



INFORME FINAL



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

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

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1	GENERALIDADES 13
1.1	PRESENTACION (JUSTIFICACION Y ALCANCE)..... 13
1.1.1	ALCANCE..... 14
1.2	OBJETIVOS DEL PROYECTO 14
1.2.1.	Objetivo General..... 14
1.2.2	Metodología..... 15
1.3	LOCALIZACIÓN. 16
1.4	PERSONAL 17
1.5	DESCRIPCION DE ACTIVIDADES REALIZADAS..... 18
1.5.1.	Trabajo de campo..... 18
1.6.	ANÁLISIS DE LABORATORIO..... 20
1.7.	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y SUS POSIBLES CAUSAS 21
1.8	ESTADO DE LA INFORMACIÓN 22
2	ASPECTOS CLIMATICOS E HIDROLOGICOS 24
2.1.	ANÁLISIS HIDROLÓGICO 25
2.2.	BALANCE HÍDRICO..... 25
2.2.1.	Tipos de recarga..... 26
2.3.	ESTIMACIÓN DE LA ESCORRENTÍA 28
2.4.	ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN. 33
2.4.1.	Mapas de Isoyetas generados a partir de los datos de Precipitación. 39
2.4.2.	ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP).... 45
2.4.2.1.	Formula de J. B. García y J.D. López..... 45
2.4.3.	Estimación del Balance Hídrico 46
2.4.4.	Metodología..... 47
2.4.5.	RESULTADOS OBTENIDOS 50
2.5.	CALCULO DE CAUDAL DE DISEÑO A PARTIR DE LAS CURVAS IDF54
2.5.1.	Resultados..... 54
2.6	MORFOMETRÍA DE LA CUENCA 56

3	HIDROGEOLOGÍA	61
3.1	Unidades Hidrogeológicas.....	61
3.1.1	Acuífero.....	61
3.1.2	Acuitardo.....	61
3.1.3	Acuícierres.....	62
3.2	MARCO HIDROLÓGICO GENERAL.....	62
3.2.1	UNIDAD I (Permeabilidad Media).....	62
3.2.2	UNIDAD II (Permeabilidad Baja)	62
4	GEOLOGIA.....	64
4.1	GEOLOGIA HISTORICA	65
4.2	GEOLOGIA LOCAL.....	65
4.2.1	Formación Fόμεque.....	65
4.2.2	Depósitos Cuaternarios	66
4.2.3	Depósitos Coluviales (Qc)	66
4.2.4	Depósitos Aluviales (Qal)	66
5	GEOMORFOLOGÍA	68
5.1	GEOMORFOLOGÍA LOCAL.....	69
5.2	ANÁLISIS FOTOGEOLÓGICO.....	70
5.3	PROCESOS MORFODINÁMICOS.....	71
5.3.1	Desprendimiento	72
5.4	INCLINACIÓN DE LAS PENDIENTES	73
5.5	UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	75
5.5.1	Geoformas de Origen Denudacional.	77
5.6	EROSIÓN	79
5.6.1	Algunas Formas de Erosión	82
5.6.2	Factores externos.....	82
5.6.3	Factores internos.....	83
5.6.4	Morfodinámica - intensidad de erosión.....	83
5.7	USO ACTUAL Y COBERTURA DEL SUELO.....	86
5.7.1	VEGETACIÓN	87
5.7.2	COBERTURA Y USO DE SUELO PARA EL ÁREA	89

5.7.3	BOSQUES.....	102
5.7.4	ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA Y/O ARBUSTIVA	111
5.7.5	ÁREAS Y PORCENTAJES DE LAS COBERTURAS EN EL	115
5.7.6	UNIDADES DE COBERTURA VEGETAL	117
6	GEOELECTRICA	122
6.1	ESTUDIO GEOELECTRICO (TOMOGRFIA).....	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	TOMOGRFIA N°1	130
6.5.2	RESULTADOS	133
7	GEOTECNIA	134
7.1	EXPLORACIÓN DE CAMPO.....	134
7.1.1	Sondeos geotécnicos	134
7.2	CARACTERIZACIÓN DEL SUELO Y SUBSUELO	137
7.2.1	Trabajos de Laboratorio.....	137
7.2.2	Resumen de resultados.....	141
7.3	Clasificación del macizo rocoso.....	142
7.3.1	Clasificación Según el Índice Geológico de Resistencia (GSI):.....	142
7.4	CINEMÁTICA DE LOS MOVIMIENTOS	145
7.5	CAUSAS DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA	145
7.5.1	Causas Reales	145
7.5.2	Causas Inmediatas	145
7.6	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y MODELACIÓN GEOTÉCNICA	146
7.6.1	Análisis estructuralmente no controlado	150
8	ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS	154
8.1	DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DE AMENAZAS	154
8.2	RESULTADO DE ANALISIS.....	157

8.3	ANALISIS DE AMENAZA	158
8.4	Evaluación de Vulnerabilidad	160
9	ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD	162
9.1	ANÁLISIS Y GRAFICAS ESTADÍSTICAS	163
10	OBRAS RECOMENDADAS	178
11	RECOMENDACIONES	181
12	BIBLIOGRAFÍA.....	182

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1.	Exploración directa del subsuelo (SPT).....	19
Fotografía 2.	Tejido urbano discontinuo presente en la zona de estudio.....	95
Fotografía 3.	Tejido artificializado de nivel 4 red vial.	96
Fotografía 4.	Cultivo De <i>Zea Mays</i>	98
Fotografía 5.	Cultivos agroforestales.....	99
Fotografía 6.	Pastos enmalezados.....	100
Fotografía 7.	pastos limpios presente en la zona de estudio.....	101
Fotografía 8.	Bosque abierto alto.....	105
Fotografía 9.	Bosque denso bajo de tierra firme.....	106
Fotografía 10.	Bosque Ripario Presente En la zona de estudio.....	107
Fotografía 11.	CUPRESSACEAE.....	109
Fotografía 12.	Eucaliyos presentes en la zona de estudio.....	110
Fotografía 13.	Arbustos mesofilos.....	112
Fotografía 14.	HERBAZAL.....	113
Fotografía 15.	RIO.....	114
Fotografía 16.	Parte media del deslizamiento.....	131
Fotografía 17.	Perforación realizada en la zona de estudio.....	136
Fotografía 18.	Prueba de Penetrometro de Bolsillo.....	137
Fotografía 19.	Muestra fallada en el ensayo de compresión no confinada. ...	140
Fotografía 20.	Muestras a las que se les realizo la prueba de corte directo. .	141
Fotografía 21.	Movimiento.....	151
Fotografía 22.	Sector la batea.....	163
Fotografía 23.	Vivienda evaluada.....	164
Fotografía 24.	Adulta mayor habitante del sector.	165
Fotografía 25.	Vivienda del sector.....	167
Fotografía 26.	Vivienda abandonada.	169
Fotografía 27.	Agrietamiento de paredes en vivienda visitada.....	170
Fotografía 28.	Grietas en el piso de la vivienda.	172
Fotografía 29.	Refuerzo de columnas en vivienda.....	173

Fotografía 30.	Paso peatonal peligroso.	174
Fotografía 31.	Quebrada sochaqira.	175
Fotografía 32.	Vía de la vereda incomunicada a causa del deslizamiento.....	176

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tabla general para la determinación de número de curva (CN).....	30
Tabla 2. Escorrentía Estación Guayatá La Granja, suelo tipo ML.....	32
Tabla 3. Escorrentía Estación Guayatá La Granja, suelo tipo ML.....	33
Tabla 4. Estación pluviométrica utilizada en la estimación de la precipitación	34
Tabla 5. Precipitación media multianual mensual por estación.....	35
Tabla 6. Precipitación media multianual mensual por estación.....	36
Tabla 7. Rangos de temperatura Guayatá.....	46
Tabla 8. Valores de Evapotranspiración.....	46
Tabla 9. Calculo de Infiltración, basado en los valores de escorrentía (R).....	49
Tabla 10. Calculo de Infiltración, basado en los valores de escorrentía (R).....	50
Tabla 11. Estimación del Balance Hídrico.....	51
Tabla 12. Estimación del Balance Hídrico.....	52
Tabla 13. Valores de parámetros morfométricos para la cuenca regional.....	60
Tabla 14. Clasificación de las pendientes.....	75
Tabla 15. Descripción geomorfológica.....	79
Tabla 16. Unidades de cobertura vegetal.....	119
Tabla 17. Resistividades de algunos suelos y rocas.....	127
Tabla 18. Tabla de resistividades de los materiales presentes.....	131
Tabla 19. Coordenadas de los sondeos realizados.....	135
Tabla 20. Resumen de resultados ensayos de laboratorio.....	144
Tabla 21. Coeficientes de aceleración sísmica para el departamento Boyacá....	149
Tabla 22. Coeficientes de reducción de coeficientes de aceleración sísmica.	149
Tabla 23. Valores de Propiedades Físicas y Mecánicas.....	151
Tabla 24. Factores de seguridad para el modelo perfil A-A.....	153
Tabla 25. Parámetros físicos y naturales estimados.....	155
Tabla 26. Categorización de amenazas por FRM.....	157
Tabla 27. Categorización de amenaza por (FRM) según nsr-10.....	158

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Metodología realizada en el proyecto.....	15
Figura 2. Localización geográfica.....	16
Figura 3. Organigrama.	17
Figura 4. Gráfico de precipitación media multianual mensual.	37
Figura 5. Gráfico de precipitación media multianual.....	38
Figura 6. Isoyetas mes de Enero y Febrero	39
Figura 7. Isoyetas mes de Marzo y Abril	40
Figura 8. Isoyetas mes de Mayo y Junio	41
Figura 9. Isoyetas mes de Julio y Agosto	42
Figura 10. Isoyetas mes de Septiembre y Octubre	43
Figura 11. Isoyetas mes de Noviembre y Diciembre	44
Figura 12. Comportamiento de las Curvas del Balance Hídrico.....	53
Figura 13. Imagen ilustrativa de la cuenca regional Guayatá.....	59
Figura 14. Imagen mapa hidrogeológico Guayata.....	63
Figura 15. Imagen mapa geológico área de estudio	64
Figura 16. Ventana extraída del mapa regional de Consultoría	68
Figura 17. Fotografías pertenecientes al vuelo 2804- 58,59	71
Figura 18. Esquema del Proceso de Desprendimiento	72
Figura 19. Esquema del movimiento, perfil desprendimiento	73
Figura 20. Imagen del Mapa de inclinación de las pendientes.....	74
Figura 21. Imagen del Mapa geomorfológico.	76
Figura 22. Imagen del Mapa erosión.....	85
Figura 23. Posiciones aproximadas de las Líneas gula de las regiones).	88
Figura 24. CRITERIOS PARA LA CLASIFICACIÓN DE LOS BOSQUES.....	104
Figura 25. Mapa cobertura vegetal y uso de suelo.....	115
Figura 26. Áreas de coberturas.....	116
Figura 27. PORCENTAJE DE COBERTURAS	117
Figura 28. Principio teórico de operación de las TER's.....	123
Figura 29. Rangos de resistividad para diferentes materiales.....	123
Figura 30. Dispositivo Wenner.	128
Figura 31. Imagen mapa topográfico Ciénega.	130
Figura 32. Perfil 1 tomografía.....	132
Figura 33. Perfil litológico 1	132
Figura 34. Perfil Geotécnico S1.....	138
Figura 35. Límites de Atterbeg	139
Figura 36. Guía para la definición del Índice geológico de resistencia (GSI).	142
Figura 37. Perfil geológico AA'	152
Figura 38. Modelo de análisis perfil A-A'	152

Figura 39. Imagen Mapa de Amenazas.....	159
Figura 40. Imagen Mapa de Vulnerabilidad Física y Social.....	161

LISTAS DE ANEXOS

ANEXO 1 - MAPAS TEMÁTICOS

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

ANEXO 2 - ANÁLISIS FOTO INTERPRETACIÓN

ANEXO 3 – ENSAYOS DE SUELOS

ANEXO 4 - CARTERAS TOPOGRÁFICAS

ANEXO 5 - HIDROLOGÍA

ANEXO 6 - CURVAS IDF

ANEXO 7 - FICHAS DE INVENTARIO DE PROCESOS GEOMORFOLÓGICOS

ANEXO 8 - ENCUESTAS SOCIOECONÓMICAS

ANEXO 9 - FORMATO DE INFORMACIÓN DE VULNERABILIDAD FISICA

ANEXO 10 - MEMORIAS DE DISEÑO DE OBRAS

ANEXO 11 - PRESUPUESTO DE OBRAS

ANEXO 12 - PLANOS DE OBRAS RECOMENDADAS



INTRODUCCION

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

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

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

		<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 GENERALIDADES

1.1 PRESENTACION (JUSTIFICACION Y ALCANCE)

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

En concordancia con la Ley 1523 de 2012, en la cual se adopta la política Nacional de gestión del Riesgo y sus Decretos reglamentarios, dispone que dentro del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres; corresponde al Concejo Departamental de Gestión del riesgo de Desastres el manejo de la cobertura departamental y al Concejo Municipal de Gestión de Riesgo de Desastres, cuando trata de eventos municipales.

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

		<p style="text-align: center;">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>
---	--	---	---

1.1.1 ALCANCE

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

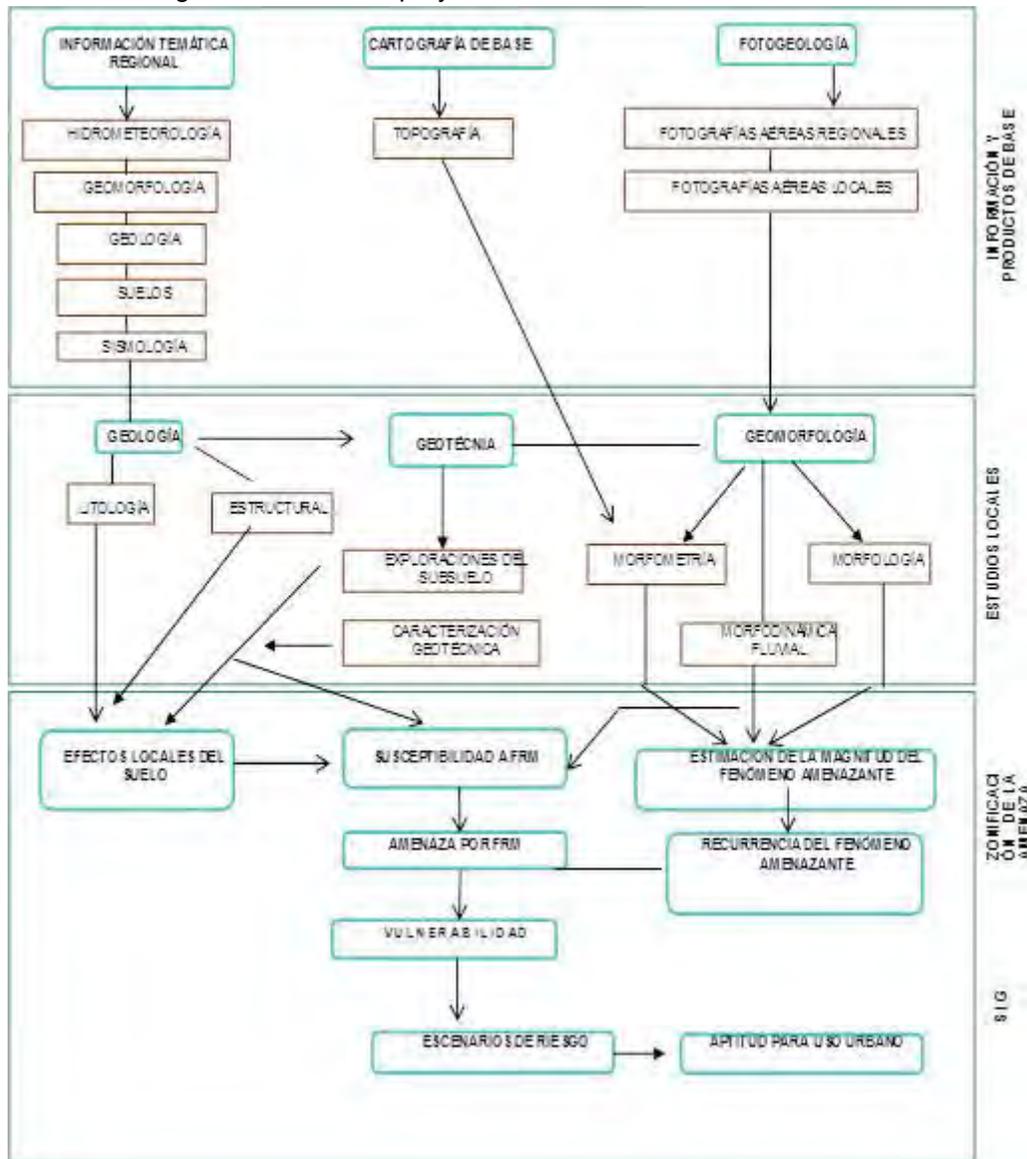
1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.2.1. Objetivo General

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

1.2.2 Metodología

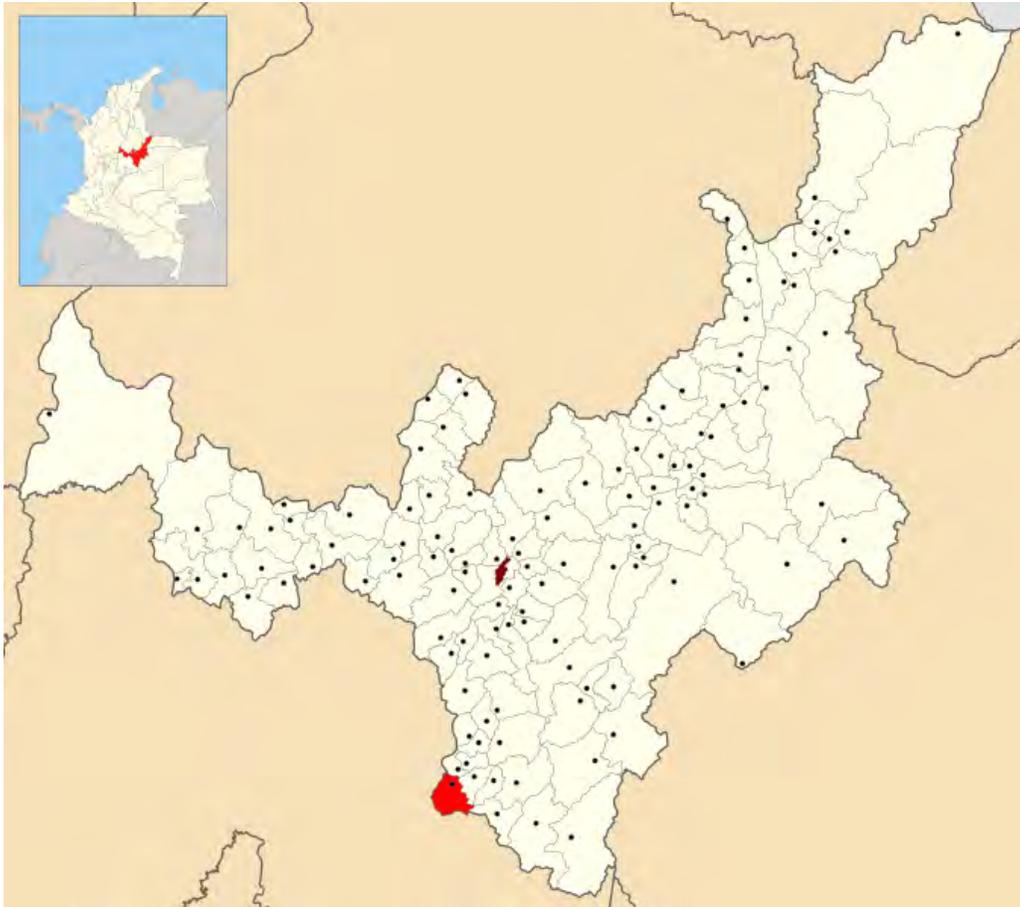
Figura 1. Metodología realizada en el proyecto.



Fuente: Convenio UPTC-CORPOCHIVOR.

1.3 LOCALIZACIÓN.

Figura 2. Localización geográfica.



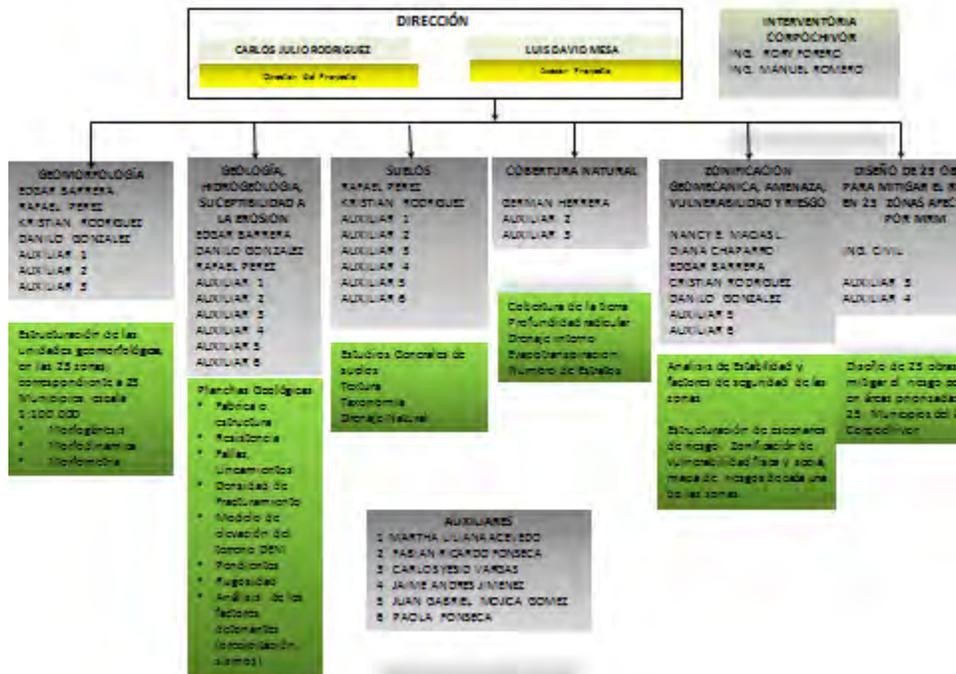
Fuente: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colombia_-_Boyaca_-_Guayata.svg.

El área de Estudio se encuentra en las coordenadas N 1038807, E 1062580, a una altura de 1879 msnm; en la Provincia del Oriente, en el Municipio de Guayatá, en la Vereda Sochaquira.

1.4 PERSONAL

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

Figura 3. Organigrama.



Fuente: Convenio UPTC-CORPOCHIVOR.

1.5 DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES REALIZADAS

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

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

1.5.1. Trabajo de campo

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

El trabajo de campo consistió en:

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

Fotografía 1. Exploración directa del subsuelo (SPT)



Fuente: Registro fotográfico.

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

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



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

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

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

1.6. ANÁLISIS DE LABORATORIO.

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

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

natural, peso unitario, compresión inconfiada , Corte Directo, Coeficiente de Permeabilidad Propiedades Físicas, Tilt Test, Carga por punta, Angulo de reposo.

Trabajos de Oficina

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

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

Las planchas geológicas del IGAC tomadas en cuenta, fueron la 191 y 210, a escala 1:100.000.; los datos de pluviometría del IDEAM de los años de 1962 a 2012, de la estación de Guayatá.

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 Guayata 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 intercepción, infiltración y el almacenamiento en pequeñas depresiones, excepto la evapotranspiración potencial, en una sola abstracción. El método, conocido como Número de Curva, establece que la relación lluvia-escurrimiento es una función del tipo de suelo, uso del suelo y de condiciones hidrológicas (Chow et al., 1964; USDA, 1986).

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

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

Dónde:

S= (25400/CN)-254

P= Precipitación

CN= Número de curva (tablas)

Q= Escorrentía

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

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

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

Tipo de vegetación	Tratamiento	Condición Hidrológica	Tipo de suelo				
			A	B	C	D	
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	88
		R	Buena	63	75	83	87
R + CR		Pobre	64	75	83	86	
R + CR		Buena	60	72	80	84	
C		Pobre	63	74	82	85	
C		Buena	61	73	81	84	
C + CR		Pobre	62	73	81	84	
C + CR		Buena	60	72	80	83	
C + T		Pobre	61	72	79	82	
C + T		Buena	59	70	78	81	
C + T + CR		Pobre	60	71	78	81	
C + T + CR		Buena	58	69	77	80	
Cultivos densos de leguminosas o prados en alternancia	R	Pobre	66	77	85	89	
	R	Buena	58	72	81	85	
	C	Pobre	64	75	83	85	
	C	Buena	55	69	78	83	
	C + T	Pobre	63	73	80	83	

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

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

Dónde:

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

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

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

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

Tabla 2. Escorrentía Estación Guayatá La Granja, suelo tipo ML

P	R	S ML(A)	CN
122,5	9,840764931	310,444444	45
87,75	1,95918399		
87,83333333	1,971440585		
97,91666667	3,706995763		
73,16666667	0,381675517		
94,75	3,1090962		
90,08333333	2,315599494		
87,41666667	1,910510414		
95	3,154576115		
107,25	5,735360218		
106,5	5,55816799		
98,16666667	3,756197917		
88,5	2,070759347		
106,8333333	5,636621446		
101,5	4,439648462		
87,83333333	1,971440585		
92,58333333	2,727500946		
111,5	6,784549699		
93,7	2,921345172		
96,55	3,44316918		
96,34166667	3,403719873		
101,8583333	4,51612218		
95,03333333	3,160662604		
94,83333333	3,124223064		
107,125	30,94260567		
94,41666667	23,39404927		
91,64166667	21,83460112		

Fuente: Resultado del estudio

Tabla 3. Escorrentía Estación Guayatá La Granja, suelo tipo ML

93,41666667	22,82816102
76,85	14,149233
94,66666667	23,53620186
82	16,69725185
97,175	24,97725265
106,0333333	30,26973663
87,73333333	19,69772641
96,65	24,67343676
80,98333333	16,18280946
102,7833333	28,29263117
106,7166667	30,69041546
112,5416667	34,34352978
82,81666667	17,11443717
104,7083333	29,45891498
105,75	30,09580911
125,3833333	42,7855989
104,775	29,49955562
100,6916667	27,04149426
91,9	21,97832626
106,2833333	30,42344614
81,15	16,26676768
98,96666667	26,02267165
124,8	42,39144178
129,5666667	45,63987533

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.

