

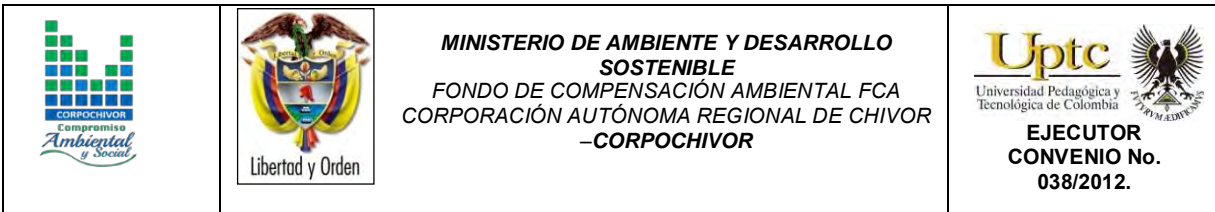


## INFORME FINAL



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

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


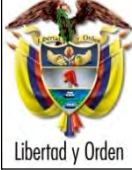



## INTRODUCCION

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 Bayeta Municipio de Tibana.

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

## 1 GENERALIDADES

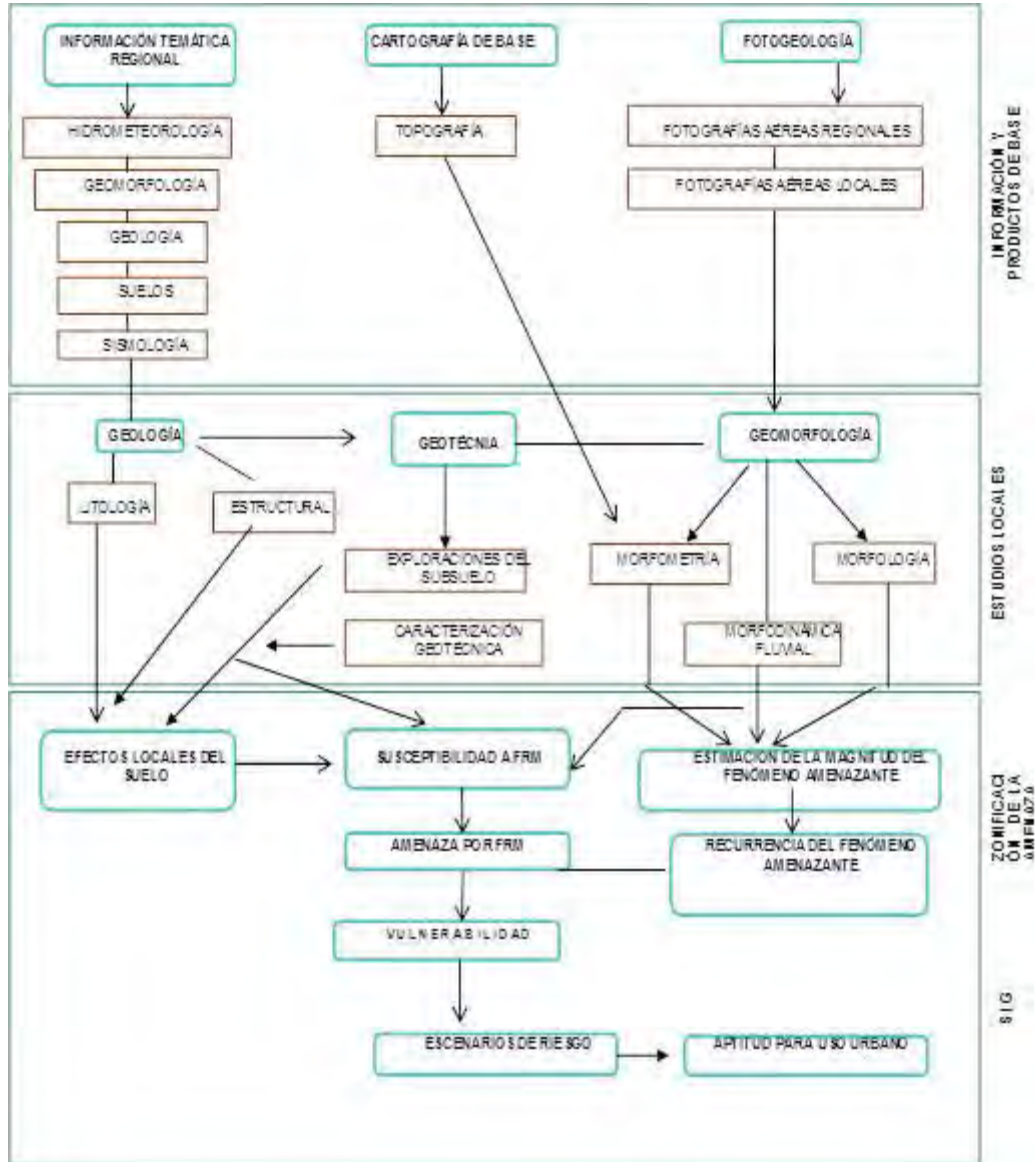
### 1.1. PRESENTACION (JUSTIFICACION Y ALCANCE)

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

## 1.2.2 Metodología



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

### 1.3. LOCALIZACIÓN.

Figura 1. Localización geográfica.

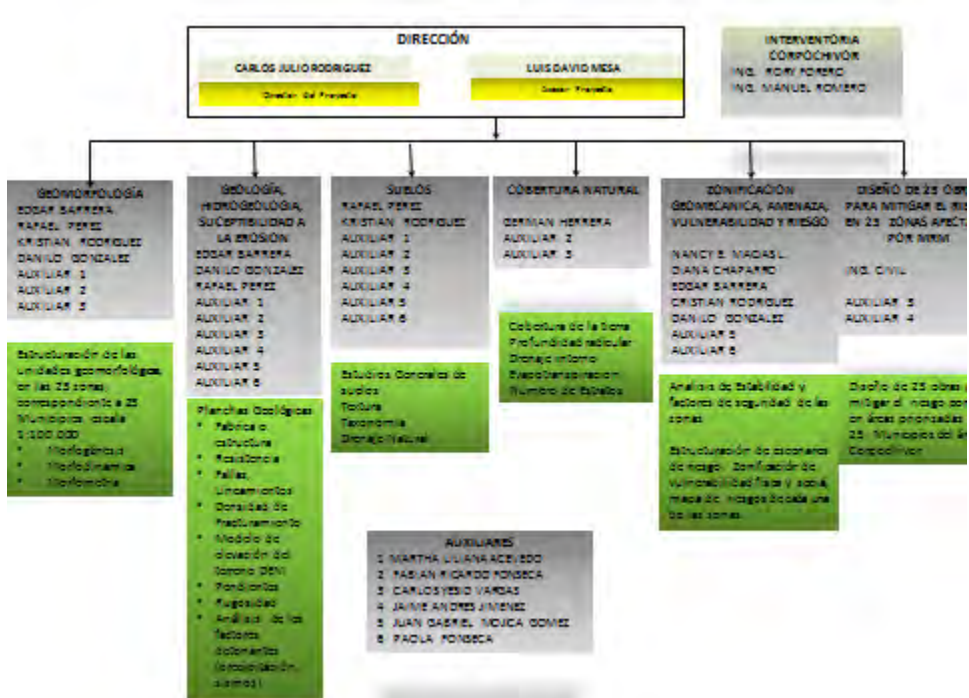


Fuente: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colombia\\_-\\_Boyaca\\_-\\_Tibana.svg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colombia_-_Boyaca_-_Tibana.svg)

El área de Estudio se encuentra en las coordenadas N 1080190, E 1071152, a una altura de 2273 msnm; en la Provincia de Márquez, en el Municipio de Tibana, en la vereda Bayeta.

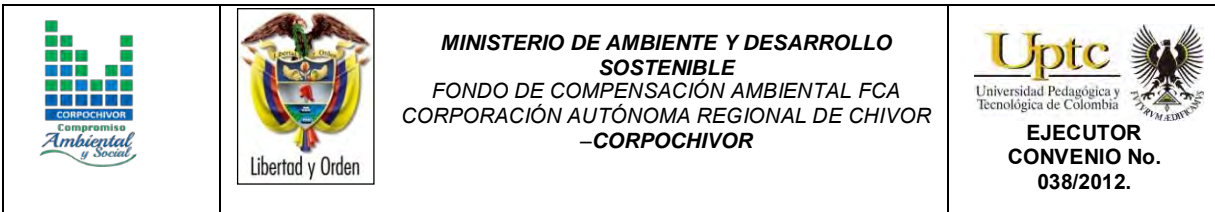
### 1.4. PERSONAL

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



ORGANIGRAMA





## 1.5. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES REALIZADAS

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

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

### 1.5.1. Trabajo de campo

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

El trabajo de campo consistió en:

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

muestras para análisis, cuya profundidad de exploración varió de los 2 a los 10 m (Anexo 3 y figura 2).

Fotografía 1. Exploración directa del subsuelo (SPT)



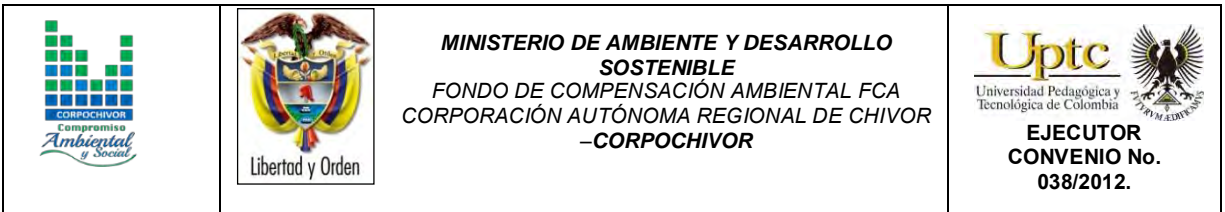
Fuente: Resultado del estudio.

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

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

Levantamiento Geológico y Geotécnico de la zona: Comprende el reconocimiento del lugar, haciendo el levantamiento geológico que permitió conocer la litología, rasgos estructurales, grado de alteración de la roca, depósitos no consolidados y





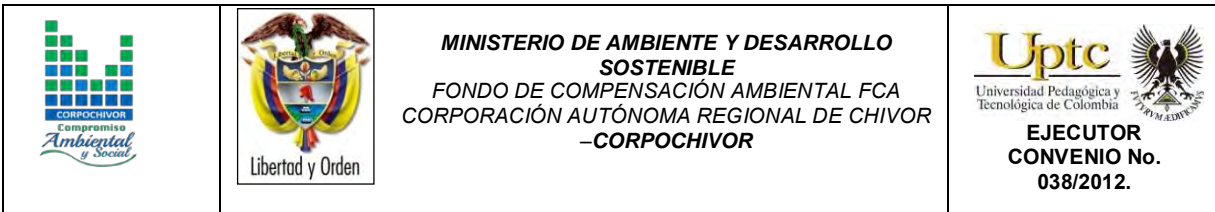
demás detalles de utilidad que sirvieron para crear el modelo geológico local (escala 1: 500). Con el fin de conocer en detalle la naturaleza del subsuelo, y la caracterización de cada uno de los FRM se realizó la exploración del subsuelo mediante la realización de apiques, perforaciones.

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

**Diagnóstico estructural de viviendas.** Se realizó un inventario de tres (3) viviendas, 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 natural, peso unitario, compresión inconfínada, Corte Directo, Coeficiente de Permeabilidad Propiedades Físicas, Tilt Test, Carga por punta, Angulo de reposo.



### 1.6.1. Trabajos de Oficina




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

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

Las planchas geológicas del IGAC tomadas en cuenta, fueron la 191 y 210, a escala 1:100.000.; los datos de pluviometría del IDEAM de los años de 1959 a 2011, de las estaciones de Ramiriquí, Villa Luisa, Puente Adriana y Tibana.

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

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

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

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.

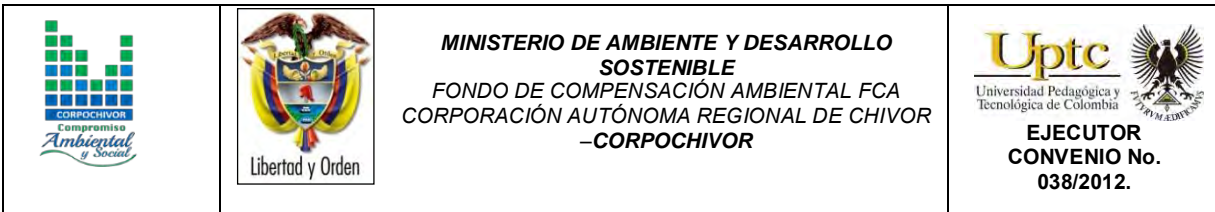
## 1.8. ESTADO DE LA INFORMACIÓN

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, geoeléctrica, Tomografías, 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.



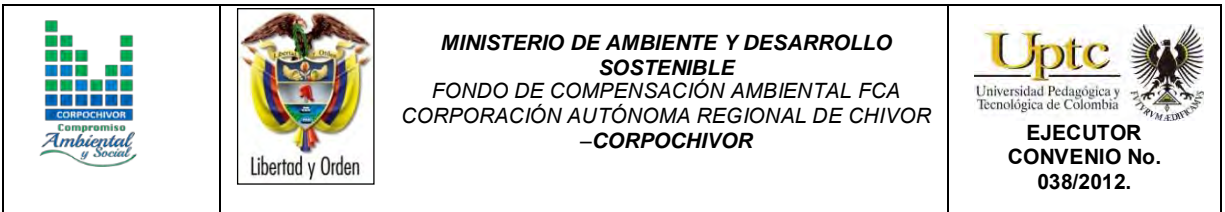
## 2 ASPECTOS CLIMATICOS E HIDROLOGICOS

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.

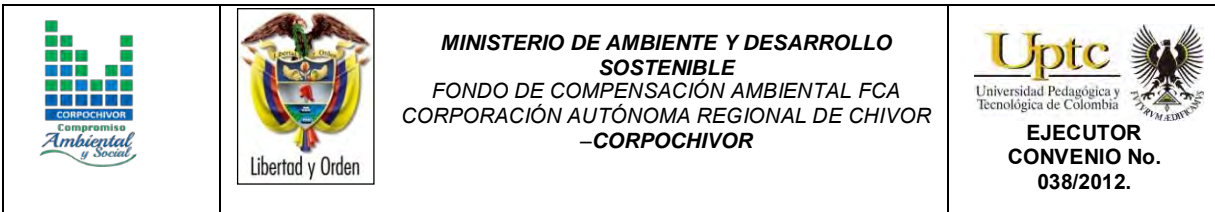
## **2.1. ANÁLISIS HIDROLÓGICO**

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 Tibana 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.

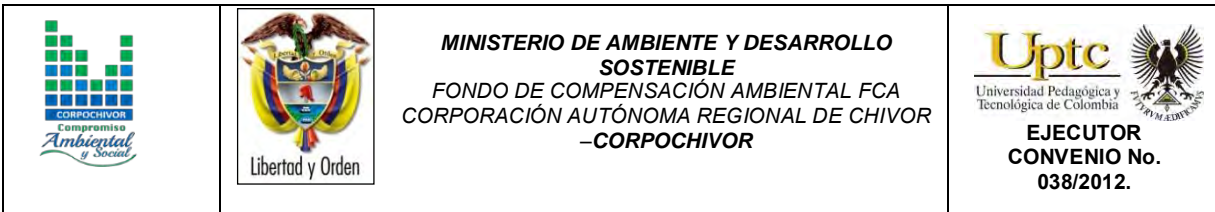
### 2.3. ESTIMACIÓN DE LA ESCORRENTÍA

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



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

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

**Dónde:**

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

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

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

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

Tabla 2. Escorrentía Estación Tibana, suelo tipo ML

P	R	SML(A)	CN
78.125	1.9695455	286.4255	47
82.041667	1.9695455		
82.041667	1.3273344		
77.458333	1.8274805		
81.095833	2.530127		
85.5	7.5825585		
107.83333	3.6341839		
91.416667	2.6309498		
86.083333	1.2592362		
76.916667	4.2252437		
94.25	1.7344981		
80.458333	3.3860726		
90.166667	0.2110686		
65.166667	1.3009446		
77.25	0.0239576		
59.916667	0.4507338		
68.875	3.4105309		
90.291667	1.0412628		

Fuente: Resultado del estudio

Tabla 3. Escorrentía Estación Tibana, suelo tipo OL

P	R	SOL(B)	CN
78.783333	13.728115	125.1045	67
73.891667	10.335513		
66.516667	9.6535721		
64.933333	31.263766		
105.11667	11.795563		
69.783333	8.4535722		
62.041667	17.174537		
80.75	35.465304		
111.68333	19.654765		
85.4	32.305357		
106.76667	23.894793		
92.933333	0.0105494		
26.175	99.598344		
197.05	64.265218		
152.4025	52.211453		
136.05833	117.41024		
218.39167	79.056298		
171.56667	60.428872		
147.28333	23.321879		
91.941667	50.266154		
133.34167	17.431522		
81.241667	6.2552239		

Fuente: Resultado del estudio

Tabla 4. Escorrentía Estación Tibana, suelo tipo OL

75.083.333	0.2336445
65.583.333	15.076.807
78.833.333	16.808.513
80.083.333	16.903.315
80.15	0.475848
69.2	0.1419712
63.733.333	0.2806106
66.391.667	0.5864094
70.541.667	17.189.201
80.35	0.7789601
72.616.667	14.321.277
0	0.6767332
71.55	15.009.357

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 6 estaciones climatológicas (Tabla 5) 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 52 años (1959-2011), 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 5. Estaciones pluviométricas utilizadas en la estimación de la precipitación para el área de estudio.

<b>CODIGO</b>	<b>NOMBRE ESTACION</b>	<b>CORRIENTE</b>	<b>NOMBRE DEPARTAMENTO</b>	<b>NOMBRE MUNICIPIO</b>
<b>35070030</b>	VILLA LUISA	RIO TEATINOS	BOYACA	RAMIRIQUI
<b>35070010</b>	RAMIRIQUI	RIO JENESANO	BOYACA	RAMIRIQUI
<b>35077090</b>	PUENTE ADRIANA	RIO JENESANO	BOYACA	JENESANO
<b>35070040</b>	TIBANA	RIO TIBANA	BOYACA	TIBANA
<b>35075010</b>	NUEVO COLON	RIO TURMEQUE	BOYACA	NUEVO COLON
<b>35070030</b>	TURMEQUE	RIO TURMEQUE	BOYACA	TURMEQUE

Fuente: Resultado del estudio.

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



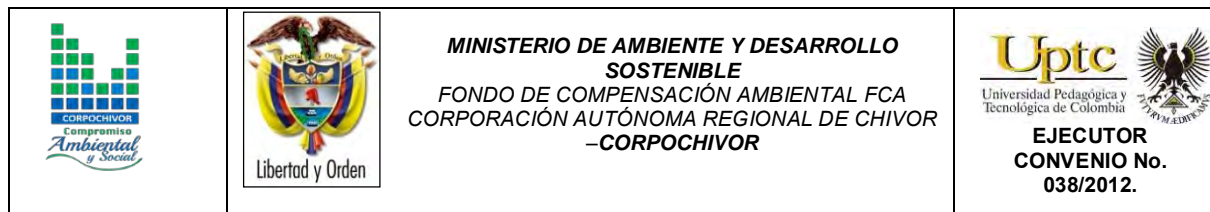


Tabla 6. Precipitación media multianual mensual por estación.

