de datos está totalmente automatizado. Esto nos permite poder realizar un gran número de medidas, tanto en profundidad como lateralmente, en un breve espacio de tiempo (del orden de 500 medidas en una hora y media), obteniendo por tanto modelos 2-D de gran resolución.

6.3 OBJETIVO

Como apoyo al estudio geotécnico y de estabilidad que se está realizando para el convenio interadministrativo UPTC-CORPOCHIVOR, en el sector vereda Gaque, vía colegio central, del municipio de Sutatenza, 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;">MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE FONDO DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL FCA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR –CORPOCHIVOR</p>	 <p style="text-align: center;">EJECUTOR CONVENIO No. 038/2012.</p>
---	---	---	---

6.4 PRINCIPIO DEL METODO GEOFISICO.

6.4.1 Resistividad Aparente:

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

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

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

Donde, I es la corriente que pasa a través del objeto en amperios, V es la diferencia de potencial de las terminales del objeto en voltios, G es la conductancia en siemens y R es la resistencia en ohmios (Ω). 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 , ΔV es la diferencia de potencial medido sobre el terreno, e I la corriente inyectada.

Su relación con los elementos del Subsuelo.

En la Tabla 20, 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 20 se encuentra un conjunto de valores típicos de resistividad de geomateriales.

Resistividades de algunos suelos y rocas.

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

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

6.4.2 Dispositivos:

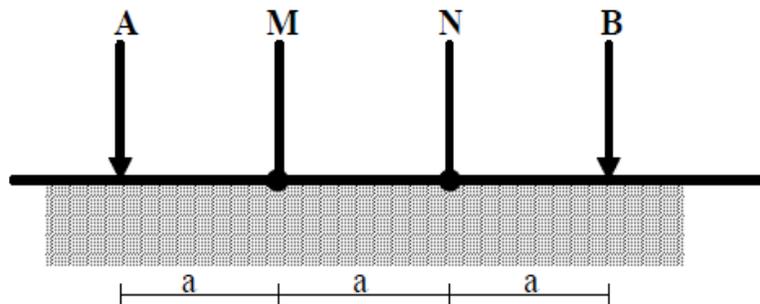
Un dispositivo es un arreglo de electrodos formado con dos pares de electrodos, dos emisores y dos receptores. A través de los electrodos emisores C1C2 se inyecta la corriente continua al terreno midiendo su intensidad con un miliamperímetro en serie, y a través del segundo par se mide la diferencia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

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

3.4.2.3. Dispositivo Wenner.

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

Figura 27. Dispositivo Wenner.



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

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

6.5 METODOLOGIA

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

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

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

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

Donde:

d= Distancia entre electrodos

Xtotal= Distancia de la línea extendida

N°electrodos= electrodos a utilizar

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

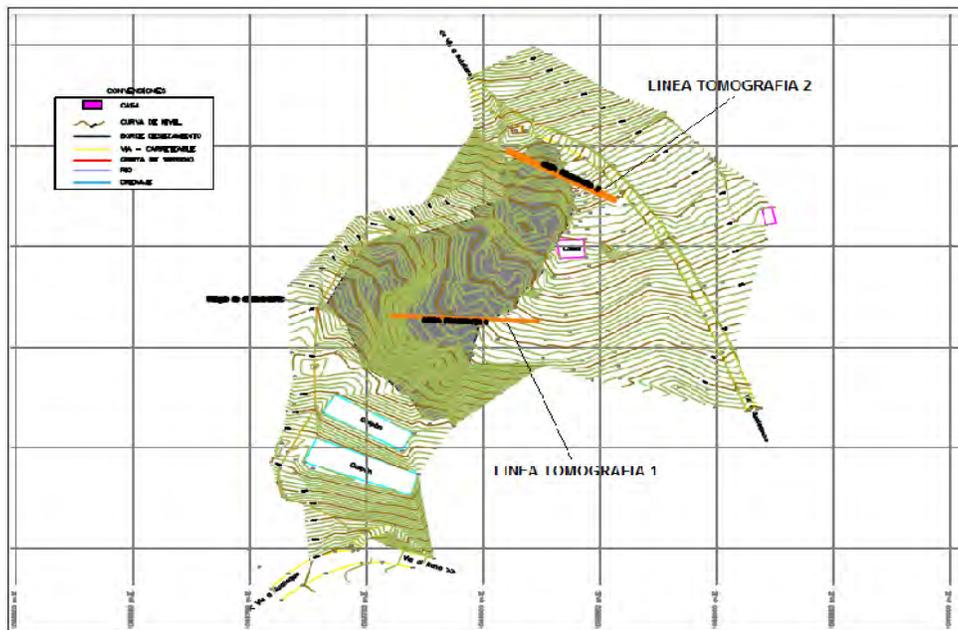
El resultado final de este tipo de estudio es una sección distancia-profundidad con la distribución de la resistividad real del subsuelo, fácilmente comprensible en términos geológicos o geotécnicos. Para obtener estos resultados se procede a insertar los parámetros para el cálculo y la medición de las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

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

6.5.1 TOMOGRAFIA N°1

Localizada en la parte media-baja del deslizamiento Coordenadas parte inicial X: 1068832, Y: 1046282, parte final X: 1068819, Y: 1046285, orientación N85°w, con una longitud de 73.8 mts., profundidad obtenida de 13.3 mts., y los electrodos conectados a una distancia de 1.8 mts cada uno.

Figura 28. Localización líneas de tomografía.



Fuente: Resultado del estudio.

Fotografía 14. Parte media-baja del deslizamiento.



Fuente: Registro fotográfico.

Fotografía 15. Parte media-baja del deslizamiento



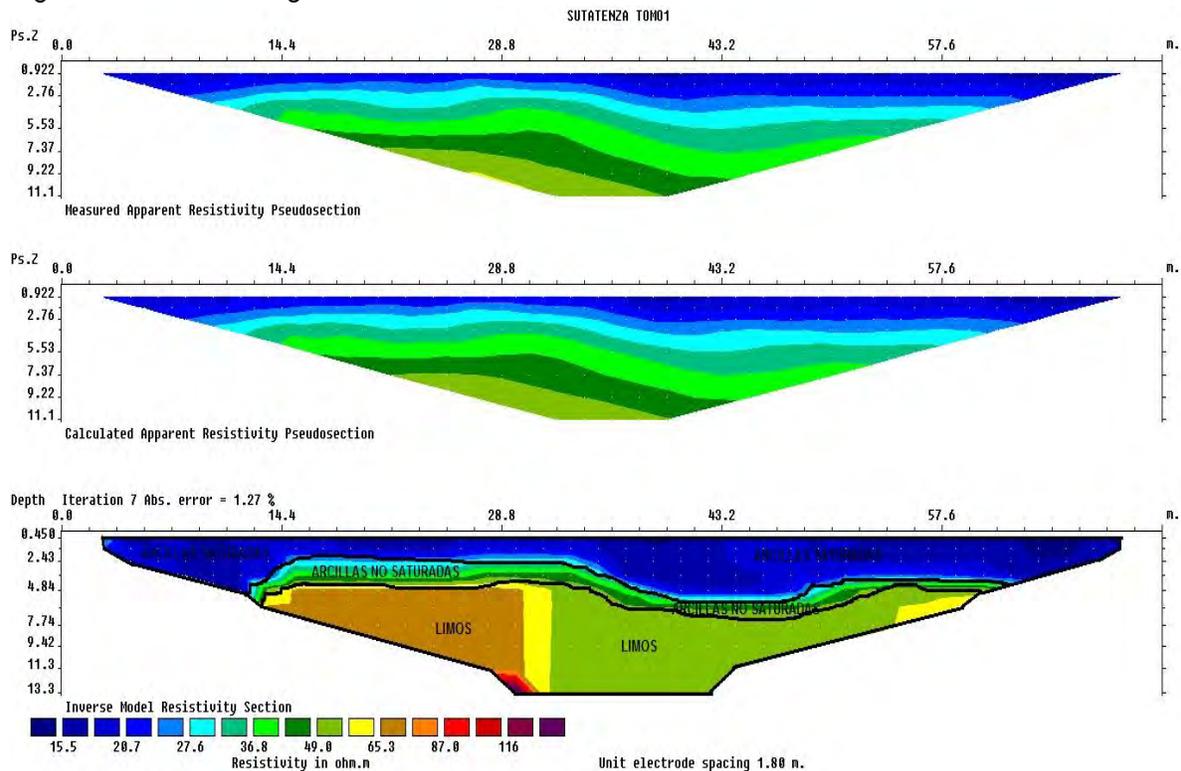
Fuente: Registro fotográfico.