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

CODIGO	NOMBRE ESTACION	CORRIENTE	NOMBRE DEPARTAMENTO	NOMBRE MUNICIPIO
3507011	GUAYATA LA GRANJA	RIO GARAGOA	BOYACA	GUAYATA

Fuente: Resultado del estudio.

En la Tabla 5 y 6 se presentan los valores de precipitación medios mensuales multianuales (mm) para cada una de las estaciones delimitadas dentro del área de estudio, información que se utilizó para la estimación de la recarga de agua para la Formación Fomeque (Kif) que se delimito y que hace parte del área del presente convenio.

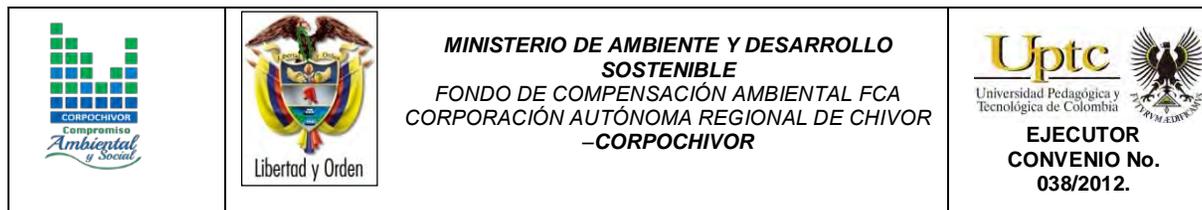


Tabla 5. Precipitación media multianual mensual por estación.

NOMBRE ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
GUAYATA LA GRANJA				86,0	265,0	302,0	393,0	125,0	103,0	96,0	57,0	43,0	122,5
GUAYATA LA GRANJA	6,0	49,0	22,0	178,0	254,0	116,0	152,0	130,0	45,0	25,0	70,0	6,0	87,75
GUAYATA LA GRANJA	0,0	9,0	5,0	50,0	200,0	231,0	136,0	77,0	142,0	94,0	81,0	29,0	87,8333333
GUAYATA LA GRANJA	15,0	23,0	36,0	124,0	199,0	95,0	234,0	152,0	69,0	102,0	101,0	25,0	97,9166667
GUAYATA LA GRANJA	11,0	10,0	94,0	39,0	77,0	120,0	108,0	120,0	89,0	59,0	95,0	56,0	73,1666667
GUAYATA LA GRANJA	12,0	7,0	39,0	168,0	129,0	208,0	159,0	179,0	108,0	76,0	47,0	5,0	94,75
GUAYATA LA GRANJA	11,0	31,0	24,0	151,0	101,0	211,0	192,0	104,0	95,0	90,0	44,0	27,0	90,0833333
GUAYATA LA GRANJA	57,0	26,0	28,0	116,0	172,0	110,0	115,0	167,0	55,0	145,0	36,0	22,0	87,4166667
GUAYATA LA GRANJA	29,0	20,0	52,0	108,0	163,0	148,0	221,0	108,0	117,0	113,0	25,0	36,0	95
GUAYATA LA GRANJA	7,0	32,0	126,0	110,0	191,0	159,0	223,0	167,0	108,0	81,0	61,0	22,0	107,25
GUAYATA LA GRANJA	33,0	29,0	83,0	192,0	203,0	198,0	160,0	122,0	121,0	95,0	37,0	5,0	106,5
GUAYATA LA GRANJA	7,0	17,0	19,0	80,0	164,0	137,0	159,0	188,0	178,0	92,0	127,0	10,0	98,1666667
GUAYATA LA GRANJA	21,0	24,0	51,0	98,0	171,0	122,0	218,0	134,0	97,0	78,0	48,0	0,0	88,5
GUAYATA LA GRANJA	10,0	15,0	50,0	137,0	151,0	251,0	185,0	167,0	96,0	126,0	50,0	44,0	106,8333333
GUAYATA LA GRANJA	17,0	21,0	73,0	150,0	165,0	254,0	172,0	132,0	60,0	56,0	99,0	19,0	101,5
GUAYATA LA GRANJA	0,0	17,0	18,0	126,0	121,0	169,0	231,0	119,0	131,0	59,0	59,0	4,0	87,8333333
GUAYATA LA GRANJA	16,0	16,0	49,0	140,0	133,0	210,0	139,0	161,0	102,0	98,0	27,0	20,0	92,5833333
GUAYATA LA GRANJA	6,0	0,0	24,0	151,0	130,0	162,0	188,0	186,0	71,0	169,0	164,0	87,0	111,5
GUAYATA LA GRANJA	13,0	8,7	51,7	96,4	143,5	237,0	144,9	157,9	92,5	105,4	35,7	37,7	93,7033333
GUAYATA LA GRANJA	0,0	59,0	28,7	153,5	172,9	166,2	112,5	94,5	133,9	117,3	105,9	14,2	96,55
GUAYATA LA GRANJA	19,2	25,2	61,7	182,3	142,4	85,3	174,7	195,7	99,6	99,0	62,8	8,2	96,3416667
GUAYATA LA GRANJA	20,5	96,3	83,2	151,7	124,3	158,1	178,8	154,8	107,1	85,9	25,8	35,8	101,858333
GUAYATA LA GRANJA	16,2	58,3	16,3	98,2	95,4	283,9	167,1	188,2	108,9	39,2	51,1	17,6	95,0333333
GUAYATA LA GRANJA	8,8	19,0	37,4	70,7	199,6	173,3	153,3	128,3	90,4	107,3	66,4	83,5	94,8366667
GUAYATA LA GRANJA	4,2	71,7	74,4	105,7	146,7	260,5	181,3	128,1	85,0	157,6	50,3	20,0	107,125
GUAYATA LA GRANJA	11,2	69,3	39,1	81,6	161,8	125,9	203,2	127,6	106,2	122,4	31,0	53,7	94,4166667
GUAYATA LA GRANJA	2,3	14,3	37,8	119,3	157,6	169,3	145,9	103,6	149,8	79,2	95,6	25,1	91,6416667

Fuente: Resultado del estudio.

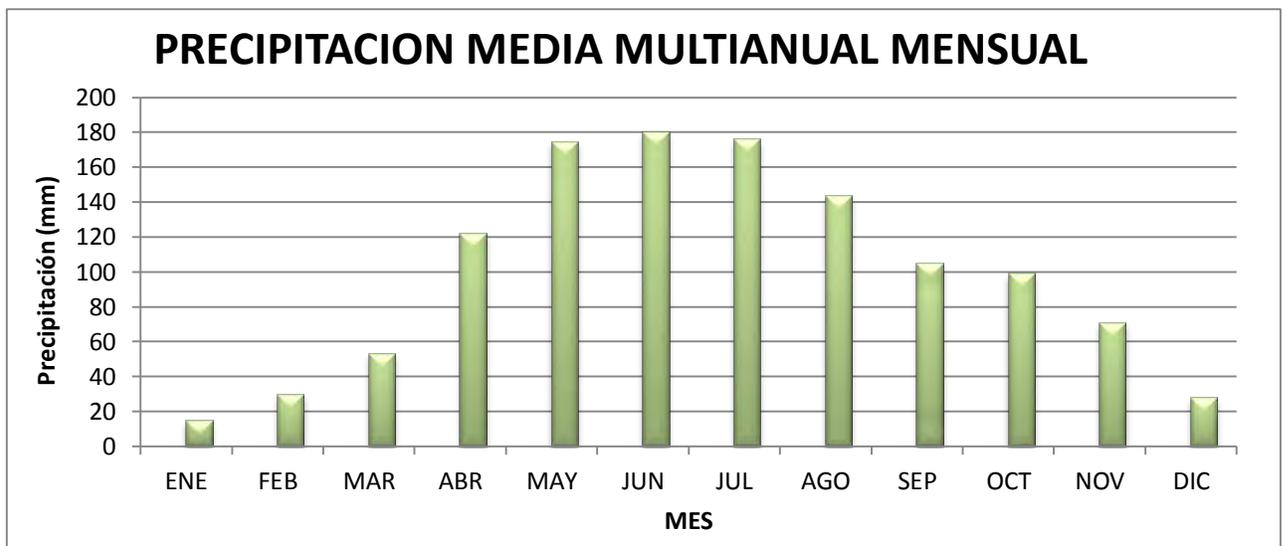
Tabla 6. Precipitación media multianual mensual por estación.

GUAYATA LA GRANJA	10,1	32,0	74,2	71,8	220,9	158,7	197,1	94,0	93,5	89,3	70,9	8,5	93,4166667
GUAYATA LA GRANJA					163,0	164,7	168,4	146,9	70,1	86,9	50,0	72,4	76,8533333
GUAYATA LA GRANJA	5,6	16,8	66,0	88,3	150,7	154,1	234,9	190,0	68,6	95,6	57,4	8,1	94,67075
GUAYATA LA GRANJA	19,0	15,0	11,0	115,0	104,0	144,0	191,0	143,0	119,0	35,0	83,0	5,0	82
GUAYATA LA GRANJA	27,9	16,7	89,1	150,1	127,2	173,1	190,4	88	120,1	69,5	104	10,0	97,175
GUAYATA LA GRANJA	28,6	18,4	38,2	127,6	249,5	145,7	134,7	229,6	84,6	132,6	57,6	25,2	106,032417
GUAYATA LA GRANJA	30,9	0,4	33,1	140,3	177,4	155,7	137,9	115,0	72,0	124,0	40,1	26,0	87,7333333
GUAYATA LA GRANJA	19,0	81,9	51,7	112,0	146,3	173,1	132,7	136,4	99,7	96,2	75,2	35,6	96,65
GUAYATA LA GRANJA	24,8	39,3	29,6	63,8	179,7	162,5	170,5	129,4	51,3	70,7	44,7	5,5	80,9833333
GUAYATA LA GRANJA	7,1	26,0	64,8	122,7	217,9	168,6	240,5	98,8	97,7	96,1	42,6	50,6	102,783333
GUAYATA LA GRANJA	35,2	69,2	62,5	248,3	117,7	168,1	135,9	64,9	135,4	164,9	61,7	16,8	106,716667
GUAYATA LA GRANJA	34,7	59,0	94,9	48,1	207,1	158,5	194,8	210,0	151,6	83,5	63,5	44,8	112,541667
GUAYATA LA GRANJA	0,6	10,0	32,4	71,9	128,8	121,7	144,7	123,0	135,7	95,9	85,8	43,3	82,8166667
GUAYATA LA GRANJA	12,1	27,6	64,8	146,9	239,7	147,5	168,1	194,3	127,0	78,1	37,2	13,2	104,708333
GUAYATA LA GRANJA	3,0	20,7	70,8	106,4	190,9	173,9	179,4	173,0	142,7	92,6	75,5	40,1	105,75
GUAYATA LA GRANJA	7,1	45,0	55,2	127,4	285,2	265,4	261,4	182,7	81,8	100,3	78,3	14,8	125,383333
GUAYATA LA GRANJA	15,2	59,5	34,7	153,4	238,2	121,3	93,2	138,5	137,3	168,2	97,0	0,8	104,775
GUAYATA LA GRANJA	37,4	5,0	141,7	197,2	120,4	210,5	124,4	109,6	68,0	120,7	56,8	16,6	100,691667
GUAYATA LA GRANJA	0,0	24,8	68,5	147,9	179,4	180,0	57,8	152,5	112,2	97,6	68,8	13,3	91,9
GUAYATA LA GRANJA	15,3	18,9	21,8	55,7	160,0	296,6	189,1	109,5	148,1	90,8	149,1	20,5	106,283333
GUAYATA LA GRANJA	18,7	21,4	41,7	99,2	110,7	167,2	147,8	156,6	73,9	68,1	66,0	2,5	81,15
GUAYATA LA GRANJA	0,5	32,5	89,9	137,4	208,9	145,4	170,4	114,1	54,0	73,1	87,8	73,6	98,9666667
GUAYATA LA GRANJA	6,2	38,6	122,5	167,7	270,9	191,6	99,7	120,9	131,5	137,3	154,8	55,9	124,8
GUAYATA LA GRANJA	23,0	41,3	138,0	182,8	171,5	175,8	271,1	173,0	96,5	153,3	91,6	36,9	129,566667

Fuente: Resultado del estudio.

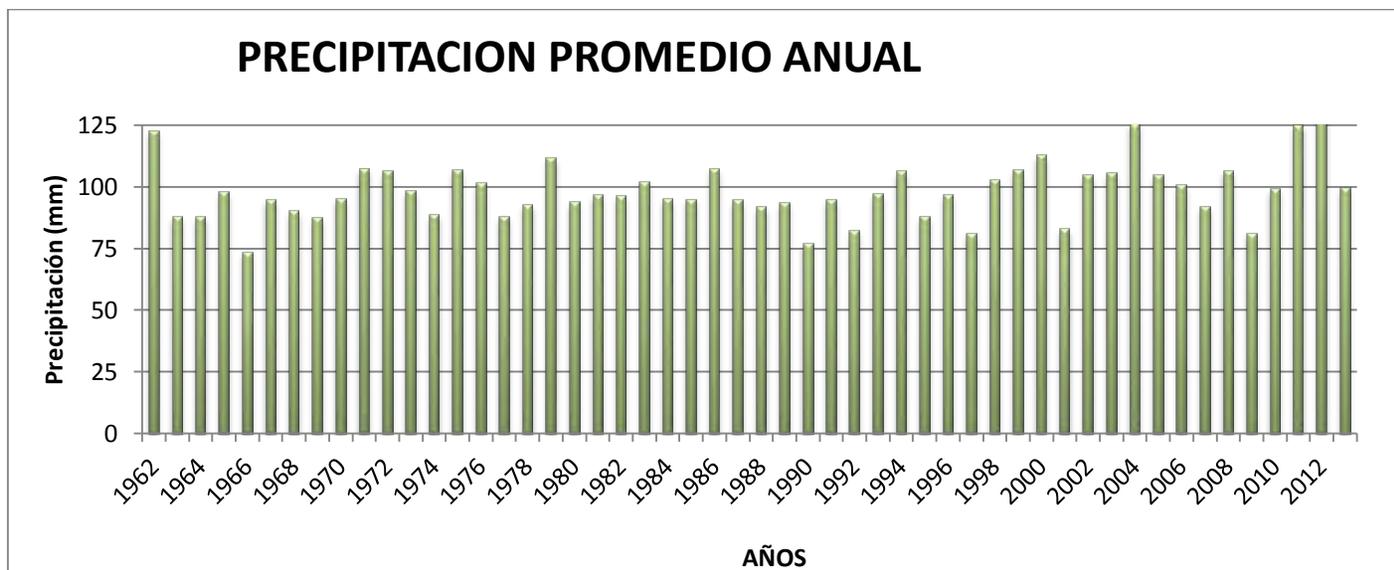
La precipitación media del área de estudio presenta un comportamiento bimodal, que muestra dos periodos de precipitación alta comprendidos en los meses Mayo-Junio y Julio-Agosto (Figura 4) y dos periodos de sequía comprendidos en los meses Noviembre – Diciembre, Enero- Febrero.

Figura 4. Gráfico de precipitación media multianual mensual.



Fuente: Resultado del estudio.

Figura 5. Gráfico de precipitación media multianual.

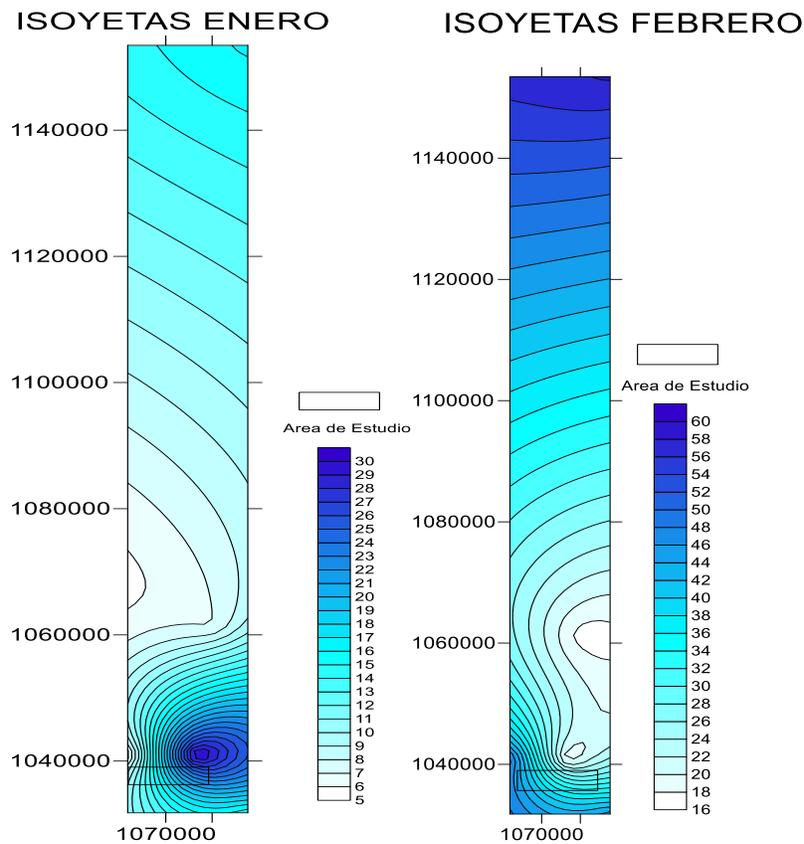


Fuente: Resultado del estudio.

El comportamiento de la precipitación promedio anual, para los años 1967, 1975, 1977, 1981, 1991, 1997, 2001, 2007, 2011 (Figura 5) se encuentran valores que varían entre los 60 - 80 mm, en los años 1965 - 1967 - 1971 - 1973 - 1975 - 1983 - 1999 - 2000 - 2009 se encuentran valores que varían entre los 90 - 115 mm y los años restantes se presentan valores que varían entre 120 - 125 mm.

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

Figura 6. Isoyetas mes de Enero y Febrero

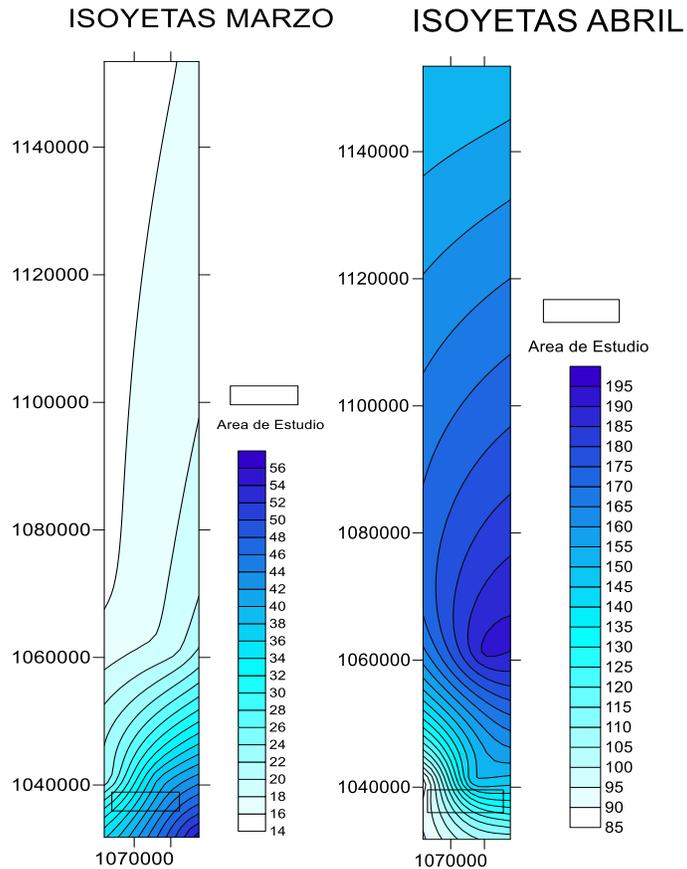


Fuente: Resultado del estudio.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Enero correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 16 y 28 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Febrero correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 24 y 40 mm.

Figura 7. Isoyetas mes de Marzo y Abril

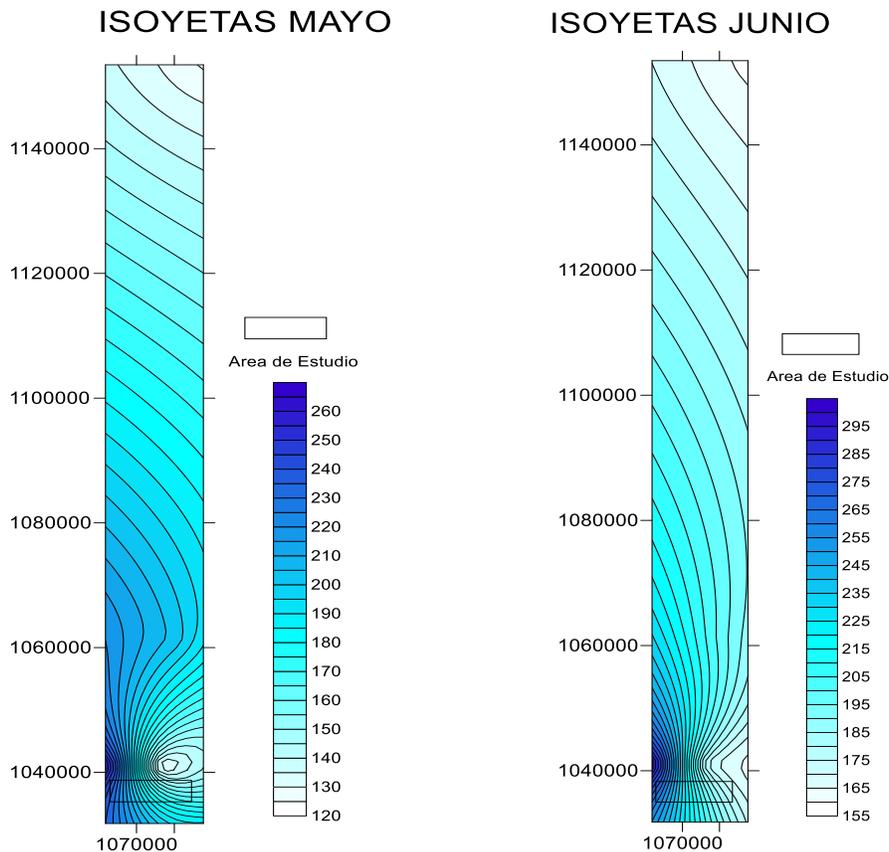


Fuente: Resultado del estudio.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Marzo correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 16 y 40 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Abril correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 100 y 135 mm.

Figura 8. Isoyetas mes de Mayo y Junio

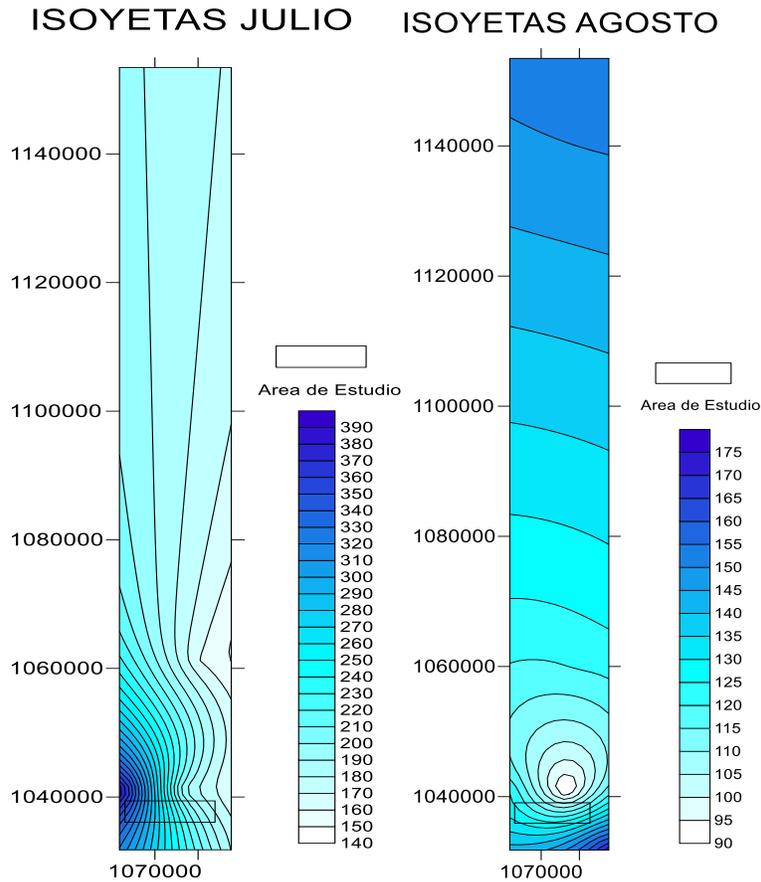


Fuente: Resultado del estudio.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Mayo correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 130 y 210 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Junio correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 175 y 245 mm.