NOMBRE ESTACION	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	AÑO	ANUAL	PROMEDIO AÑO
TIBANA													1958		
TIBANA	1,5	18	27,5	72,5	142,5	91	164	139	85	105	61,5	30	1959	2896,5	78,125
TIBANA	6,5	19	60	69	106	109	138	129	121	98	42	87	1960	2944,5	82,04166667
TIBANA				984,5									1961	2945,5	82,04166667
TIBANA	13	9	67,5	31	201	144	165	73	84	79	63		1962	2891,5	77,45833333
TIBANA	20,18	16,38	36,68	83,88	151,03	143	187	146	62	40	76	11	1963	2936,15	81,09583333
TIBANA	0	13	3	90	145	134	180	87	149	92	67	66	1964	2990	85,5
TIBANA	9	19	42	108	199	146	128	139	115	202	167	20	1965	3259	107,8333333
TIBANA	9	1	70	47	74	136	179	134	118	77	181	71	1966	3063	91,41666667
TIBANA	33	1	39	141	145	169	122	143	102	51	78	9	1967	3000	86,08333333
TIBANA	17	39	23	114	71	122	145	122	92	109	61	8	1968	2891	76,91666667
TIBANA	91	25	14	131	132	118	155	116	85	169	57	38	1969	3100	94,25
TIBANA	51	63	12	50,5	130	112	169,5	127,5	73	117,5	37	22,5	1970	2935,5	80,45833333
TIBANA	46	19	48	53	247	110	138	129	102	110	46	34	1971	3053	90,16666667
TIBANA	46	17	42	124	116	81	75	75	100	47	59	0	1972	2754	65,16666667
TIBANA	2	0	8	56	123	122	107	174	142	88	74	31	1973	2900	77,25
TIBANA	20	24	63	82	47	60	74	80	81	105	83	0	1974	2693	59,91666667
TIBANA	2	38	49	36	59	116	86	128	62	100	86	64,5	1975	2801,5	68,875
TIBANA	7	15	44	85	138	178	157	99	98	141	100	21,5	1976	3059,5	90,29166667
TIBANA	0	5	21	74	118	178	106	130	130	61	70	8	1977	2878	75,08333333
TIBANA	3	7	51	139	97	107	85	119	91	45	25	18	1978	2765	65,58333333
TIBANA	2	6	24	114	74	173	112	101	46	127	129	38	1979	2925	78,83333333
TIBANA	17	2	23	62	94	216	117	114	102	149	44	21	1980	2941	80,08333333
TIBANA	5	36	25	146	193,2	111,5	117,4	88,9	87,1	83,1	42,5	26,1	1981	2942,8	80,15
TIBANA	33,6	21,2	59,8	93,4	141	96,6	103,9	87,6	72,1	77,7	25,5	18	1982	2812,4	69,2
TIBANA	3,6	44,3	17,3	109,8	91,2	77,6	137,3	91,3	69,1	68,3	22,5	32,5	1983	2747,8	63,73333333

Fuente: Resultado del estudio.

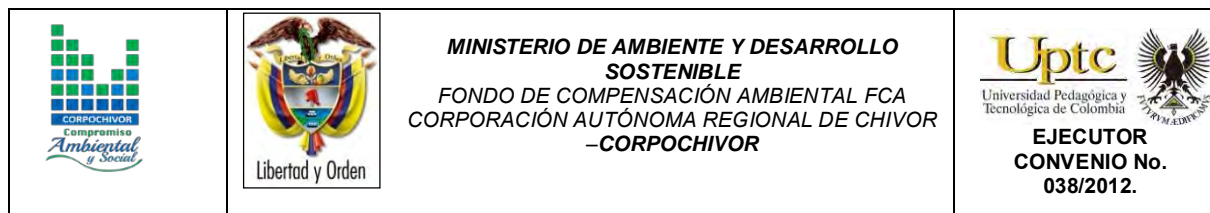


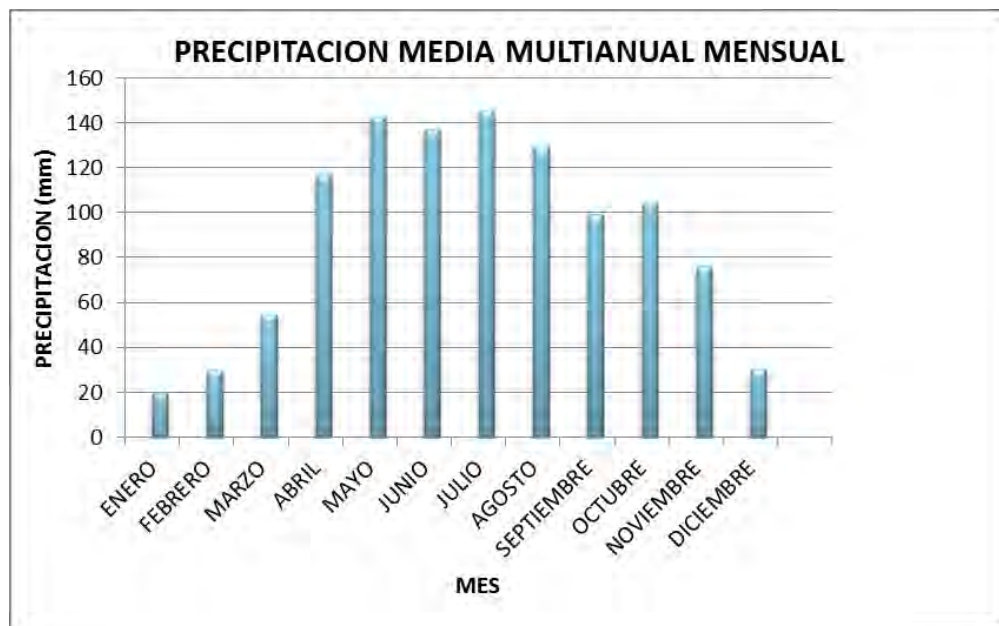
Tabla 7. Precipitación media multianual mensual por estación.

TIBANA	29	36,9	20,4	66,4	82	94,8	140,5	112,5	106,4	18,8	79,8	9,2	1984	2780,7	66,39166667
TIBANA	14,7	1	41,6	40,8	101,9	180,5	98,8	107,5	94,8	56,6	76,8	31,5	1985	2831,5	70,54166667
TIBANA	5,4	99,4	55,3	107,2	74,6	149,6	115,8	55	103,8	124,6	58,3	15,2	1986	2950,2	80,35
TIBANA	5,2	31,7	18	81,8	111,6	114,3	138	130,6	65,7	111,2	49,5	13,8	1987	2858,4	72,61666667
TIBANA	31,1	10	122,7	44,6	181,6	79,9	90,2	65,5	73,1	78,1	64,3	17,5	1989	2847,6	71,55
TIBANA	27,4	25,8	55,3	114,6	128,9	117,6	110,5	108,8	60,1	103,2	61,6	31,6	1990	2935,4	78,78333333
TIBANA	0,1	8,8	51,3	67	114,3	104	186,6	151,3	84,1	58,8	59,9	0,5	1991	2877,7	73,89166667
TIBANA	3,1	21,5	39,7	56	94,5	59,7	147,4	128,2	80	31,1	126,5	10,5	1992	2790,2	66,51666667
TIBANA	9,2	2,3	44,7	50,2	156,9	109,9	114,4	77,2	74,2	63	60,3	16,9	1993	2772,2	64,93333333
TIBANA	2,8	26	28,6	78	163	102	150	135	119	333	74	50	1994	3255,4	105,11666667
TIBANA	15	5	67	139	114,9	111,3	112,2	64,7	65,4	38,3	65	39,6	1995	2832,4	69,78333333
TIBANA	40,3	50,7	45,1	67,5	125,5	137,2	142,3				63,7	72,2	1996	2740,5	62,04166667
TIBANA	27,6	29,7	33,9	46,4	84,4	66,7	170,7	172,3	107,5	66,7	141,6	21,5	1997	2966	80,75
TIBANA	7,5	28,4	63,5	128,6	240,8	192,3	249,1	91,1	69,3	166	69,6	34	1998	3338,2	111,68333333
TIBANA	21,3	84,7	65,5	115,7	83,1	132,9	131,3	42,4	147,5	116,4	56,5	27,5	1999	3023,8	85,4
TIBANA	14,8	88,8	77,6	47,6	151,1	175,8	142,4	158,1	139,8	118,8	111,3	55,1	2000	3281,2	106,76666667
TIBANA	0	6,8	13,5	30	129,9	147,1	97,9	211,6	159,5	87,6	130,3	101	2001	3116,2	92,93333333
TIBANA	4,6	30,8	71,2	207,5									2002	2316,1	26,175
TIBANA	103,7	235,5	267,9	207,5	411,5	225,6	244,8	329,8	208	130,3			2003	4367,6	197,05
TIBANA	10,5	29	66,2	147,7	291,9	278,2	229,8	337,03	189,9	123,7	93,9	31	2004	3832,83	152,4025
TIBANA	33,9	29,9	43,7	162,5	186,4	181,7	215,4	269,3	253,4	229,6	26,9		2005	3637,7	136,05833333
TIBANA	37,5	0	140,1	179,8	259,1	413,7	423	375,5	369,5	239,8	151	31,7	2006	4626,7	218,39166667
TIBANA	2	9,5	81,7	165,1	288,6	273,3	245,1	382,5		303,3	180,1	127,6	2007	4065,8	171,56666667
TIBANA	50,4	67,4	80	66,4	187,2	282,6	255	216,1	157,9	156,8	183,9	63,7	2008	3775,4	147,28333333
TIBANA	44,4	27	104,2	142,9	84,5	179,6	128	149,7	59,2	132,6	37,2	14	2009	3112,3	91,94166667
TIBANA	4,2	40,7	54,9	157,3	155,1	167,1	312,3	85,2	97	209,6	230,2	86,5	2010	3610,1	133,34166667
TIBANA	39,9	75,4	225,9	261,2	372,5								2011	2985,9	81,24166667

Fuente: Resultado del estudio.

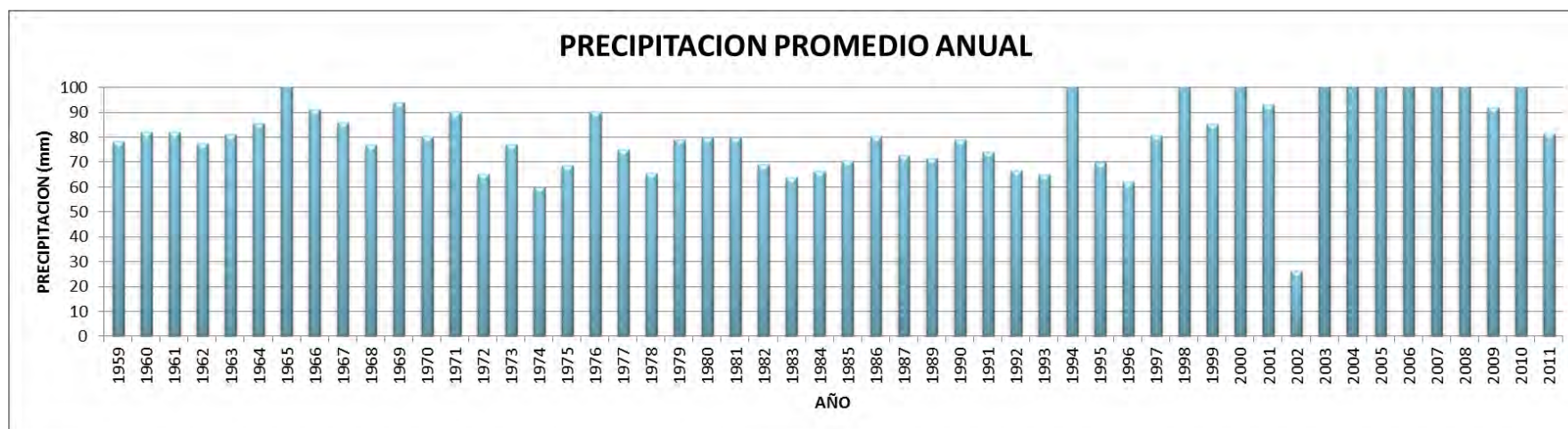
La precipitación media del área de estudio presenta un comportamiento bimodal, que muestra dos periodos de precipitación alta comprendidos en los meses Marzo- Junio y Septiembre-Noviembre (Figura 2) y dos periodos de sequía comprendidos en los meses Diciembre y Enero.

Figura 2. Gráfico de precipitación media multianual mensual.



Fuente: Resultado del estudio.

Figura 3. Gráfico de precipitación media multianual.

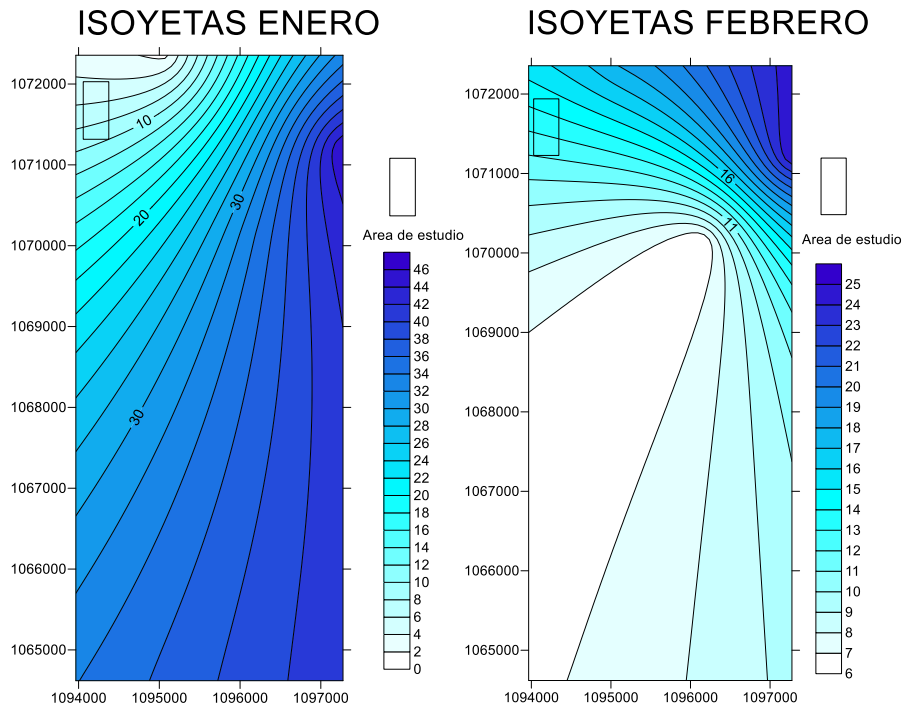


Fuente: Resultado del estudio

El comportamiento de la precipitación promedio anual, para los años 1974, 1978, 1983, 1984, 1985, 1996 (Figura 3) se encuentran valores que varían entre los 20 - 60 mm, en los años 1964-1965-1967-1969-1994-1998-2000-2001-2008-2010 se encuentran valores que varían entre los 80-100 mm y los años restantes se presentan valores que varían entre 60-90 mm.

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

Figura 4. Isoyetas mes de enero y febrero

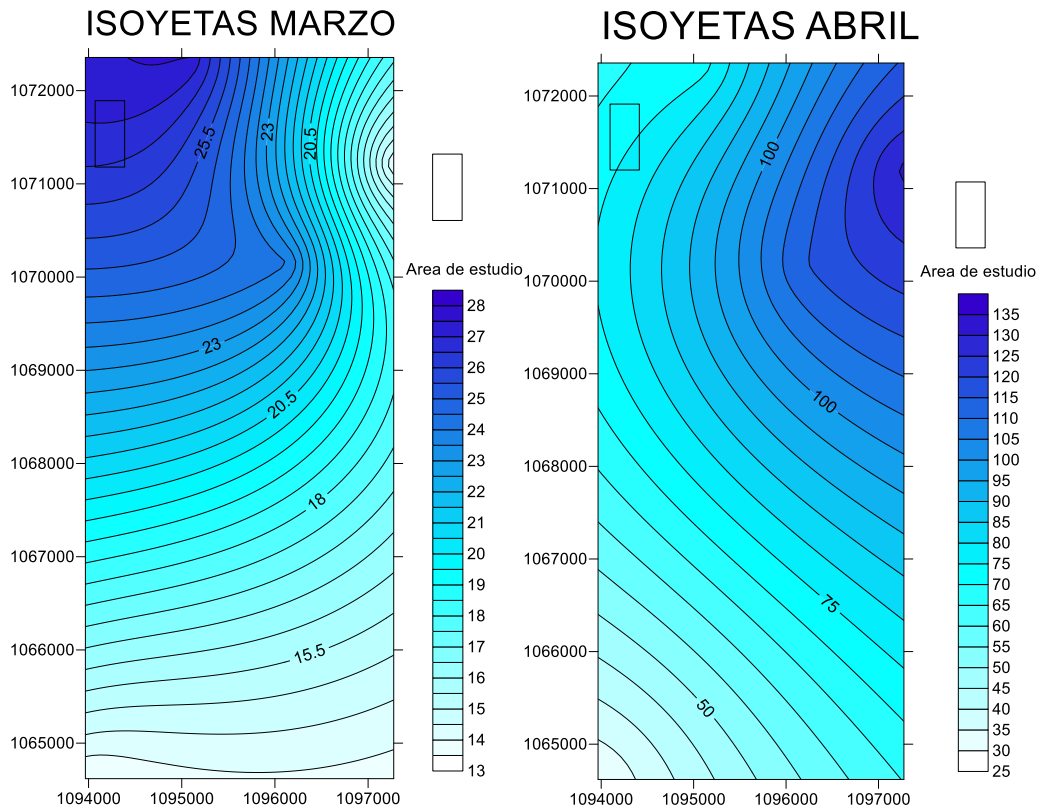


Fuente: Resultado del estudio

El comportamiento de la precipitación para el mes de Enero hacia la parte oriental se encuentran valores que varían entre los 30 – 46 mm. Hacia la parte nororiental se presentan valores que van desde los 2-20 mm. Hacia el sector sureste se presentan valores inferiores a 30 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Febrero hacia la parte oriental se encuentran valores que varían entre los 10 – 25 mm. Hacia la parte nororiental se presentan valores que van desde los 6 -16 mm. Hacia el sector sureste se presentan valores inferiores a 11 mm.