Resistividades de los materiales presentes en el área de estudio.

MATERIAL	PROFUNDIDAD (m)	RESISTIVIDAD ($\Omega \cdot m$)	INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA
1	0.450 – 4.84	15.5 – 20.7	Arcillas saturadas
2	2.43 – 5	20.8 – 49.9	Arcillas no saturadas
3	5 – 13.3.	50 - 116	Limos

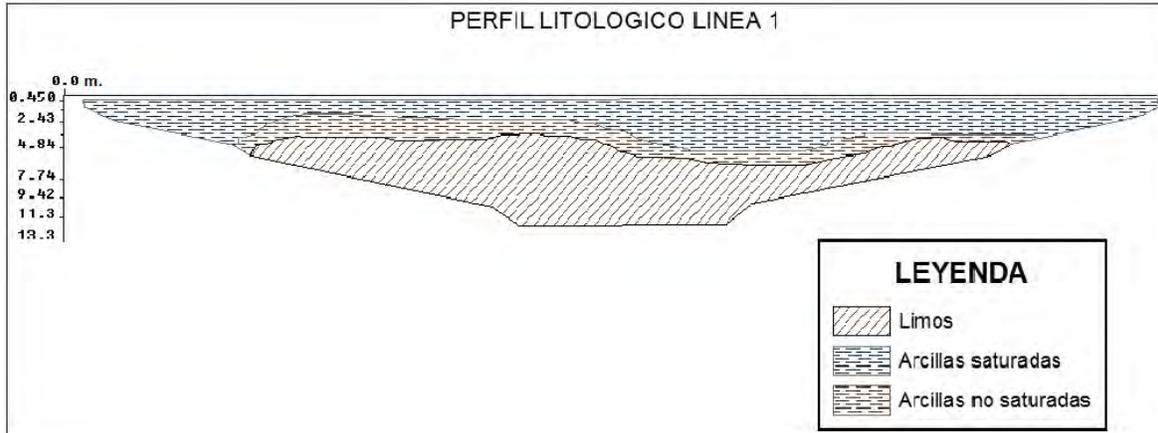
Fuente: Resultado del estudio.

Figura 29. Perfil 1 tomografía.



Fuente: Resultado del estudio.

Figura 30. Perfil litológico 1



Fuente: Resultado del estudio.

6.5.2 TOMOGRAFIA N°2

Localizada en la parte alta del deslizamiento Coordenadas parte inicial X: 1068890, Y: 1046325, parte final X: 1068811, Y: 1046345, orientación N60°W, con una longitud de 53.3 mts, profundidad obtenida de 9.59 mts, y los electrodos conectados a una distancia de 1.30 mts cada uno.

Fotografía 16. Parte alta del deslizamiento.



Fuente: Registro fotográfico.

Fotografía 17. Parte alta del deslizamiento.



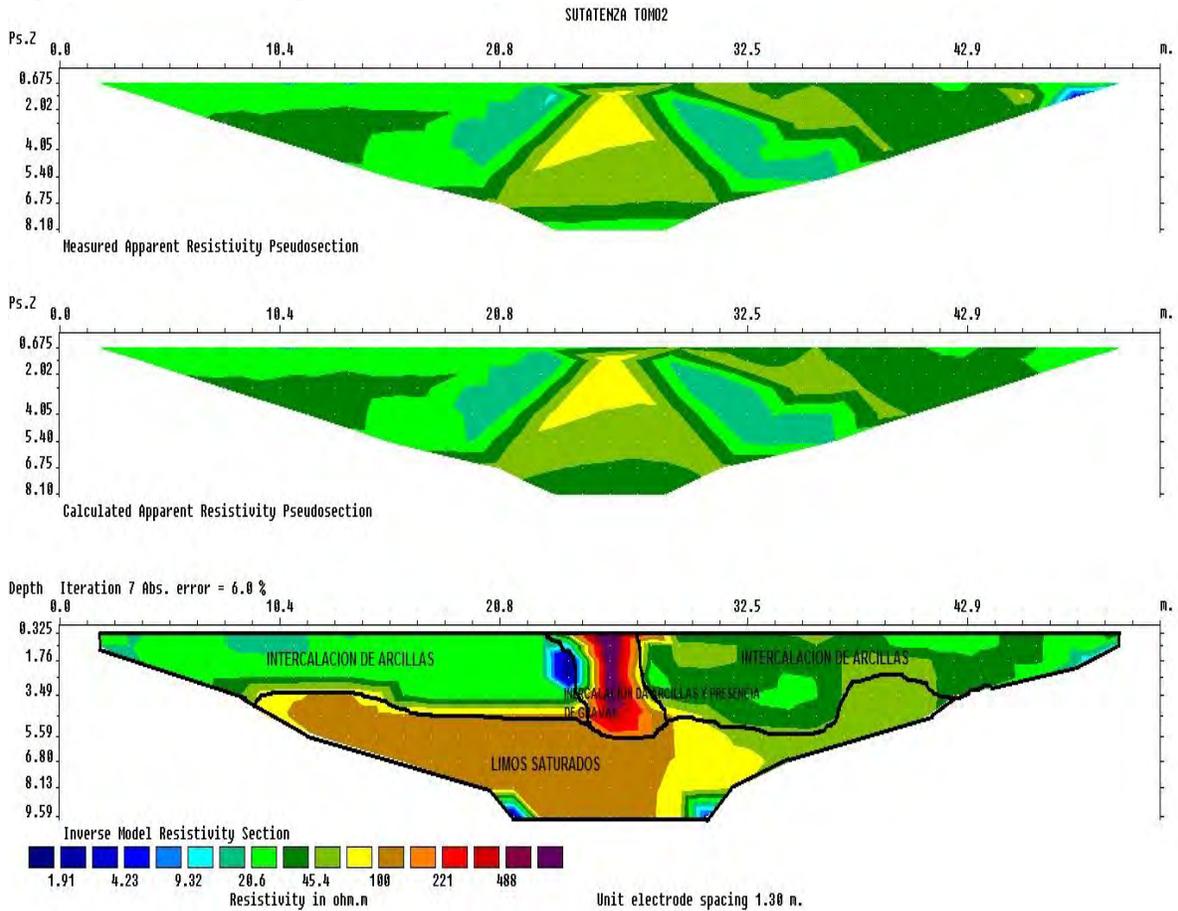
Fuente: Registro fotográfico.