Figura 9. Isoyetas mes de Julio y Agosto

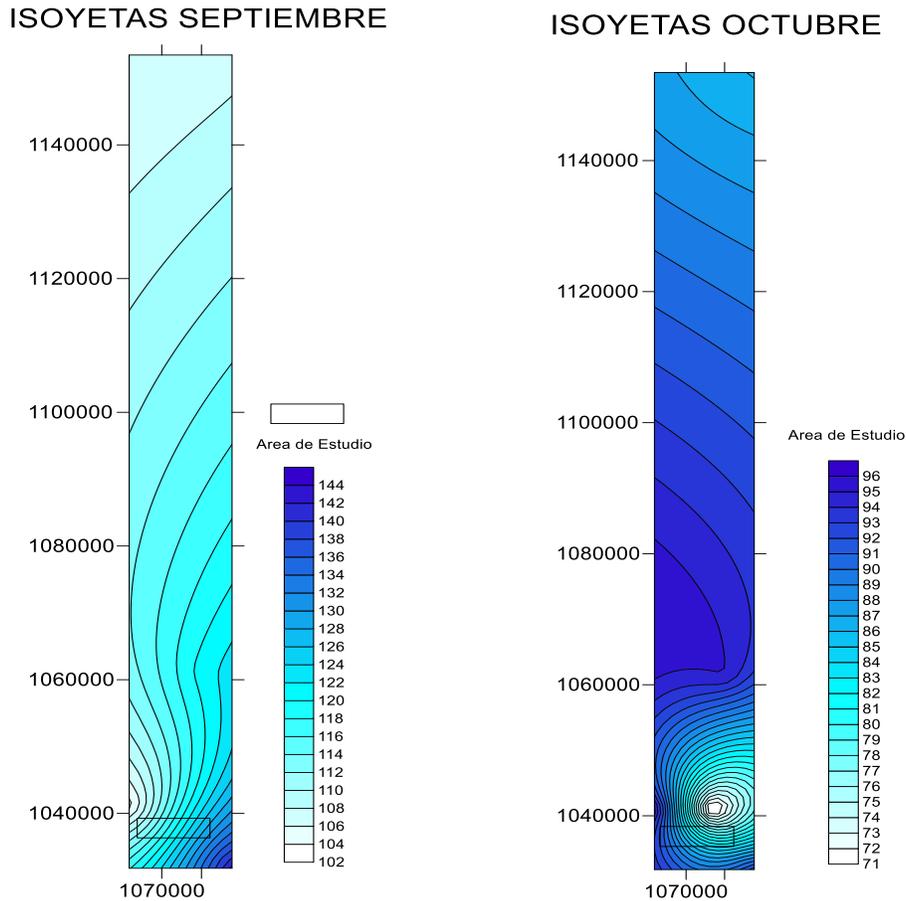


Fuente: Resultado del estudio.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Julio correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 190 y 290 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Agosto correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 105 y 135 mm.

Figura 10. Isoyetas mes de Septiembre y Octubre

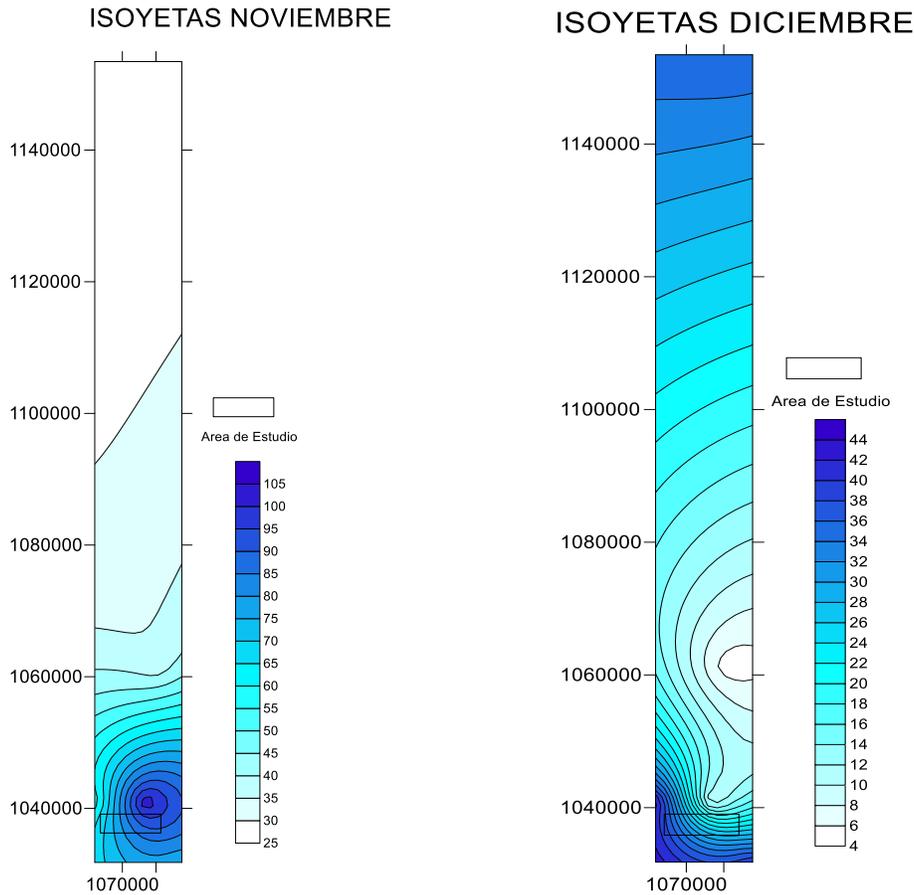


Fuente: Resultado del estudio.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Septiembre correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 106 y 126 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Octubre correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 81 y 90 mm.

Figura 11. Isoyetas mes de Noviembre y Diciembre



Fuente: Resultado del estudio.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Noviembre correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 30 y 86 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Diciembre correspondiente al área de estudio presenta valores que varían entre los 12 y 32 mm.

2.4.2. ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP)

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

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

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

Dónde:

ETP: Evapotranspiración

T: Temperatura media del aire en grados Celsius

HR: Humedad relativa media (%)

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

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

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

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

Tabla 7. Rangos de temperatura Guayatá.

	Temperatura (°C)
Periodo 1	15
Periodo 2	17
Periodo 3	20

Fuente: Resultado del estudio.

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

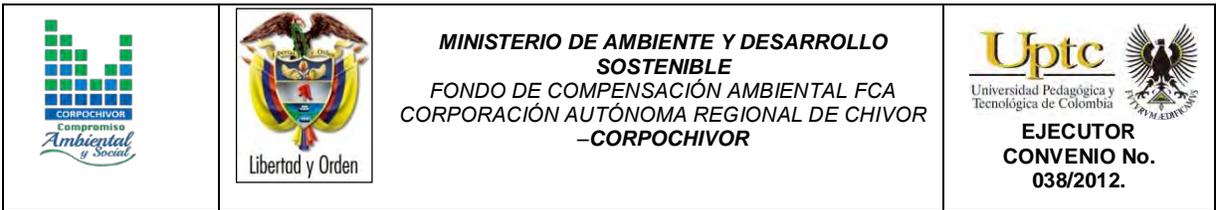
Tabla 8. Valores de Evapotranspiración

ETP1	ETP2	ETP3
4,2121349	5,091699	6,5140262

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 Somondoco, esta recarga se estimó por medio del balance hídrico con base en los valores promedios mensuales de precipitación, evapotranspiración potencial y escorrentía calculada por el método de numero de curva de escorrentía, el cual utiliza los parámetros de cobertura vegetal, Índice de infiltración del suelo, condición hidrogeológica.



- Herramientas y métodos.
- Los datos de infiltración obtenidos mediante la ponderación de los datos proporcionados por el IDEAM.
- Datos de precipitación obtenidos de las estaciones pluviométricas y de evaporación del IDEAM.

2.4.4. Metodología

La metodología utilizada para el cálculo de la recarga.

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



microcuenca, que utiliza el número de curva de escorrentía y la precipitación media mensual como variables.

- Se realiza un balance hídrico, con los datos de precipitación, escorrentía, evapotranspiración para encontrar la cantidad de recarga, siguiendo las normas del IDEAM.

Cálculo del balance hídrico.

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

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

P= precipitación

ESC = escorrentía

ETR= evapotranspiración

ΔS = cambios en el contenido de humedad del suelo

REC= recarga o infiltración potencial

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

$$I = P - ETR - R$$

Dónde:

P = precipitación media por el método de las isoyetas.

ETR = evapotranspiración real.

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

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

AÑO	P	R	I	ETP
1962	122,5	9,840764931	108,4471002	4,2121349
1963	87,75	1,95918399	81,57868112	4,2121349
1964	87,83333333	1,971440585	81,64975786	4,2121349
1965	97,91666667	3,706995763	89,99753602	4,2121349
1966	73,16666667	0,381675517	68,57285626	4,2121349
1967	94,75	3,1090962	87,42876891	4,2121349
1968	90,08333333	2,315599494	83,55559895	4,2121349
1969	87,41666667	1,910510414	81,29402136	4,2121349
1970	95	3,154576115	87,633289	4,2121349
1971	107,25	5,735360218	97,30250489	4,2121349
1972	106,5	5,55816799	96,72969712	4,2121349
1973	98,16666667	3,756197917	90,19833386	4,2121349
1974	88,5	2,070759347	82,21710576	4,2121349
1975	106,8333333	5,636621446	96,984577	4,2121349
1976	101,5	4,439648462	92,84821665	4,2121349
1977	87,83333333	1,971440585	81,64975786	5,091699
1978	92,58333333	2,727500946	85,6436975	5,091699
1979	111,5	6,784549699	99,62375133	5,091699
1980	93,7	2,921345172	85,68695585	5,091699
1981	96,55	3,44316918	88,01513184	5,091699
1982	96,34166667	3,403719873	87,84624782	5,091699
1983	101,8583333	4,51612218	92,25051218	5,091699
1984	95,03333333	3,160662604	86,78097175	5,091699
1985	94,83333333	3,124223064	86,61741129	5,091699
1986	107,125	30,94260567	71,09069535	5,091699
1987	94,41666667	23,39404927	65,93091842	5,091699
1988	91,64166667	21,83460112	64,71536658	5,091699

Fuente: Resultado del estudio

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

1989	93,41666667	22,82816102	65,49680667	5,091699
1990	76,85	14,149233	57,60906803	5,091699
1991	94,66666667	23,53620186	66,03876583	5,091699
1992	82	16,69725185	60,21104917	5,091699
1993	97,175	24,97725265	67,10604837	6,5140262
1994	106,0333333	30,26973663	70,67189773	6,5140262
1995	87,73333333	19,69772641	62,94390794	6,5140262
1996	96,65	24,67343676	65,46253709	6,5140262
1997	80,98333333	16,18280946	58,28649772	6,5140262
1998	102,7833333	28,29263117	67,97667601	6,5140262
1999	106,7166667	30,69041546	69,51222505	6,5140262
2000	112,5416667	34,34352978	71,68411073	6,5140262
2001	82,81666667	17,11443717	59,18820335	6,5140262
2002	104,7083333	29,45891498	68,7353922	6,5140262
2003	105,75	30,09580911	69,14016474	6,5140262
2004	125,3833333	42,7855989	76,08370828	6,5140262
2005	104,775	29,49955562	68,76141823	6,5140262
2006	100,6916667	27,04149426	67,13614625	6,5140262
2007	91,9	21,97832626	63,40764758	6,5140262
2008	106,2833333	30,42344614	69,34586104	6,5140262
2009	81,15	16,26676768	58,36920616	6,5140262
2010	98,96666667	26,02267165	66,42996886	6,5140262
2011	124,8	42,39144178	75,89453207	6,5140262
2012	129,5666667	45,63987533	77,41276518	6,5140262

Fuente: Resultado del estudio

2.4.5. RESULTADOS OBTENIDOS

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

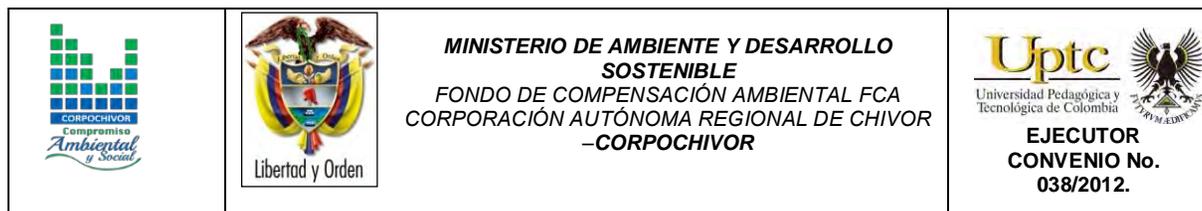


Tabla 11. Estimación del Balance Hídrico

AÑO	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973
PRECIPITACION PROMEDIO	122,5	87,75	87,83333333	97,91666667	73,16666667	94,75	90,08333333	87,41666667	95	107,25	106,5	98,16666667
ESCORRENTIA	9,840764931	1,95918399	1,971440585	3,706995763	0,381675517	3,1090962	2,315599494	1,910510414	3,154576115	5,735360218	5,55816799	3,756197917
EVAPOTRANSPIRACION	4,2121349	4,2121349	4,2121349	4,2121349	4,2121349	4,2121349	4,2121349	4,2121349	4,2121349	4,2121349	4,2121349	4,2121349
DELTA	108,4471002	81,57868111	81,64975785	89,99753601	68,57285625	87,4287689	83,55559894	81,29402136	87,63328899	97,30250488	96,72969711	90,19833385
ALMACENAMIENTO	108,4471	81,5786811	81,6497578	89,997536	68,5728563	87,4287689	83,5555989	81,2940214	87,633289	97,3025049	96,7296971	90,1983339
DEFICIT												
RECARGA	108,4471	81,5786811	81,6497578	89,997536	68,5728563	87,4287689	83,5555989	81,2940214	87,633289	97,3025049	96,7296971	90,1983339

AÑO	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
PRECIPITACION PROMEDIO	88,5	106,8333333	101,5	87,83333333	92,58333333	111,5	93,7	96,55	96,34166667	101,8583333	95,03333333	94,83333333
ESCORRENTIA	2,070759347	5,636621446	4,439648462	1,971440585	2,727500946	6,784549699	2,921345172	3,44316918	3,403719873	4,51612218	3,160662604	3,124223064
EVAPOTRANSPIRACION	4,2121349	4,2121349	4,2121349	4,2121349	5,091699	5,091699	5,091699	5,091699	5,091699	5,091699	5,091699	5,091699
DELTA	82,21710575	96,98457695	92,84821664	81,64975785	84,76413338	99,6237513	85,68695583	88,01513182	87,8462478	92,25051212	86,78097173	86,61741127
ALMACENAMIENTO	82,2171058	96,984577	92,8482166	81,6497578	84,7641334	99,6237513	85,6869558	88,0151318	87,8462478	92,2505121	86,7809717	86,6174113
DEFICIT												
RECARGA	82,2171058	96,984577	92,8482166	81,6497578	84,7641334	99,6237513	85,6869558	88,0151318	87,8462478	92,2505121	86,7809717	86,6174113

AÑO	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
PRECIPITACION PROMEDIO	107,125	94,41666667	91,64166667	93,41666667	76,85	94,66666667	82	97,175	106,0333333	87,73333333	96,65	80,98333333
ESCORRENTIA	30,94260567	23,39404927	21,83460112	22,82816102	14,149233	23,53620186	16,69725185	24,97725265	30,26973663	19,69772641	24,67343676	16,18280946
EVAPOTRANSPIRACION	5,091699	5,091699	5,091699	5,091699	5,091699	5,091699	5,091699	5,091699	5,091699	5,091699	5,091699	6,5140262
DELTA	71,09069533	65,9309184	64,71536655	65,49680665	57,609068	66,03876581	60,21104915	67,10604835	70,67189767	62,94390792	66,88486424	58,28649767
ALMACENAMIENTO	71,0906953	65,9309184	64,7153666	65,4968067	57,609068	66,0387658	60,2110492	67,1060484	70,6718977	62,9439079	66,8848642	58,2864977
DEFICIT												
RECARGA	71,0906953	65,9309184	64,7153666	65,4968067	57,609068	66,0387658	60,2110492	67,1060484	70,6718977	62,9439079	66,8848642	58,2864977

Fuente: Resultado del estudio

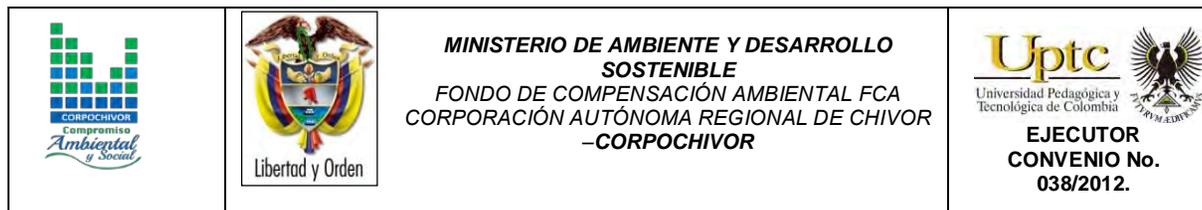


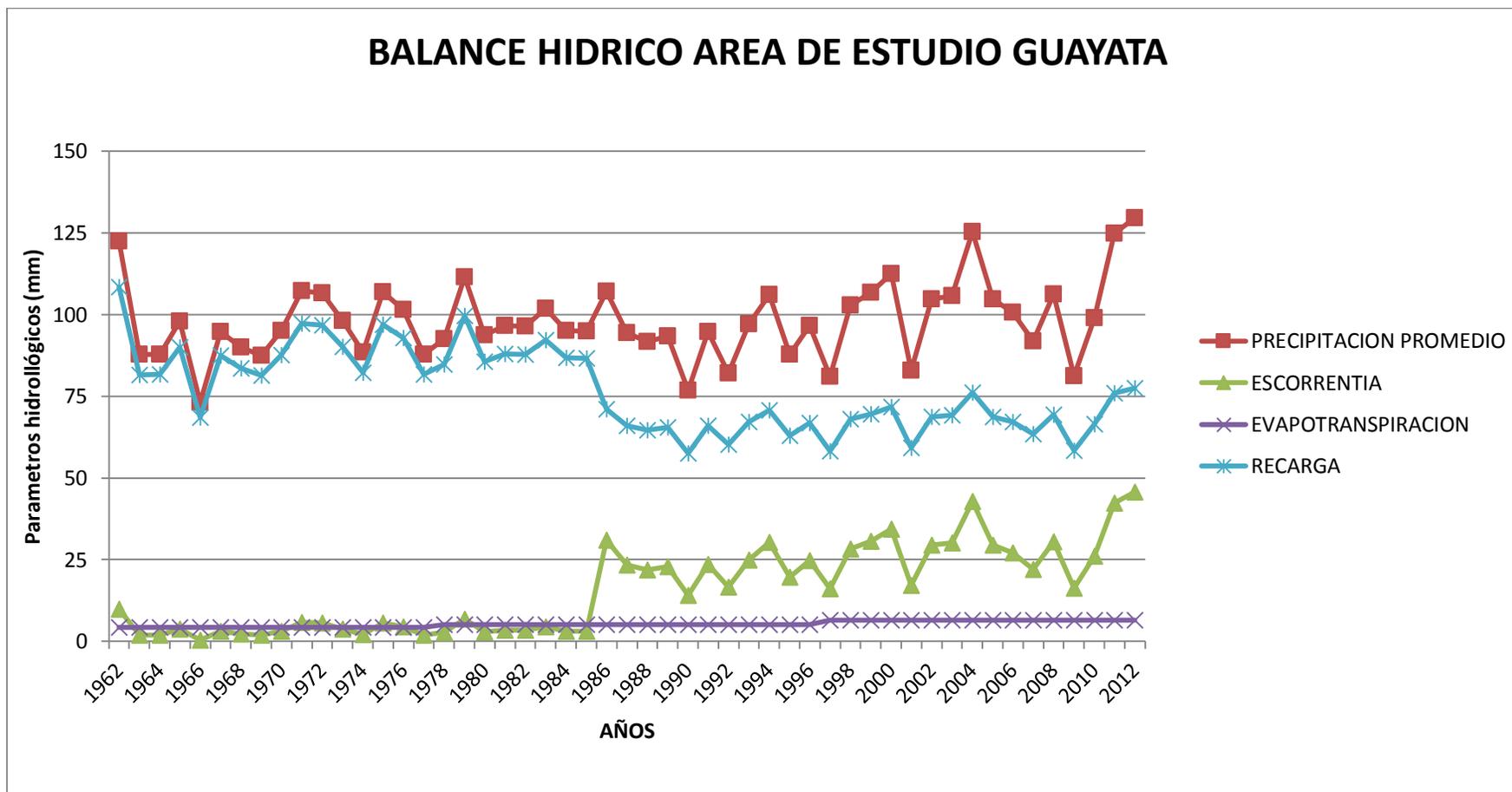
Tabla 12. Estimación del Balance Hídrico

AÑO	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
PRECIPITACION PROMEDIO	102,7833333	106,7166667	112,5416667	82,81666667	104,7083333	105,75	125,3833333	104,775	100,6916667
ESCORRENTIA	28,29263117	30,69041546	34,34352978	17,11443717	29,45891498	30,09580911	42,7855989	29,49955562	27,04149426
EVAPOTRANSPIRACION	6,5140262	6,5140262	6,5140262	6,5140262	6,5140262	6,5140262	6,5140262	6,5140262	6,5140262
DELTA	67,97667593	69,51222504	71,68411072	59,1882033	68,73539212	69,14016469	76,0837082	68,76141818	67,13614624
ALMACENAMIENTO	67,9766759	69,512225	71,6841107	59,1882033	68,7353921	69,1401647	76,0837082	68,7614182	67,1361462
DEFICIT									
RECARGA	67,9766759	69,512225	71,6841107	59,1882033	68,7353921	69,1401647	76,0837082	68,7614182	67,1361462

AÑO	2007	2008	2009	2010	2011	2012
PRECIPITACION PROMEDIO	91,9	106,2833333	81,15	98,96666667	124,8	129,5666667
ESCORRENTIA	21,97832626	30,42344614	16,26676768	26,02267165	42,39144178	45,63987533
EVAPOTRANSPIRACION	6,5140262	6,5140262	6,5140262	6,5140262	6,5140262	6,5140262
DELTA	63,40764754	69,34586096	58,36920612	66,42996882	75,89453202	77,41276517
ALMACENAMIENTO	63,4076475	69,345861	58,3692061	66,4299688	75,894532	77,4127652
DEFICIT						
RECARGA	63,4076475	69,345861	58,3692061	66,4299688	75,894532	77,4127652

Fuente: Resultado del estudio

Figura 12. Comportamiento de las Curvas del Balance Hídrico.



Fuente: Resultado del estudio.

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

2.5.1. Resultados

Ajuste de una serie de datos a la distribución Gumbel

Serie de datos X:

N°	X
1	144,0
2	239,0
3	190,0
4	285,0
5	238,0
6	210,0
7	180,0
8	296,0
9	167,0
10	208,0
11	270,0

Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov:

m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom Lineal	Delta
1	144,0	0,0833	0,0168	0,0344	0,0666
2	167,0	0,1667	0,1051	0,1397	0,0616
3	180,0	0,2500	0,2001	0,2340	0,0499
4	190,0	0,3333	0,2889	0,3168	0,0444
5	208,0	0,4167	0,4589	0,4702	0,0422
6	210,0	0,5000	0,4773	0,4867	0,0227
7	238,0	0,5833	0,6990	0,6879	0,1157
8	239,0	0,6667	0,7055	0,6939	0,0388
9	270,0	0,7500	0,8553	0,8378	0,1053
10	285,0	0,8333	0,8995	0,8828	0,0661
11	296,0	0,9167	0,9234	0,9082	0,0067



Ajuste con momentos ordinarios:

Como el delta teórico 0,1157, 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)= 198,3551

Parámetro de escala (alfa)= 38,6013

Con momentos lineales:

Parámetro de posición (μ_l)= 195,9568

Parámetro de escala (alfal)= 42,7562

Caudal de diseño:

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 2 años, es 212,50

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 5 años, es 256,25

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 10 años, es 285,22

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 25 años, es 321,82

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 50 años, es 348,98

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 75 años, es 364,76

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 100 años, es 375,93

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 500 años, es 438,21

2.6 MORFOMETRÍA DE LA CUENCA

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

- Área de la Cuenca (A)
- Perímetro de la cuenca (P)
- Coeficiente de compacidad (C).
- Coeficiente de redondez (K).
- Densidad de drenaje (Dd)
- Pendiente media de la corriente (IC)
- Área de la Cuenca (A)

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

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

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

C= 1: Cuenca de forma compacta redonda.