Figura 5. Isoyetas mes de Marzo y Abril



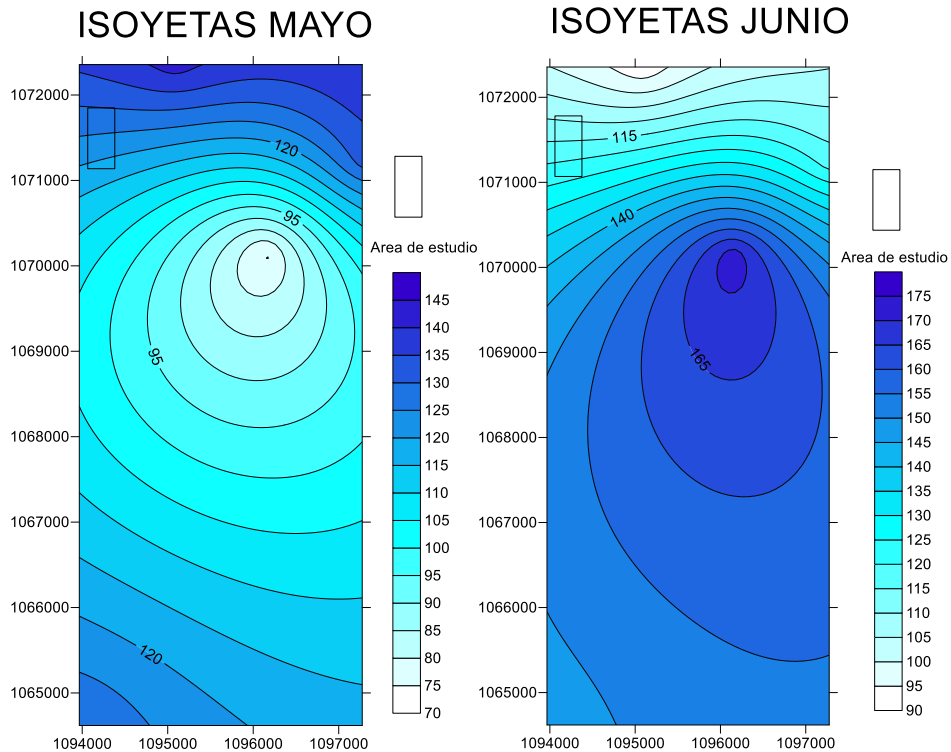
Fuente: Resultado del estudio

El comportamiento de la precipitación para el mes de Marzo hacia la parte occidental se encuentran valores que varían entre los 25.5 – 28 mm. Hacia la parte nororiental se presentan valores que van desde los 15-23 mm. Hacia el sector sureste se presentan valores inferiores a 15.5 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Abril hacia la parte occidental se encuentran valores que varían entre los 50 – 80 mm. Hacia la parte nororiental se presentan valores que van desde los 30-55 mm. Hacia el sector suroeste se presentan valores inferiores a 50 mm.



Figura 6. Isoyetas mes de Mayo y Junio



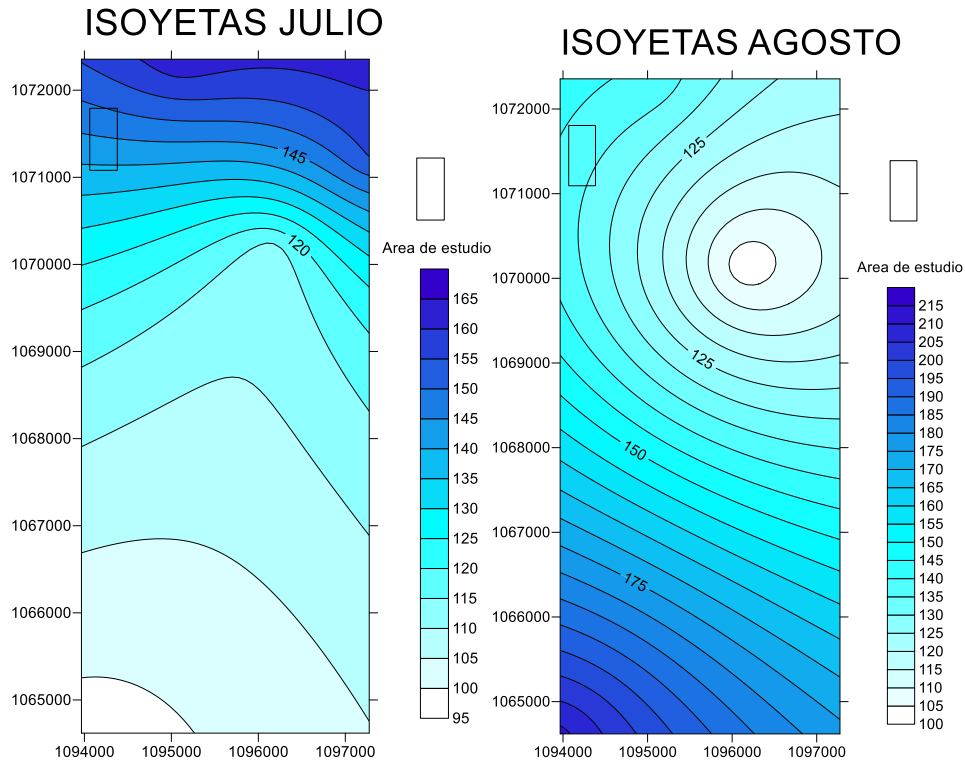
Fuente: Resultado del estudio

El comportamiento de la precipitación para el mes de Mayo hacia la parte occidental se encuentran valores que varían entre los 120 – 145 mm. Hacia la parte nororiental se presentan valores que van desde los 120 mm. Hacia el sector sureste se presentan valores inferiores a 120 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Junio hacia la parte occidental se encuentran valores que varían entre los 90 – 115 mm. Hacia la parte nororiental se presentan valores que van desde los 30-55 mm. Hacia el sector sureste se presentan valores superiores a los 165 mm.



Figura 7. Isoyetas mes de Julio y Agosto

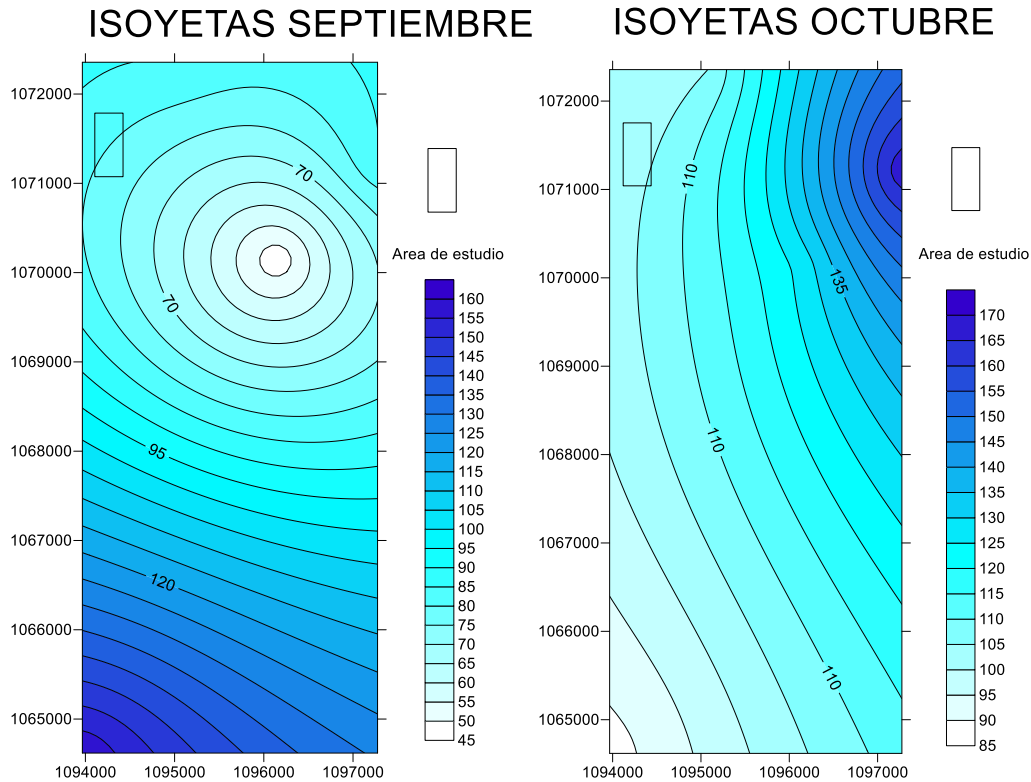


Fuente: Resultado del estudio

El comportamiento de la precipitación para el mes de Julio hacia la parte occidental se encuentran valores que varían entre los 145 – 165 mm. Hacia la parte nororiental se presentan valores que van desde los 145 mm. Hacia el sector sureste se presentan valores inferiores a 115 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Agosto hacia la parte occidental se encuentran valores que varían entre los 125 – 150 mm. Hacia la parte nororiental se presentan valores que van desde los 125 mm. Hacia el sector sureste se presentan valores superiores a 175 mm.

Figura 8. Isoyetas mes de Septiembre y Octubre

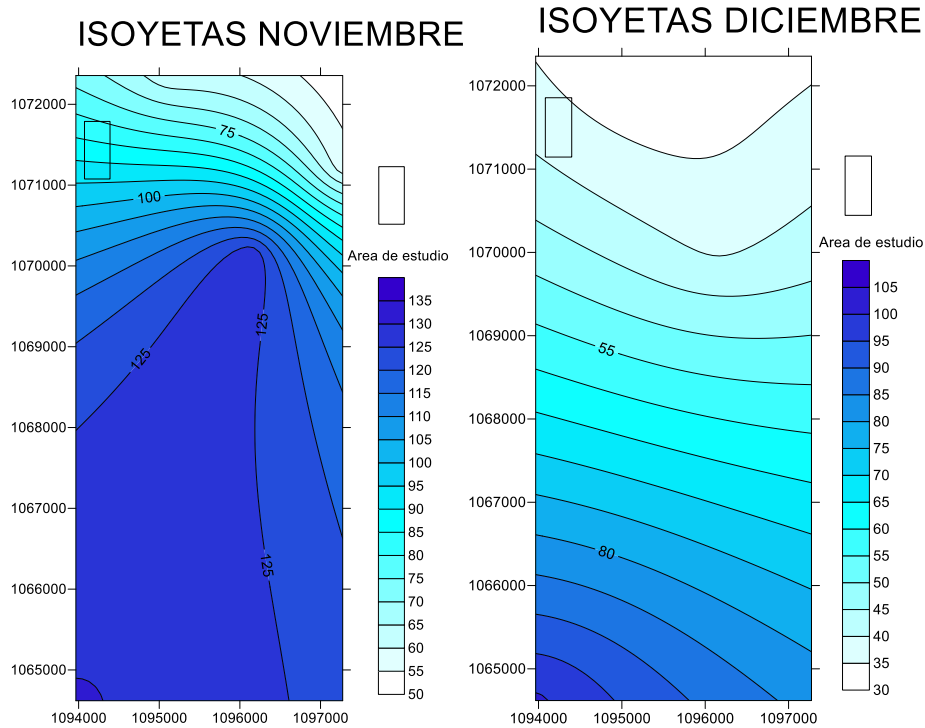


Fuente: Resultado del estudio

El comportamiento de la precipitación para el mes de Septiembre hacia la parte occidental se encuentran valores que varían entre los 45 – 70 mm. Hacia la parte nororiental se presentan valores que van desde los 70 mm. Hacia el sector sureste se presentan valores superiores a 120 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Octubre hacia la parte occidental se encuentran valores que varían entre los 95 – 110 mm. Hacia la parte nororiental se presentan valores que van desde los 135-170 mm. Hacia el sector sureste se presentan valores inferiores a 110 mm.

Figura 9. Isoyetas mes de Noviembre y Diciembre



Fuente: Resultado del estudio

El comportamiento de la precipitación para el mes de Noviembre hacia la parte occidental se encuentran valores que varían entre los 75 – 100 mm. Hacia la parte nororiental se presentan valores que van desde los 70 mm. Hacia el sector sureste se presentan valores superiores a 125 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Diciembre hacia la parte occidental se encuentran valores que varían entre los 30 – 45 mm. Hacia la parte nororiental se presentan valores que van desde los 30 mm. Hacia el sector sureste se presentan valores superiores a 80 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 8. Rangos de temperatura Tibana

	Temperatura (°C)
<b>Periodo 1</b>	18.7
<b>Periodo 2</b>	18.06
<b>Periodo 3</b>	18.5
<b>Periodo 4</b>	18.6

Fuente: Resultado del estudio

El valor de la humedad relativa (HR) se toma del POT del municipio de Tibana, que corresponde al valor del 75%. De donde obtenemos:

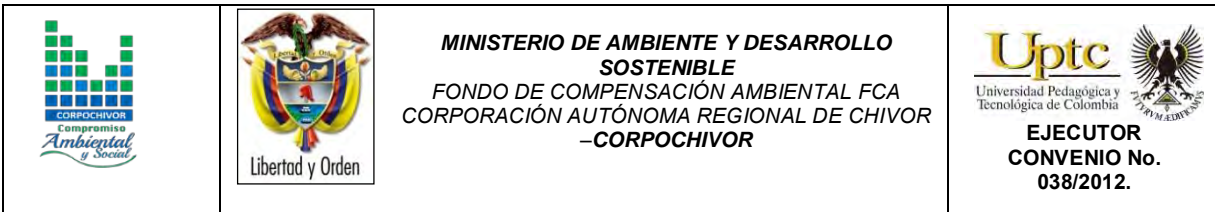
Tabla 9. Valores de Evapotranspiración

ETP1	ETP2	ETP3	ETP4
5.885913678	7.02452032	5.1011248	5.10324398

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 de los ríos Teatinos, Jenesano, 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 número de curva de escorrentía, el cual utiliza los parámetros de cobertura vegetal, Índice de infiltración del suelo, condición hidrogeológica.

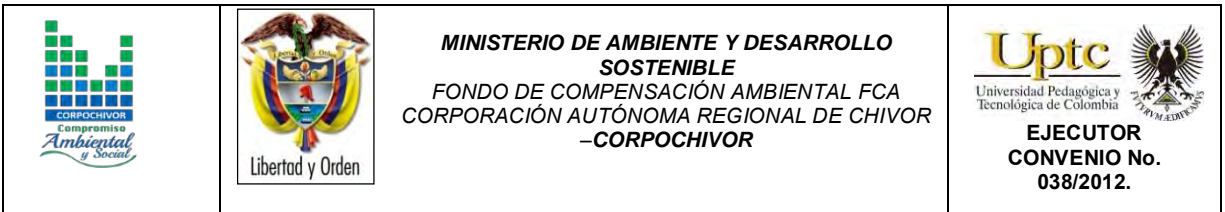


- Herramientas y métodos.
- Los datos de infiltración obtenidos mediante la ponderación de los datos proporcionados por el IDEAM.
- Datos de precipitación obtenidos de las estaciones pluviométricas y de evaporación del IDEAM.

#### **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 10. Calculo de Infiltración, basado en los valores de escorrentía (R) y precipitación (P).  
Estación Tibana.

AÑO	P	R	I	ETP
1959	78.125	19.695.455	702.695.409	5,8859
1960	82.041.667	19.695.455	741.862.075	5,8859
1961	82.041.667	13.273.344	748.284.186	5,8859
1962	77.458.333	18.274.805	697.449.391	5,8859
1963	81.095.833	2.530.127	726.797.927	5,8859
1964	85.5	75.825.585	720.315.278	5,8859
1965	10.783.333	36.341.839	983.132.358	5,8859
1966	91.416.667	26.309.498	828.998.032	5,8859
1967	86.083.333	12.592.362	789.381.835	5,8859
1968	76.916.667	42.252.437	668.055.093	5,8859
1969	94.25	17.344.981	866.295.883	5,8859
1970	80.458.333	33.860.726	71.186.347	5,8859
1971	90.166.667	0.2110686	840.696.844	5,8859
1972	65.166.667	13.009.446	579.798.084	7,02452
1973	77.25	0.0239576	713.401.287	7,02452
1974	59.916.667	0.4507338	535.800.192	7,02452
1975	68.875	34.105.309	584.399.488	7,02452
1976	90.291.667	10.412.628	892.504.039	7,02452
1977	75.083.333	0.2336445	748.496.889	7,02452
1978	65.583.333	15.076.807	640.756.527	7,02452
1979	78.833.333	16.808.513	771.524.821	7,02452
1980	80.083.333	16.903.315	783.930.018	7,02452
1981	80.15	0.475848	79.674.152	7,02452
1982	69.2	0.1419712	690.580.288	7,02452

Fuente: Resultado del estudio

Tabla 11. Calculo de Infiltración, basado en los valores de escorrentía (R) y precipitación (P).  
Estación Tibana.

1983	63.733.333	0.2806106	634.527.227	7,02452
1984	66.391.667	0.5864094	658.052.573	7,02452
1985	70.541.667	17.189.201	688.227.466	5,101124803
1986	80.35	0.7789601	795.710.399	5,101124803
1987	72.616.667	14.321.277	582.953.901	5,101124803
1989	71.55	15.009.357	700.490.643	5,101124803
1990	78.783.333	13.728.115	599.540.932	5,101124803
1991	73.891.667	10.335.513	58.455.029	5,101124803
1992	66.516.667	96.535.721	517.619.698	5,101124803
1993	64.933.333	31.263.766	285.684.425	5,101124803
1994	10.511.667	11.795.563	882.199.793	5,101124803
1995	69.783.333	84.535.722	562.286.363	5,101124803
1996	62.041.667	17.174.537	397.660.047	5,101124803
1997	80.75	35.465.304	401.835.708	5,101124803
1998	11.168.333	19.654.765	869.274.433	5,101124803
1999	85.4	32.305.357	479.935.183	5,103244
2000	10.676.667	23.894.793	777.707.491	5,103244
2001	92.933.333	0.0105494	878.195.399	5,103244
2002	26.175	99.598.344	-78.526.588	5,103244
2003	197.05	64.265.218	127.681.538	5,103244
2004	1.524.025	52.211.453	950.878.027	5,103244
2005	13.605.833	11.741.024	135.448.503	5,103244
2006	21.839.167	79.056.298	134.232.125	5,103244
2007	17.156.667	60.428.872	106.034.551	5,103244
2008	14.728.333	23.321.879	11.885.821	5,103244
2009	91.941.667	50.266.154	365.722.688	5,103244
2010	13.334.167	17.431.522	1.108.069	5,103244
2011	81.241.667	62.552.239	698.831.988	5,103244