Resistividades de los materiales presentes en el área de estudio.

MATERIAL	PROFUNDIDAD (m)	RESISTIVIDAD ($\Omega \cdot m$)	INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA
1	0.325 – 4	1.91 – 45.4	Intercalación de Arcillas
2	0.325 - 4	100 – 488	Intercalación de arcillas y presencia de gravas
3	4 – 9.59	46 - 100	<i>Limos</i>

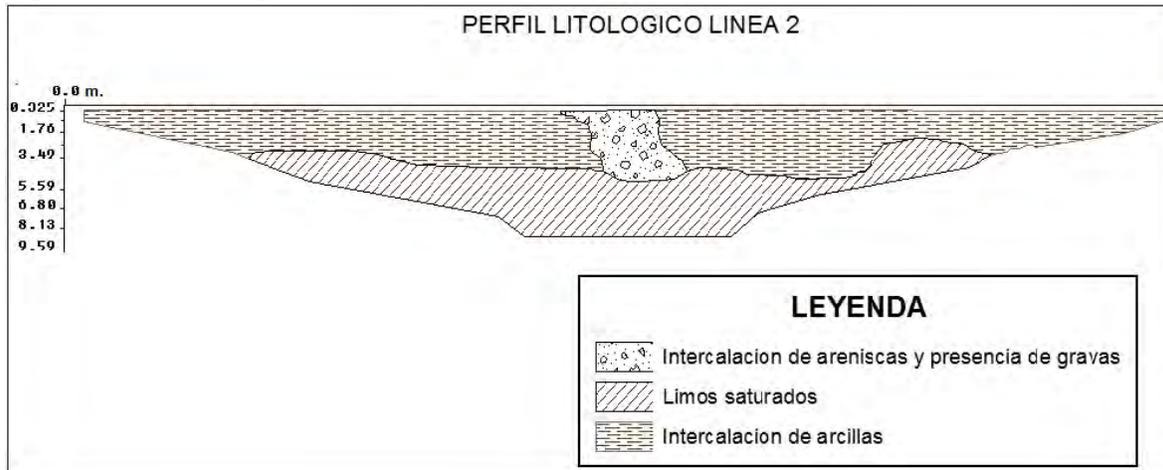
Fuente: Resultado del estudio.

Figura 31. Perfil 2 tomografía.



Fuente: Resultado del estudio.

Figura 32. Perfil litológico 2



Fuente: Resultado del estudio.

6.5.3 RESULTADOS

Con ayuda del software Res2DINX64, se relacionaron datos de las respectivas resistividades de los materiales del área obtenidas por el equipo, resultando así el modelamiento del talud, en la línea 1 se observa que el área está conformada por tres unidades Geoelectricas bien definidas, donde encontramos niveles de arcillas saturadas con rangos de resistividades que oscilan entre 15.5 – 20.7 Ω^*m , arcillas no saturadas con resistividades que van desde 20.8 – 49.9 Ω^*m , y finalmente limos con resistividades que oscilan entre 50 - 116 Ωm , ver Figura 29 y Figura 30. Por parte de la línea 2 se puede observar que está conformada por tres unidades Geoelectricas, el primer material compuesto por intercalación de arcillas con rangos de resistividades que van entre 1.91 – 45.4 Ω^*m , el segundo son intercalación de arcillas con presencia de algunas gravas que poseen rangos de resistividades que van entre 100 – 488 Ω^*m , y finalmente limos con resistividades entre 46 – 100 Ω^*m ver Figura 31 y Figura 32.

		<p style="text-align: center;">MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE FONDO DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL FCA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR –CORPOCHIVOR</p>	 <p style="text-align: center;">EJECUTOR CONVENIO No. 038/2012.</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 Gaque municipio de Sutatenza, sucedidos desde hace unos años, y que han evolucionado hasta afectar considerablemente viviendas y la escuela presente en la zona.

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

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

7.1 EXPLORACIÓN DE CAMPO

7.1.1 Sondeos geotécnicos

7.1.1.1 Exploración indirecta del sub suelo

La exploración indirecta del sub suelo se realizó por medio de tomografías geoelectricas como se observa en el numeral **¡Error! No se encuentra el origen e la referencia.**, el cual se llevó a cabo después de determinar que el método geoelectrico convencional SEV, no aporta ningún tipo de información importante

cuando se aplica al estudio de deslizamientos por tratarse de un medio muy fracturado con altas pendientes además de ser un material removido y saturado.

7.1.1.2 Exploración directa del sub suelo.

La exploración directa del sub suelo consiste en la realización una apique y una trinchera, De estos se tomaron muestras alteradas e inalteradas para realizar los ensayos pertinentes para caracterizar los materiales presentes en esta zona. Además se realizaron sondeos a profundidades de que tienen una profundidad de hasta 8,50 metros de y sus ubicaciones se relacionan en la siguiente Tabla 23; de estos se realizaron los también ensayos de propiedades índices y propiedades mecánicas.

Coordenadas de los sondeos realizados

SUTATENZA			
Sondeo	Coordenadas		Profundidad (metros)
	Este	Norte	
sondeo 1	1,068,817	1,046,310	7,80
sondeo 2	1,068,772	1,046,259	7,50

Fuente: Resultados de la Investigación

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

Fotografía 18. Perforación realizada en la zona de estudio



Fuente: Registro Fotográfico.

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

Fotografía 19. Prueba de Penetrometro de Bolsillo



Fuente: Registro Fotográfico.