C= 1.20: Cuenca semicompacta semiojal redonda

C= 1.50: Cuenca semicompacta oblonga

C >1: Cuenca semicompacta rectángulo – oblonga

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

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

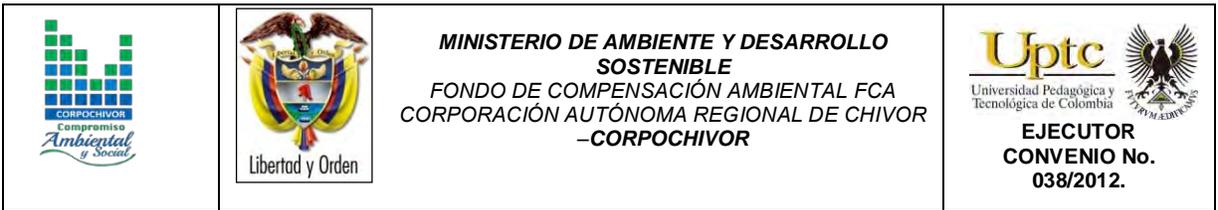
K = 1: Redonda

K > 1: Semiredonda

K < 1: Irregular

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

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



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

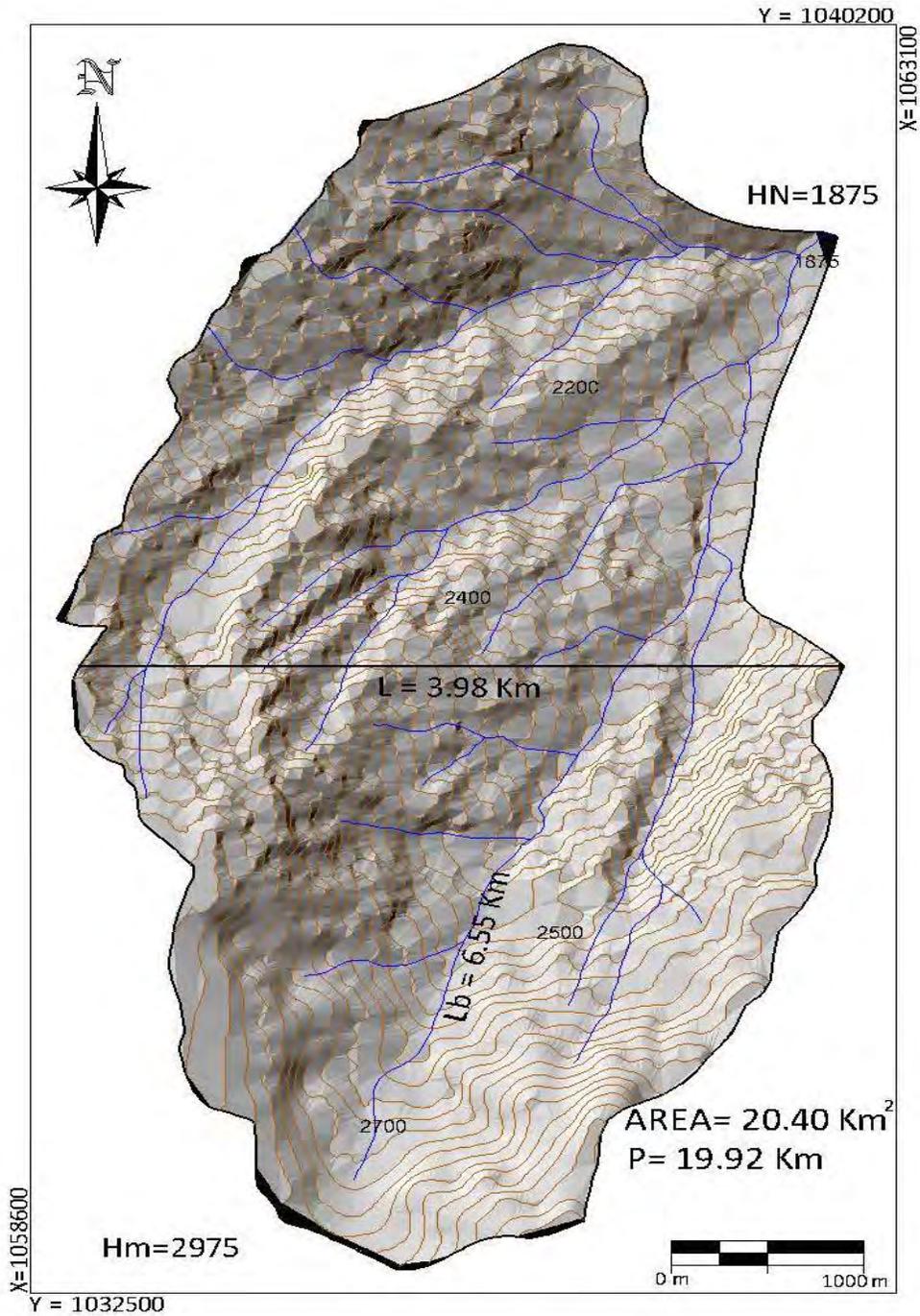
▪ **Tiempo de concentración (TC)** Es el tiempo que gasta una gota de agua en recorrer el sitio más lejano de la cuenca a la desembocadura del cauce principal.

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

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

A continuación resumimos en la Tabla 13 el resultado de los cálculos morfométricos a la cuenca regional de Guayata analizadas para el presente estudio.

Figura 13. Imagen ilustrativa de la cuenca regional Guayatá



Fuente: Resultado del estudio.

Tabla 13. Valores de parámetros morfométricos para la cuenca regional

NOMBRE CUENCA	Área de la Cuenca en Km (A)	Perímetro de la cuenca Km (P)	longitud de la cuenca Km (Lb)	el ancho mayor Km (I)	longitud acumulada de todas las corrientes Km (Ld)	longitud acumulada de todas las corrientes Km (Ld)
Rio Garagoa	20.40	19.92	6.55	3.98	38.65	2975
Cota Mínima de la Cuenca(Hn)	Diferencia de Altura Km (Hc)	Razón de Relieve (Rr)	Número de Corrientes(Nc)	Frecuencia de Corrientes (Cauces/Km ²)	Pendiente media de Corriente Ic % (Ic)	Índice de Alargamiento (Ia)
1875	1.10	0.17	3.00	0.15	16.80	1.65
COEFICIENTE DE COMPACIDAD (C). FORMA Y SUSCEPTIBILIDAD		COEFICIENTE DE REDONDEZ (K). FORMA Y SUSCEPTIBILIDAD		DENSIDAD DE DRENAJE (Dd)		TIEMPO DE CONCENTRACIÓN en horas (TC)
0.53	REDONDA	0.53	Irregular	1.89	Densidad Media	0.07
AMPLITUD DE LA CUENCA (W). TIEMPO DE CONCENTRACIÓN DE ESCORRENTÍA		ELONGACIÓN DE LA CUENCA (RE). FORMA		ÍNDICE DE HOMOGENEIDAD (IH). FORMA		SUSCEPTIBILIDAD
3.12	normal a lento.	0.78	SEMIREDONDA	0.78	Irregular	3

Fuente: Resultado del estudio.

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

3 HIDROGEOLOGÍA

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

3.1 Unidades Hidrogeológicas.

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

3.1.1 Acuífero.

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

3.1.2 Acuitardo.

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



3.1.3 Acuícerres.

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

3.2 MARCO HIDROLÓGICO GENERAL

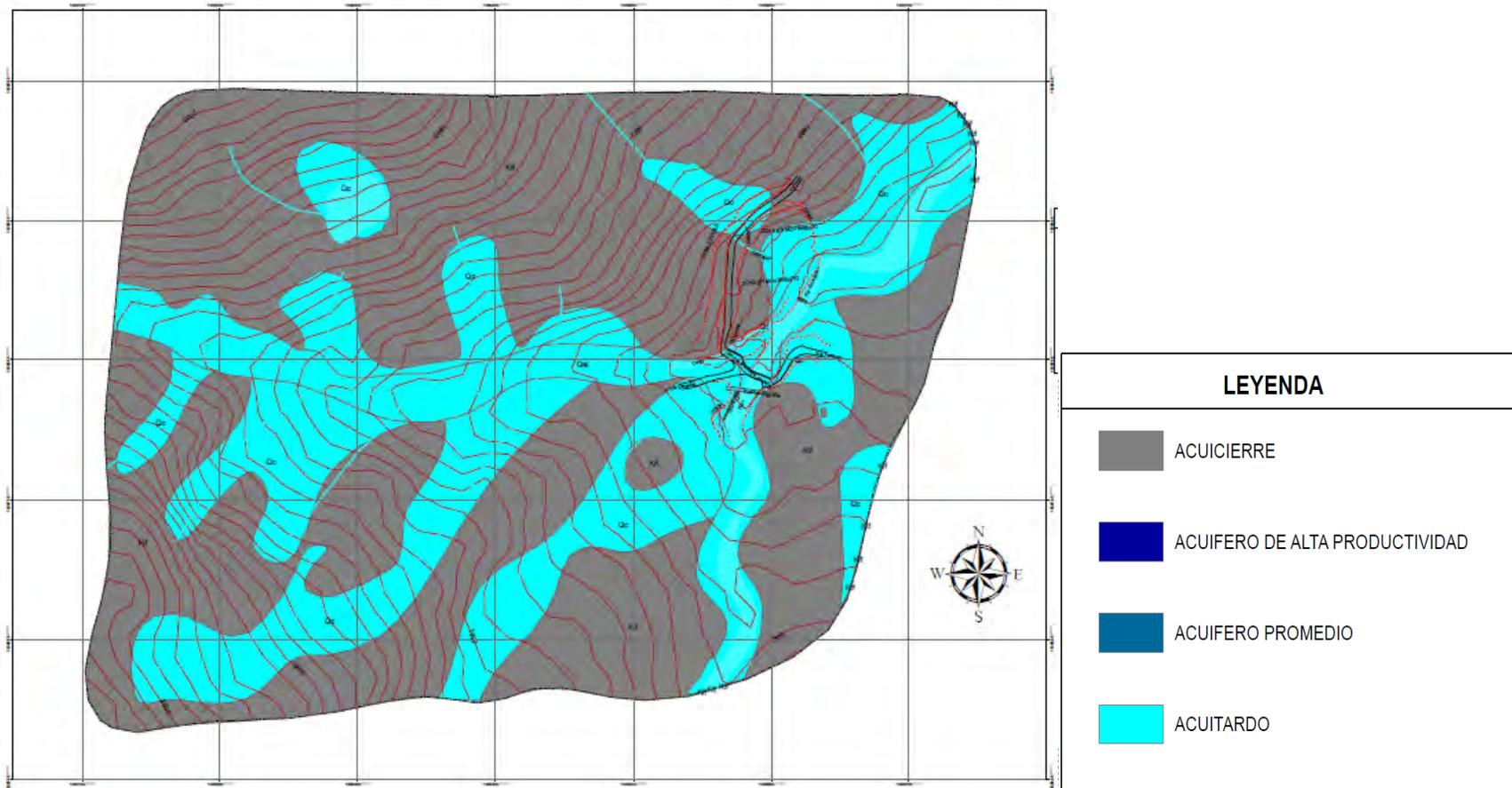
3.2.1 UNIDAD I (Permeabilidad Media)

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

3.2.2 UNIDAD II (Permeabilidad Baja)

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

Figura 14. Imagen mapa hidrogeologico Guayata.

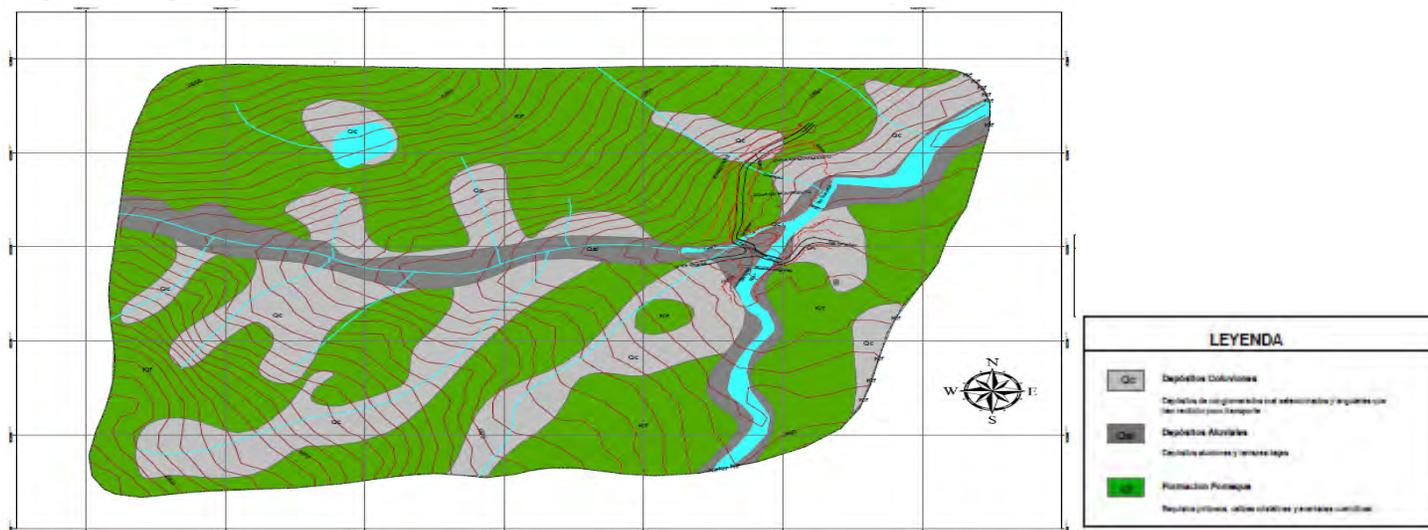


Fuente: Resultado del estudio.

4 GEOLOGIA

Las rocas que encontramos en el municipio, tienen edades que van desde el Cretáceo (Formación Areniscas de Las Juntas y Fomeque), las cuales fueron depositadas en un ambiente marino, luego encontramos depósitos más recientes denominados Cuaternarios derivados en su mayoría de eventos glaciáricos y fluviales.

Figura 15. 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>
---	---	---	---

4.1 GEOLOGIA HISTORICA

Las rocas encontradas en el municipio de Guayatá, fueron depositadas en ambientes sedimentarios marinos, cuando existía una cuenca oceánica antigua, en la que por variaciones del nivel del mar se sedimentaron, se acumularon y litificaron diferentes tipos de rocas, originando de esta forma las formaciones presentes a lo largo de la cordillera Oriental y por supuesto en el área de estudio.

En los inicios del Cretácico comienza la depositación de lo que hoy es la Cordillera Oriental. El mar Cretácico invadido desde el Pacífico y gradualmente llegó al área de la actual Cordillera Oriental; durante el Cretácico Temprano (Hauteriviano aproximadamente hace 131 millones de años Ma) se unió con las aguas del Mar Caribe.

4.2 GEOLOGIA LOCAL

4.2.1 Formación Fómeque.

Esta Formación está constituida por Lutitas grises oscuras a negras, interestratificadas con margas, limolitas grises y lentejones de calizas, grises oscuras a negras, con frecuentes intercalaciones de areniscas cuarzosas, de coloración gris claro, de grano fino, micáceas, estratificadas en bancos de pocos centímetros hasta 3 m de espesor. En la región occidental del Anticlinal de los Farallones, se le calculó a esta unidad, por medio de cortes geológicos, un espesor de 1200 m, mientras que en el área oriental alcanza un espesor de 800m.

En el municipio aflora en la quebrada Negra, en el sector donde se intercepta la quebrada Risatá, sobre la vía que conduce hacia Somondoco. Allí se presenta una secuencia de Lutitas negras, ricas en materia orgánica, muy fracturadas (diaclasadas), con intercalaciones de cuarzo arenitas oscuras, en capas hasta de 35 cm de espesor. Los contactos son plano paralelos y se presentan concreciones.

4.2.2 Depósitos Cuaternarios

Los depósitos recientes en la zona están representados por Coluviones (Qc), depósitos aluviales (Qal) y algunos derrubios.

4.2.3 Depósitos Coluviales (Qc)

Son formados en las laderas de los ríos y quebradas, corresponden a conglomerados polimicticos de limolitas, areniscas y en menor proporción lodolitas en una matriz areno arcillosa muy poco compacta. Los bloques presentan angularidad en las aristas, evidenciando el poco transporte de estos materiales.

4.2.4 Depósitos Aluviales (Qal)

Forman pequeñas planicies en las partes bajas, donde las pendientes de las montañas suaves contrastan con las formaciones duras, este tipo de depósito es común debido a la inestabilidad de la zona, causada por pendientes abruptas que ocasionan numerosos derrumbes; están pobremente seleccionados, conformados por cantos, gravas sub angulares y angulares distribuidos en una matriz areno lodosa. El material está formado por rocas principalmente cuarzoarenitas

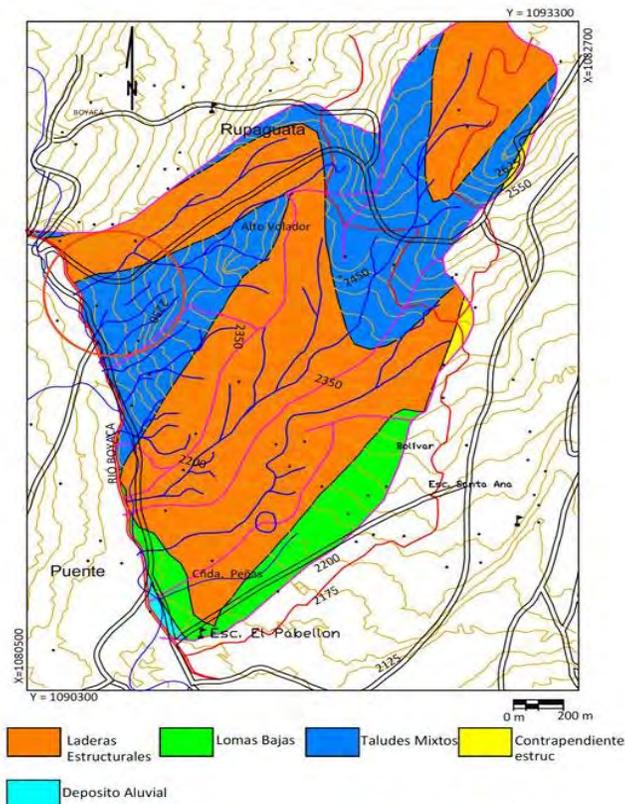


provenientes de la Formación Areniscas de las Juntas, como se parecía en las márgenes de la quebrada Guarumal.

5 GEOMORFOLOGÍA

Se entiende como geomorfología el análisis o estudio de las formas del relieve, los procesos que condujeron a su formación y su interrelación con su entorno paisajístico. Las geoformas y procesos involucrados para el municipio de Guayatá, se pueden distinguir claramente 5 unidades geomorfológicas, diferenciadas por su relieve y procesos geodinámicos, las cuales son; lomas bajas, taludes mixtos, contrapendiente estructural y deposito; aluvial tal como se muestra en la Figura 16.

Figura 16. Ventana extraída del mapa regional de Consultoría para la Homologación y Estructuración de la Información Cartográfica Base



Fuente: CORPOCHIVOR para ser integrada al SIAT.

		<p style="text-align: center;">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

5.1 GEOMORFOLOGÍA LOCAL

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

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



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

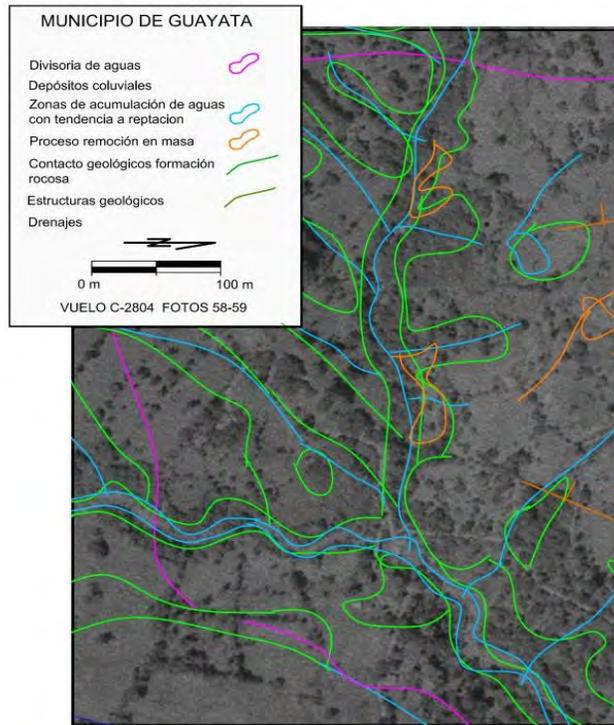
5.2 ANÁLISIS FOTOGEOLÓGICO

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

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

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

Figura 17. Fotografías pertenecientes al vuelo 2804- 58,59 tomadas por el IGAC, durante los años 90.



Fuente: Resultado del estudio.

5.3 PROCESOS MORFODINÁMICOS

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

5.3.1 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.

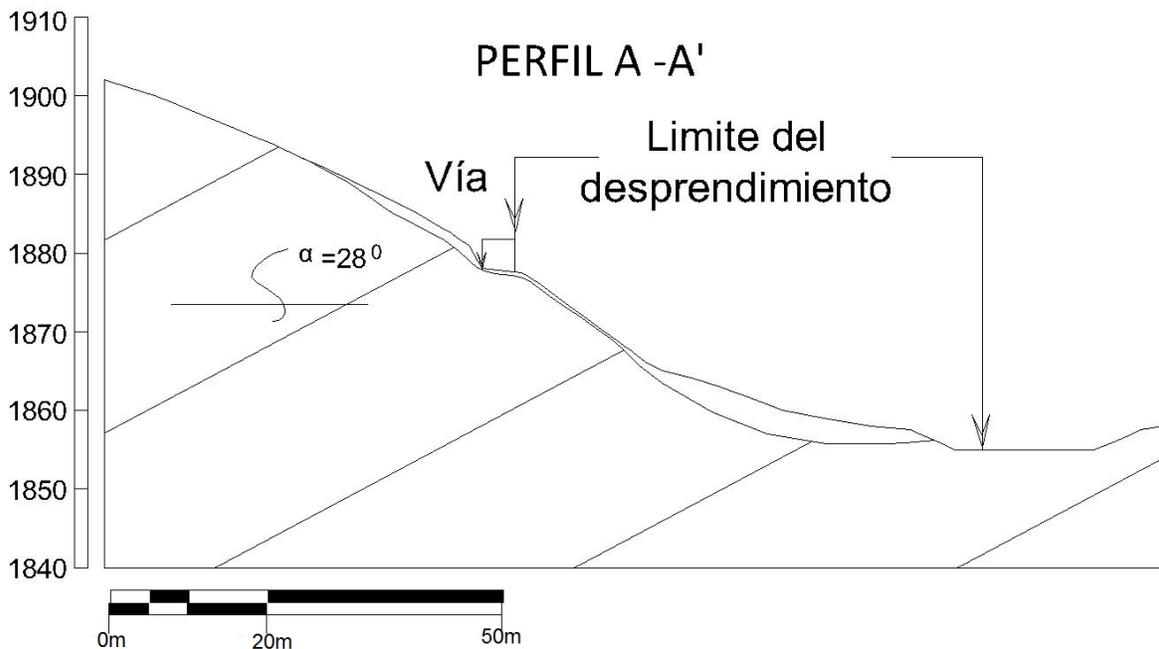
Figura 18. Esquema del Proceso de Desprendimiento



Fuente: Resultado del estudio.

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

Figura 19. Esquema del movimiento, perfil desprendimiento

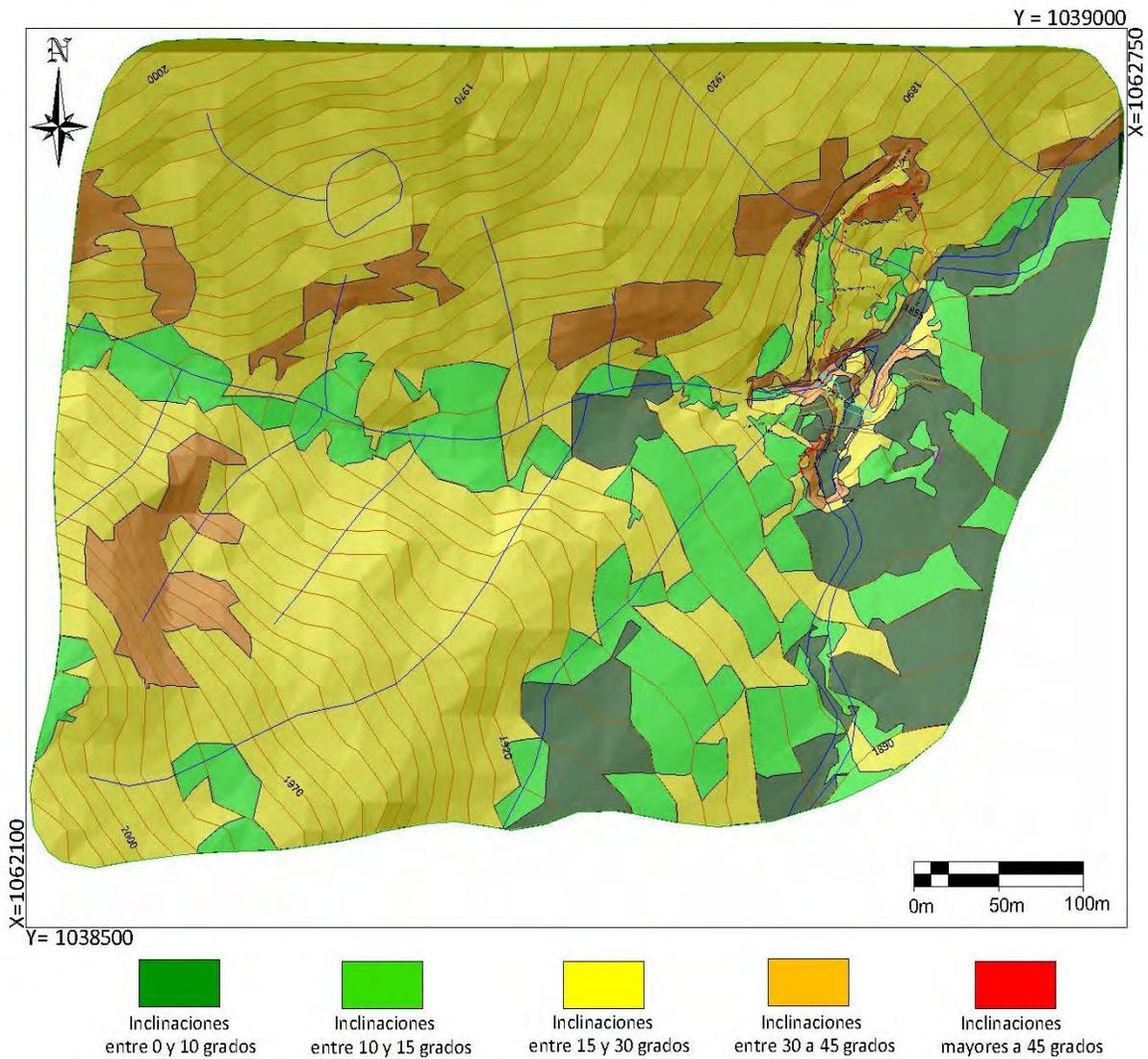


Fuente: Resultado del estudio

5.4 INCLINACIÓN DE LAS PENDIENTES

A partir de un modelo digital de terreno generado tras la digitalización de curvas de nivel a una escala 1:25.000, se generó el mapa de pendientes con cinco clases para el área de estudio. Los valores de susceptibilidad de este parámetro o variable son presentados en la Figura 20.