Fuente: Resultado del estudio

#### 2.4.5. Resultados obtenidos

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

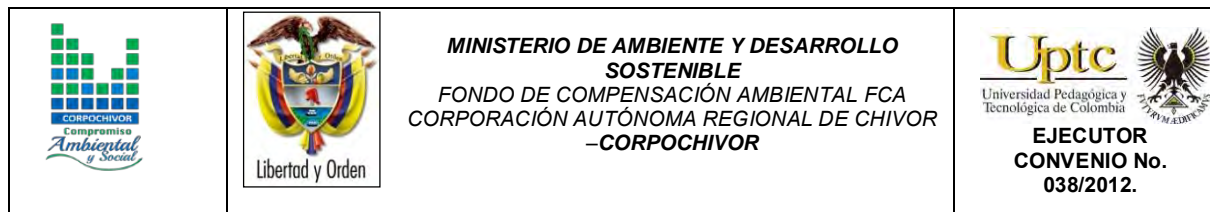


Tabla 12. Estimación del Balance Hídrico

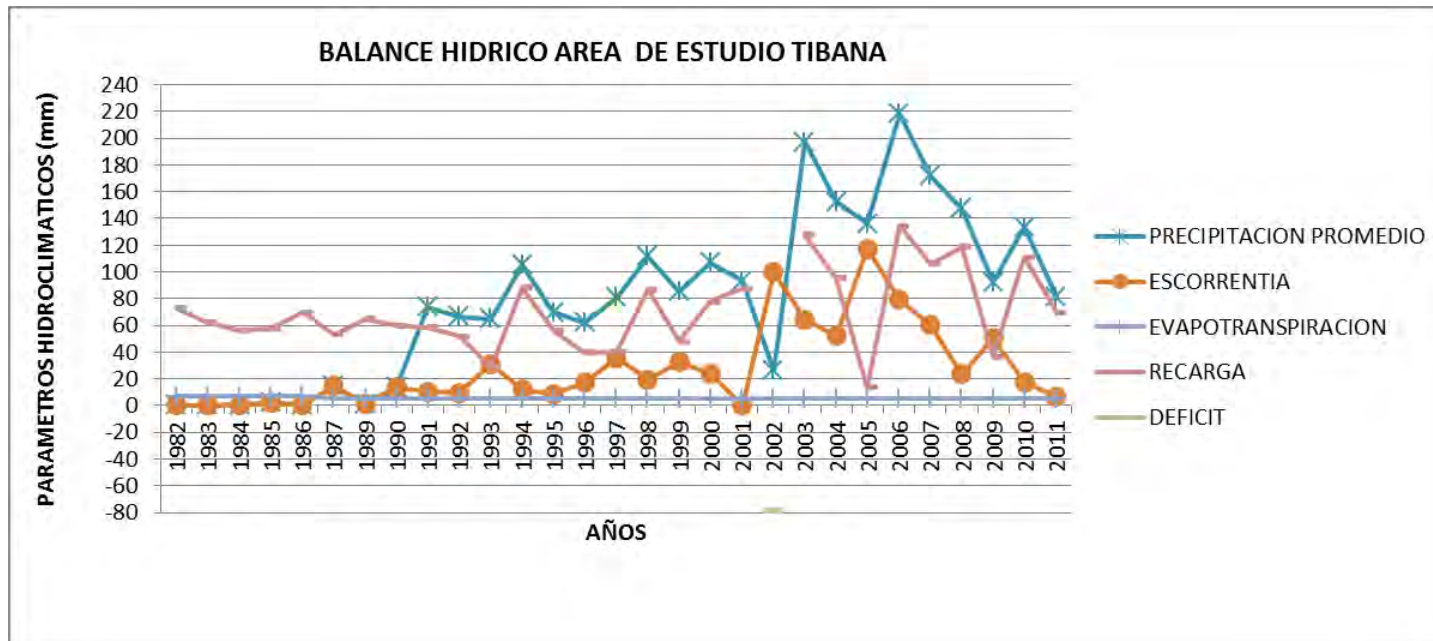
	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1989	1990	1991	1992	1993	1994
PRECIPITACION PROMEDIO	80.15	69.2	63.7333333	66.3916667	70.5416667	72.6166667	71.55	78.7833333	73.8916667	66.5166667	64.9333333	105.11667
ESCORRENTIA	0.1419712	0.2806106	0.58640938	1.71892011	0.77896012	14.3212766	1.5009357	13.7281153	10.3355129	9.65357211	31.263766	11.795563
EVAPOTRANSPIRACION	7.0245203	7.0245203	7.02452032	7.02452032	7.02452032	5.1011248	5.1011248	5.1011248	5.1011248	5.1011248	5.1011248	5.1011248
DELTA	72.983509	61.894869	56.1224036	57.6482262	62.7381862	53.19426527	64.9479395	59.9540932	58.455029	51.7619698	28.5684425	88.219979
ALMACENAMIENTO	72.983509	61.894869	56.1224036	57.6482262	69.7627066	53.19426527	64.9479395	59.9540932	58.455029	51.7619698	28.5684425	88.219979
DEFICIT												
RECARGA	72.983509	61.894869	56.1224036	57.6482262	69.7627066	53.19426527	64.9479395	59.9540932	58.455029	51.7619698	28.5684425	88.219979

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
PRECIPITACION PROMEDIO	69.783333	62.041667	80.75	111.683333	85.4	106.7666667	92.9333333	26.175	197.05	152.4025	136.058333	218.39167
ESCORRENTIA	8.4535722	17.174537	35.4653044	19.6547652	32.3053569	23.8947928	0.01054944	99.5983442	64.2652182	52.2114533	117.410239	79.056298
EVAPOTRANSPIRACION	5.1011248	5.1011248	5.1011248	5.1011248	5.1011248	5.10324398	5.10324398	5.10324398	5.10324398	5.10324398	5.10324398	5.103244
DELTA	56.228636	39.766005	40.1835708	86.9274433	47.9935183	77.76862992	87.8195399	-78.5265882	127.681538	95.0878027	13.5448503	134.23212
ALMACENAMIENTO	56.228636	39.766005	40.1835708	86.9274433	47.9935183	77.7686299	87.8195399		127.681538	95.0878027	13.5448503	134.23213
DEFICIT								-78.5265882				
RECARGA	56.228636	39.766005	40.1835708	86.9274433	47.9935183	77.7686299	87.8195399		127.681538	95.0878027	13.5448503	134.23213




	2007	2008	2009	2010	2011
PRECIPITACION PROMEDIO	171.5667	147.2833	91.9416667	133.34167	81.2416667
ESCORRENTIA	60.42887	23.32188	50.2661539	17.431522	6.25522388
EVAPOTRANSPIRACION	5.103244	5.103244	5.10324398	5.103244	5.10324398
DELTA	106.0346	118.8582	36.5722688	110.8069	69.8831988
ALMACENAMIENTO	106.0346	118.8582	36.5722688	110.8069	69.8831988
DEFICIT					
RECARGA	106.0346	118.8582	36.5722688	110.8069	69.8831988

Fuente: Resultado del estudio

Figura 10. Comportamiento de las Curvas del Balance Hídrico



Fuente: Resultado del estudio

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

## 2.5. 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)

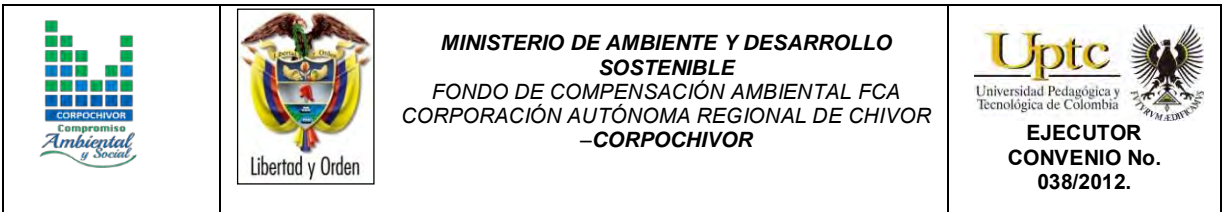
Coefficiente de compacidad (C).

Coefficiente de redondez (K).

Densidad de drenaje (Dd)

Pendiente media de la corriente (IC)

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



- **Perímetro de la cuenca (P)** Longitud medida del contorno de la cuenca, es decir por las divisorias de aguas que la limitan, y está dada en Km.
- **Coefficiente de compacidad (C).** Esta variable compara el perímetro de la cuenca con la longitud o perímetro asociado.

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

C= 1: Cuenca de forma compacta redonda.

C= 1.20: Cuenca semicompacta semioval redonda

C= 1.50: Cuenca semicompacta oblonga

C >1: Cuenca semicompacta rectángulo – oblonga

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

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

K = 1: Redonda

K > 1: Semiredonda




K < 1: Irregular

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

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

Dd < 0.5 : Baja

Dd = 0.5 : Media

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

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.

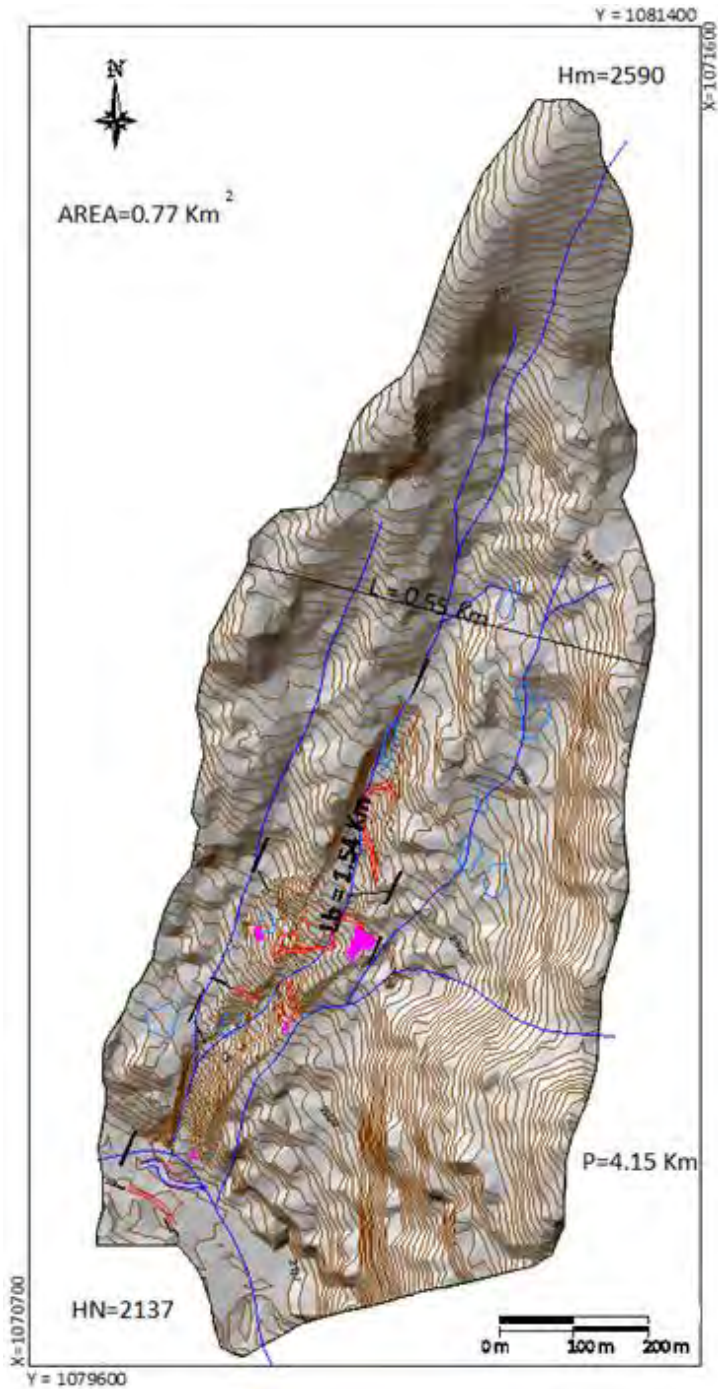
$$T_c = 0.0663 \left( \frac{L_b}{\sqrt{A}} \right)^{0.07}$$

Con base al análisis anterior sus parámetros morfométricos indican las microcuencas analizadas presentan de media a alta susceptibilidad a la torrencialidad, ver (Tabla 13).

A continuación resumimos en una tabla resumen el resultado de los cálculos morfométricos a la microcuenca de Tibana analizadas para el presente estudio.



Figura 11. Imagen ilustrativa de la microcuenca Tibana



Fuente: Resultado del estudio

Tabla 13. Valores de parámetros morfométricos para la microcuenca.

NOMBRE MICROCUENCA	Área de la Cuenca en Km (A)	Perímetro de la cuenca Km (P)	longitud de la cuenca Km (Lb)	el ancho mayor Km (l)	longitud acumulada de todas las corrientes Km (Ld)	longitud acumulada de todas las corrientes Km (Ld)
Garagoa	0,77	4,15	1,54	0,55	4,75	2590
Cota Mínima de la Cuenca(Hn)	Diferencia de Altura Km (Hc)	Razón de Relieve (Rr)	Número de Corrientes(Nc)	Frecuencia de Corrientes (Cauces/Km2)	Pendiente media de Corriente lc % (lc)	Índice de Alargamiento (Ia)
2137	0,45	0,29	3	3,88	29,43	2,77
COEFICIENTE DE COMPACIDAD (C). FORMA Y SUSCEPTIBILIDAD		COEFICIENTE DE REDONDEZ (K). FORMA Y SUSCEPTIBILIDAD		DENSIDAD DE DRENAJE (Dd)		TIEMPO DE CONCENTRACIÓN en horas (TC)
0,77	REDONDA	0,77	Irregular	6,15	Densidad Muy Alta	0,07
AMPLITUD DE LA CUENCA (W). TIEMPO DE CONCENTRACIÓN DE ESCORRENTÍA		ELONGACIÓN DE LA CUENCA (RE). FORMA		ÍNDICE DE HOMOGENEIDAD (IH). FORMA		SUSCEPTIBILIDAD
0,5	crítico	0,64	SEMIREDONDA	0,9	CUADRADA	4

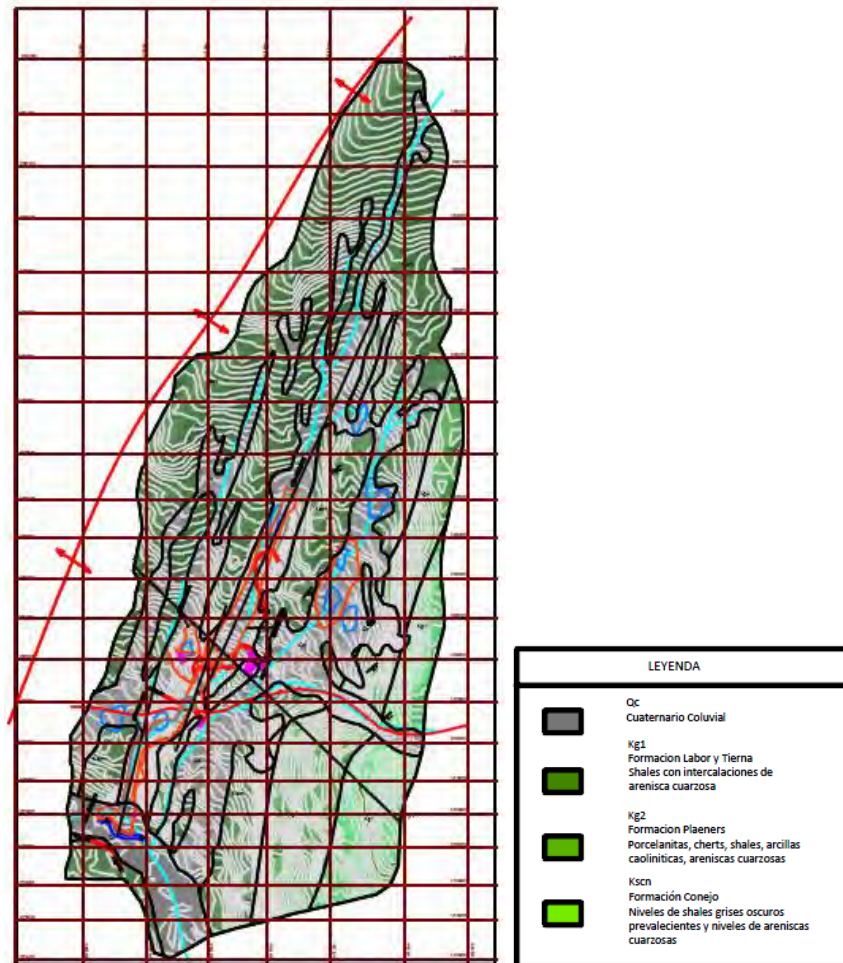
Fuente resultado del estudio

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




### 3 GEOLOGIA

En el municipio de Tibana afloran rocas sedimentarias pertenecientes a depósitos marinos con influencias deltaicas y ambientes transicionales (Formaciones Plaeners (Kg2), Labor y Tierna (Kg1) y Conejo (Kscn)), posteriormente los materiales provenientes de la erosión de la cordillera se acumulan dando origen a los depósitos cuaternarios.

Figura 12. Imagen mapa geológico área de estudio



Fuente: Resultado del estudio

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

### 3.1. GEOLOGÍA HISTÓRICA

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



### 3.2. GEOLOGIA LOCAL.

#### 3.2.1. Formación Plaeners (Kg2).

Se distinguen dos niveles litológicos con las siguientes características:

##### 3.2.1.1. Miembro Plaeners

Está constituido principalmente por una alternancia de limolitas silíceas, lutitas y areniscas de grano fino, estratificada en bancos pocos centímetros a 5 m de espesor. En las localidades de Tibana – Turmeque y Tibana – Chinavita este miembro presenta espesores de 90 a 180 m respectivamente.

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

### **3.2.1.2. Miembro Plaeners Superior**

Está compuesto de lutitas, limolitas, arcillas y areniscas cuarzosas, de grano fino con un espesor que varía entre 5 y 44 m. Se ubican afloramientos por la carretera Tibana – Pachavita, en el margen derecho del río Tibana y cerca al sitio el Aguacate, donde se observan intercalaciones de areniscas de grano fino de color blanco amarillento, limolitas silíceas y arcillolitas fisiles en donde se ubica el contacto Concordante entre la Formación Plaeners y la Formación Labor y tierna. Aflora en el suroeste de Tibana en las veredas de Mombita y Bayeta, y hace parte del Anticlinal de Las Pavas.

### **3.2.2. Formación Labor y Tierna (Kg1).**

#### **3.2.2.1. Miembro Arenisca de Labor.**




Está constituido por areniscas cuarzosas, grises claras a blanco amarillentas, de grano fino, compactas, estratificación delgada a gruesa, con intercalaciones delgadas de lutitas y limolitas silíceas, con un espesor que varía de 100 a 105 m.

Renzoni, G (1968) utiliza este término para referirse conjuntamente a las formaciones Labor y Tierna, constituida por areniscas intercaladas con lutitas en el sector de Samaca y Combita. El conjunto se presenta en un gran sector del municipio, haciendo parte del Anticlinal de las Pavas, aflora a lo largo de la carretera Tibana–Turmequé, donde se encuentra suprayaciendo concordantemente la Formación Plaeners, al norte de la Falla de Aguas calientes en el flanco oriental del Anticlinal de las Pavas.

### **3.2.3. Formación Conejo (Kscn)**

Secuencia estratigráfica denominada por Renzoni (1967). Es un conjunto de gran espesor en el área de estudio, se distingue claramente por mostrar topografía



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

típica de crestas y valles, que la diferencia claramente de las unidades infra y suprayacentes. Es equivalente a la Formación Arenisca Dura de la Sabana de Bogotá. Esta formación suprayace concordantemente a la Formación Churuvita (Ksch), de igual forma se encuentra suprayacida concordantemente por la Formación Plaeners, que es morfológicamente diferente de la Formación Conejo (Kscn) por su topografía de escarpes fuertes.

#### **3.2.4. Depósitos Cuaternarios.**

Dentro del área los materiales poco consolidados dado que se presentan en formas irregulares y de origen variado, los cuales fueron depositados durante el Cuaternario.

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

Son depósitos de vertientes resultantes de la acción de procesos de denudación de las laderas, (remoción en masa y erosión) cuyos agentes geodinámicos principales son de orden hidro gravitacional fluvio-glaciar.