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

7.2 CARACTERIZACIÓN DEL SUELO Y SUBSUELO

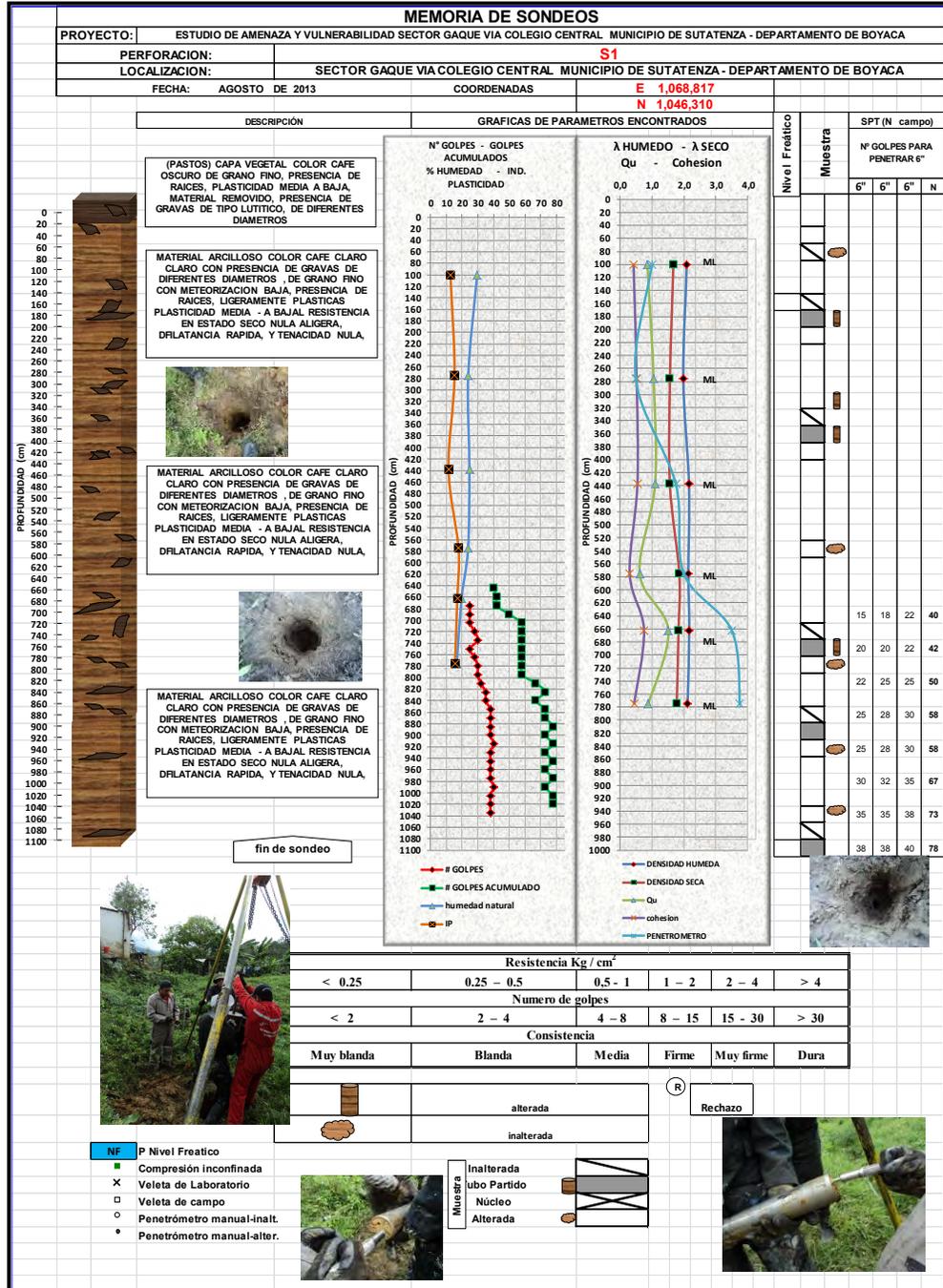
7.2.1 Trabajos de Laboratorio

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

7.2.2 Trabajos de Laboratorio

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

Figura 33. Perfil Geotécnico S1



Fuente: Resultado del estudio

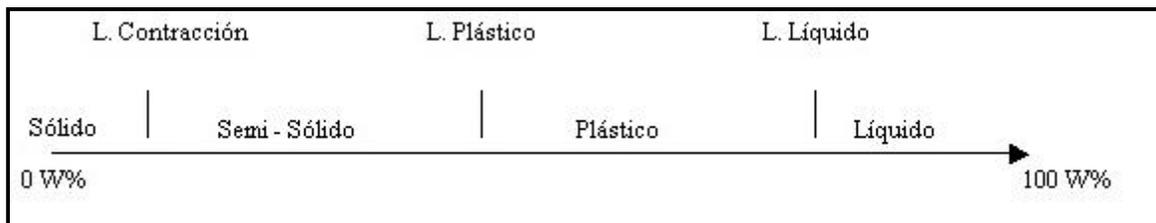
ELABORACIÓN DE ESTUDIO DE RIESGO (AMENAZA Y VULNERABILIDAD) Y DISEÑO DE OBRAS DE ESTABILIZACION EN LA VEREDA GAQUE VIA COLEGIO CENTRAL, MUNICIPIO DE SUTATENZA JURISDICCION DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR (CORPOCHIVOR).

7.2.2.1 Propiedades índices de los suelos

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

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

Figura 34. Límites de Atterbeg



Fuente: Juárez Badillo y Rico Rodríguez

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

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

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

7.2.2.2 Propiedades mecánicas de los suelos

Compresión no confinada: El objetivo primario del ensayo de compresión no confinada es obtener rápidamente un valor aproximado de la resistencia a la compresión de los suelos que tienen suficiente cohesión para ser sometidos a dicho ensayo.

Fotografía 20. Muestra fallada en el ensayo de compresión no confinada.



Fuente: Resultado del estudio.

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

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

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



Fuente: Resultado del estudio.

7.2.3 Resumen de resultados

En general los ensayos realizados reflejan la particularidad de materiales finos en el subsuelo según la Carta de Clasificación de Casagrande, los suelos fueron clasificados dentro del grupo ML-CL (material limoso de baja plasticidad) correspondientes al material de relleno, arcillas limosas, con peso unitario de 1.5 – 2.2 gr/cm³, con limite líquido < 47% e IP entre 7% y 17%.



Los resultados de las propiedades mecánicas reflejan una resistencia a la compresión simple de 0.6 – 1.8 kg/cm², cohesión de 0.3 – 0.9 Kgf/cm², ángulos de fricción entre 8° y 16°. 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 24).

7.3 Clasificación del Macizo Rocoso.

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

7.3.1 Índice de Calidad de la Roca (RQD):

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

λ : Número de discontinuidades por distancia medida.

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



Resumen de resultados ensayos de laboratorio

MEMORIA DE SONDEOS																					
PROYECTO:		ESTUDIO DE AMENAZA Y VULNERABILIDAD SECTOR SIBATA MUNICIPIO DE GUATEQUE - DEPARTAMENTO DE BOYACA																			
PERFORACION:		SONDEOS 1 - 2																			
LOCALIZACION:		SECTOR SIBATA MUNICIPIO DE GUATEQUE - DEPARTAMENTO DE BOYACA																			
		FECHA:		AGOSTO DE 2013																	
		inalterada																			
		alterada																			
				COORDENADAS						PROPIEDADES FISICAS SUELOS					RESISTENCIA AL CORTE SUELOS						
SONDEO / APIQUE N°	MUESTRA N°	TIPO DE MUESTRA	PROF. (m)	E	N	Wn (%)	LL	LP	IP	CLASIF (U.S.C.)	P.T.N° 200 %	CORTE DIRECTO		λ HUMEDO		λ SECO		COMPRESION INCONFINADA		PENETROMETRO BOLSILLO Kg/cm²	
												φ	C	Peso Unitario	Peso Unitario	qu	C				
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.

ELABORACIÓN DE ESTUDIO DE RIESGO (AMENAZA Y VULNERABILIDAD) Y DISEÑO DE OBRAS DE ESTABILIZACION EN LA VEREDA GAQUE VIA COLEGIO CENTRAL, MUNICIPIO DE SUTATENZA JURISDICCIÓN DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR (CORPOCHIVOR).

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

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

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

7.3.2 Clasificación Según el RMR:

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

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



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

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

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

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

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

Resumen de Resultados de la Clasificación RMR

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

Fuente: Resultados de la investigación.