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



Fuente: Resultado del estudio

Tabla 14. Clasificación de las pendientes.

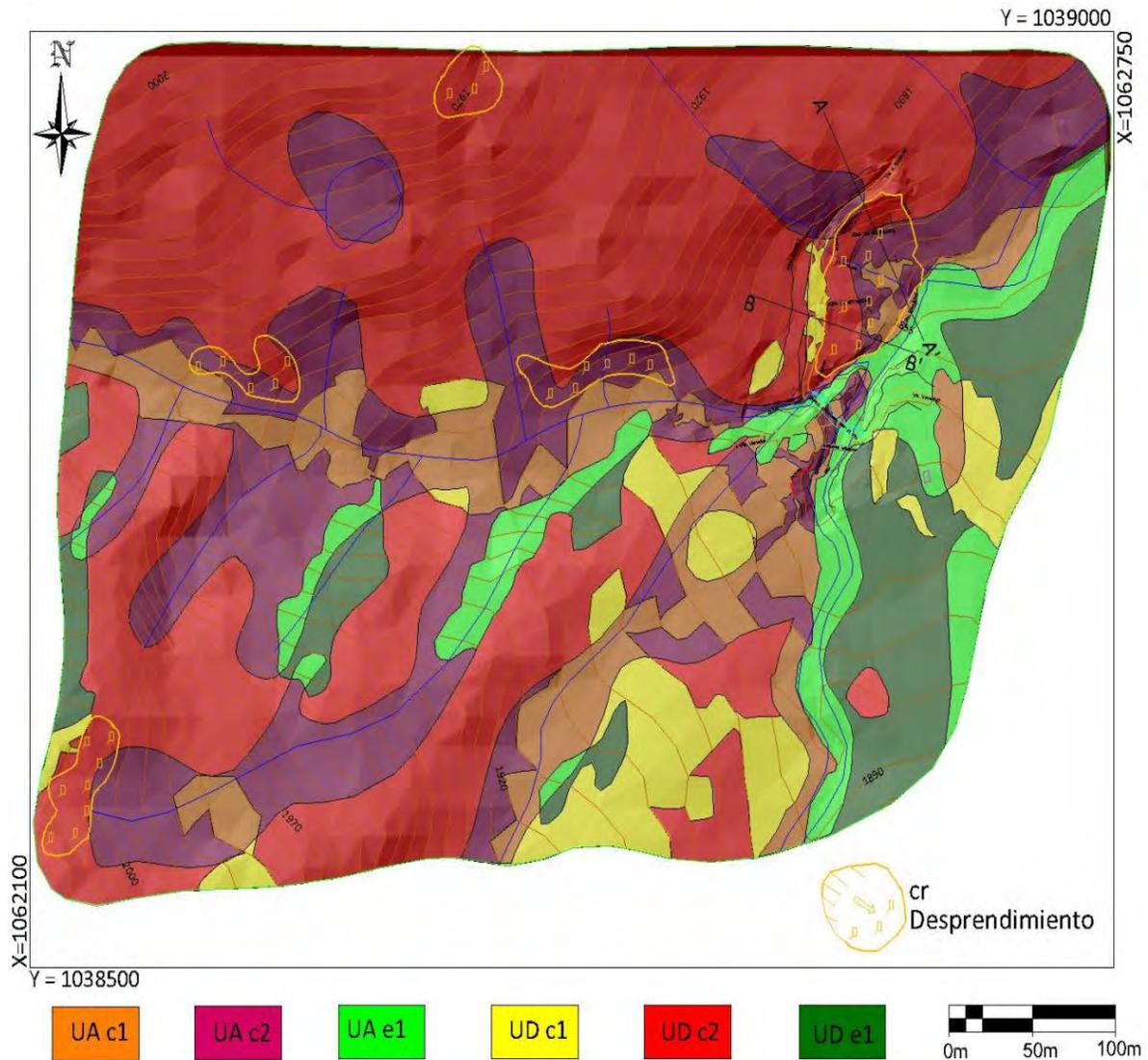
CLASIFICACIÓN DE LAS PENDIENTES	
UNIDAD CARTOGRÁFICA	GRADOS
Suavemente inclinada	0-10
Inclinada	10 15
Abrupta	15-30
Escarpada	30 - 45
Muy Escarpada	> 45

Fuente: Resultado del estudio.

5.5 UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

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

Figura 21. Imagen del Mapa geomorfológico.



Fuente: Resultado del estudio.

5.5.1 Geformas de Origen Denudacional.

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

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

Dicha unidad está compuesta por depósitos coluviales y aluviales, los cuales yacen sobre estratificaciones en contra a la dirección de las pendientes presenta un área de 2.52 ha, de las cuales el 2.59 % presenta inestabilidad.

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

Dicha unidad está compuesta por depósitos coluviales y aluviales, los cuales yacen sobre estratificaciones en contra a la dirección de las pendientes presenta un área de 5.25 ha, de las cuales el 7.66 % presenta inestabilidad.

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

Dicha unidad está compuesta por depósitos coluviales y aluviales, los cuales yacen sobre estratificaciones en contra a la dirección de las pendientes presenta un área de 1.87 ha, de las cuales el 0.08 % presenta inestabilidad.

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

5.5.1.4 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 1.88 ha, de las cuales el 0.36 % presenta inestabilidad.

5.5.1.5 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 11.3 ha, de las cuales el 4.42 % presenta inestabilidad.

5.5.1.6 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 2.22 ha.

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

Tabla 15. Descripción geomorfológica.

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

5.6 EROSIÓN

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

		<p style="text-align: center;">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>
---	---	---	---

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

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

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

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

La erosión antrópica o acelerada, favorece la aparición de surcos y cárcavas que representan un grado superior del proceso de erosión que se manifiesta en los



suelos. Su formación tiene origen en el drenaje superficial y es aumentada por el incremento del tiempo de concentración

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

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

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

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

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

		<p style="text-align: center;">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>
---	---	---	---

5.6.1 Algunas Formas de Erosión

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

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

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

5.6.2 Factores externos

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

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



5.6.3 Factores internos

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

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

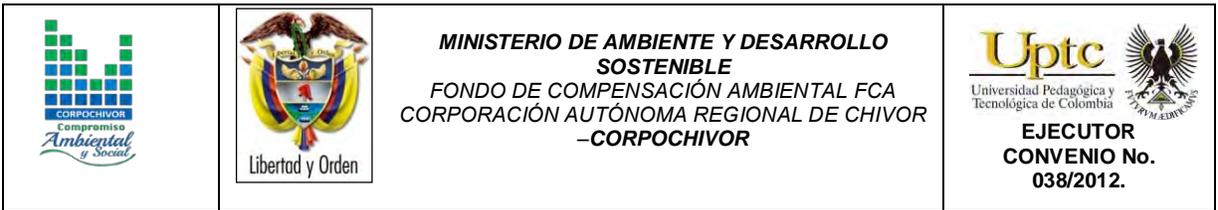
- **Hidrológicos e hidrogeológicos:** Cambio en las presiones de poros o Hidrostáticas y el comportamiento geomecánico (resistencia a la deformabilidad, compresibilidad, cohesión, etc.).

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

5.6.4 Morfodinámica - intensidad de erosión

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

El mapa de erosión fue realizado con el procesamiento digital de imágenes mediante una clasificación supervisada, resultado de un agrupamiento en la



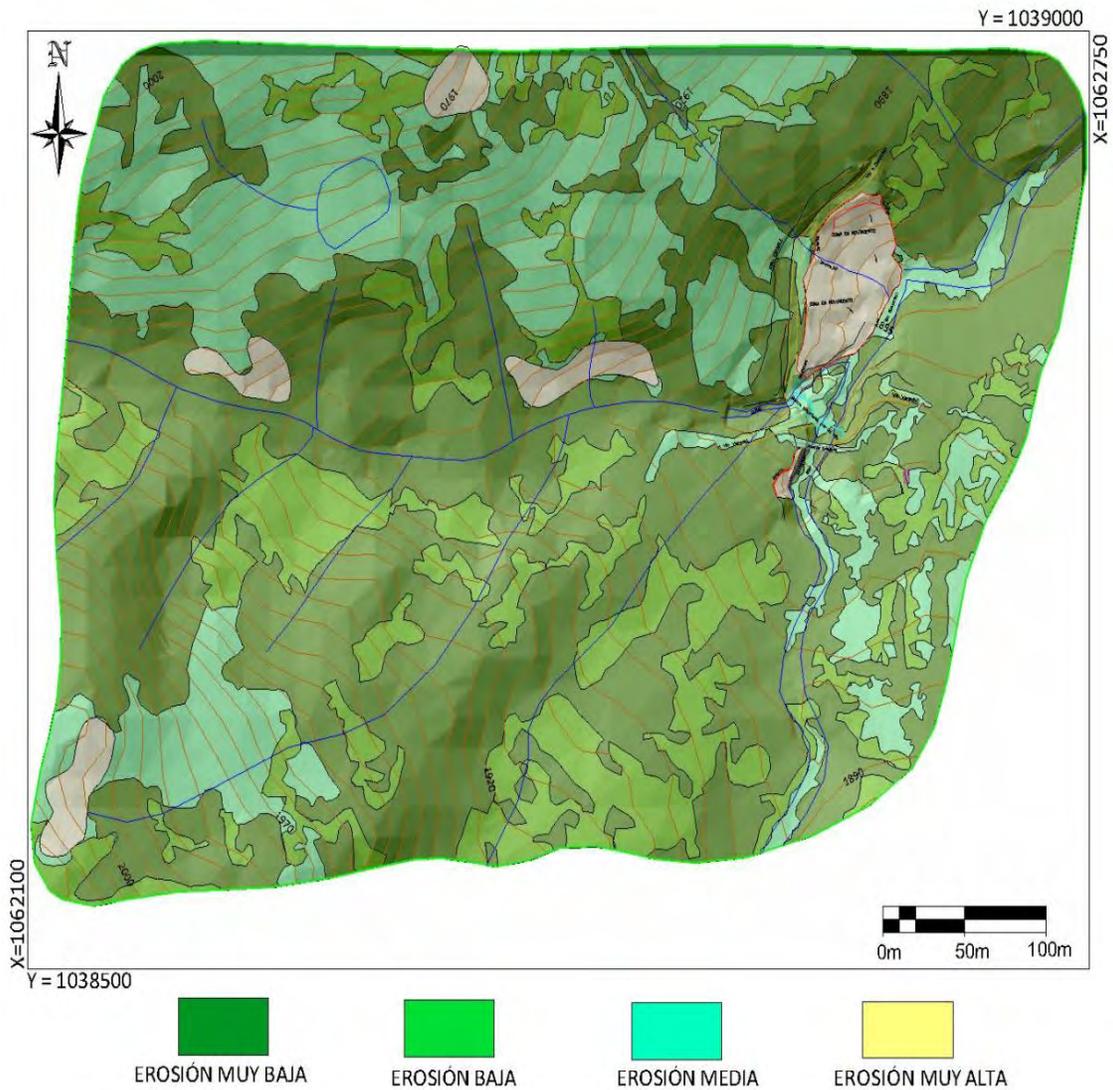
distribución de los pixeles hechos en una clasificación resultado de la mayor o menor cobertura vegetal presente en el área.

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

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

El mapa de intensidad de erosión describe unidades de intensidad de erosión así: erosión muy baja, erosión baja, erosión media y erosión muy alta. (Ver Figura 22).

Figura 22. Imagen del Mapa erosión.



Fuente: Resultado del estudio.

5.7 USO ACTUAL Y COBERTURA DEL SUELO

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

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

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

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



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

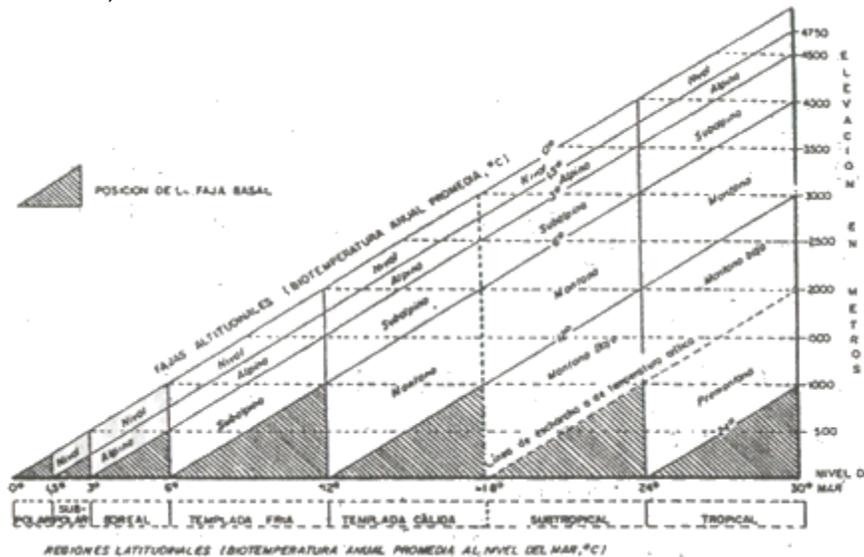
Investigaciones aplicadas a los cambios en la cobertura vegetal están teniendo un mayor grado atención debido esencialmente a las implicaciones de la deforestación. A nivel regional, dicho mecanismo ocasiona la disminución e incluso la pérdida de la cobertura vegetal, el detrimento de los recursos forestales,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

5.7.1 VEGETACIÓN

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

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

Figura 23. Posiciones aproximadas de las Líneas 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:

5.7.1.1 BOSQUE ANDINO

Se presentas en áreas de gran pendiente, protegido con pequeñas manchas para estabilizar los suelos o áreas de mínima condición para labores agrícolas. Predominan las especies como encenillo (*Weinannia tormentosa*), raque (*Vallea estipularis*), cucharo (*Rapanea quiqmensis*), laurel (*Myrica parsifolia*), pegamoscos (*Befaria resinosa*).

5.7.1.2 BOSQUE RASTROJO ALTO ANDINO

La vegetación de esta región se caracteriza por presentar una mediana intervención antrópica que ha sido acentuada sobre sus especies constitutivas y por lo tanto del bosque en general. Se presenta en la formación vegetal de bosque húmedo montano bajo (bh-MB), en parches aislados y a veces continuos con topografía ondulada.

5.7.1.3 MATORRAL ANDINO SECUNDARIO

Dominado por plantas de 2 - 3 metros, con especies como (*Miconia ligustina*) Tuno, (*Myrsine dendenius*), (*Bacharis prumifolis*) chilco, (*Dyplostephyun, rossasimifolium*), (*Monachaetun myrtoidum*), (*empalthorium lancrolaliym*), (*Escallonea myrtilloides*) Tobo, (*Berberis glauca*), (*Glauteria radifolia*) y otros. En medio de ellos crecen musgos, helechos, orquídeas y muchas lianas de passifloras y bejucos, se encuentra diseminado sobre gran parte del municipio preferentemente en rastrojos y potreros abandonados.

5.7.2 COBERTURA Y USO DE SUELO PARA EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL ESTUDIO

Dentro del programa CORINE (Coordination of information on the environment) promovido por la Comisión de la Comunidad Europea fue desarrollado el proyecto de cobertura de la tierra “CORINE Land Cover” 1990 (CLC90), el cual definió una metodología específica para realizar el inventario de la cobertura de la tierra. Actualmente, su base de datos constituye un soporte para la toma de decisiones



en políticas relacionadas con el medio ambiente y el ordenamiento territorial, aceptada por la Unión Europea. Hoy en día se aplica sobre la totalidad del territorio europeo a través del proyecto CLC2000.

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

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

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

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

- 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

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

bases para el ordenamiento ambiental y territorial del país, y unificación de las metodologías de coberturas de la tierra que se aplican actualmente en Colombia.

5.7.2.1 ESTUDIO DE LA FLORA

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

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

Presentar un plano de cobertura vegetal y uso del suelo a partir de sensores remotos y control de campo, en caso de requerirse. Las unidades cartografiadas 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.
-

IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE COBERTURAS

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



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

TEJIDOS ARTIFICIALES

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

ZONAS URBANIZADAS

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

TEJIDO URBANO DISCONTINUO

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

su delimitación cuando otras coberturas de tipo natural y seminatural se mezclan con áreas clasificadas como zonas urbanas.

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



Fuente: Registro fotográfico.

ZONAS INDUSTRIALES O COMERCIALES Y REDES DE COMUNICACIÓN

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

RED VIAL, FERROVIARIA Y TERRENOS ASOCIADOS

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

Fotografía 3. Tejido artificializado de nivel 4 red vial.



Fuente: Registro fotográfico.

TERRITORIOS AGRÍCOLAS

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

CULTIVOS TRANSITORIOS

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

CEREALES

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

MAÍZ

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

Fotografía 4. Cultivo De Zea Mays



Fuente: Registro fotográfico.

CULTIVOS 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 5. Cultivos agroforestales



Fuente: Registro fotográfico.

PASTOS

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

Algunas de las categorías definidas pueden presentar anegamientos temporales o permanentes cuando están ubicadas en zonas bajas o en depresiones del terreno. Una característica de esta cobertura es que en un alto porcentaje su presencia se debe a la acción antrópica, referida especialmente a su plantación, con la

introducción de especies no nativas principalmente, y en el manejo posterior que se le hace.

PASTOS ENMALEZADOS O ENRASTROJADOS

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

Fotografía 6. Pastos enmalezados



Fuente: Registro fotográfico.

PASTOS LIMPIOS

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

El deslizamiento descendió por esta cobertura, facilitándole su avance y velocidad debido a la ausencia de cobertura vegetales mayores como bosques bajos. esta exposición del suelo a los agentes erosivos es debido a la disminución de la cubierta vegetal por el pastoreo y a la remoción del suelo por el pisoteo. Estos factores favorecen a la erosión hídrica y a la erosión Eólica Sumados a la Inclinación Facilitaron El Deslizamiento. El sobrepastoreo facilita la desertificación de áreas semiáridas y la desprotección de las escorrentías. Esto último influye también en el balance de las aguas superficiales y subterráneas.

Fotografía 7. pastos limpios presente en la zona de estudio



Fuente: Registro fotográfico.



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

- Presencia de vegetación herbácea muy baja, como si se hubiera "cortado el pasto" en un jardín. Esto se puede ver si el lugar tiene cierta humedad que permita su recuperación.
- Presencia de "pie de vaca", que se visualiza a la distancia como líneas paralelas aproximadamente horizontales que se ven en las zonas serranas, a modo de "arrugas" en la montaña y que son caminos de recorrido y pastoreo del ganado.
- Vegetación herbácea muy rala, en algunos casos inexistente, con tierra suelta y removida, hasta incluso con abundancia de huellas de animales.
- Preponderancia de especies leñosas espinosas bajas, con muy pocas hierbas, característica del *fachinal*.
- Composición florística herbácea conformada fundamentalmente por hierbas poco *palatables* o no *palatables* para el ganado, debido a que las apetecidas por los animales fueron comidas por el constante pastoreo.

5.7.3 BOSQUES

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

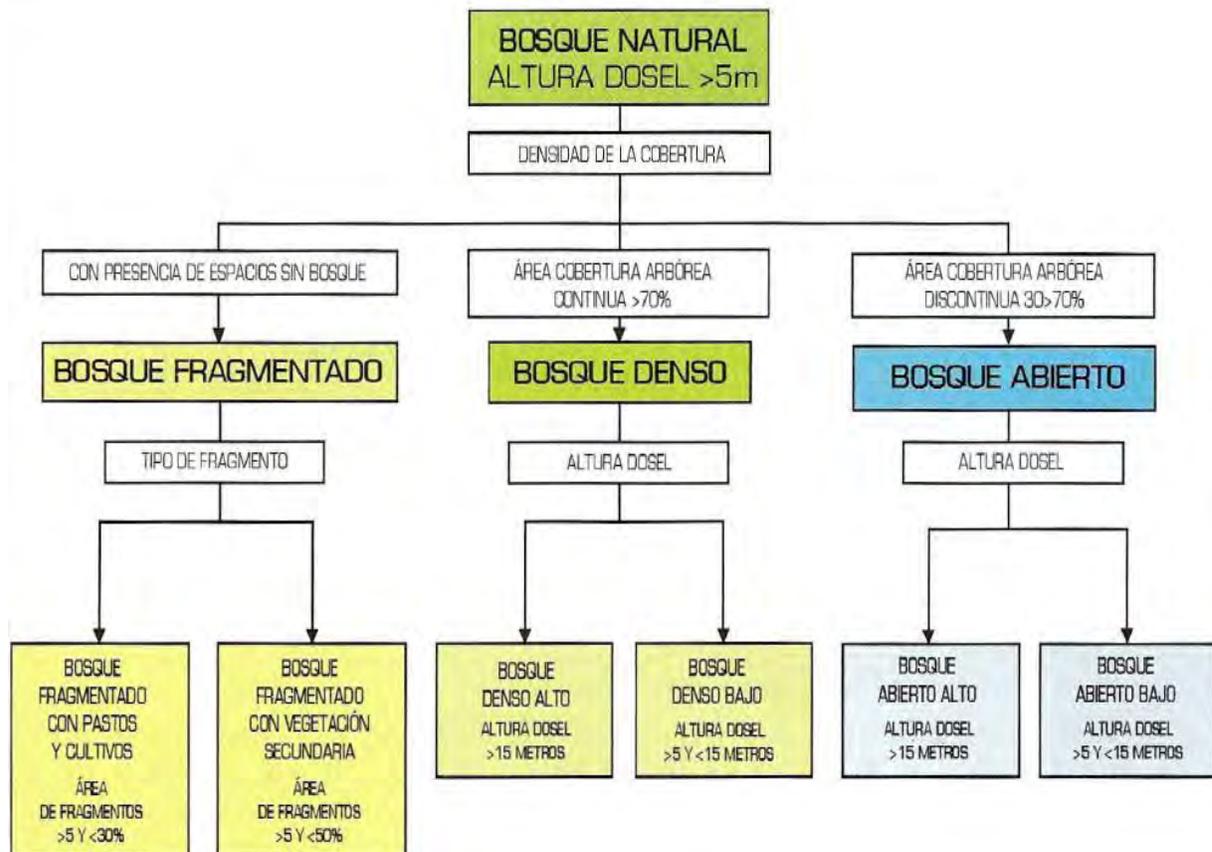


Para efectos de clasificación los bosques son determinados por la presencia de árboles que deben alcanzar una altura del dosel superior a los cinco metros.

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

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

Figura 24. CRITERIOS PARA LA CLASIFICACIÓN DE LOS BOSQUES



Fuente: Corine Land Cover 2010.

BOSQUE ABIERTO ALTO

Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos regularmente distribuidos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) discontinuo, con altura del dosel superior a 15 metros. Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y las características funcionales.

Fotografía 8. Bosque abierto alto



Fuente: Registro fotográfico.

BOSQUE DENSO

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

BOSQUE DENSO BAJO

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

BOSQUE DENSO BAJO DE TIERRA FIRME

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

Fotografía 9. Bosque denso bajo de tierra firme



Fuente: Registro fotográfico.

BOSQUE DE GALERÍA Y RIPARIO

Se refiere a las coberturas constituidas por vegetación arbórea ubicada en las márgenes de cursos de agua permanentes o temporales. Este tipo de cobertura está limitada por su amplitud, ya que bordea los cursos de agua y los drenajes naturales. Cuando la presencia de estas franjas de bosques ocurre en regiones de sabanas se conoce como bosque de galería o canadas, las otras franjas de bosque en cursos de agua de zonas andinas son conocidas como bosque ripario.

Fotografía 10. Bosque Ripario Presente En la zona de estudio



Fuente: Registro fotográfico.