### **3.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL**

Las rocas de la zona de estudio fueron afectadas tectónicamente durante la orogenia andina de la Cordillera Oriental y se encuentran haciendo parte del Sinclinorio de la Sabana de Bogotá.

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

##### **3.3.1.1. Anticlinal de las Pavas.**

Se localiza al oeste de Tibana, desde la vereda Mombita hasta la vereda Supaneca en una dirección NE-SW. Las fallas de Aguas calientes, Nuevo Colon y las Circas se encuentran afectándolo y producen pequeños desplazamientos de

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

su eje. El anticlinal presenta su flanco Este invertido desde la falla de aguas calientes hasta la vereda Supaneca por efecto de esfuerzos compresionales de la falla de Supaneca. Desde la falla de aguas calientes hasta la vereda Mombita la estructura se encuentra normal y puede observarse claramente a lado y lado de la carretera Tibana – Turmequé. Afecta rocas de las formaciones Conejo, Plaeners y Labor y Tierna. El anticlinal es buzante y su eje tiene dirección N30°E.

### **3.3.2. Fallas.**

#### **3.3.2.1. Falla Supaneca.**

Se extiende desde la Falla de Aguas calientes en la vereda la Zanja, hasta la vereda Supaneca. Afecta rocas de las formaciones Labor y Tierna, además produce la inversión del flanco Este del Anticlinal de las Pavas. En el sector de la quebrada las circas y en la vereda Supaneca, es desplazada por el efecto de las fallas Las Circas y Nuevo Colon respectivamente. La dirección de la falla es de N 30°E y buza hacia el W.

#### **3.3.2.2. Falla Circas.**

Tiene una dirección E-W y buza hacia el norte, desplaza los ejes del Anticlinal de las Pavas, Sinclinal de Forne y Falla de Supaneca, afecta la formación Labor y Tierna.

#### **3.3.2.3. Falla de Aguas calientes.**

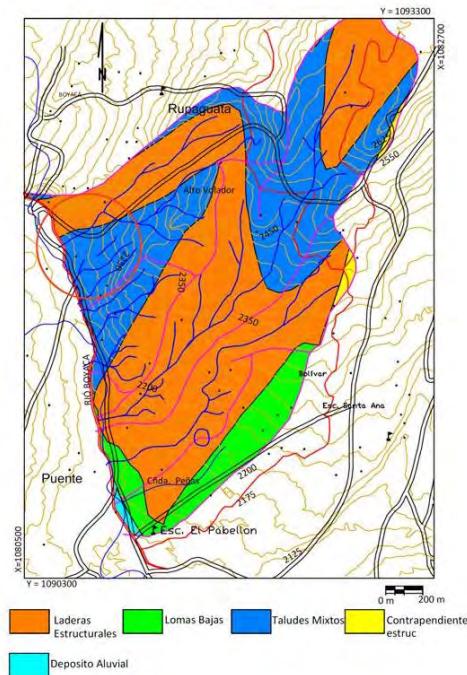
Se extiende desde la vereda la Zanja hasta el alto de Tibana en donde choca contra la falla de Tibana, afecta las rocas de las formaciones Labor y tierna, Plaeners. Desplaza los ejes del Anticlinal de las Pavas, tiene una dirección aproximada de N 50°W.






## 4 GEOMORFOLOGÍA

Se entiende como geomorfología el análisis o estudio de las formas del relieve, los procesos que condujeron a su formación y su interrelación con su entorno paisajístico. Las geoformas y procesos involucrados para el municipio de Ramiriquí, 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 13.

Figura 13. Ventana extraída del mapa regional de Geomorfología del estudio de Consultoría para la Homologación y Estructuración de la Información Cartográfica Base



Fuente: CORPOCHIVOR para ser integrada al SIAT.

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

#### ▪ **Lomas bajas**

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

#### ▪ **Contrapendiente estructural**

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




#### ▪ **Deposito aluvial**

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

### **4.1. GEOMORFOLOGÍA LOCAL**

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

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

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

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

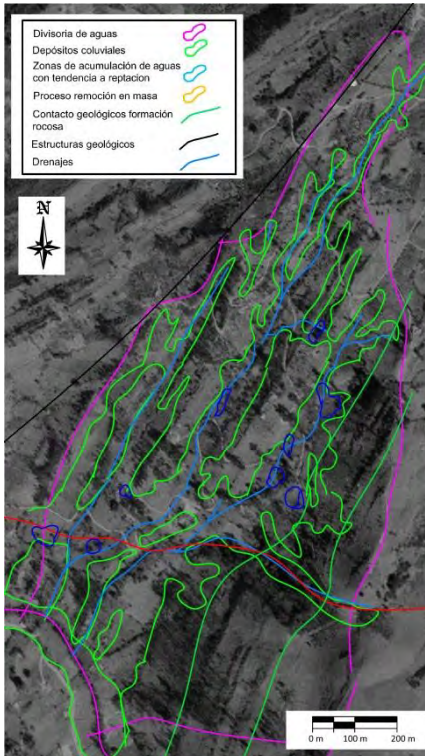
## 4.2. ANÁLISIS FOTOGEOLÓGICO

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

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

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

Figura 14. Fotografías pertenecientes al vuelo 2804- 16,17 tomadas por el IGAC, durante los años 90.



Fuente: Resultado del estudio.

### 4.3. PROCESOS MORFODINÁMICOS

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

### 4.3.1. Los deslizamientos compuestos

#### ▪ Deslizamientos compuesto 1

Se clasifica el proceso como deslizamiento compuesto ya que su control estructural resultando en superficies de ruptura irregulares incluye movimiento rotacional a lo largo de un escarpe principal seguido de un desplazamiento a lo largo de una superficie de debilidad casi horizontal, paralela a la estratificación, el proceso es activo remontante, y su velocidad es lenta, presenta un área aproximada de 21556,16 m<sup>2</sup> con una profundidad promedio de 4 m, las causas posibles pueden ser, por material plástico débil detonado por lluvias, por el mal manejo del suelo relacionado con matorrales, cultivos, uso agrícola, ganadería; los daños presentes en el área de las viviendas, áreas agrícolas y para pastoreo, erosión y deforestación son producto del desarrollo del deslizamiento. Se presenta en el Deposito Coluvial (Qc) (Ver Figura 15).

Figura 15. Esquema del movimiento compuesto.

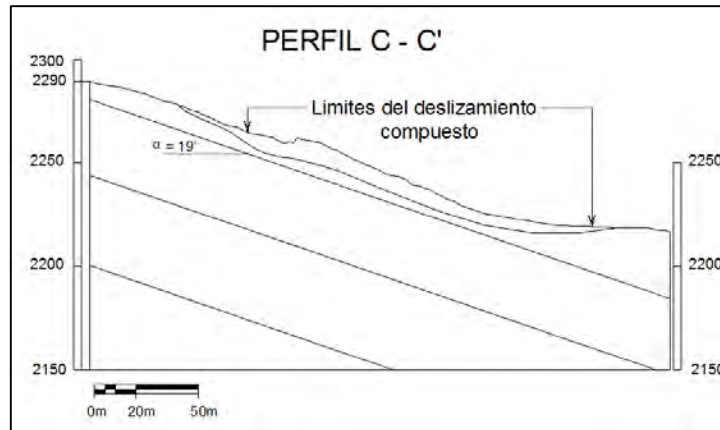


Fuente: Resultado del estudio.



En el perfil (Ver Figura 16) se ilustra el cuerpo del proceso y la geoforma en la cual se encuentra, siendo favorable a su movimiento.

Figura 16. Esquema del movimiento, perfil movimiento compuesto



Fuente: Resultado del estudio.

### 4.3.2. Reptaciones

#### ▪ Reptación 1

Movimiento lento del terreno en donde no se distingue una superficie de falla. La reptación es de tipo estacional asociada a cambios climáticos, o de humedad del terreno, el proceso es activo remontante, presenta un área aproximada de 7780,75 m<sup>2</sup> con una profundidad promedio de 4 m, sus causas posibles por material plástico débil detonado por lluvias, por su uso dado matorrales, cultivos, agrícola, ganadería, los daños presentes en el área de las viviendas, áreas agrícolas y para pastoreo, erosión y deforestación.

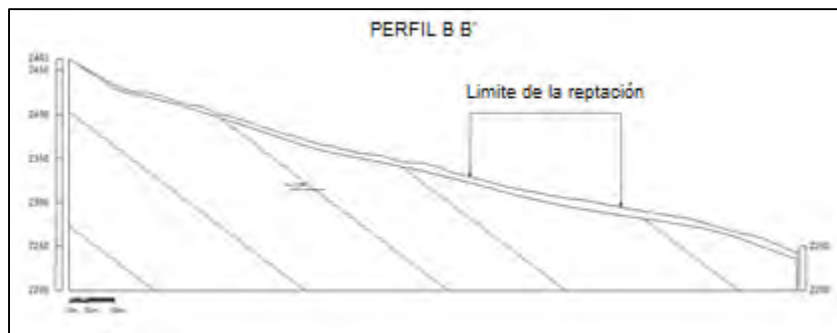
Figura 17. Esquema del movimiento, reptación 1



Fuente: Resultado del estudio.

En el perfil (Ver Figura 18 ) se ilustra el cuerpo del proceso y la geoforma en la cual se encuentra, siendo favorable a su movimiento.

Figura 18. Esquema del movimiento, perfil reptación 1



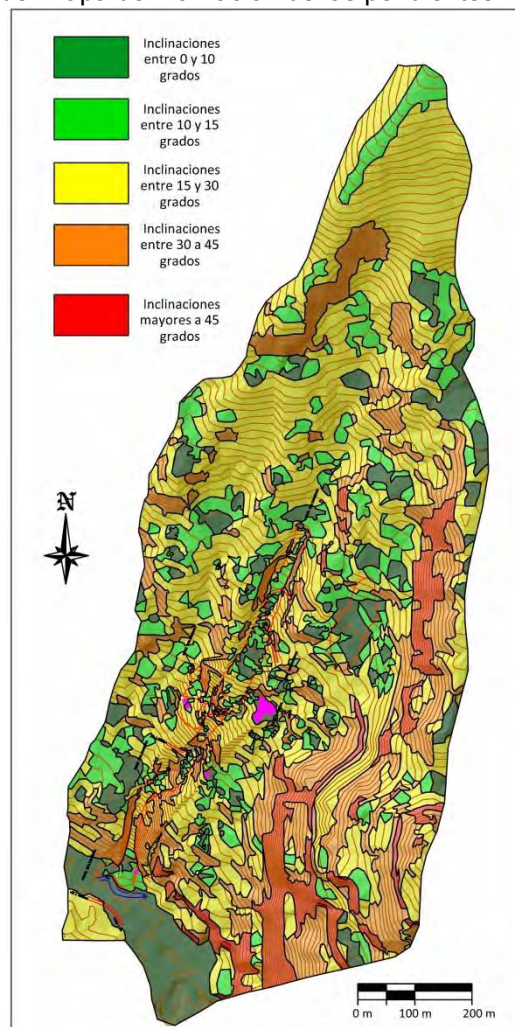
Fuente: Resultado del estudio.



#### 4.4. INCLINACIÓN DE LAS PENDIENTES

A partir de un modelo digital de terreno generado tras la digitalización de curvas de nivel a una escala 1:25.000, se generó el mapa de pendientes con cinco clases para el área de estudio. Los valores de susceptibilidad de este parámetro o variable son presentados en la Figura 19.

Figura 19. Imagen del Mapa de inclinación de las pendientes.



Fuente: Resultado del estudio.

Tabla 14. Clasificación de las pendientes.

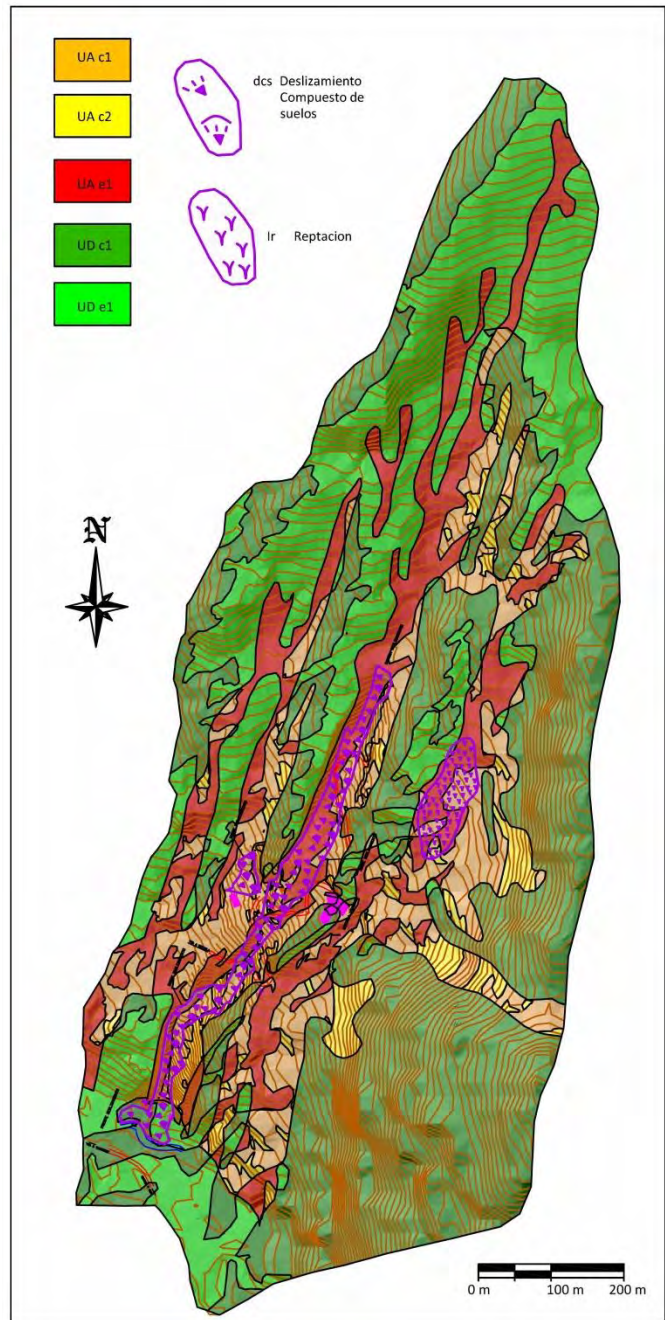
<b>CLASIFICACIÓN DE LAS PENDIENTES</b>	
<b>UNIDAD CARTOGRÁFICA</b>	<b>GRADOS</b>
Suavemente inclinada	0-10
Inclinada	10 15
Abrupta	15-30
Escarpada	30 - 45
Muy Escarpada	> 45

Fuente: Resultado del estudio.




#### 4.5. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

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

Figura 20. Imagen del Mapa geomorfológico.



Fuente: Resultado del estudio.

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

#### 4.5.1. Geoformas de Origen Denudacional.

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

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



Dicha unidad está compuesta por depósitos coluviales, los cuales yacen sobre estratificaciones en contra a la dirección de las pendientes presenta un área de 2.82 ha, de las cuales el 5.10 % presenta inestabilidad. Siendo susceptible a reptaciones y desprendimientos.

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

Dicha unidad está compuesta por depósitos coluviales, los cuales yacen sobre estratificaciones en contra a la dirección de las pendientes presenta un área de 1.79 ha, de las cuales el 5.16 % presenta inestabilidad.

- **Unidad agradacional con inclinaciones entre 0 y 30 grados en ladera estructural (UA e)**

Dicha unidad está compuesta por depósitos coluviales, los cuales yacen sobre estratificaciones en contra a la dirección de las pendientes presenta un área de 9.67 ha, de las cuales el 27.4 % presenta inestabilidad. Siendo la más susceptible a reptaciones y desprendimientos.

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

▪ **Unidad degradacional con inclinaciones entre 0 y 30 grados en ladera en contra pendiente (UD c)**

Dicha unidad está compuesta por formaciones rocosas, cuyas estratificaciones se encuentran en contra a la dirección de las pendientes, presenta un área de 7.0 ha, de las cuales el 0.7 % presenta inestabilidad.

▪ **Unidad degradacional con inclinaciones entre 0 y 30 grados en ladera estructural (UD e)**

Dicha unidad está compuesta por formaciones rocosas, cuyas estratificaciones se encuentran en contra a la dirección de las pendientes, presenta un área de 14 ha, de las cuales el 2.6 % presenta inestabilidad.




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

Tabla 15. Descripción geomorfológica.

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

Fuente: Resultado del estudio.



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

#### 4.7. EROSIÓN

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




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

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

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

**La erosión antrópica o acelerada**, es propiciada por el hombre, y sucede al utilizar inadecuadamente el suelo; cultivos, tala de bosques, quemas,



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

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.

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

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

#### 4.7.1. Algunas Formas de Erosión

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

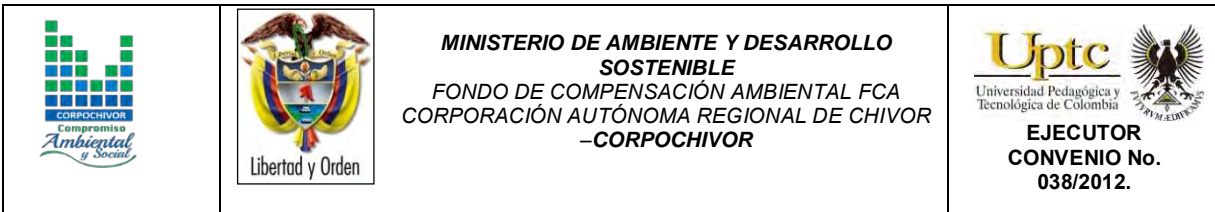
La erosión laminar es el arrastre casi uniforme de delgadas capas de suelo. Por su parte, la erosión en surcos comienza con transporte de material desprendido por salpicadura de gotas de lluvia (Hudson, 1981). Esta erosión es producida por la escorrentía concentrada y forma pequeños canales.

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

#### 4.7.2. Factores externos

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

- **Naturales:** Las precipitaciones pluviales normales y extraordinarias, la filtración de agua pluvial en el terreno, las variaciones de temperatura, sismos.



- **Antrópicos:** Tales como deforestación, quemas e incendios forestales, cortes de taludes para construcción de carreteras u otra infraestructura, el asentamiento humano en las laderas, la actividad minera, el uso indebido del suelo, etc.