7.3.3 Clasificación Según el Índice Geológico de Resistencia (GSI):

Clasificación de macizos propuesta por Hoek y Brown, como un parámetro de condición del macizo rocoso en función de la condición estructural y del estado de las discontinuidades, para la aplicación del criterio generalizado de Hoek y Brown (2002), con el fin de establecer la envolvente de resistencia del macizo rocoso. Para su determinación se propone la utilización de la Figura 35.

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

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

Fuente: Resultados de la investigación.

Dada la sencillez de la guía para la determinación del GSI, y en cierta medida su subjetividad se propone para valores de GSI mayores que 25 que este pueda ser establecido a partir del valor de clasificación RMR89, teniendo en cuenta que se debe tomar el valor RMR sin corrección por orientación de discontinuidades y una valuación de condiciones de agua subterránea igual a 15. De acuerdo a lo anterior el valor de GSI 52 como se observa en la Figura 35.

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

7.4 CINEMÁTICA DE LOS MOVIMIENTOS

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

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

7.5 CAUSAS DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA

7.5.1 Causas Reales

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

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

7.5.2 Causas Inmediatas

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

Como detonantes de los eventos se han establecido los siguientes:

- La baja capacidad de capturar agua del material pero no de trasmitirla lo cual hacer que se generen grandes presiones las cuales generan la fuerza indicada para el desplazamiento del movimiento.
- El agua proveniente de las precipitaciones, que aunque no son frecuentes, han ocurrido en épocas que están asociadas a los mayores movimientos ocurridos.
- La baja resistencia al corte o de fricción del material en el cual se produce la superficie de falla.
- El mal uso de suelo, la ocupación de drenajes naturales para regadío de cultivos, tala y pastoreo.
- Los eventos sísmicos con alguna influencia en la zona se constituyen también en factores detonantes.



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

7.6 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y MODELACIÓN GEOTÉCNICA

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

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

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

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

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:

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

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

σ_v : Esfuerzo vertical total en la base de la dovela.

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

Coeficientes de reducción de coeficientes de aceleración sísmica

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

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

Coeficientes de aceleración sísmica para el departamento Boyacá

Nº	Municipio	Código	Aa	Av	Zona de Amenaza Sísmica	Ae	Ad
1	Tunja	15001	0.20	0.20	Intermedia	0.15	0.07
2	Almeida	15022	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
103	Sutamarchán	15776	0.15	0.20	Intermedia	0.09	0.05
104	Sutatenza	15778	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.

7.6.1 Análisis estructuralmente controlado

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

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

Resultado análisis estructuralmente estructurado falla planar.

ANÁLISIS CINEMÁTICO						
PLANAR						
Rango	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO			RANGO BUZAMIENTO		
1	107	A	147	20	A	25
2	272	A	312	20	A	60
3	12	A	52	5	A	65

Fuente: Resultados de la investigación.

Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.

ANÁLISIS CINEMÁTICO						
CUÑA						
Rango	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO			RANGO BUZAMIENTO		
1	184	A	224	0	A	5
2	91	A	131	0	A	22
3	317	A	357	0	A	50

Fuente: Resultados de la investigación.

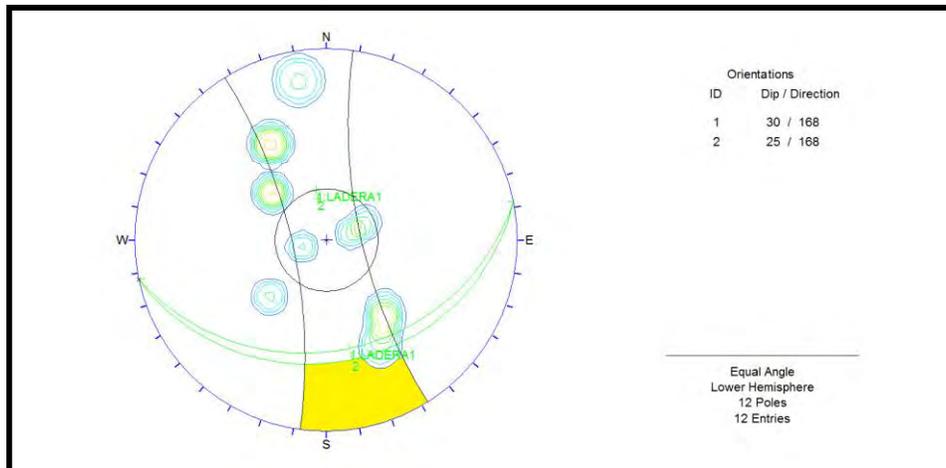
Resultado análisis estructuralmente estructurado falla por volteo.

ANÁLISIS CINEMÁTICO						
VOLTEO						
Rango	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO			RANGO BUZAMIENTO		
1	277	A	327	65	A	90
2	82	A	132	65	A	90
3	182	A	232	65	A <td 90	

Fuente: Resultados de la investigación.

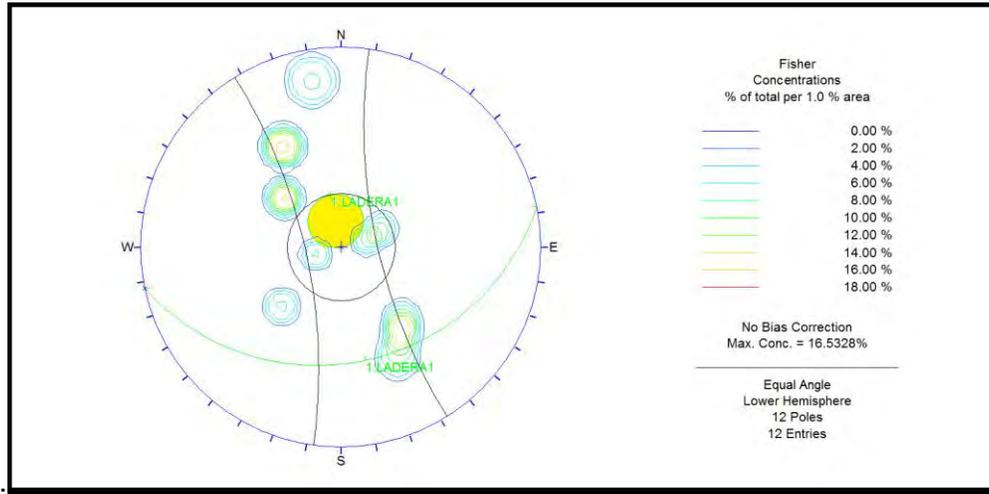
Las anteriores tablas reflejan los posibles rangos de dirección de buzamiento de las laderas y la inclinación que deben cumplir para que cada una de las fallas ocurra; estas se obtienen tras analizar cada una de las estructuras presentes en esta zona como se observa de manera esquemática en las **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Figura 36. Análisis cinemático, falla por volcamiento



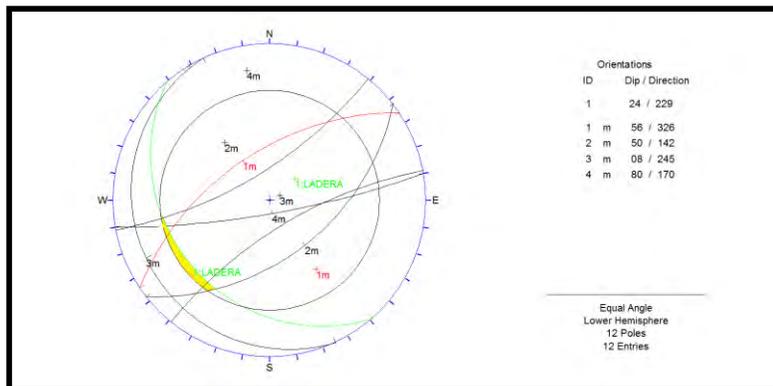
Fuente: Resultados de la investigación.