PLANTACIÓN FORESTAL

Son coberturas constituidas por plantaciones de vegetación arbórea, realizada por la intervención directa del hombre con fines de manejo forestal. En este proceso se constituyen rodales forestales, establecidos mediante la plantación y/o la



siembra durante el proceso de forestación o reforestación, para la producción de madera (plantaciones comerciales) o de bienes y servicios ambientales (plantaciones protectoras).

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

CUPRESSACEAE

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

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

Juniperus, en cambio, dan lugar a una estructura carnosa denominada gábullo carnoso, originada por la concrescencia de las tres hojas escuamiformes superiores.

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

Fotografía 11. CUPRESSACEAE



Fuente: Registro fotográfico.

MYRTACEAE

Esta es una familia en donde sus miembros son plantas dicotiledóneas. Entro de sus características generales podemos decir que todas las especies son arboladas, presentan aceites esenciales, y la flor casi siempre presenta sus verticilos en múltiplos de cuatro o cinco. Una característica representativa de esta

familia es que liber está situado en ambos lados del xilema exterior, difiriendo con el resto de las plantas.

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

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

Fotografía 12. Eucaliyos presentes en la zona de estudio



Fuente: Registro fotográfico.

5.7.4 ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA Y/O ARBUSTIVA

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

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

ARBUSTAL

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

ARBUSTAL ABIERTO MESOFILO

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

Fotografía 13. Arbustos mesofilos



Fuente: Registro fotográfico.

HERBAZAL

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

Fotografía 14. HERBAZAL



Fuente: Registro fotográfico.

AGUAS CONTINENTALES

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

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.

CUERPOS DE AGUA ARTIFICIALES

Esta cobertura comprende los cuerpos de agua de carácter artificial, que fueron creados por el hombre para almacenar agua usualmente con el propósito de generación de electricidad y el abastecimiento de acueductos, aunque también para prestar otros servicios tales como control de caudales, inundaciones, abastecimiento de agua, riego y con fines turísticos y recreativos.

RIO

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

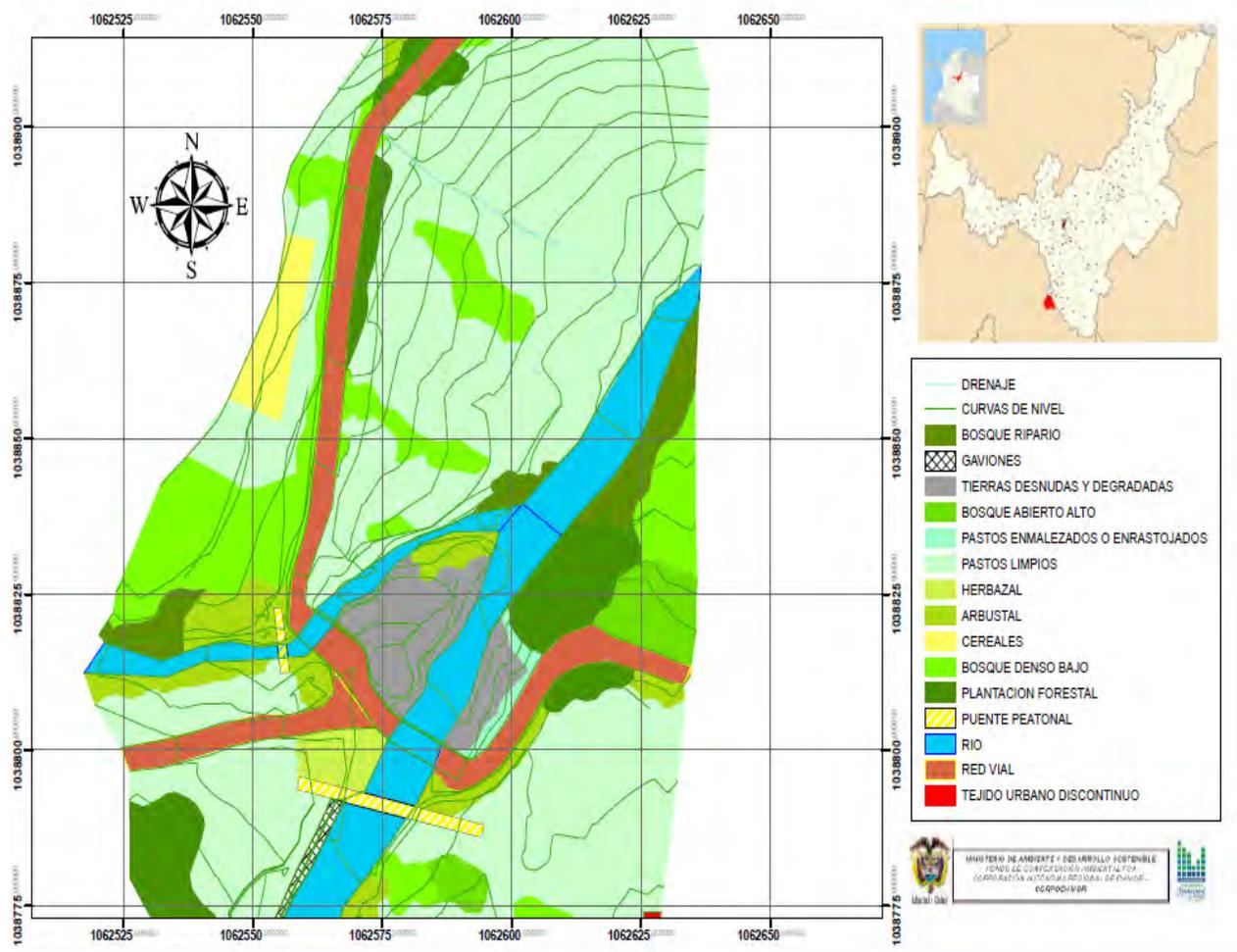
Fotografía 15. RIO



Fuente: Registro fotográfico.

5.7.5 ÁREAS Y PORCENTAJES DE LAS COBERTURAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Figura 25. Mapa cobertura vegetal y uso de suelo.



Fuente: Resultado del estudio.

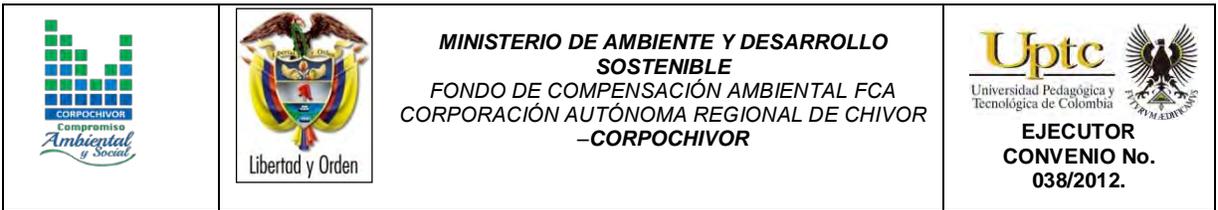
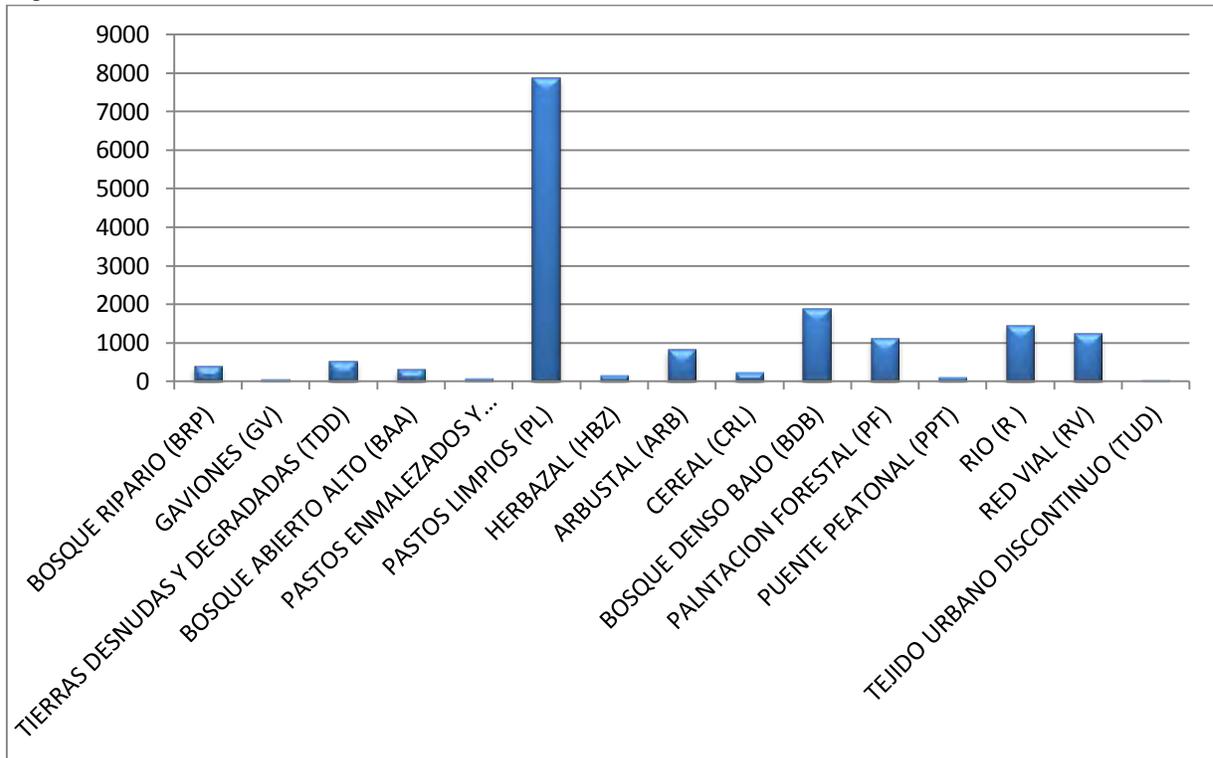


Figura 26. Áreas de coberturas.

TIPO DE COBERTURA	AREA m²
BOSQUE RIPARIO (BRP)	384
GAVIONES (GV)	43
TIERRAS DESNUDAS Y DEGRADADAS (TDD)	515
BOSQUE ABIERTO ALTO (BAA)	301
PASTOS ENMALEZADOS Y ENRASTROJADOS (PEE)	61
PASTOS LIMPIOS (PL)	7866
HERBAZAL (HBZ)	136
ARBUSTAL (ARB)	813
CEREAL (CRL)	218
BOSQUE DENSO BAJO (BDB)	1867
PALNTACION FORESTAL (PF)	1115
PUENTE PEATONAL (PPT)	103
RIO (R)	1437
RED VIAL (RV)	1217
TEJIDO URBANO DISCONTINUO (TUD)	20

Fuente: Resultado del estudio.

Figura 27. PORCENTAJE DE COBERTURAS



Fuente: Resultado del estudio.

5.7.6 UNIDADES DE COBERTURA VEGETAL

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



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

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

Se presenta el componente vegetal de la zona de estudio y el siguiente inventario, teniendo en cuenta que muchas de las especies referenciadas, su frecuencia de aparición es muy baja y dispersa. Para la elaboración del mapa de cobertura vegetal se generalizaron las especies para facilitar su manejo, No se cuenta con un detallado inventario de la biomasa.

Tabla 16. Unidades de cobertura vegetal.

FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
Agaváceae	<i>Furcraea bedinghausii</i>	Magüey
Apiaceae	<i>Conium maculatum</i>	Cicuta
Asteráceae	<i>Diplostephium rosmarinifolius (Benth.) Wedd.</i>	Romero de paramo
Asteraceae	<i>Anthemis nobilis</i>	Manzanilla
Asteraceae	<i>Hypochoeris radicata</i>	Roseta
Asteraceae	<i>Taraxacum officinale weber ex f.h.wigg</i>	Diente de leon
Asteraceae	<i>polymnia pyramidalis triana</i>	Arbo loco
Bromeliaceae	<i>Racinaetha tetrantha (ruiz & Pav) M.A. Spencer & L.B. Sm.</i>	Bromelia, quinche
Cecropiaceae	<i>Cecropia peltata</i>	Yarumo
Chenopodiaceae	<i>Chenopodium ambrosoides</i>	Paico
Clusiaceae	<i>Clusia multiflora Kunth</i>	Gaque
Cononiaceae	<i>Weinmannia tomentosa L.F</i>	Encenillo
Cunoniaceae	<i>Weinmannia tomentosa l.f.</i>	Encenillo
Cupresácea	<i>Cupresus sempervirens</i>	Pino
Cupresáceas	<i>Cupressus sempervirens L.</i>	Ciprés
Cupresáceas	<i>Pinus halepensis</i>	pino de piña
Cyatheaceae	<i>Cyathea medullaris</i>	Helecho
Dennstaedtiaceae	<i>Pteridium aquilinum (L.) Kuhn</i>	Helecho marranero
Dryopteridaceae	<i>Polypodium filix max</i>	Helecho

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

Ericáceae	<i>Cavendishia cordifolia</i>	Anís
Fabáceae	<i>Acacia decurrens</i>	Acacia Blanca
Melastomatacea	<i>Miconia ligustina</i>	Tuno
Melastomataceae	<i>Miconia sp</i>	Tuno
Melastomataceae	<i>Heterocentron axillare Naudin</i>	Caña agria
Melastomataceae	<i>Tibouchina grossa (l. F.) Cogn</i>	Siete cueros
Melastomataceae	<i>Miconia squamosa</i>	Tuno
Melicacea	<i>Cedrella montana</i>	Cedro
Mimosaceae	<i>inga densiflora benth.</i>	Guamo
Miricaceae	<i>Myrica pubescens Humb. & Bonpl. ex Willdenow</i>	Laurel
Moraceae	<i>Ficus sp</i>	Higuerón
Musáceae	<i>Musa sapientum L.J</i>	Maduro
Musáceae	<i>Musa sapientum L.J</i>	Plátano
Musaceaea	<i>Musa paradisiaca</i>	Banano
Myricaceae	<i>Myrica pubescens humb. & bonpl. Ex willdenow</i>	Laurel
Myrsinaceae	<i>Myrsine guianensis (Aubl.) Kuntze</i>	Cucharo
Myrsinaceae	<i>Myrsine dependens (ruiz & pav.)</i>	Bordon
Myrtaceae	<i>Eucalyptus pellita</i>	Eucalipto
Myrtaceae	<i>Eucalyptus grandis</i>	Eucalipto
Myrtaceae	<i>Eucaliptus globulus</i>	Eucalipto
Piperáceae	<i>Piper bogotense</i>	Cordoncillo
Plantaginaceae	<i>Plantago mayor</i>	Llanten

Poaceae	<i>Saccharium officinarum L.</i>	Pasto yaragua
Poaceae	<i>Pennicetum clandestinum</i>	Pasto
Poaceae	<i>Andropogon rufus (Nees) Kunth</i>	
Poaceae	<i>Holcus lanatus L.</i>	Pasto
Poaceae	<i>Pennicetum setaceum</i>	Catalán
Poaceae	<i>Chusquea scandens kunth</i>	Chusque
Poaceae	<i>Festuca arundinacea</i>	Cañuela
Poaceae	<i>Poa trivialis</i>	Espiguilla
Poaceae	<i>Axonopus scoparius</i>	Imperial
Poaceae	<i>Zea Mays</i>	Maíz
Poaceae	<i>Chusquea scandens kumth</i>	Chusque, carrizo
Polygonaceae	<i>Rumex crispus l.</i>	Lengua de vaca
Rosacea	<i>Hesperomeles goudotiana</i>	Mortiño
Rosaceae	<i>Polylepsis quadrifuga</i>	Colorado
Salicaceae	<i>Salix humboltiana</i>	Sauce
Solanaceae	<i>Physalis peruviana l</i>	Uvhuva
Verbenaceae	<i>Durante mutissi l.f.</i>	Espino
Winteraceae	<i>Drimys granadensis L. f.</i>	Canelo

Fuente: trabajo en campo.

6 GEOELECTRICA

6.1 ESTUDIO GEOELECTRICO (TOMOGRAFIA ELECTRICA RESISTIVA)

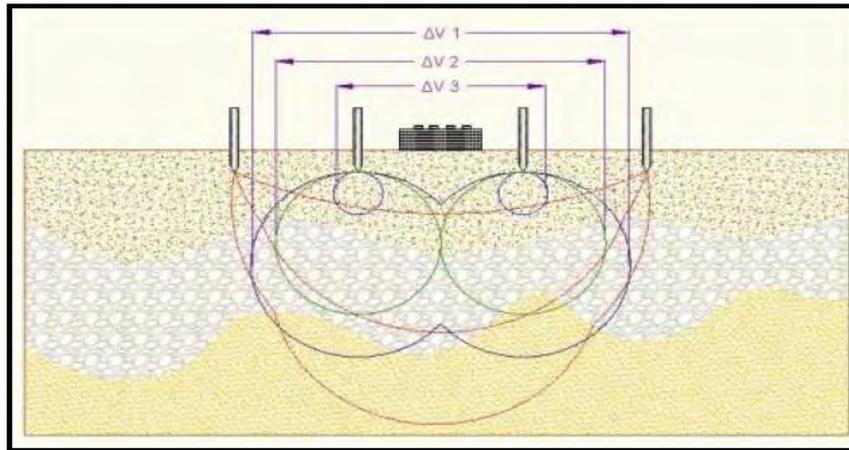
6.2 INTRODUCCION

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 28); 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 29). 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

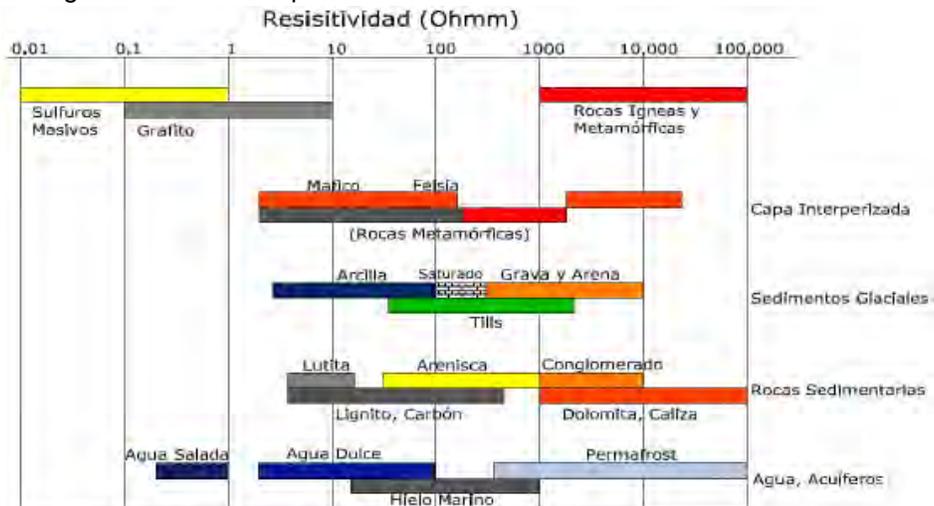
dentro del material de estudio. Durante décadas, los Estudios de Resistividad Eléctrica han sido utilizados en investigaciones sobre hidrogeología, geotecnia y también actualmente en estudios ambientales (Loke 2004).

Figura 28. 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 29. Rangos de resistividad para diferentes materiales.



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



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

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

6.3 OBJETIVO

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

6.4 PRINCIPIO DEL METODO GEOFISICO.

6.4.1 Resistividad Aparente:

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

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

La ecuación matemática que describe esta relación es:

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

Donde, I es la corriente que pasa a través del objeto en amperios, V es la diferencia de potencial de las terminales del objeto en voltios, G es la conductancia en siemens y R es la resistencia en ohmios (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 17, se observan los valores de resistividad de las rocas más comunes, materiales de suelo y algunas sustancias químicas (Keller y Frischknecht 1966, Daniels y Alberty 1966, Orellana 1982).

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

Diferentes contenidos de humedad en un mismo terreno darían lugar a resistividades diferentes que podrían llevarnos a interpretaciones erróneas de los materiales constituyentes del suelo. En la Tabla 17 se encuentra un conjunto de valores típicos de resistividad de geomateriales.

Tabla 17. Resistividades de algunos suelos y rocas.

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

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

6.4.2 Dispositivos:

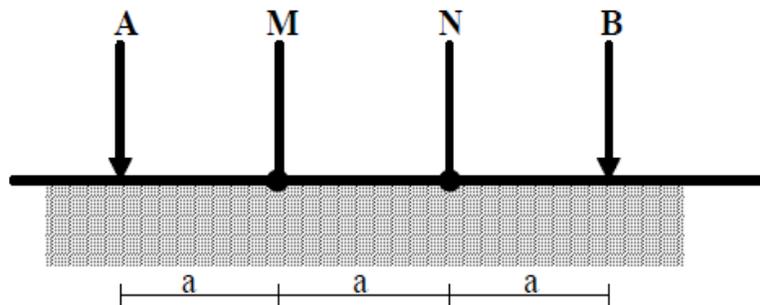
Un dispositivo es un arreglo de electrodos formado con dos pares de electrodos, dos emisores y dos receptores. A través de los electrodos emisores C1C2 se inyecta la corriente continua al terreno midiendo su intensidad con un miliamperímetro en serie, y a través del segundo par se mide la diferencia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

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

6.4.2.1 Dispositivo Wenner.

Los electrodos se disponen equidistantes sobre una línea en el orden AMNB (Figura 30).

Figura 30. 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 $K = 2\pi(1/AM - 1/AN - 1/BM + 1/BN) \cdot a$, 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.



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.

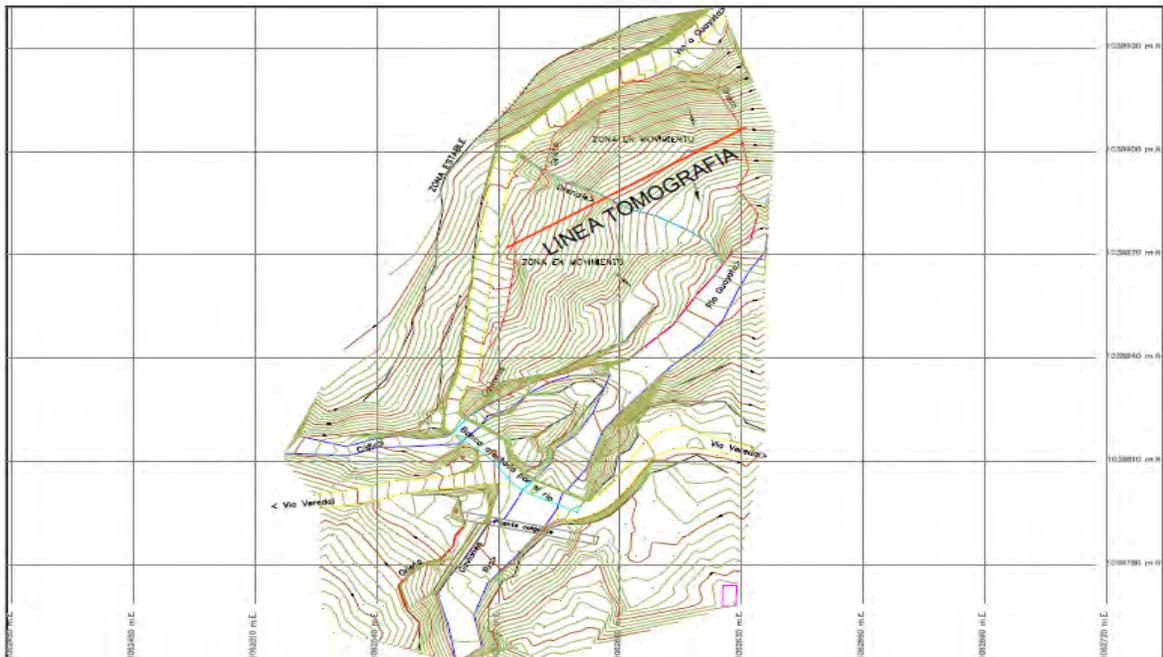
El resultado final de este tipo de estudio es una sección distancia-profundidad con la distribución de la resistividad real del subsuelo, fácilmente comprensible en términos geológicos o geotécnicos. Para obtener estos resultados se procede a insertar los parámetros para el cálculo y la medición de las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

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

6.5.1 TOMOGRAFIA N°1

Localizada en la parte alta del deslizamiento Coordenadas parte inicial X: 1062631, Y: 1038907, parte final X: 1062572, Y: 1038872, orientación N60°E, con una longitud de 82 mts., profundidad obtenida de 14.8 mts., y los electrodos conectados a una distancia de 2.0 mts cada uno, ver figura 4.

Figura 31. Imagen mapa topográfico Ciénega.



Fuente: Resultado del estudio.

Fotografía 16. Parte media del deslizamiento.