#### 4.7.3. Factores internos

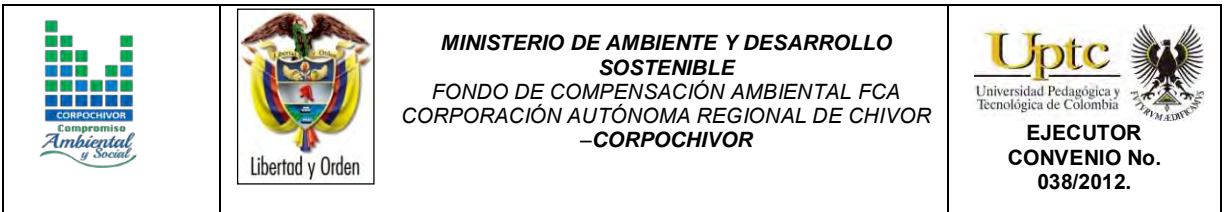
Existen una variedad de factores condicionantes que inciden en los procesos de inestabilidad de laderas y son relativos a la propia naturaleza o características de las laderas, esos factores pueden ser:

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

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

#### 4.7.4. Morfodinámica - intensidad de erosión.

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



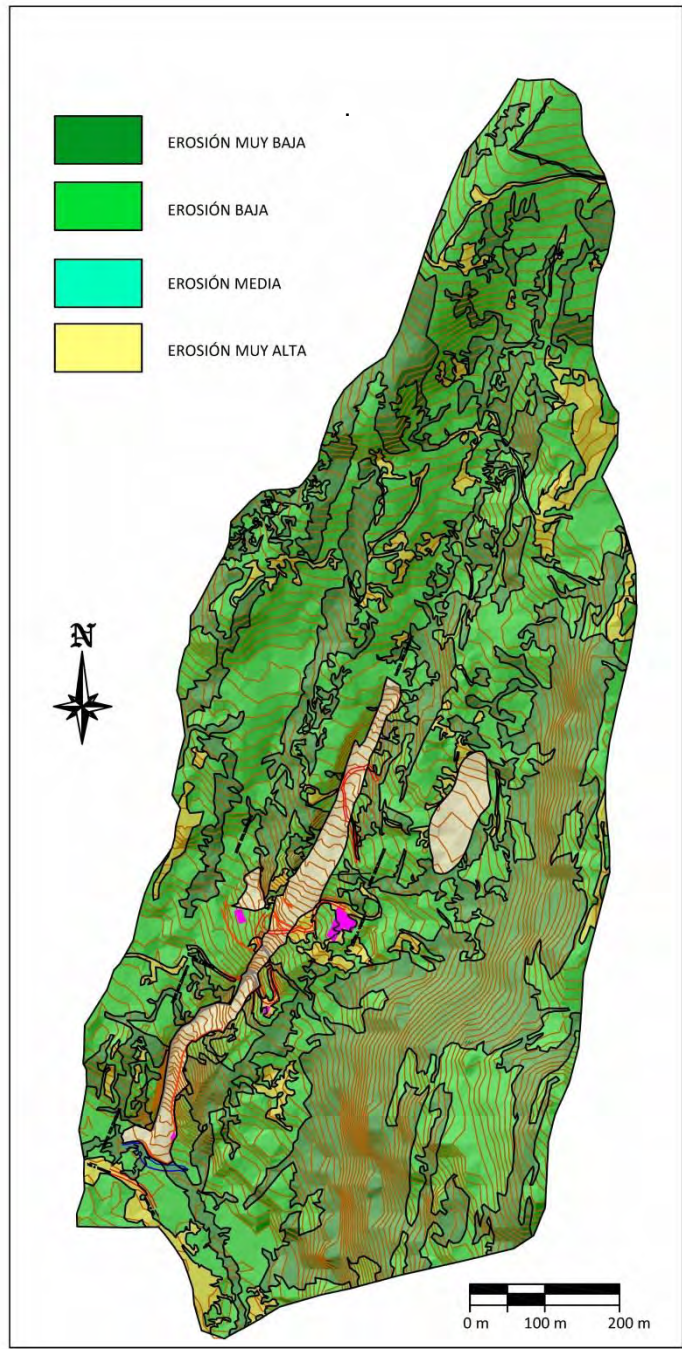
El mapa de erosión fue realizado con el procesamiento digital de imágenes mediante una clasificación supervisada, resultado de un agrupamiento en la distribución de los píxeles hechos en una clasificación resultado de la mayor o menor cobertura vegetal presente en el área.

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




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

El mapa de intensidad de erosión describe unidades de intensidad de erosión así: erosión muy baja, erosión baja, erosión media y erosión muy alta. (Ver Figura 21).

Figura 21. Imagen del Mapa erosión.



Fuente: Resultado del estudio.

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

#### 4.8. 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.

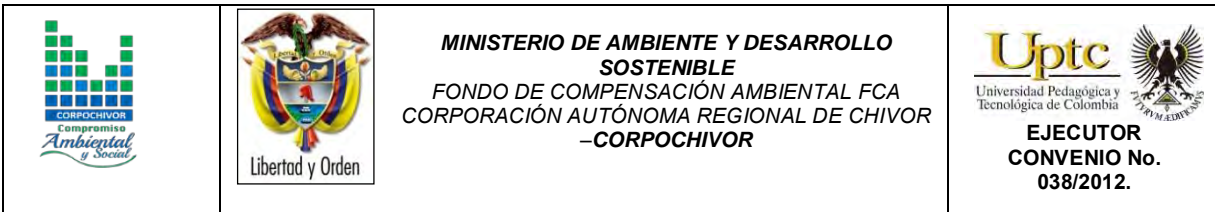
El grupo más numeroso de individuos de los ecosistemas terrestres son los insectos representado por unas 900.000 especies. Dentro de los animales el segundo grupo más significativo serían las aves, con aproximadamente 8500 especies y en tercer lugar los mamíferos con unas 4100 especies. Dentro del mundo 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.

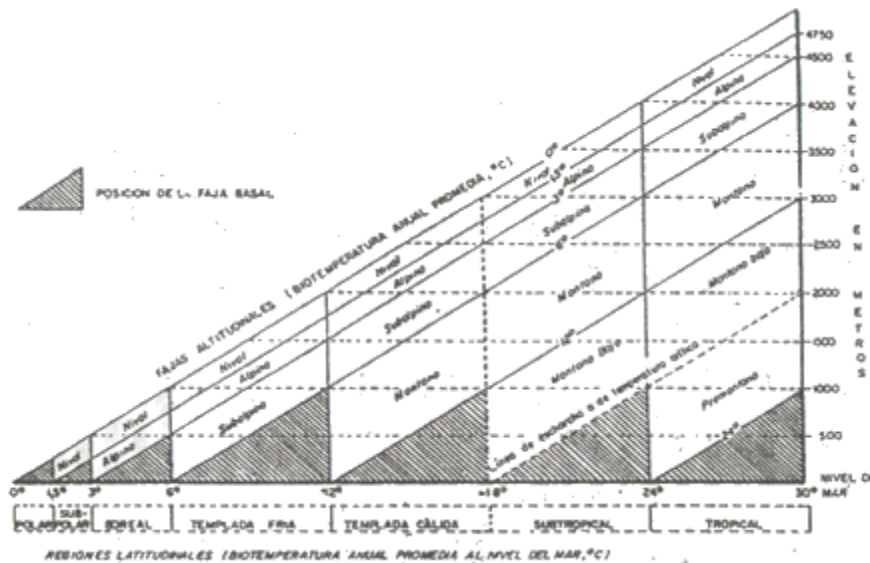
#### **4.8.1. Vegetación**

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

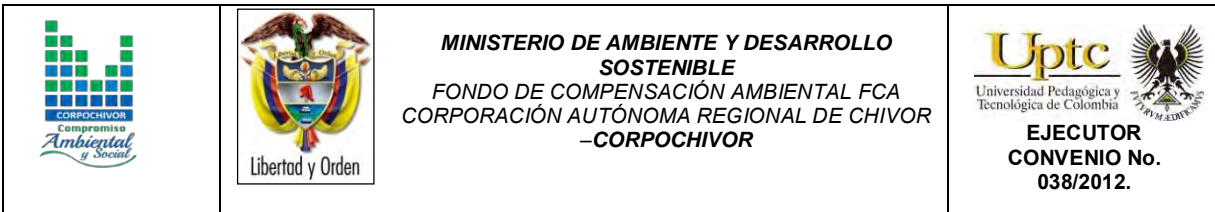


Fuente: Holdridge, L., 1987.

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

▪ **Bosque húmedo premontano (BH-PM)**

La zona se caracteriza por presentar una temperatura entre los 18° - 24°C, precipitación 1.200 mm y se localiza entre los 2.000 y 3.000 m.s.n.m. Se presenta en terrenos ubicados en laderas con pendientes suaves, medianas o muy fuertes. Los bosques originales en su totalidad han desaparecido quedando pequeños relictos en sitios aislados. Las condiciones climáticas de esta zona determinan una



fisionomía especial del bosque carente de epífitas, quiches y palmas que presentan en otros.

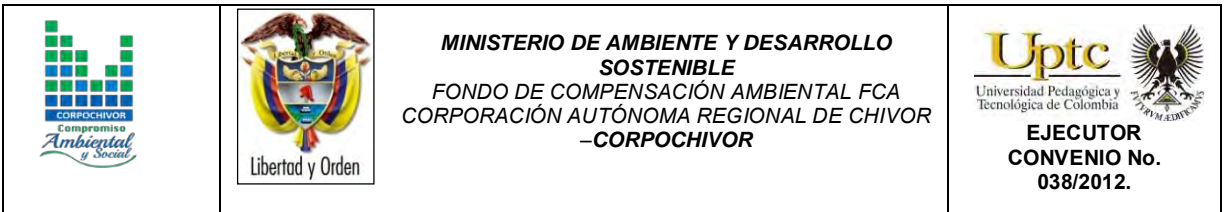
Este tipo bioclimático lo podemos encontrar en el casco urbano y las veredas de Sirama, Siratá, Siuman, Sastoque, Carare, Las Juntas, Lavaderos, Maranta, Mangles, Chiguatá, Quichatoque, San José y Piedras de Candela. Tiene un área de influencia de 1.653,92 hectáreas y es poco representativo en el municipio.

▪ **Bosque húmedo montano bajo ((BH - MB)**

Se encuentra en zonas cuya altura sobre el nivel del mar oscila entre 2.000 y 3.000 m.s.n.m. y con un rango de precipitación de 1.000 a 2.000 mm.; temperatura entre los 12° - 18°C, se presenta esta formación donde las laderas de las montañas se ven expuestas a las masas de aire húmedo. Aún quedan bosques naturales en estas zonas que están en proceso de desaparición para ser transformadas en áreas agropecuarias. Se presenta en las veredas Supoaneca Arriba, Supaneca Abajo, Piedras de Candela, Mombita, Bayeta, Zanja, Batán, Gambita, Sitantá y Carare. Es la Zona de vida predominante en el municipio y tiene un área de 8.363,65 hectáreas.

▪ **Bosque seco montano bajo (BS-MB)**

Esta zona de vida presenta temperaturas ente 12° y 18°C , promedio anual de lluvias varía entre 500 y 1.000 mm y la altitud varía entre 2.000 y 3.000 m.s.n.m., está caracterizada por un relieve de vertientes escarpadas irregulares y en menor proporción valles coluvio aluviales estrechos. La fuerte intervención del hombre sobre el recurso suelo con el fin de establecer cultivos ha llevado a la pérdida de la vegetación nativa. Esta formación se encuentra en gran parte de la provincia de Márquez. Entre los relictos de vegetación nativa podemos encontrar las siguientes



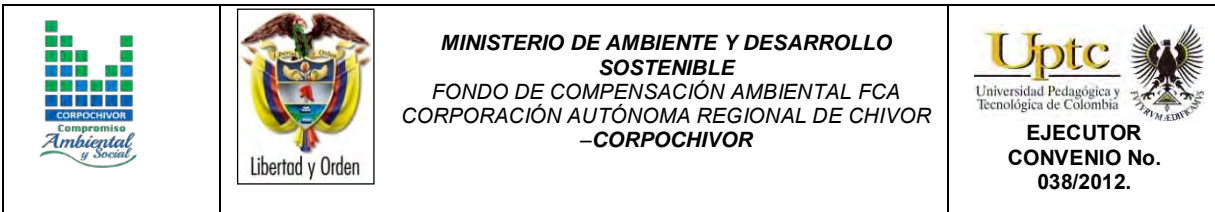
especies: Guayabo, Arrayán, Aliso, Cedro de Montaña, Nogal, Chizo, *Ficus sp* y Gaque entre otras. En el municipio de Tibaná la podemos encontrar en las veredas de Supaneca Arriba, Supaneca Abajo, Juana Ruiz, Lavaderos, Batán, Sastoque Maranta, Arrayan, Mangles, Gambita, Chiguatá, Siratá, Pie de Peña, Quichatoque y San José. Se encuentra en un área de 2.158, 85 hectáreas.

#### **4.8.2. Cobertura y uso de suelo para el área de influencia del estudio**

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

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

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

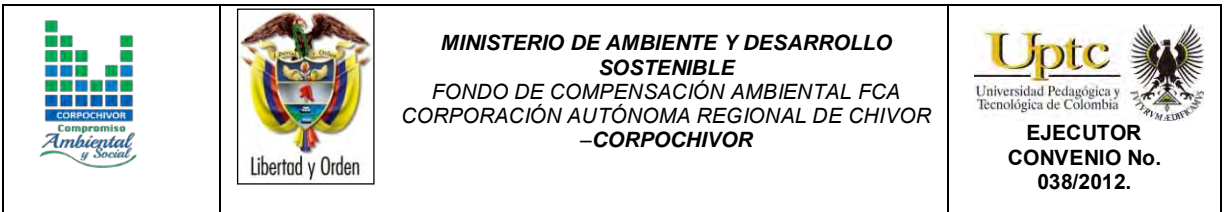


validación de la metodología CLC permitirá comparar estadísticas de ocupación de la tierra, crear líneas de comunicación entre las diferentes instituciones que adopten el sistema, y, además, facilitar la homologación de información.

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

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

Los productos del proyecto, representados en el mapa de las coberturas vegetales y usos de suelos de la zona de estudio, en la metodología y en leyenda adaptadas al territorio colombiano y en este caso para la jurisdicción de Corpochivor,



proveerán las características temáticas y cartográficas que la región requiere para el conocimiento, la evaluación de las formas de uso, ocupación y apropiación del espacio geográfico, así como para satisfacer las necesidades de información de sectores científicos, económicos, académicos y ambientales, entre otros, esperando que se conviertan en insumos básicos para los tomadores de decisiones en el país.

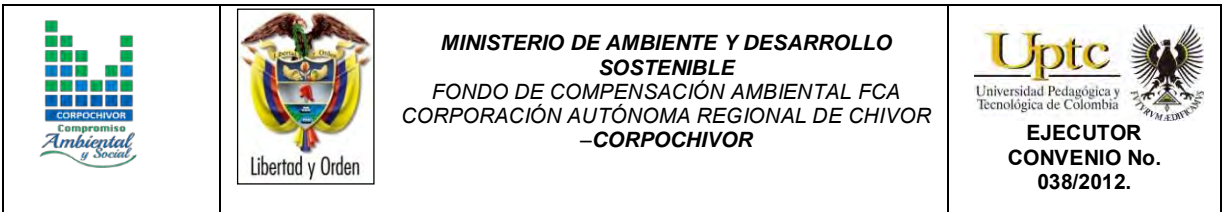
La metodología CORINE Land Cover, adaptada a las condiciones del territorio colombiano, se convierte en una herramienta para avanzar en el conocimiento de las coberturas de la tierra en otras cuencas y para la actualización permanente de la información, con lo cual se espera que se faciliten los procesos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

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

#### **4.8.3. Estudio de la flora**

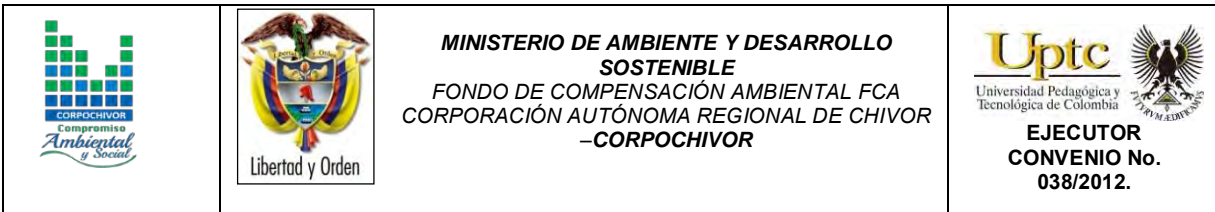
La flora es el conjunto de especies vegetales que pueblan un territorio o una región geográfica, consideradas desde el punto de vista sistemático. La flora será rica o pobre según que la región geográfica considerada posea muchas especies vegetales o escaso número de ellas. El conjunto de flora es de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

- Identificar, sectorizar y describir las zonas de vida o formaciones vegetales.



- Identificación, sectorización y descripción de los diferentes tipos de cobertura vegetal existente.
- Identificación de especies endémicas, amenazadas o en peligro de extinción.
- Presentar un plano de cobertura vegetal y uso del suelo a partir de sensores remotos y control de campo, en caso de requerirse.
- Las unidades cartografiadas se deben describir, teniendo en cuenta su localización, distribución e importancia ecológica y social. El análisis para el área de estudio directo (AED) se estudiara entre otras las siguientes variables:
  - Descripción florística: Con identificación de endemismos, importancia económica y cultural.
  - Diversidad florística
  - Índices de calificación e importancia ecológica.
  - Importancia económica y cultural de algunas especies.
- Identificación de áreas que por sus características ecológicas deben conservarse en su estado actual, determinando espacialmente las áreas de restricción y conservación.

Para el proyecto se deberá realizar un muestreo detallado de la vegetación en cada una de las formaciones vegetales identificadas, con el objetivo de determinar biodiversidad, cobertura y abundancia. Se indicarán las especies con valor






ecológico, cultural y comercial. Aplica para áreas de influencia directa. Se realizó un análisis de:

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

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

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



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

### ▪ 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 de Tibana.

### ▪ 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 en Tibaná presenta las siguientes unidades:

### ▪ Tejido urbano discontinuo

En la zona de estudio de Tibana se observan espacios conformados por edificaciones y 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: Resultado del estudio

▪ **Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación**

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

▪ **Red vial, ferroviaria y terrenos asociados**

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

Fotografía 3. Tejido artificializado de nivel 4 red vial.



Fuente: Resultado del estudio

#### ▪ 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.

Fotografía 4. Territorio agrícola presente en la zona de estudio.