Figura 37. Análisis cinemático falla planar



Fuente: Resultados de la investigación.

Figura 38. Análisis cinemático falla por cuña



Fuente: Resultados de la investigación.

7.6.2 Análisis estructuralmente no controlado

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

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

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

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	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 22

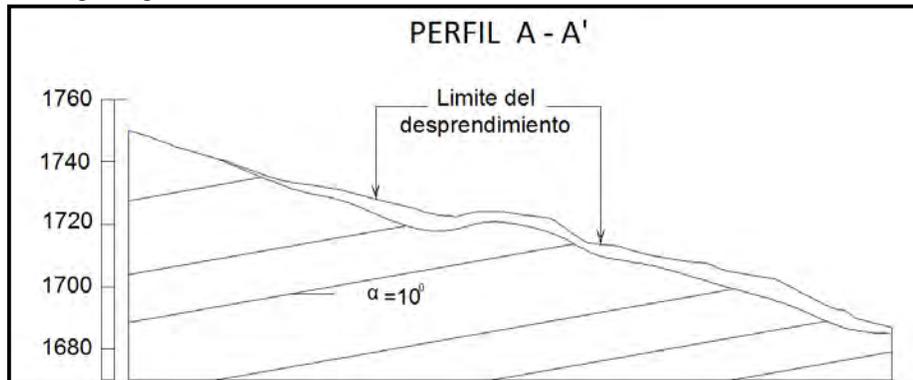
Fotografía 22. Parte superior del movimiento



Fuente: Registro fotográfico.

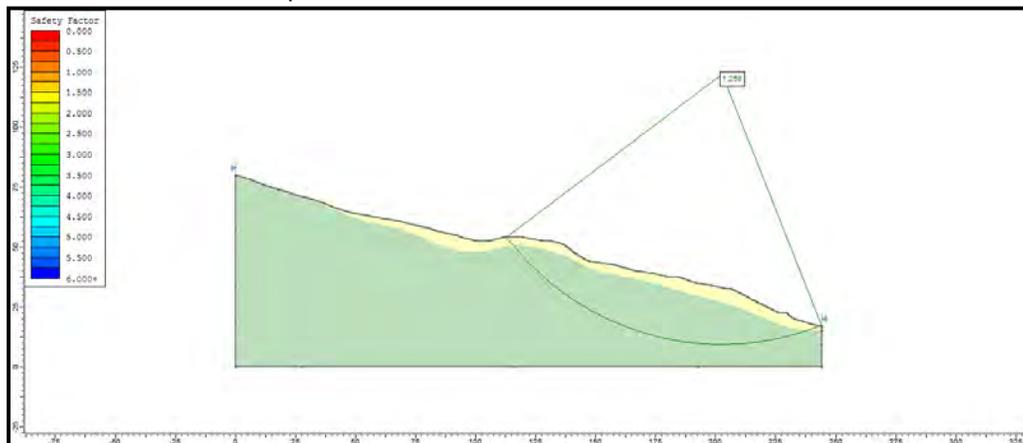
El modelo grafico el modelo analizado relaciona los datos obtenidos de la campaña de exploración geológica y geotécnica. La parte de geología aporta el perfil geológico y los parámetros mecánicos se obtienen en de los resultados de los diferentes ensayos anteriormente relacionados en el trabajo de laboratorio.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

Figura 39. Perfil geológico AA' .



Fuente: Resultados del estudio.

Figura 40. Modelo de análisis perfil A-A'



Fuente: Resultados del estudio.



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

Factores de seguridad para el modelo perfil A-A'

Condición del modelo	Factor de Seguridad			
	Met. Fellenious	Met. Bishop Simplificado	Metodo de Janbu Simple	Metodo de Janbu Corregido
Condición de agua subterránea normal ($R_u = 0.1$)	1.258	1.268	1.165	1.241
Condición de agua subterránea crítica ($R_u = 0.3$)	1.257	1.266	1.164	1.239
Condición de agua subterránea media ($R_u = 0.5$) y sismo (análisis pseudoestático)	0.802	0.816	0.759	0.802

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

8 ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA

8.1 DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DE AMENAZAS

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

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

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

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

▮ Parámetros físicos y naturales estimados para la Identificación de Zonas Inestables (Deslizamientos)¹

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

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

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

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

▮Categorización de amenazas por FRM

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

Fuente: Resultado del estudio

Se realiza una evaluación de la amenaza a partir de la norma NSR-10, donde se establecen los factores de seguridad para taludes los cuales se presentan en la Tabla 35.



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

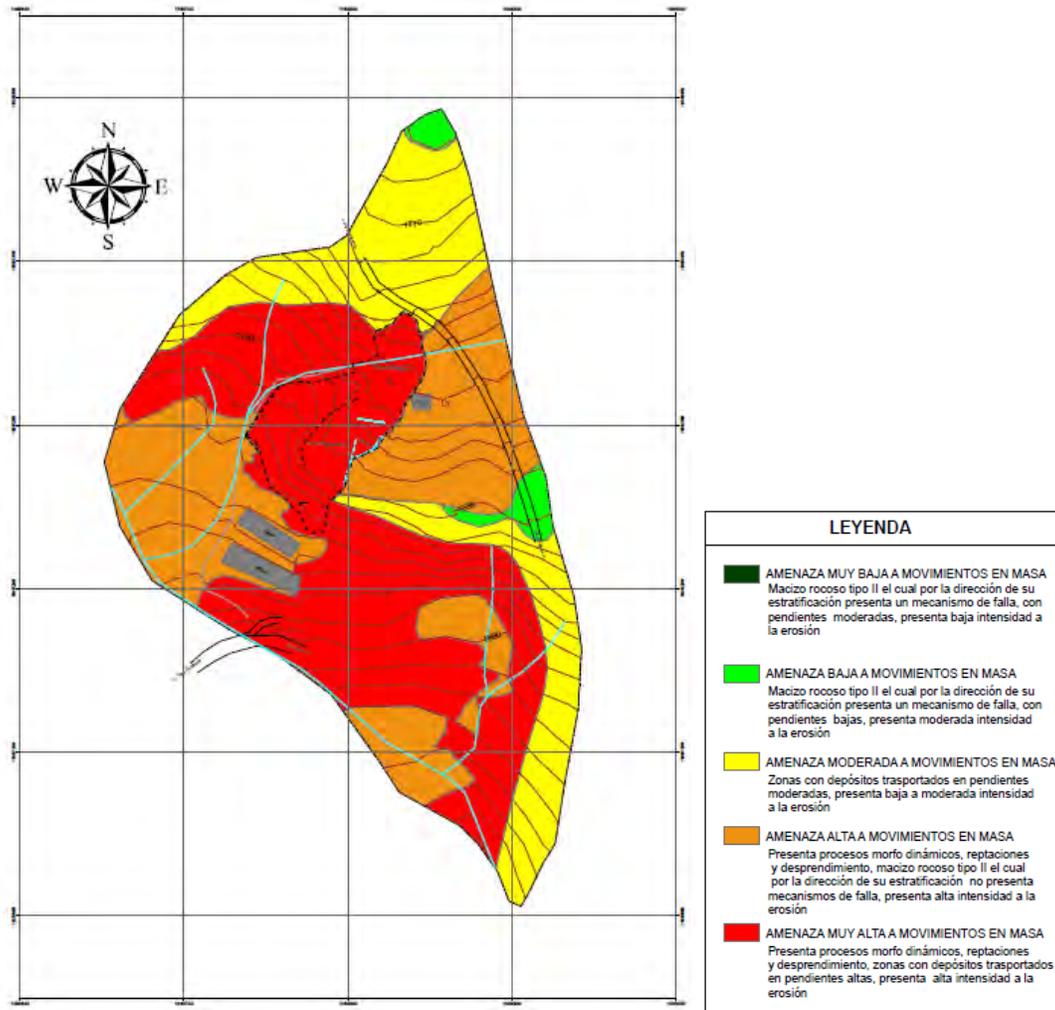
CONDICION	F.S. BASICOS MINIMOS DIRECTOS
TALUDES - CONDICION ESTATICA Y AGUA SUBTERRANEA NORMAL	1.5
TALUDES – CONDICION SEUDO – ESTATICA CON AGUA SUBTERRANEA NORMAL Y COEFICIENTE SISMICO DE DISEÑO	1.02