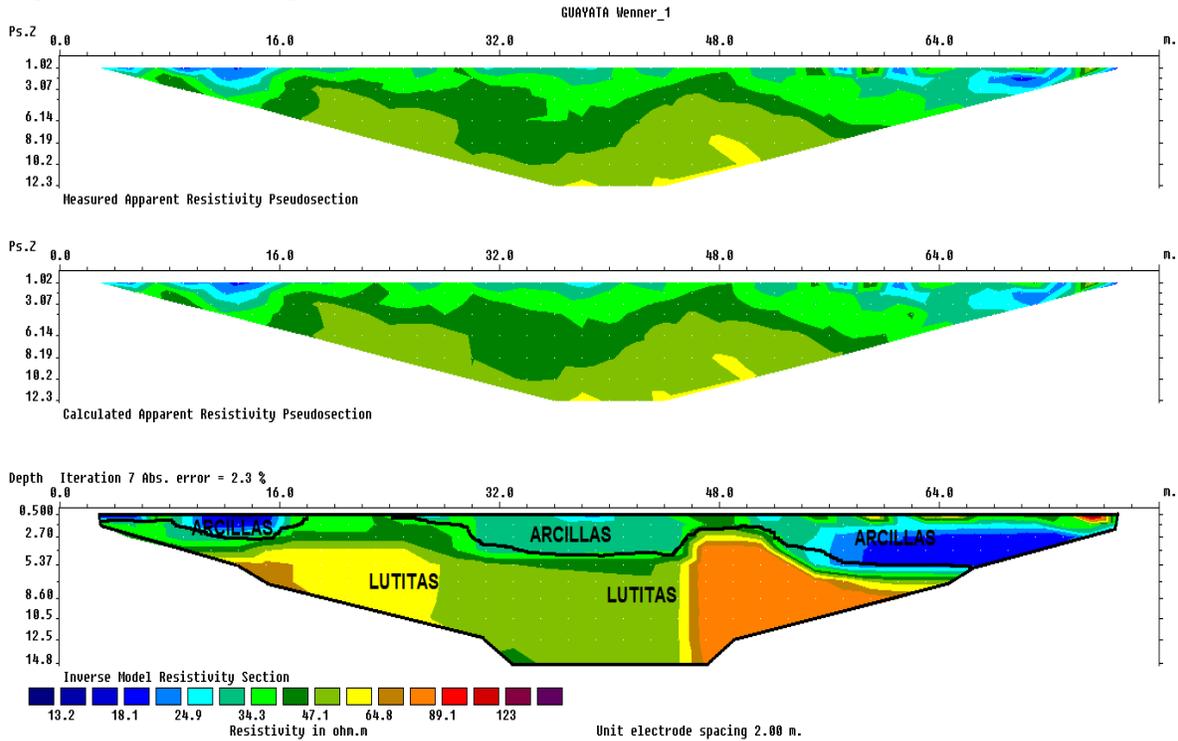
Fuente: Registro fotográfico.

Tabla 18. Tabla de resistividades de los materiales presentes.

MATERIAL	PROFUNDIDAD (m)	RESISTIVIDAD ($\Omega \cdot m$)	INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA
1	0.500 – 14.8	34.3 – 123	Lutitas
2	0.500 – 5.37	13.2 – 24.9	Arcillas

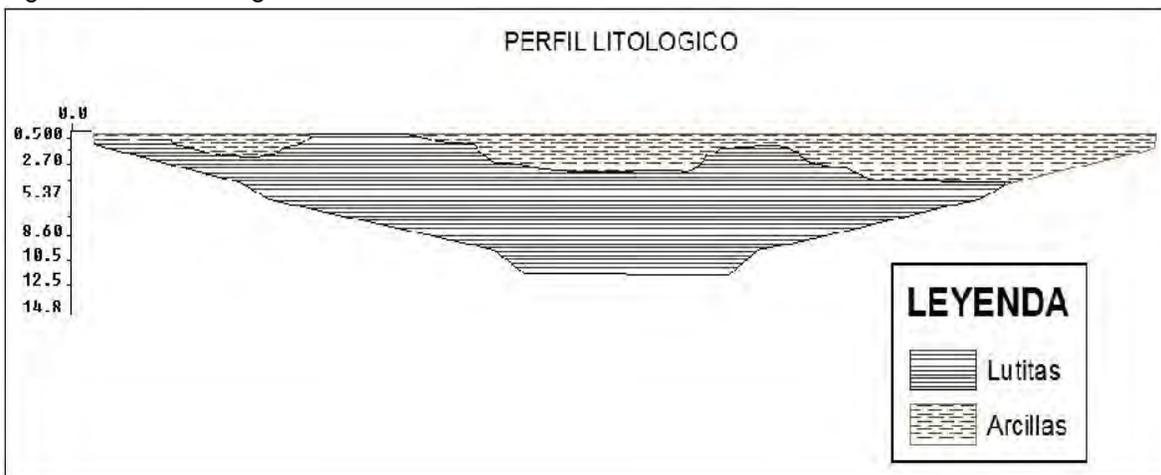
Fuente: Resultado del estudio.

Figura 32. Perfil 1 tomografía.



Fuente: Resultado del estudio.

Figura 33. Perfil litológico 1



Fuente: Resultado del estudio.



6.5.2 RESULTADOS

Con ayuda del software Res2DINVX64, se relacionaron datos de las respectivas resistividades de los materiales del área obtenidas por el equipo, resultando así el modelamiento del talud, donde se observan que el área está conformada por dos unidades Geoelectricas bien definidas, donde encontramos niveles de lutitas con rangos de resistividades que oscilan entre $34.3 - 123 \Omega \cdot m$, y arcillas que poseen resistividades que oscilan entre $13.2 - 24.9 \Omega \cdot m$, ver figuras 32 y 33.

7 GEOTECNIA

En este capítulo se consignan los aspectos relacionados con la evaluación geotécnica de los fenómenos de remoción en masa (FRM) Vereda Sochaquira, municipio de Guayatá, 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 de la referencia.**, el cual se llevó a cabo después de determinar que el método geoelectrico convencional SEV, no aporta ningún tipo de información importante cuando se aplica al estudio de deslizamientos por tratarse de un medio muy fracturado con altas pendientes además de ser un material removido y saturado.

7.1.1.2 Exploración directa del sub suelo.

La exploración directa del sub suelo consiste en la realización una apique y una trinchera, De estos se tomaron muestras alteradas e inalteradas para realizar los ensayos pertinentes para caracterizar los materiales presentes en esta zona. Además se realizaron sondeos a profundidades de que van de 0 hasta los 8 metros de y sus ubicaciones se relacionan en la siguiente Tabla 19; de estos se realizaron los también ensayos de propiedades índices y propiedades mecánicas.

Tabla 19. Coordenadas de los sondeos realizados

GUAYATA			
Sondeo	Coordenadas		Profundidad (metros)
	Este	Norte	
sondeo 1	1,062,557	1,038,840	7.65
sondeo 2	1,062,557	1,038,840	7.75

Fuente: Resultados de la Investigación.

De estos se obtuvieron perfiles geotécnicos del sitio como se observa en la Figura 34

Fotografía 17. Perforación realizada en la zona de estudio



Fuente: Registro Fotográfico.

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

Fotografía 18. Prueba de Penetrometro de Bolsillo



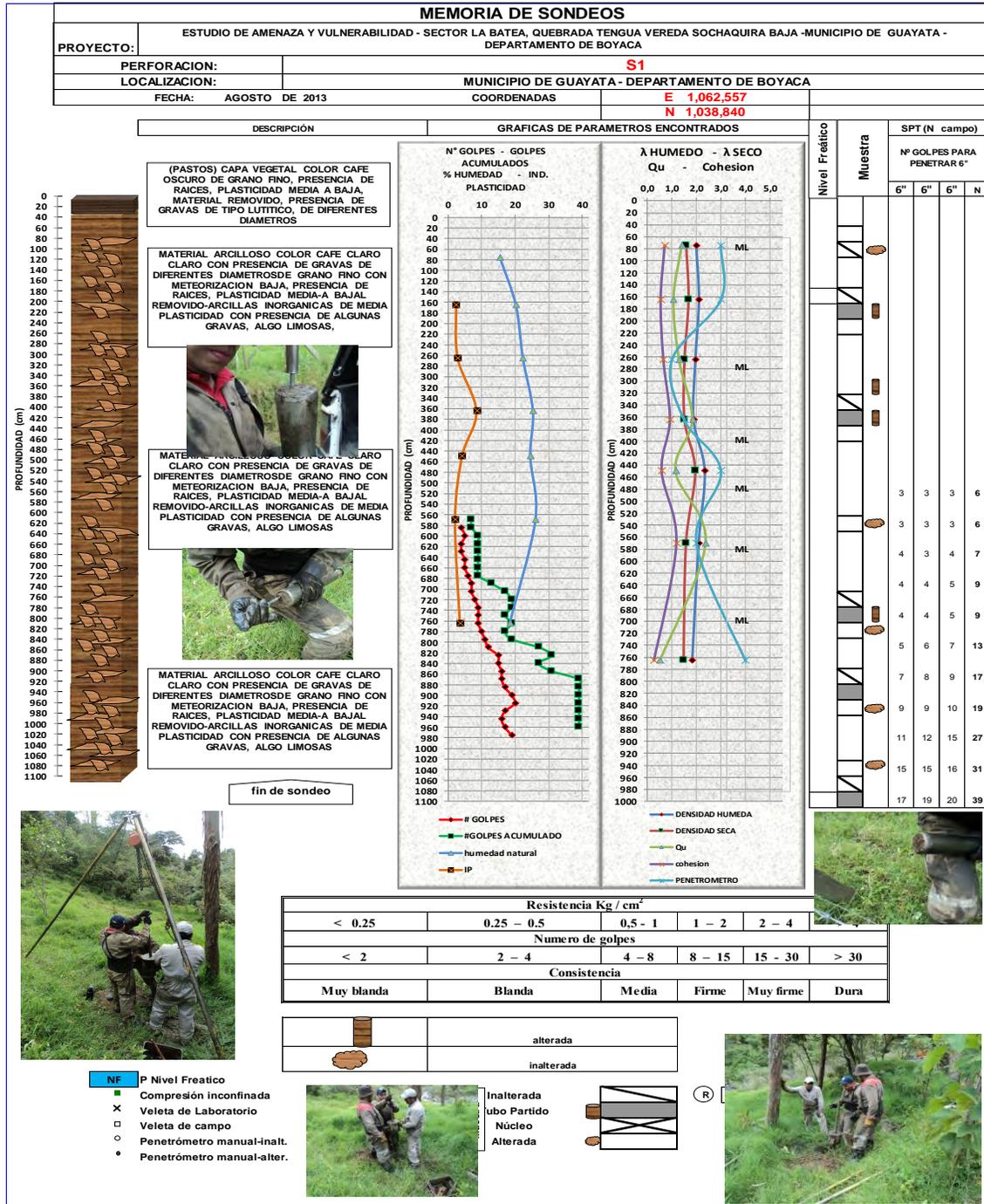
Fuente: Registro Fotográfico.

7.2 CARACTERIZACIÓN DEL SUELO Y SUBSUELO

7.2.1 Trabajos de Laboratorio

De acuerdo con el muestro anterior y con las muestras recolectadas tanto en los sondeos (Suelos) y en los afloramientos (Rocas), en el laboratorio de Mecánica de Suelos y Rocas de la UPTC Sede Sogamoso se realizaron pruebas índice (Límites de Atterberg, Granulometría, humedad natural, peso unitario), compresión inconfiada y corte directo. 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 34. Perfil Geotécnico S1



Fuente: Resultado del estudio

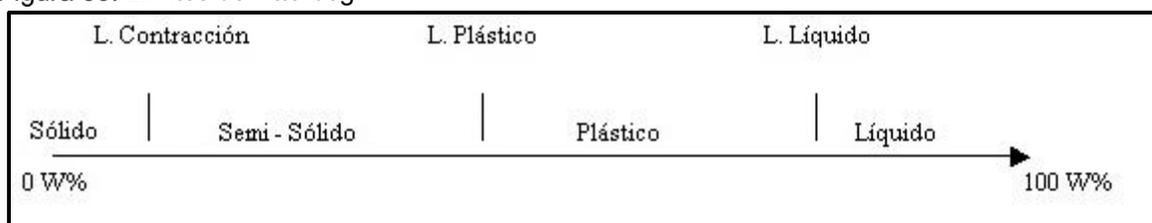
ELABORACIÓN DE ESTUDIO DE RIESGO (AMENAZA Y VULNERABILIDAD) Y DISEÑO DE OBRAS DE ESTABILIZACION EN LA VEREDA SOCHAQUIRA, MUNICIPIO DE GUAYATA JURISDICCION DE LA CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DE CHIVOR (CORPOCHIVOR).

7.2.1.1 Propiedades índices de los suelos

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

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

Figura 35. Límites de Atterbeg



Fuente: Juárez Badillo y Rico Rodríguez.

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

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

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

7.2.1.2 Propiedades mecánicas de los suelos

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

Fotografía 19. Muestra fallada en el ensayo de compresión no confinada.



Fuente: Resultado del estudio.

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

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

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



Fuente: Resultado del estudio.

7.2.2 Resumen de resultados

En general los ensayos realizados reflejan la particularidad de materiales finos en el subsuelo según la Carta de Clasificación de Casagrande, los suelos fueron clasificados dentro del grupo ML correspondientes al material de relleno, arcillas limosas, con peso unitario de 1.41 – 2.33 gr/cm³, con limite líquido < 35% e IP entre 2% y 8%.

Los resultados de las propiedades mecánicas reflejan una resistencia a la compresión simple de 2.3319 kg/cm², cohesión de 0.2 – 1.19 Kgf/cm², ángulos de fricción de 13°. Estos resultados de las propiedades físicas y mecánicas se utilizaron para el análisis de estabilidad. En el anexo 4, se presentan los formatos correspondientes a los ensayos de laboratorio, de los cuales se presenta una tabla resumen (Tabla 20).

7.3 Clasificación del macizo rocoso

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

Clasificación de macizos propuesta por Hoek y Brown, como un parámetro de condición del macizo rocoso en función de la condición estructural y del estado de las discontinuidades, para la aplicación del criterio generalizado de Hoek y Brown (2002), con el fin de establecer la envolvente de resistencia del macizo rocoso. Para su determinación se propone la utilización de la Figura 36

Figura 36. Guía para la definición del Índice geológico de resistencia (GSI).

INDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICA (GSI)	Condición de la superficie				
	Diminución en calidad de superficie				
	→	→	→	→	→
	Muy buena	Buena	Mediana	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 brechoso.				20	10
 MUY FOLIADA - macizo rocoso plegado, altamente fracturado, constituido típicamente por rocas muy foliadas.	N/A	N/A			5

Fuente: Resultados de la investigación.



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

Tabla 20. Resumen de resultados ensayos de laboratorio

UNIVERSIDAD PEDAGOGICA Y TECNOLOGICA DE COLOMBIA LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS SECCIONAL SOGAMOSO																						
MEMORIA DE SONDEOS																						
PROYECTO:		ESTUDIO DE AMENAZA Y VULNERABILIDAD - SECTOR LA BATEA, QUEBRADA TENGUA VEREDA SOCHAQUIRA BAJA -MUNICIPIO DE GUAYATA - DEPARTAMENTO DE BOYACA																				
PERFORACION:		SONDEOS 1 - 2																				
LOCALIZACION:		SECTOR LA BATEA, QUEBRADA TENGUA VEREDA SOCHAQUIRA BAJA -MUNICIPIO DE GUAYATA - DEPARTAMENTO DE BOYACA																				
		FECHA:		SEPTIEMBRE 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		COMPRESION INCONFINADA		PENETROMETRO				
												φ	C	Peso Unitario	Peso Unitario	qu	C	BOLSILLO Kg/cm²				
S 1	1		0,75	1,062,557	1,038,840	15,55					2,071			1,9852	1,5902	1,4078	0,7039	3				
	2		1,65	1,062,557	1,038,840	20,32	28,65	26,23	2,42	ML	5,393			2,0945	1,6849	1,0764	0,5382	3				
	3		2,65	1,062,557	1,038,840	22,42	22,32	19,48	2,84	ML	3,816	11,530	1,981	1,9498	1,5217	1,3033	0,65165	1				
	4		3,65	1,062,557	1,038,840	25,41	35,08	26,51	8,57	ML	3,995			1,8771	1,5213	1,8441	0,92205	1,5				
	5		4,50	1,062,557	1,038,840	24,62	29,2	25,00	4,20	ML	3,111			2,3319	1,9512	1,1608	0,5804	3				
	6		5,70	1,062,557	1,038,840	26,16	25,39	23,33	2,06	ML	5,202			2,0846	1,581	2,3858	1,1929	2				
	7		7,65	1,062,557	1,038,840	18,42	22,86	19,32	3,54	ML	5,167			1,8203	1,484	0,5211	0,26055	4				
S2	1		1,20	1,062,557	1,038,840	15,82					3,676			2,1234	1,7672	1,4967	0,74835	3				
	2		2,15	1,062,557	1,038,840	2,59	23,1	20,00	3,10	ML	5,356			2,075	1,6807	1,1526	0,5763	3,5				
	3		3,45	1,062,557	1,038,840	22,80	23,03	19,51	3,52	ML	5,628	13,712	2,005	1,9395	1,5312	1,3939	0,69695	1				
	4		4,50	1,062,557	1,038,840	23,73	25	19,15	5,85	ML	4,193			1,9803	1,5853	1,9241	0,96205	1,5				
	5		5,70	1,062,557	1,038,840	23,61	24,09	18,42	5,67	ML	6,48			1,9734	1,6171	1,2637	0,63185	3,5				
	6		6,15	1,062,557	1,038,840	23,91	24,19	20	4,19	ML	6,102			2,0241	1,6581	0,894	0,447	2,5				
	7		7,75	1,062,557	1,038,840	17,53	23,32	20,93	2,39	ML	4,429			1,4145	1,1831	0,7647	0,38235	4,5				

Fuente: Resultados de la investigación.

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

7.4 CINEMÁTICA DE LOS MOVIMIENTOS

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

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

La pendiente o canal sobre el cual fluye el suelo.

El contenido de agua.

7.5 CAUSAS DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA

7.5.1 Causas Reales

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

7.5.2 Causas Inmediatas

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

Como detonantes de los eventos se han establecido los siguientes:



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

El agua proveniente de las precipitaciones, que aunque no son frecuentes, han ocurrido en épocas que están asociadas a los mayores movimientos ocurridos. La baja resistencia al corte o de fricción del material en el cual se produce la superficie de falla.

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

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

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

7.6 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y MODELACIÓN GEOTÉCNICA

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

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

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

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.

Modelamiento del comportamiento hidráulico.

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

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

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

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

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

Efecto de la Aceleración Sísmica en el Modelo.

El Municipio de Guayatá 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 Guayata los coeficientes de aceleración horizontal (Aa) y vertical (Ad) son iguales a 0.16 y 0.08 respectivamente, de acuerdo a la NSR-10, sin embargo la versión vigente del código colombiano sismorresistente, indica que los coeficientes se tomen igual al valor mayor, en este caso 0.25 y 0.25. El coeficiente de reducción de los coeficientes de aceleración para suelos y macizos rocosos con R.Q.D menores a 50%, es igual a 0.8.

Tabla 21. Coeficientes de aceleración sísmica para el departamento Boyacá.

Nº	Municipio	Código	Aa	Av	Zona de Amenaza Sísmica	Ae	Ad
1	Tunja	15001	0.20	0.20	Intermedia	0.15	0.07
42	Guayatá	15325	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
43	Guicán	15332	0.30	0.30	Alta	0.16	0.08
121	Villa de Leyva	15407	0.20	0.20	Intermedia	0.09	0.05
122	Viracachá	15879	0.20	0.25	Alta	0.16	0.08
123	Zetaquirá	15897	0.20	0.25	Alta	0.16	0.08

Fuente: Título A NSR – 10

Tabla 22. Coeficientes de reducción de coeficientes de aceleración sísmica.

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

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

Por tanto el coeficiente de aceleración para análisis pseudoestático resulta:

$$k = k_{ST} * A_a = 0.8 \times 0,25 = 0,20$$

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

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

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

7.6.1 Análisis estructuralmente no controlado

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

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

Tabla 23. 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)	UCS (kPa)	m	s	a	Water Surface	Ru
Qc		18	Mohr-Coulomb	20	17					None	0.5
Kif		22	Generalised Hoek-Brown			3500	2.52129	0.00482795	0.504991	None	0.5

Fuente: Resultados del Proyecto.

La parte superior del deslizamiento se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Fotografía 21. Movimiento

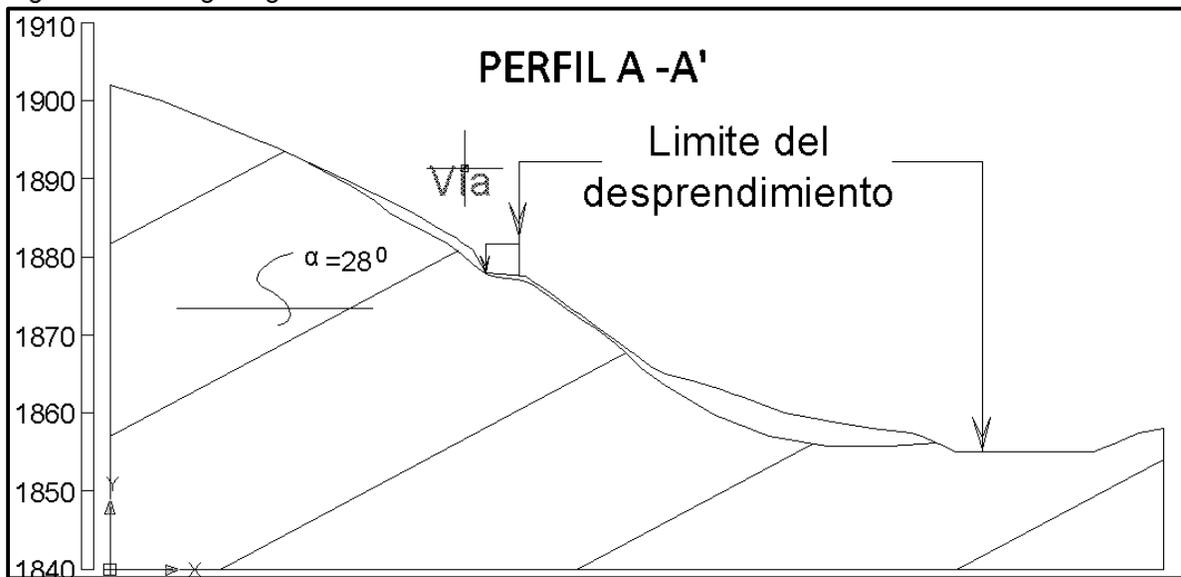


Fuente: Registro fotográfico.

El modelo grafico el modelo analizado relaciona los datos obtenidos de la campaña de exploración geológica y geotécnica. La parte de geología aporta el

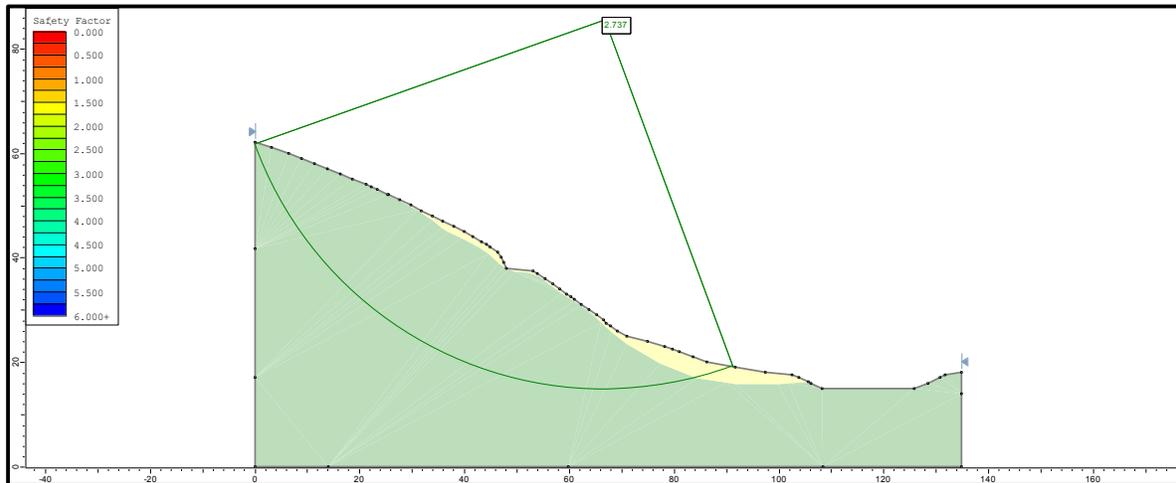
perfil geológico y los parámetros mecánicos se obtienen en de los resultados de los diferentes ensayos anteriormente relacionados en el trabajo de laboratorio. Para este caso se analizado el perfil AA' ya que este refleja el comportamiento del deslizamiento como tal.

Figura 37. Perfil geológico AA'



Fuente: Resultados del estudio.

Figura 38. Modelo de análisis perfil A-A'



Fuente: Resultados del estudio.

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

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

Condición del modelo	Factor de Seguridad			
	Met. Fellenious	Met. Bishop Simplificado	Metodo de Janbu Simple	Metodo de Janbu Corregido
Condición de agua subterránea normal ($R_u = 0.1$)	2.737	2.863	2.642	2.827
Condición de agua subterránea crítica ($R_u = 0.3$)	2.309	2.290	2.098	2.243
Condición de agua subterránea media ($R_u = 0.5$) y sismo (análisis pseudoestático)	1.320	1.244	1.130	1.198

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.

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

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.

8 ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA

8.1 DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DE AMENAZAS

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

- **Amenaza;** es la probabilidad de ocurrencia de un evento potencialmente dañino, caracterizado por una cierta intensidad, dentro de un periodo dado y en un área determinada.
- **Vulnerabilidad;** es el sistema de condiciones y procesos resultado de los factores físicos, sociales, económicos, culturales y ambientales, que aumentan o disminuyen la susceptibilidad de una comunidad o infraestructura al impacto de las amenazas.
- **Riesgo;** es la probabilidad de que se produzcan pérdidas socio-económicas en un determinado momento y en un área del territorio determinada, a causa de una amenaza.