Fuente: Resultado del estudio

#### 4.8.4. 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 solanaceas, cucurbitaceas, 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. Ver (Fotografía 5)

Fotografía 5. Cultivo De Zea Mays






Fuente: Resultado del estudio

**4.8.5. Cultivos permanentes**

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

▪ **Cultivos permanentes herbáceos**

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

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

### ▪ Caña

La *Saccharum officinarum* de la familia de la familia de las Poaceae, son plantas cespitosas con tallos de hasta 5 m x 2-5 cm, con numerosos entrenudos alargados vegetativamente, dulces y jugosos, desnudos abajo. vainas glabras o pelosas; lígula de 2-4 mm; láminas 1-2 m x 2-6 cm, glabras o la costilla media pelosa. Panícula 25-50 cm; pedúnculo glabro o densamente puberulento; eje peloso; entrenudos del raquis de 5 mm, glabros. Espiguillas 3-4 mm, agudas, con tricomas de hasta 7 mm; gluma inferior glabra; lema inferior ciliada in el 1/ 2 superior; lema superior y arista generalmente ausentes; anteras 3, 1.5-2 mm. (Ver Fotografía 6)

Fotografía 6. *Saccharum Officinarum* Cultivo Presente en la zona de estudio






Fuente: Resultado del estudio

### ▪ Plátano




Cobertura predominantemente compuesta por cultivo de banano *Musa sapientum* L.J, planta herbácea perene gigante de la familia Musácea, Como las demás especies



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

de *Musa*, *M. balbisiensis* carece de verdadero tronco. En su lugar, posee vainas foliares que se desarrollan formando estructuras llamadas *pseudotallos*, similares a fustes verticales de hasta 30 cm de diámetro basal, aunque no son leñosos. Alcanzan los 7 m de altura, de color verde o amarillo verdoso intenso, que permite distinguirlo con facilidad de *M. x paradisiaca*, más clara; la parte distal de las vainas presenta marcas negras, mientras que la basal se orla de rojo. Ambas son glaucas y pruinosas. Produce numerosos retoños a partir de rizomas superficiales o subterráneos, que son la principal forma de difusión de los híbridos o variedades triploides; los retoños reemplazan al tallo principal después de florecer y morir éste. Las hojas son lisas, tiernas, oblongas, con el ápice trunco y la base redonda o ligeramente cordiforme, verdes por el haz y más claras y normalmente glaucas por el envés, con las nervaduras amarillentas. Dispuestas en espiral, se despliegan hasta alcanzar 3 m de largo y 60 cm de ancho; el pecíolo tiene hasta 60 cm, cóncavo por la parte superior, con los extremos casi tocándose por encima del canal adaxial. Sus márgenes son poco visibles en la parte superior y más pronunciada junto a la vaina, muchas veces orlados de negro.

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

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

filiforme de hasta 2 mm de largo. El tépalo libre es aproximadamente de la mitad de tamaño, blanco o rosáceo, obtuso o trunco, con la apícula mucronada y corta.

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

Fotografía 7. Musa Sapientum L.J Presente en la zona de estudio.



Fuente: Resultado del estudio

### ▪ Cultivos permanentes arbóreos

Cobertura principalmente ocupada por cultivos de hábito arbóreo, diferentes de plantaciones forestales maderables o de recuperación, como pera, ciruela, durazno, etc. Ver (Fotografía 8).

### ▪ Manzana

La manzana (*Pyrus malus L.*), es el fruto del manzano, árbol de la familia de las Rosáceas. Esta familia incluye más de 2000 especies de plantas herbáceas, arbustos y árboles distribuidos por regiones templadas de todo el mundo. Las principales frutas europeas, además del rosal, pertenecen a esta gran familia. Se podría decir que el cultivo de la manzana es tan antiguo como la humanidad, siendo el manzano el árbol frutal más cultivado a nivel mundial.

Fotografía 8. Cultivos permanentes arbóreos.



Fuente: Resultado del estudio

### ▪ Ciruela

Cobertura compuesta por ciruela (*Prunus domestica*) pequeño árbol caducifolio de hasta 2 m de talla de la familia de las Rosáceae, con la corteza pardo-azulada, brillante, lisa o agrietada longitudinalmente. Hojas simples, elípticas u obovadas, de 4-10 cm de longitud, con el margen crenado-serrado. Envés tomentoso, especialmente sobre el nervio central y las nerviaciones. Pecíolo tomentoso-glanduloso, de 1 cm de longitud. Flores blancas, aisladas o en parejas, de 2-2.5 cm de diámetro, sobre pedicelos de 6 mm de longitud, apareciendo en Abril antes que las hojas. Fruto azulado-negruzco, aunque puede variar de color y de tamaño, oscilando entre 3 y 5 cm de diámetro. Ver (Fotografía 9).

Fotografía 9. *Prunus Domestica* y *Pyrus malus* L.






Fuente: Resultado del estudio

#### ▪ **Tomate de árbol**

*Cyphomandra betacea* Nombre común o vulgar: Árbol de los tomates, Árbol del tomate, Tomate arbóreo del Perú, Tamarillo, Tamarillos, Tomate de árbol, Tomates de árbol de la Familia de las Solanáceas (*Solanaceae*). Originaria de los Andes, ésta especie se encuentra en huertos familiares desde el norte de la



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

Argentina hasta el sureste de México y en las Antillas. Son países productores Colombia, Brasil, Nueva Zelanda, Kenia, Sudáfrica, California (EE.UU.), India, Sri Lanka. Hojas simples, aovadas o cordadas, por lo general íntegras, pubescentes, de hasta 30 cm de largo. Los frutos son comestibles, pudiendo comerse crudos o guisados. Tiene forma oviforme, su piel es lisa, turgente, brillante y de un cierto sabor amargo. El color varía del rojo al carmín, aunque también hay variedades de tonos anaranjados a los que se les han alterado sus propiedades siendo más dulces y conteniendo unas semillas más pequeñas y tiernas. Ver (Fotografía 10)

Fotografía 10. *Cyphomandra betacea* .



Fuente: Resultado del estudio

#### **4.8.6. Cítricos**

Cobertura compuesta por especies arbóreas de hojas perennes cuya altura puede variar de los 3 a los 15 metros, poseen tallos erectos, verdosos, con ramas provistas de espinas. Las flores, muy fragantes, suelen estar reunidas en inflorescencias, generalmente en forma de corimbos aunque raramente aparecen aisladas.

#### ▪ **Mandarina**

El Citrus Nobilis de la familia Rutáceae, es originario del sureste de Asia y China, se cultiva intensamente en toda la cuenca mediterránea, y vegeta en zonas subtropicales y en las proximidades de mares u océanos. Es un arbolillo que no rebasa los 4 m. de altura, con un follaje perenne, verde brillante y con una hermosa floración de un aroma agradable. Tronco con frecuencia torcido, generalmente sin espinas, y ramas angulosas. Las hojas son oblongo-ovales, elípticas o lanceoladas, con margen aserrado por encima de la base. Son de color verde oscuro brillante en el haz y verde amarillento en el envés, fragantes cuando se las tritura. Ver (Fotografía 11)

Fotografía 11. Citrus Nobilis



Fuente: Resultado del estudio

#### **4.8.7. Cultivos agroforestales**

Zonas ocupadas por arreglos a 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 par surcos a hilera de árboles con cultivos o arboles con pastos. Ver (Fotografía 12)

Fotografía 12. Cultivo agroforestal.



Fuente: Resultado del estudio

▪ **Pastos y árboles plantados.**

Cobertura ocupada por arreglos espaciales donde se combinan pastos destinados a ganadería con plantaciones arbóreas destinadas a todo tipo de producción (madera, leña, frutales, resinas, etc.), frecuentemente llamados silvopastoriles; la característica principal de esta cobertura radica en que el aumento en el detalle no implica la subdivisión en unidades puras, porque estas se encuentran combinadas en la misma área, alternadas par surcos a hileras de árboles con pastos. Ver (Fotografía 13)

Fotografía 13. Plantación silvopasotil.



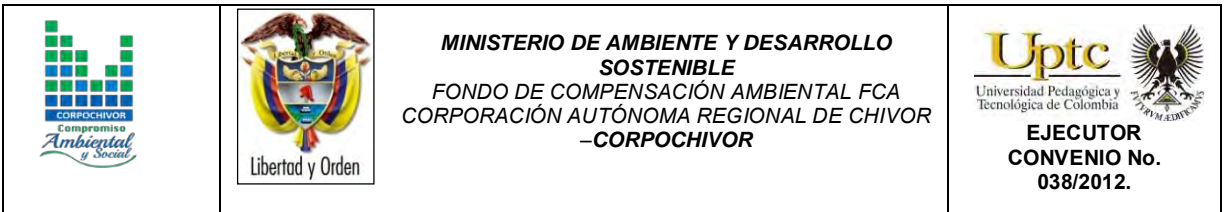
Fuente: Resultado del estudio

#### ▪ **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 limpios**

Los pastos limpios los cuales comprenden un porcentaje de cubrimiento alto en la zona de falla; la realización de prácticas de manejo (Limpieza, fertilización, etc.) y



el nivel tecnológico utilizados impiden la presencia o el desarrollo de otras coberturas. Ver (Fotografía 14).




Fotografía 14. Pastos limpios presentes en la zona de estudio.



Fuente: Resultado del estudio

Los pastos limpios presentes en la zona de estudio en el municipio de nuevo colon, el deslizamiento está presente en esta cobertura, facilitándole su avance y velocidad debido a la ausencia de cobertura vegetal mayor. 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

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

de áreas semiáridas y la desprotección de las escorrentías. Esto último influye también en el balance de las aguas superficiales y subterráneas.

#### **4.8.8. Bosques y áreas seminaturales**

Comprende un grupo de coberturas vegetales de tipo boscoso, arbustivo y herbáceo, desarrolladas sobre diferentes sustratos y pisos altitudinales que son el resultado de procesos climáticos; también por aquellos territorios constituidos por suelos desnudos y afloramientos rocosos y arenosos, resultantes de la ocurrencia de procesos naturales o inducidos de degradación.

##### **▪ 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.

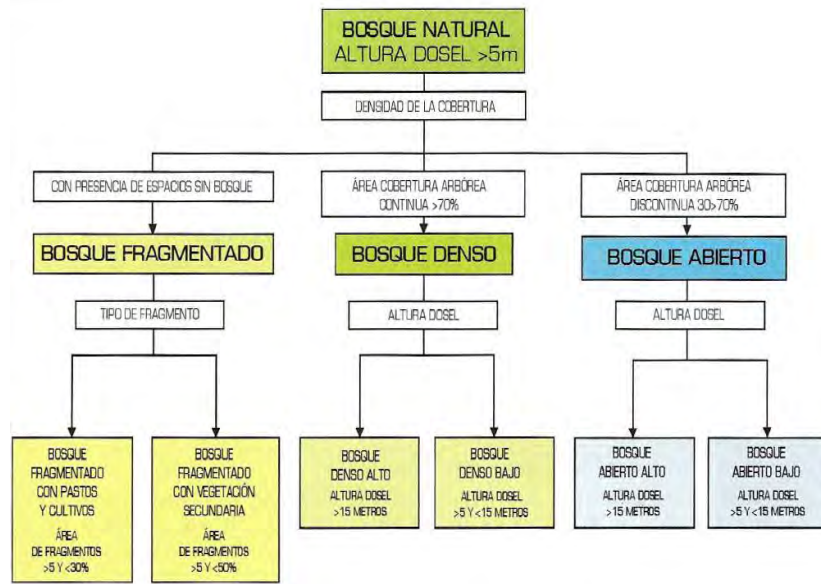
Para efectos de clasificación los bosques son determinados por la presencia de árboles que deben alcanzar una altura del dosel superior a los cinco metros.

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 23. Criterios para la clasificación de los bosques



Fuente: Corine Land Cover 2010

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

▪ **Bosque denso**

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

▪ **Bosque denso bajo**

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

▪ **Bosque denso bajo de tierra firme**




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

Fotografía 15. Bosque denso bajo de tierra firme



Fuente: Resultado del estudio



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

#### ▪ **Plantación forestal**

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

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

#### ▪ **Cupressaceae**

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

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

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

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




Fotografía 16. Pino presente en la zona de estudio.



Fuente: Resultado del estudio

#### ▪ **Myrtaceae**

Esta es una familia en donde sus miembros son plantas dicotiledóneas. Entre 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

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

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 17. Eucaliptos presentes en la zona de estudio



Fuente: Resultado del estudio

#### **4.8.9. Áreas con vegetación herbácea**

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.

▪ **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. Ver (Fotografía 18)

Fotografía 18. Vegetación mesofilo.

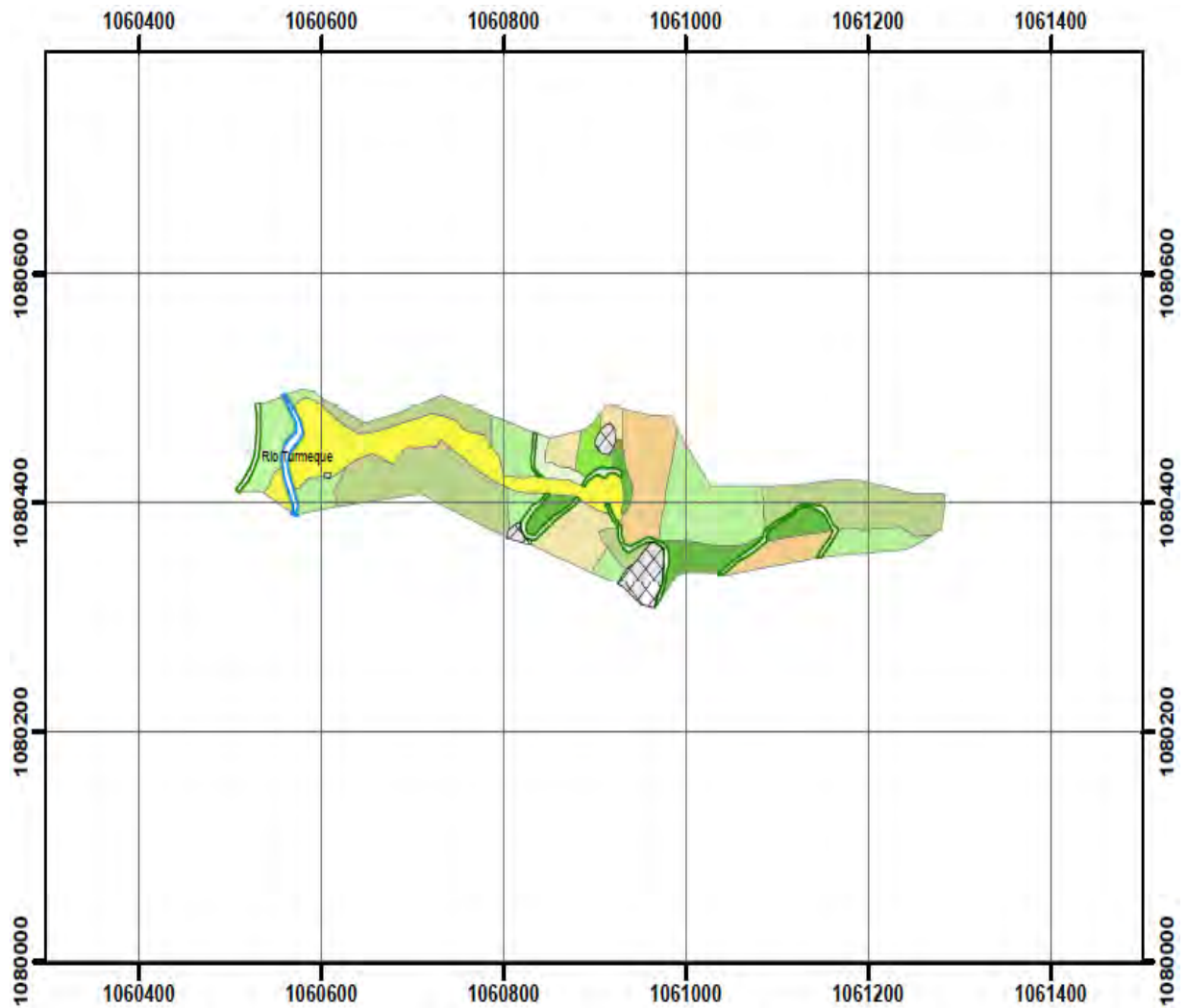


Fuente: Resultado del estudio



#### 4.8.10. Áreas y porcentajes de las coberturas en el área de estudio.

Figura 24. Imagen del Mapa cobertura vegetal y uso de suelo



Fuente: Resultado del estudio

Tabla 16. Porcentaje de coberturas sector puente Camacho.

TIPO DE COBERTURA	AREA m <sup>2</sup>	% COBERTURA
TEJIDO URBANO DISCONTINUO	2485	4,30
RED VIAL Y TERRITOTIOS ASOCIADOS	1306	2,26
CULTIVOS TRANSITORIOS	4520	7,81
CULTIVOS PERMANENTES HERBACEOS	563	0,97
CULTIVOS PERMANENTES ARBOREOS	7219	12,48
CULTIVOS AGROFORESTALES	1178	2,04
PASTOS LIMPIOS	15734	27,20
BOSQUE DENSO BAJO	4845	8,38
BOSQUE FORESTAL	17808	30,79
ARBUSTAL MESOFILO	906	1,57
DESLIZAMIENTO	1034	1,79
RIO	246	0,43

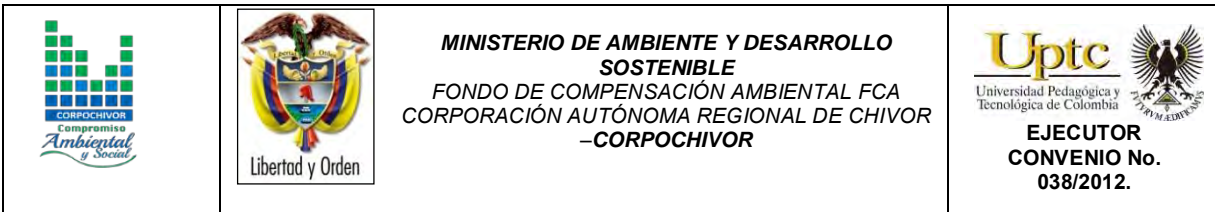
Fuente: Resultado del estudio

#### 4.8.11. 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.







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

Tabla 17. Unidades de cobertura vegetal presentes en la zona de estudio.




FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
Rosáceae	<i>Pyrus malus</i> L.	Manzana
Asteráceae	<i>Baccharis latifolia</i>	Chilca
Poaceae	<i>Zea Mays</i>	Maíz
Crassulaceae	<i>Kalanchoe</i> sp.	Oreja de elefante
Fabaceae	<i>Trifolium pratense</i> L.	Trebol
Rosaceae	<i>Prunus serotina</i> Ehrh.	Cerezo negro
Polygonaceae	<i>Rumex acetocella</i> L.	Vinagrera
Fabáceae	<i>Acacia longifolia</i>	Acacia
Poaceae	<i>Poacea maximum</i>	Pasto
Onagraceae	<i>Fuchsia boliviana</i> Carrière	Fucsia
Asteraceae	<i>Baccharis</i> sp.	
Poaceae	<i>Paspalum</i> sp.	Pasto
Solanáceae	<i>Cyphomandra betacea</i>	Tomate de arbol
Rutáceae	<i>Citrus Nobilis</i>	Mandarina
Rosáceae	<i>prunus domestica</i>	Ciruela
Theaceae	<i>Terustroemia</i> sp.	Trompitos
Euphorbiaceae	<i>Croton funcnkianus</i>	
Fabaceae	<i>Acacia microphylla</i>	Acacia
Cupresáceas	<i>Pinus halepensis</i>	pino de piña
Melastomataceae	<i>Miconia squamulosa</i> Triana	Tuno
Agaváceae	<i>Furcraea bedinghausii</i>	Maguey
Asteráceae	<i>Taraxacum officinale</i>	Diente de león
Salicaceae	<i>Salix humboldtiana</i>	Sauce
Poaceae	<i>Pennicetum setaceum</i>	Catalán
Poaceae	<i>Bromus unioloides</i>	Cebadilla criolla
Poaceae	<i>Pennicetum clandestinum</i>	Pasto
Solanáceae	<i>Cyphomandra betacea</i>	Tomate de árbol
Musáceae	<i>Musa sapientum</i> L.J	Maduro

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

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

Poaceae	Anthoxanthum odoratum	Pasto de olor
Pinaceae	Pinus patula Schltl. & Cham.	Pino
Pteridaceae	Pteridium esculentum	Helecho
Rosáceae	Pyrus communis	Peral
Myrtaceae	Eucalyptus pellita	Eucalipto
Solanáceae	Physalis peruviana	Uchuva
Poaceae	Phalaris canariensis	Alpiste
Rosáceae	Prunus persica	Durazno
Oleaceae	Fraxinus chinensis Roxb.	Urapán
Polygonaceae	Polygonum hidropiper L.	Barbasco
Rosáceae	Rubus glaucus Benth	Mora

Fuente: Resultado del estudio

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

## 5 MARCO HIDROGEOLÓGICO GENERAL

### 5.1. UNIDAD I (Permeabilidad Alta)



Se encuentran areniscas de la formación conejo (Kscn), con alta porosidad y permeabilidad primaria, debido a la distribución de los poros que se encuentran conectados entre sí, lo que genera que los fluidos se transmitan más rápidamente.