Fuente: Resultado del estudio

8.3 ANALISIS DE AMENAZA

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

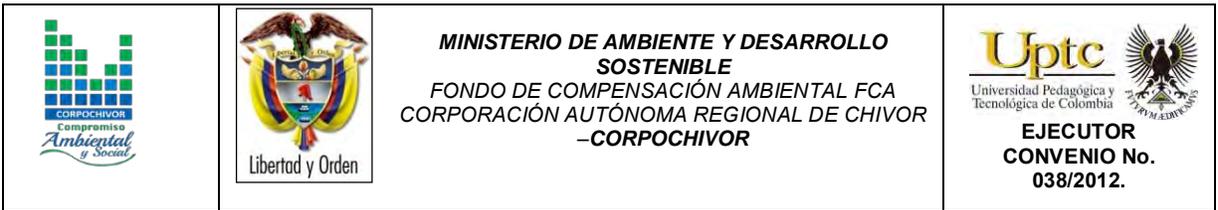
Figura 41. Imagen Mapa de Amenazas.



Fuente: Resultado del estudio

8.3.1 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



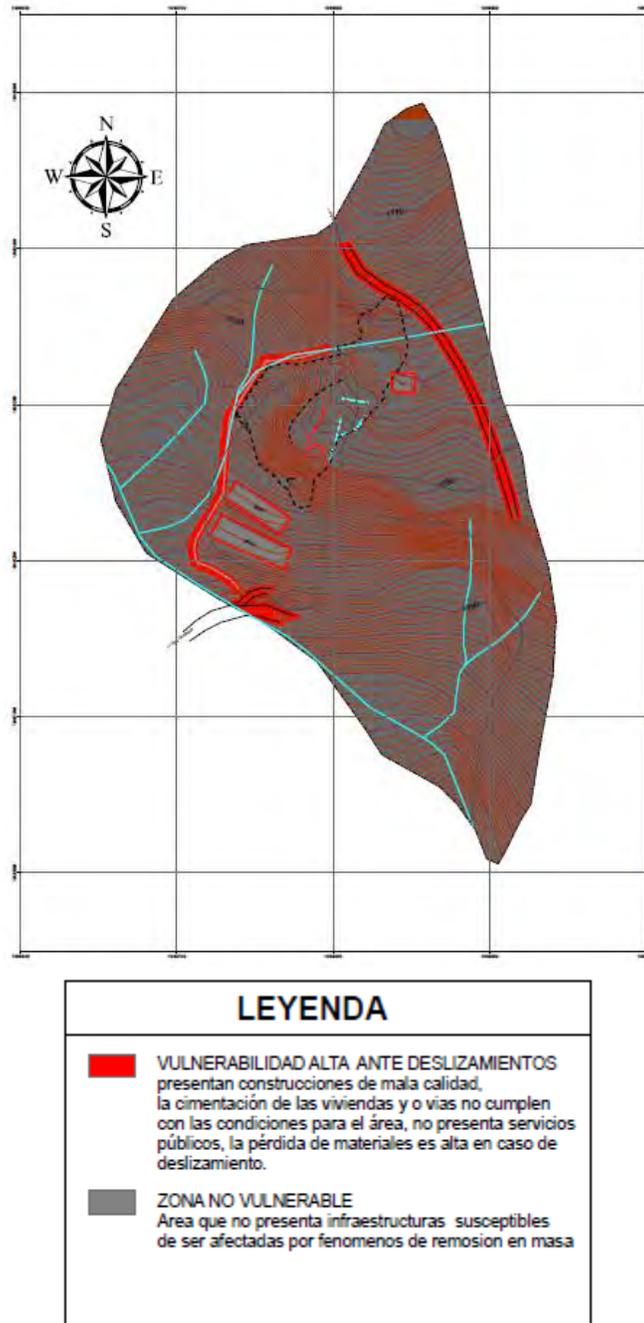
resumen, el trabajo consiste en calcular los índices de vulnerabilidad física (IVF), dependiendo del tipo de movimiento, la intensidad de las solicitaciones y las características del elemento expuesto (edificaciones y demás construcciones existentes).

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

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

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

Figura 42. Imagen Mapa de Vulnerabilidad Física y Social



Fuente: Resultado del estudio

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

9 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

Se define vulnerabilidad con relación a los siguientes aspectos:

La **vulnerabilidad estructural** ² 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.

² Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), Comité Coordinador para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central (CEPREDENAC). ANÁLISIS DE RIESGO POR INUNDACIONES Y DESLIZAMIENTOS DE TIERRA EN LA MICROCUENCA DEL ARENAL DE MONTSERRAT

9.1 ANÁLISIS Y GRAFICAS ESTADÍSTICAS DE LAS ENCUESTAS REALIZADAS EN EL MUNICIPIO DE SUTATENZA VEREDA GAQUE

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 del movimiento. Frente a la vivienda afectada.



Fuente: Registro Fotográfico

1. Tipo de sector.

El sector evaluado se encuentra ubicado en la vereda Gaque, en donde se halla la finca la lomita del Sr. Julio Antonio Huertas Huertas, la cual se encuentra en alto riesgo por el movimiento de terreno que se viene dando en esta zona, al igual que la Avícola Valle de Tenza, que está ubicada en la parte baja del movimiento.

2. La vivienda

Dentro del área de influencia del movimiento se encuentra una vivienda en riesgo, la cual es habitada por una familia que presta servicios de administración a la finca.

Fotografía 24. Vista de la vivienda afectada.