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

Tabla 25. 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,

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

		material poco consolidado o deleznable.
Geomorfológicos	Terreno con pequeñas depresiones, relieve ondulado, existencia de escarpes y/o contrapendientes.	Pequeñas depresiones, relieve ondulado, apertura de grietas en el terreno
Hidrogeológicos	Abundancia relativa de agua (zonas de mayor vertimiento hídrico), suelos saturados, régimen cambiante de corrientes hídricas, acumulación o estancamiento de agua en proximidades a zonas inestables, desviación de ríos.	Abundancia relativa de agua y zonas de surgencia hídrica. Suelos con alto porcentaje de humedad o mojados en tiempo continuo.
Vegetales	Existencia de plantas típicas de zonas húmedas, troncos torcidos y/o inclinados, rotura de raíces y raíces tensas, discontinuidades repentinas en la cobertura vegetal.	Existencia de plantas típicas de zonas húmedas, raíces tensas. Árboles tumbados en la parte baja del tronco.
Estructurales	Postes inclinados, cables tensos o flojos, casas o construcciones agrietadas o inclinadas, grietas u ondulaciones en los pavimentos o capas de rodadura, cercos desplazados.	
Toponimia	Nombres de lugares que pueden sugerir inestabilidad del terreno como Cerro Agua Blanca, Vereda Volcaneras.	
Históricos	Testimonios o documentos de eventos pasados.	

Fuente: Resultados del estudio.

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

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

8.2 RESULTADO DE ANALISIS

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

Tabla 26. Categorización de amenazas por FRM.

CATEGORÍA DE	F.S. CONDICIONES	F.S. CONDICIONES
--------------	------------------	------------------

AMENAZA	NORMALES	EXTREMAS
BAJA	> 1.9	> 1.3
MEDIA	1.2 – 1.9	1.0 – 1.3
ALTA	< 1.2	< 1.0

Fuente: Resultados del estudio.

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

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

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

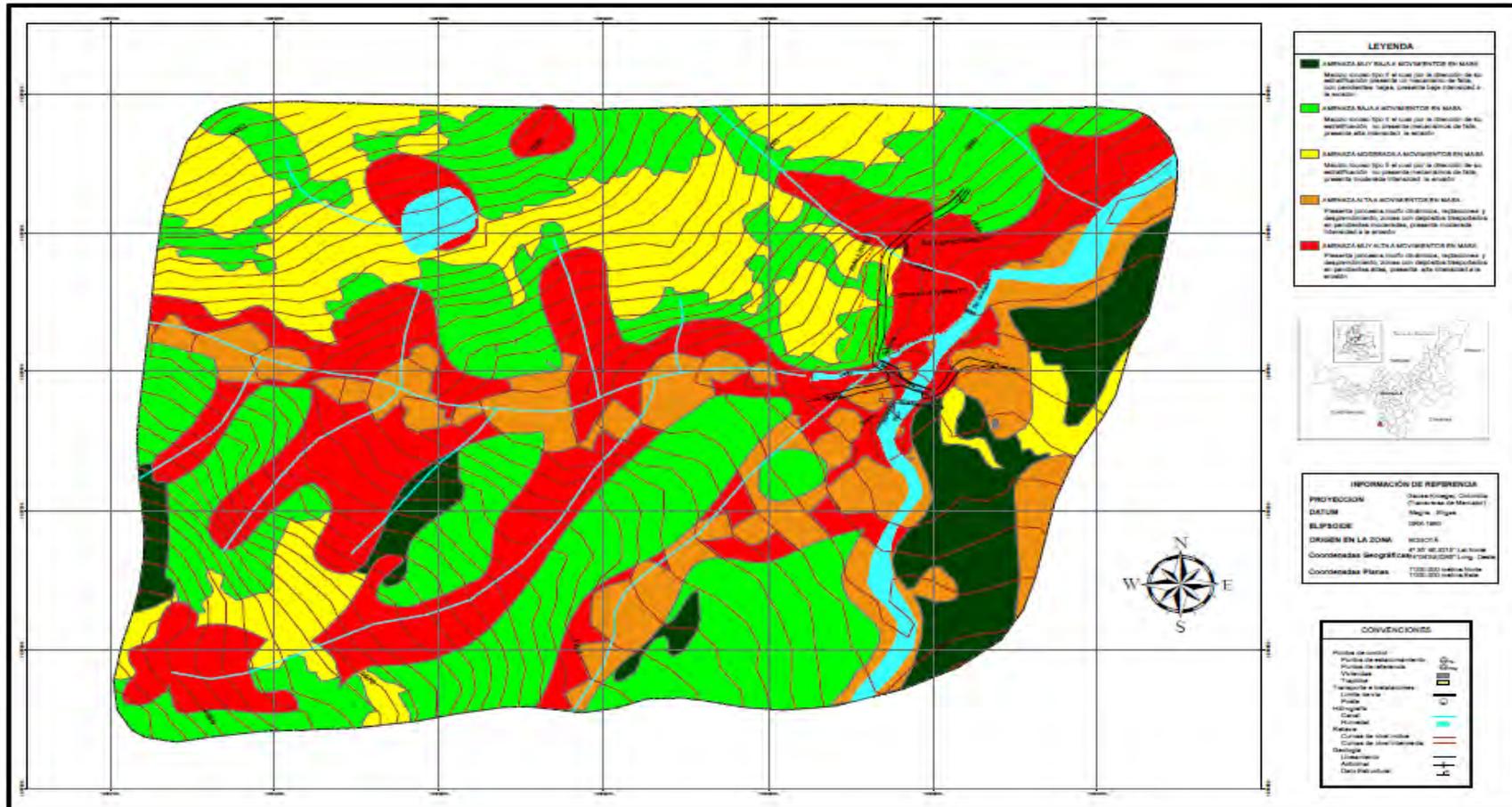
Fuente: Resultados del estudio.

8.3 ANALISIS DE AMENAZA

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

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

Figura 39. Imagen Mapa de Amenazas.



Fuente: Resultados del estudio.



8.4 Evaluación de Vulnerabilidad

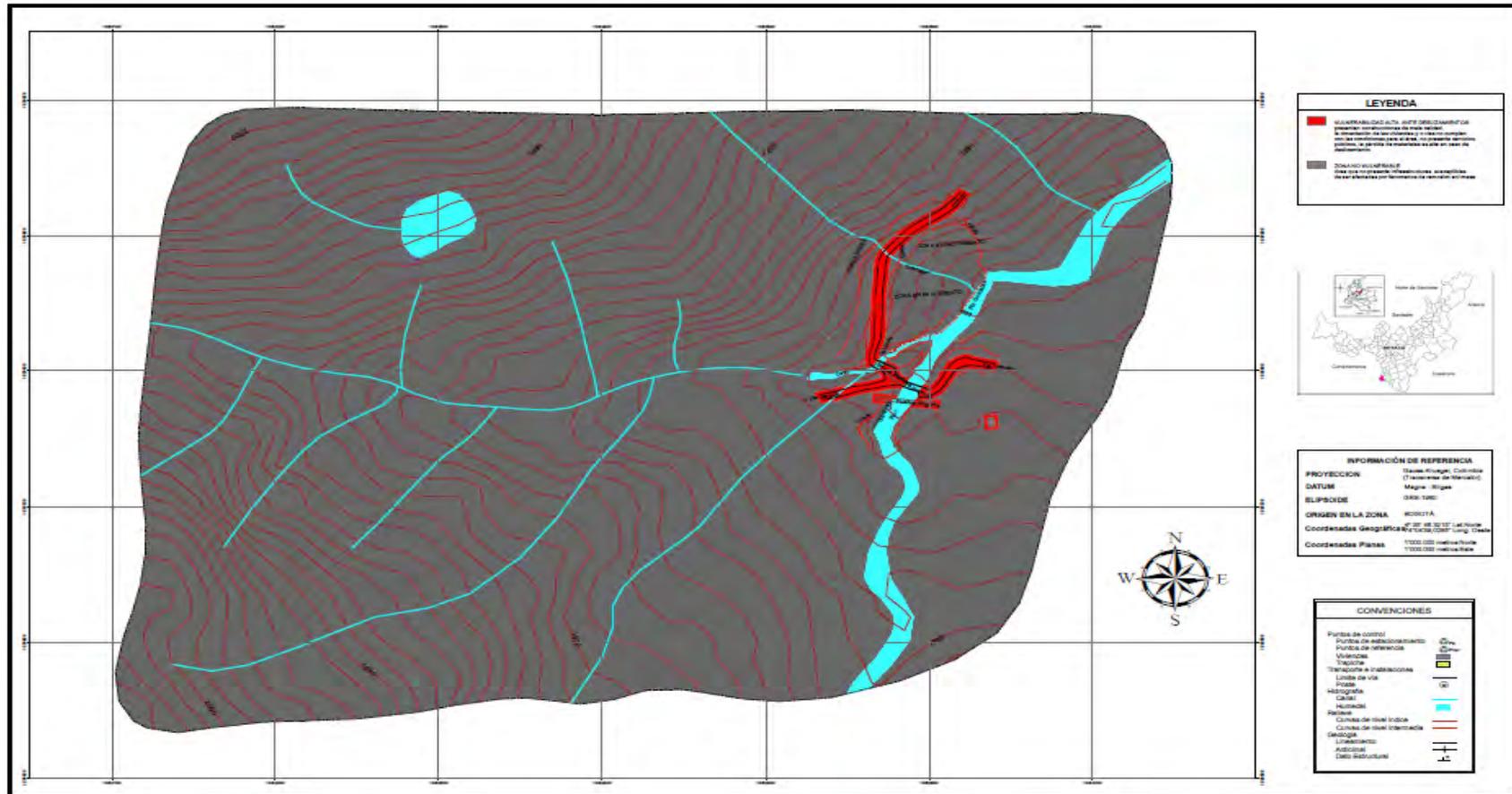
Para determinar la vulnerabilidad de las edificaciones ante deslizamientos, se empleó el cálculo del denominado Índice de Vulnerabilidad Física (IVF), utilizando para tal efecto la metodología propuesta por Leone y modificada por Soler . En resumen, el trabajo consiste en calcular los índices de vulnerabilidad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

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

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

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

Figura 40. Imagen Mapa de Vulnerabilidad Física y Social



Fuente: Resultados del estudio.

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 GUAYATA VEREDA TENJO ABAJO. SECTOR LA BATEA

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

Fotografía 22. **Sector la batea.**



Fuente: Registro fotográfico.

1. Tipo de sector Urbano o rural.

El sector evaluado se encuentra ubicado en la vereda tenjo abajo, sector la batea, zona rural del municipio afectado por un movimiento en masa desde hace aproximadamente ocho (8) meses, donde el punto más álgido ha sido la quebrada

sochaquira, ya que esta arrasó con un puente vehicular y peatonal dejando a sector incomunicado.

2. La vivienda es propia o arrendada.

Dentro del área cercana al movimiento se encuentran tres viviendas habitadas, con un factor común y preocupante, en ellas viven mujeres adultas mayores una en cada vivienda respectivamente, cuyas edades son 69, 72 y 89 años, las cuales son propietarias de las mismas, y manifiestan preocupación por la falta de interés de las entidades competentes en brindarles ayuda integral para superar la emergencia.

3. Servicios con que cuenta la vivienda.

Todas las viviendas habitadas cuentan con servicios básicos de agua y luz, los cuales se prestan de forma constante en el sector, por lo que manifiestan no tener quejas al respecto.

Fotografía 23. Vivienda evaluada.



Fuente: Registro fotográfico.

4. Servicio de acueducto.

Dos (2) de las viviendas cuentan con servicio de acueducto vereda, y una (1) no cuenta con este servicio de forma continua.

5. Servicio de 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.

Dos (2) adultas mayores cuentan con seguridad social del régimen subsidiado, y la otra cuenta con seguridad social contributiva. Aunque todas cuentan con servicios de salud, lo que más les preocupa es que ante una emergencia por enfermedad no hay una vía que les permita acceder a estos servicios en forma oportuna, lo que pondría en riesgo su vida.

Fotografía 24. **Adulta mayor habitante del sector.**



Fuente: Registro fotográfico.



7. Discapacidad

A pesar de las condiciones de edad y salud de las habitantes encuestadas, estas no presentan diagnóstico de discapacidad.

8. Presencia de Niños (a).

En ninguna de las viviendas evaluadas hay presencia de menores, sin embargo de las partes altas de las veredas tenjo arriba y tenjo abajo, descienden diariamente alrededor de 12 menores de edad que se dirigen a cumplir con sus rutinas académicas, arriesgando sus vidas al pasar por un corto sendero peatonal, cargado de lodo y maleza, que en cualquier descuido puede provocar una accidente fatal para alguno de los menores al deslizarse y caer al río.

9. Ocupación de los niños que habitan las viviendas

En las viviendas cercanas evaluadas no hay presencia de menores, sin embargo si hay menores de la zona que se encuentran escolarizados y se ven obligados a pasar por la zona de amenaza más álgida del movimiento, la quebrada sochaquira.

10. Adultos mayores.

Las tres personas visitadas son adultas mayores, las cuales requieren de atención y trato especial.

11. Estrato de la vivienda

Las viviendas que se encuentran dentro del área de influencia del movimiento del terreno pertenecen al estrato 1, según lo manifestado por las personas que las habitan.

12. Tipo de vivienda.

Todas las viviendas son de tipo unifamiliar, cumpliendo con las características propias de las viviendas del área rural. Sus propietarias las habitan solas, y manifiestan que requieren de ayuda para mantener en pie las estructuras de las mismas.

Fotografía 25. Vivienda del sector.



Fuente: Registro fotográfico.

13. Área aproximada de las viviendas.

Dos (2) de las viviendas cuenta con alrededor de 50 Mtrs de área construida y la otra con 80Mtrs de área construida. Es de resaltar que en dos ellas no todas las áreas construidas se encuentran habitables, por el avanzado deterioro de las mismas.

		<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 que tiene la vivienda.

Las tres (3) viviendas evaluadas son de un solo piso y no se tiene expectativas de realizar ningún tipo de ampliaciones a las mismas, según lo manifiestan sus dueñas.

15. Edad tiene la construcción.

Las construcciones evaluadas tienen más de 21 años de construidas, por lo que sus estructuras se encuentran deterioradas por el paso natural de los años, pero a la vez muestran afectaciones directas que al parecer según lo manifiestan sus dueñas, son causa del movimiento del terreno que se ha presentado después de las fuertes lluvias que han caído en la zona.

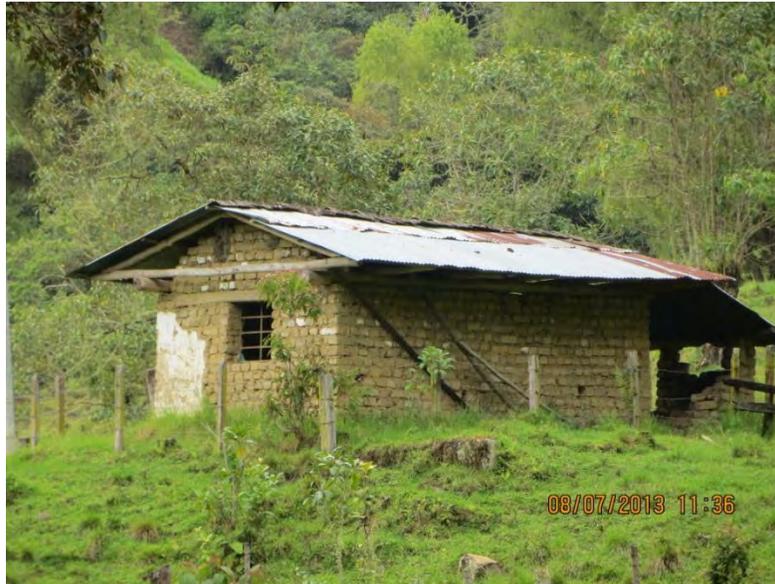
16. La armazón de la vivienda es:

La armazón de las viviendas que predomina es el adobe, aunque una de ellas presenta pequeñas modificaciones en bloque.

17. La cubierta de la vivienda es de:

Dos (2) de las viviendas presentan coberturas de techo en teja de zinc, y la otra(1) en eternit. Todas bastante deterioradas lo que favorece la presencia de filtraciones de agua a través de ellas, afectando la calidad de vida de las adultas mayores que las habitan.

Fotografía 26. Vivienda abandonada.



Fuente: Registro fotográfico.

18. Los muros de la vivienda son en:

Predominan en las viviendas los muros en material de adobe, conservado la originalidad de las mismas.

19. El acabado de los pisos es de:

Una (1) vivienda a la cual se le han hecho algunos reforzamientos a su estructura presenta pisos en baldosa común, otra (1) en avanzado deterioro presenta pisos en tierra y la otra tiene utiliza como piso tablas de madera rustica, la cual se observa muy deteriorada.

20. El estado de la construcción es:

Dos (2) de las viviendas presenta un estado de la construcción malo, lo que ameritaría una reubicación de estas adultas mayores y la otra (1) presenta un

estado regular, ya que se le han hecho algunas adecuaciones para sostener su estructura.

21. La construcción anteriormente ha sufrido daño por:

Los daños que han terminado de agudizar la estabilidad de las estructuras de las viviendas, se deben según las personas que las habitan al movimiento progresivo del terreno sobre el cual se hallan construidas.

22. El daño sufrido por la vivienda fue:

Una (1) de las viviendas ha sufrido daños moderados, otra (1) daño fuerte y la otra daño severo, por lo que es necesario, tomar medidas para minimizar los efectos del movimiento sobre las mismas, para proteger la salud y la vida de las personas que las habitan.

23. La parte de la construcción más afectada fue:

Las zonas más afectadas de las viviendas son los muros, seguidos por los pisos y las cubiertas.

Fotografía 27. Agrietamiento de paredes en vivienda visitada.



Fuente: Registro fotográfico.



24. La vivienda cuenta con bases:

Ninguna de las viviendas evaluadas cuenta con bases según lo manifiestan sus dueñas, factor que representa un riesgo más para las personas que las habitan, por la poca estabilidad de sus estructuras y la edad de las construcciones.

25. Causa de Inestabilidad del suelo:

Las dueñas de las viviendas visitadas coinciden en que la inestabilidad del suelo es causada por el movimiento en masa que se presenta hace ya varios meses en la zona al cual ninguna entidad le ha prestado verdadera atención.

26. Ingresos económicos de la familia:

Las personas que habitan la zona manifiestan contar con pocos recursos económicos, siendo así que dos de las adultas mayores que habitan la zona subsisten con menos de la mitad de un SMMLV, y solo una tiene una pensión cercana a un SMMLV.

27. Familia extensa.

Dos (2) de las adultas mayores no cuentan con familia extensa en la cual apoyarse en caso de una emergencia o necesidad y una (1) manifiesta que si cuenta con este tipo de red social de apoyo.

Fotografía 28. Grietas en el piso de la vivienda.



Fuente: Registro fotográfico.

28. Ha implementado acciones para mitigar el riesgo.

Solo una de las dueñas de vivienda cercana a la zona de influencia del movimiento ha realizado acciones de sostenimiento de estructura en su vivienda, las otras dos, manifiestan no tener los recursos ni la ayuda para poder actuar al respecto.

Fotografía 29. Refuerzo de columnas en vivienda.



Fuente: Registro fotográfico.

29. Está capacitado para afrontar una situación de riesgo.

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

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

Las adultas mayores manifiestan que en caso de presentarse un evento catastrófico su reacción sería salir corriendo, buscando un lugar seguro, el cual no tienen claro cuál puede ser.

31. Tiempo que hace que se presentó el deslizamiento.

Todas coinciden en que el deslizamiento se comenzó a presenta hace menos de un año, y temen que este se agudice con la llegada de la próxima ola invernal a la zona.

Fotografía 30. Paso peatonal peligroso.



Fuente: Registro fotográfico.

32. Conocía esta situación cuando comenzó a vivir aquí.

Las personas visitadas en la zona evaluada llevan mucho tiempo viviendo en la vereda y manifiestan que hasta hace unos meses está era estable y no tenía los problemas de movimientos de terreno que presenta ahora, lo que ha afectado principalmente las vías de acceso y salida de la misma.

33. Esta situación ha producido en su familia:

Las personas que habitan las viviendas de la zona de influencia del deslizamiento, presentan un temor generalizado ante la posibilidad de que ocurra un evento catastrófico, pero aun así manifiestan que carecen de recursos para irse a vivir a otro lugar más seguro.

34. Depende económicamente del predio.

Solo una de las tres adultas mayores manifestó que depende de los predios que habita para obtener los recursos económicos para sus gastos de manutención, las otras dos aunque no dependen económicamente del predio en el que viven, esté si es su única posesión de habitación con la que cuentan.

35. Qué uso tiene o tenía el predio.

El uso primordial que tienen los predios es de lugar de habitación.

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

Ninguna persona habitante de las viviendas manifestó tener conocimiento de que su municipio adelante jornadas de capacitación en prevención de riesgos, aunque consideran que éstas serían muy necesarias por las condiciones en que se encuentran principalmente las vías de acceso a la vereda. Las cuales se han convertido en un riesgo para las personas que a diario las transitan.

Fotografía 31. Quebrada sochaquira.



Fuente: Registro fotográfico.

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

Ninguna de las tres adultas mayores le gustaría trasladarse a otro lugar, por el contrario esperan recibir la ayuda necesaria para continuar viviendo en esta zona pero en un lugar más estable.

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

Las personas manifiestan no haber tenido ninguna visita por parte de esta entidad, y por el contrario han sido ellas las que han solicitado ayuda ante las autoridades competentes sin obtener hasta ahora mayores respuesta y resultados de sus solicitudes.

39. Que esperaran de la Alcaldía Municipal

Dos (2) de las adultas mayores esperarían que les ayudara a construir una vivienda digna en un lugar más estable y la otra espera que se le brinde pronta atención al manejo del riesgo en el que vive, para minimizar los efectos del invierno en la zona.

Fotografía 32. **Vía de la vereda incomunicada a causa del deslizamiento.**

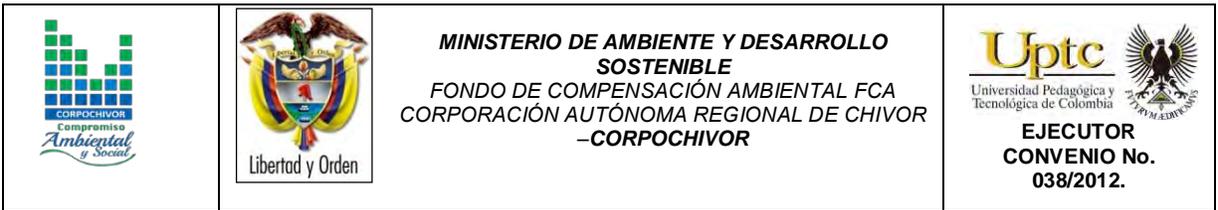


Fuente: Registro fotográfico.

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

40. Género:

En la zona de influencia del deslizamiento se encuentran habitando tres (3) mujeres adultas mayores, quienes son la población más vulnerable de la zona, junto con aproximadamente 12 menores de edad que aunque no habitan el área de influencia del deslizamiento, si tienen que utilizar todos los días el paso de más algeidez y peligrosidad que presenta la zona y es la quebrada sochaquira, para poder asistir a sus clases académicas.



10 OBRAS RECOMENDADAS

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

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

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

11 CONCLUSIONES

- El movimiento 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.
- En ninguna de las viviendas evaluadas hay presencia de menores, sin embargo de las partes altas de las veredas tenjo arriba y tenjo abajo, descienden diariamente alrededor de 12 menores de edad que se dirigen a cumplir con sus rutinas académicas, arriesgando sus vidas al pasar por un corto sendero peatonal, cargado de lodo y maleza, que en cualquier descuido puede provocar una accidente fatal para alguno de los menores al deslizarse y caer al río.
- Con ayuda del software Res2DINX64, se relacionaron datos de las respectivas resistividades de los materiales del área obtenidas por el equipo, resultando así el modelamiento del talud, donde se observan que el área está conformada por dos unidades Geoelectricas bien definidas, donde encontramos niveles de lutitas con rangos de resistividades que



oscilan entre 34.3 – 123 Ω *m, y arcillas que poseen resistividades que oscilan entre 13.2 – 24.9 Ω *m.

12 RECOMENDACIONES

- Debido a la amenaza y vulnerabilidad de las viviendas ubicadas en el entorno de la zona del deslizamiento y que se encuentren dentro de una franja de 50 m de la misma deberán ser evacuadas y sus habitantes reubicados con el objeto de minorizar el riesgo.
- Actualmente se usa el lecho del río como calzada de circulación vehicular sobre una batea en concreto reforzado. Esta estructura no es confiable ya que su cimentación presenta socavación y la estructura está fracturada.
- Se recomienda modificar el trazado de la vía y reubicar el paso vehicular sobre el río con la construcción de un puente. Se requiere ampliar los estudios para caracterizar el sitio geotécnicamente.
- Se recomienda la construcción de una canal trapezoidal (ver ubicación en Plano de Obras de Mitigación) por la zona de drenaje natural del terreno, con el objeto de captar el agua de escorrentía y dirigirla al río, evitando así el arrastre de material.
- Como obras de mitigación se recomienda la construcción de muros de contención para recuperar y proteger la rivera del cauce, muro e tierra armada para manejar y controlar la unión de los dos cauces en el sitio del puente actual y gaviones para estabilizar la ladera.
- Se propone la construcción de un box culbert con dissipador para regular el caudal en el sitio del puente peatonal.



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.