Fuente: Registro Fotográfico

3. Servicios.

La vivienda cuenta con servicios básicos de agua y luz, los cuales se prestan de forma constante en el sector, por lo que manifiestan no tener quejas al respecto.

4. Acueducto.

La familia que habita la vivienda manifiesta que esta no cuenta con servicio de acueducto, por lo que el agua para el consumo es canalizada de forma rudimentaria.

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

5. Alcantarillado

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

6. Seguridad social

La familia que habita el sector de influencia del deslizamiento cuenta con seguridad social del régimen subsidiado, lo que es muy favorable, ya que cuentan con la presencia de dos menores de edad, dentro de este núcleo familiar.

7. Discapacidad

Dentro de la familia evaluada no se evidencia la presencia de ninguna persona en situación de discapacidad.

8. Niños(as)

Dentro de la familia se halla la presencia de dos menores de edad, los cuales se hallan al cuidado de sus padres. (Dos niños de 11 y 2 años)

9. Ocupación de los niños.

El menor no se encuentra escolarizado según lo manifestado por su madre quien se encontraba con él al momento de la visita, el niño mayor asiste diariamente a la escuela del municipio.

10. Adultos mayores

Dentro del núcleo familiar no hay presencia de adultos mayores, sin embargo dentro de los trabajadores de la Avícola valle de tensa, si existe presencia de esta población.

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

11. Estrato

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

12. Tipo de vivienda.

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

13. Área aproximada de las viviendas.

La vivienda cuenta con alrededor de 90Mtrs de área construida y no presenta problemas de hacinamiento. Pues en ella habitan solo cuatro personas.

Fotografía 25. vista del movimiento en masa.



Fuente: Registro Fotográfico

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

14. Pisos de la vivienda.

La vivienda es de un solo piso y presenta varias fracturaciones en su estructura, por lo que se recomendó estar atentos ante cualquier situación de emergencia.

15. Edad de la construcción.

La construcción cuenta con 10 años de construida.

16. La armazón de la vivienda es:

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

17. La cubierta de la vivienda es de:

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

18. Los muros de la vivienda son en:

Los muros de las viviendas son en material de bloque.

19. El acabado de los pisos es de:

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

20. El estado de la construcción es:

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

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

21. La construcción anteriormente ha sufrido daño por:

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

22. El daño sufrido por la vivienda fue:

El daño que presenta la vivienda es moderado a causa del movimiento del terreno, por lo que solicitan el apoyo de las entidades correspondientes para la mitigación de los efectos del fenómeno.

23. La parte de la construcción más afectada fue:

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

24. La vivienda cuenta con bases:

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

25. Causa de Inestabilidad del suelo:

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

Fotografía 26. Afectaciones del terreno.



Fuente: Registro Fotográfico

26. Ingresos económicos de la familia:

La familia afectada manifiesta contar con pocos recursos económicos, por lo que dicen vivir con menos de un salario mínimo mensual, con el cual se sustenta toda la familia que consta de dos adultos jóvenes y dos menores de edad.

27. Familia extensa.

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

28. Acciones implementadas para mitigar el riesgo.

Los habitante de la vivienda manifiestan que si han efectuado acciones de sostenimiento al terreno y a la vivienda. (Resanar grietas, abrir zanjas para aguas de escorrentía y colocar filtros para aguas servidas)

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

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

Fotografía 27. Hundimientos en el terreno.



Fuente: Registro Fotográfico

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

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

31. Tiempo que se presentó el deslizamiento.

La familia manifiesta que el deslizamiento se ha venido presentando hace un año, y se agudiza con las filtraciones de agua y las lluvias que caen en la zona.

32. Conocía esta situación cuando comenzó a vivir aquí.

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

Fotografía 28. Parte baja del movimiento. (Galpones) Avícola valle de tensa.



Fuente: Registro Fotográfico

33. Esta situación ha producido en su familia:

Las personas que habitan la vivienda ubicada en la zona de influencia del deslizamiento, presentan un temor generalizado ante la posibilidad de que ocurra un evento catastrófico, ya que el terreno va cediendo cada vez más.

34. Depende económicamente de este predio.

La familia manifiesta que depende económicamente de los terrenos que habitan, pues es allí en donde obtiene su salario mensual para su sostenimiento, al igual que el avícola valle de tensa, de la cual dependen aproximadamente cinco empleados fijos.

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

35. Uso que tiene o tenía el predio.

El uso del predio es básicamente para vivienda y cultivos a pequeña escala, con los que se obtiene el sustento de la familia que habita la vivienda. Además del uso empresarial de la avícola Valle de tensa.

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

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

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

A la familia les gustaría continuar en la misma vereda, ya que están adecuados a este entorno y se les facilita para la educación escolar de sus hijos.

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

Si, han recibido visitas de parte de la alcaldía del municipio pero no se les ha solucionada nada hasta el momento.

39. Que esperarían de la Alcaldía Municipal

La familia esperaba que la alcaldía les ayude en la construcción de una vivienda propia, en un terreno en donde no corran peligro.

40. Género:

En la zona de influencia del deslizamiento se encuentran habitando tres (3) Hombres y una (1) mujer, de los cuales dos (2) son menores de edad.

En la planta avícola valle de tensa habitualmente se encuentran cinco (5) empleados, según lo manifestado por el gerente general de la misma.



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

11 CONCLUSIONES.

- El FRM analizado es un movimiento en masa en el cual se identifica roca y suelo desprendido de ladera con cierto grado de inclinación de la pendiente, tiene comportamiento remontante, causados por socavación de taludes debido a la acción del hombre (cortes anti técnicos del talud), provocando el retroceso del material del talud perdiendo apoyo en su base, se van desplomando progresivamente, en el área predomina una vegetación rala y pequeña, incapaz de retener el suelo, donde facilita la inestabilidad de proceso.

- Con ayuda del software Res2DIN VX64, se relacionaron datos de las respectivas resistividades de los materiales del área obtenidas por el equipo, resultando así el modelamiento del talud, en la línea 1 se observa que el área está conformada por tres unidades Geoelectricas bien definidas, donde encontramos niveles de arcillas saturadas con rangos de resistividades que oscilan entre 15.5 – 20.7 $\Omega \cdot m$, arcillas no saturadas con resistividades que van desde 20.8 – 49.9 $\Omega \cdot m$, y finalmente limos con resistividades que oscilan entre 50 - 116 Ωm .

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

12 RECOMENDACIONES.

- Debido a la vulnerabilidad estructural de la vivienda ubicada en el flanco izquierdo superior, y la vía central localizada en la parte baja del movimiento se deberán tomar medidas preventivas e inspeccionar y verificar la posible reubicación de la vivienda.
- Se debe implementar señalización de advertencia en la vía “zona de observación geológica, deslizamiento activo”
- 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 cunetas y canales para la captación de agua de escorrentía. (ver ubicación en Plano Anexo, detalles).
- Se recomienda la construcción de drenes horizontales para abatir el agua en periodos de altas lluvias.
- Se debe colocar micro pilotes hincados colocados en hilera como se muestra en el plano de detalles (ver Anexo 12).
- En la zona alta se deberá revegetalizar la zona alta del deslizamiento con arbustos bajos de la zona.



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.