### 5.2. UNIDAD II (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, por otra parte la formación Plaeners (Kg2) en el sector de estudio presenta niveles predominantes de lodolitas, se caracteriza por presentar fracturas es decir una porosidad secundaria, permitiendo el flujo de agua, pero de manera muy lenta.

### 5.3. UNIDAD III (Permeabilidad Baja)

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

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

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

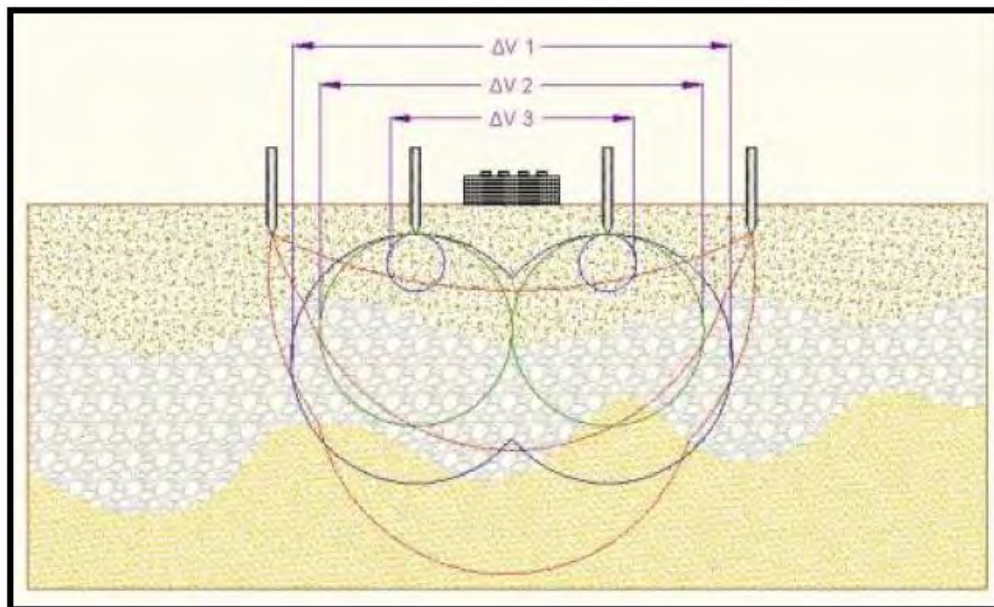
### **6.1. INTRODUCCION**

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

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

Eléctrica han sido utilizados en investigaciones sobre hidrogeología, geotecnia y también actualmente en estudios ambientales (Loke 2004).

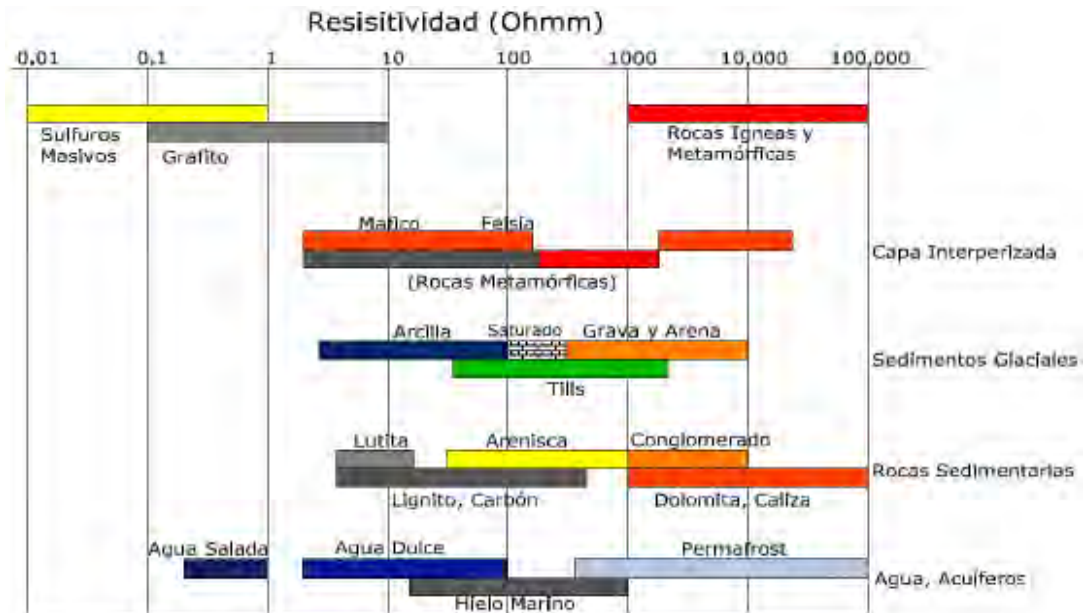
Figura 25. Principio teórico de operación de las TER's.



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



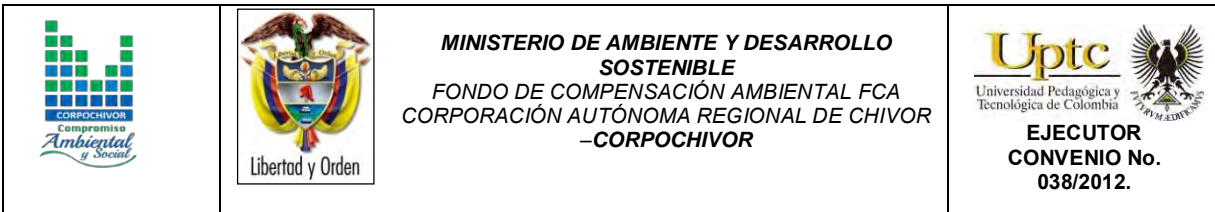
Figura 26. Rangos de resistividad para diferentes materiales.



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

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

La adquisición de datos de campo puede llevarse a cabo con configuraciones de



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

## 6.2. OBJETIVO




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

## 6.3. PRINCIPIO DEL METODO GEOFISICO.

### 6.3.1. Resistividad Aparente:

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

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

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

La ecuación matemática que describe esta relación es:

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

Donde,  $I$  es la corriente que pasa a través del objeto en amperios,  $V$  es la diferencia de potencial de las terminales del objeto en voltios,  $G$  es la conductancia en siemens y  $R$  es la resistencia en ohmios ( $\Omega$ ). Específicamente, la ley de Ohm dice que  $R$  en esta relación es constante, independientemente de la corriente.

▪ **Definición.**

Es la variable experimental que expresa los resultados de las mediciones en TGe y la que se toma como base para la inversión y posterior interpretación. Esta está definida por la ecuación:

$$\rho a = K = \frac{\Delta V}{I}$$

Donde  $K$  es la constante de normalización de cada dispositivo o factor geométrico,  $\Delta V$  es la diferencia de potencial medido sobre el terreno, e  $I$  la corriente inyectada.

▪ **Su relación con los elementos del Subsuelo.**

En la Tabla 18, 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 18 se encuentra un conjunto de valores típicos de resistividad de geomateriales.

Tabla 18. Resistividades de algunos suelos y rocas.

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

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

### 6.3.2. Dispositivos:

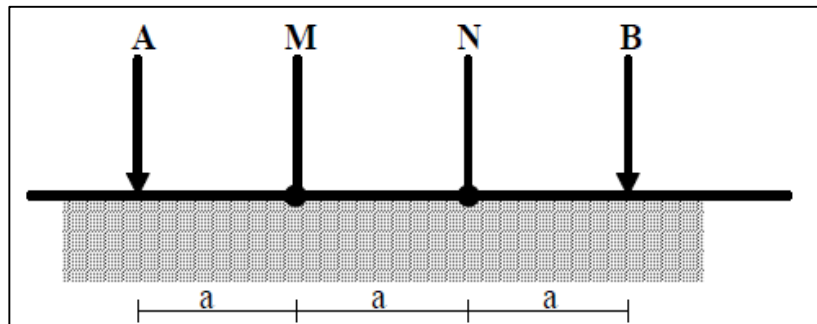
Un dispositivo es un arreglo de electrodos formado con dos pares de electrodos, dos emisores y dos receptores. A través de los electrodos emisores C1C2 se inyecta la corriente continua al terreno midiendo su intensidad con un miliamperímetro en serie, y a través del segundo par se mide la diferencia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

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




- **Dispositivo Wenner.**

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

Figura 27. Dispositivo Wenner.



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

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

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

#### 6.4. METODOLOGIA

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

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

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

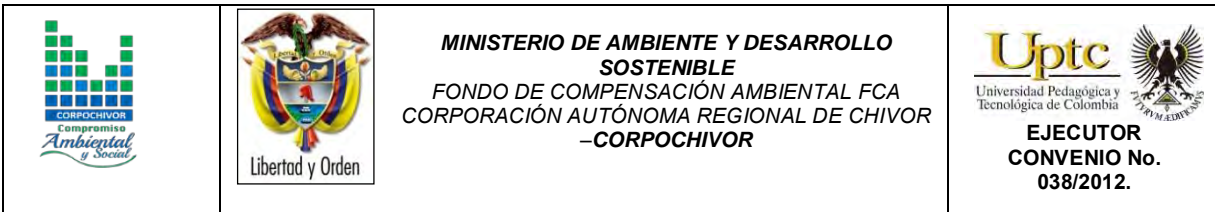
Donde:

d= Distancia entre electrodos

Xtotal= Distancia de la línea extendida

N°electrodos= electrodos a utilizar





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

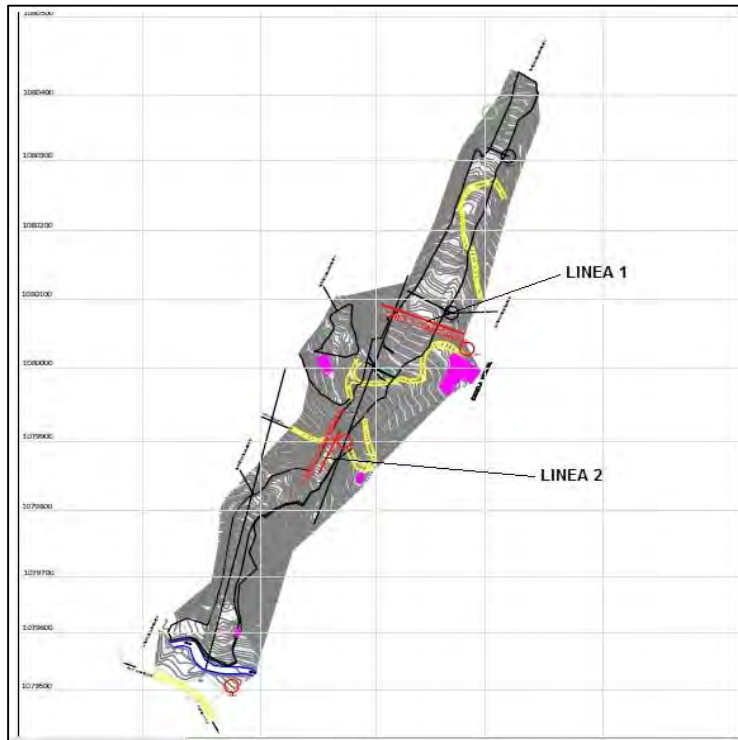
El resultado final de este tipo de estudio es una sección distancia-profundidad con la distribución de la resistividad real del subsuelo, fácilmente comprensible en términos geológicos o geotécnicos. Para obtener estos resultados se procede a insertar los parámetros para el cálculo y la medición de las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

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

#### **6.4.1. TOMOGRAFIA N°1**

Localizada en la parte alta del deslizamiento Coordenadas parte inicial X: 1071148, Y: 1080212, parte final X: 1071082, Y: 1080252, orientación N55°W, con una longitud de 92 mts., profundidad obtenida de 16.6 mts., y los electrodos conectados a una distancia de 2.25 mts cada uno.

Figura 28. Localización líneas de tomografía.



Fuente: Resultado del estudio.

Fotografía 19. Parte alta del deslizamiento.



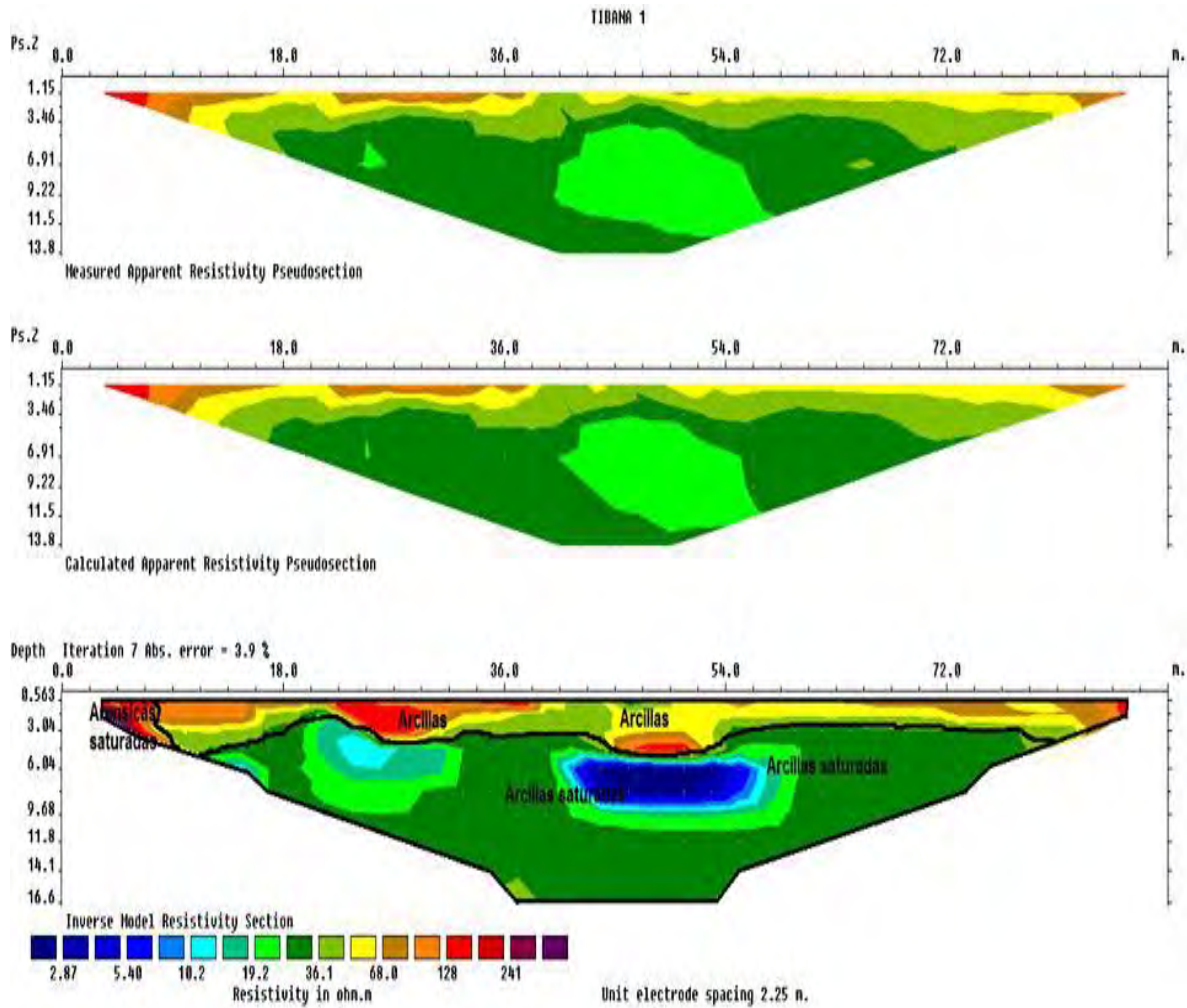
Fuente: Registro fotográfico.

Tabla 19. Datos de resistividad y materiales

MATERIAL	PROFUNDIDAD (m)	RESISTIVIDAD ( $\Omega \cdot m$ )	INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA
1	3.04 – 21.9	2.87 – 16.6	Arcillas saturadas
2	0.563 – 6.04	20 – 120	Arcillas semisaturadas o no saturadas
3	0.563 – 5.	128 - 241	Areniscas saturadas

Fuente: Resultado del estudio.

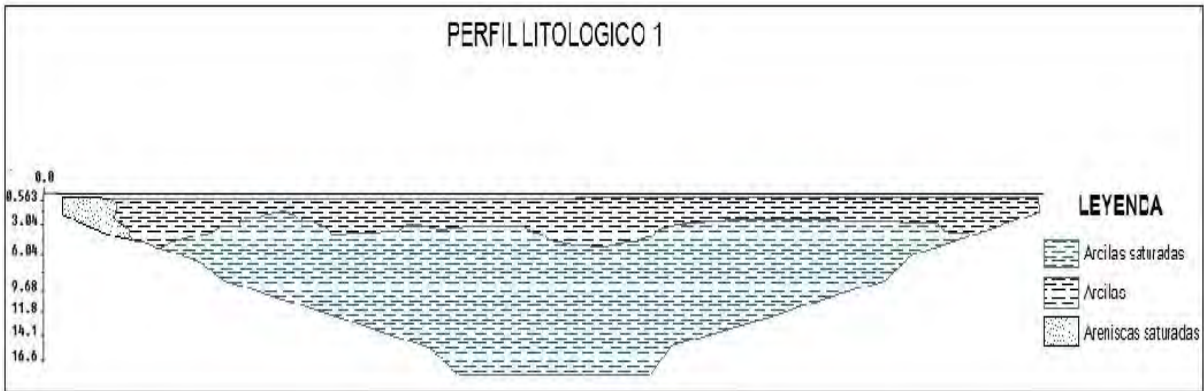
Figura 29. Perfil 1 tomografía.



Fuente: Resultado del estudio.



Figura 30. Perfil litológico 1



Fuente: Resultado del estudio.

#### 6.4.2. TOMOGRAFIA N°2

Localizada en la parte baja del deslizamiento Coordenadas parte inicial X: 1071011, Y: 1080118, parte final X: 1070999, Y: 1080002, orientación N25°E, con una longitud de 53.3 mts, profundidad obtenida de 9.59 mts, y los electrodos conectados a una distancia de 1.30 mts cada uno.

Fotografía 20. Parte baja del deslizamiento.



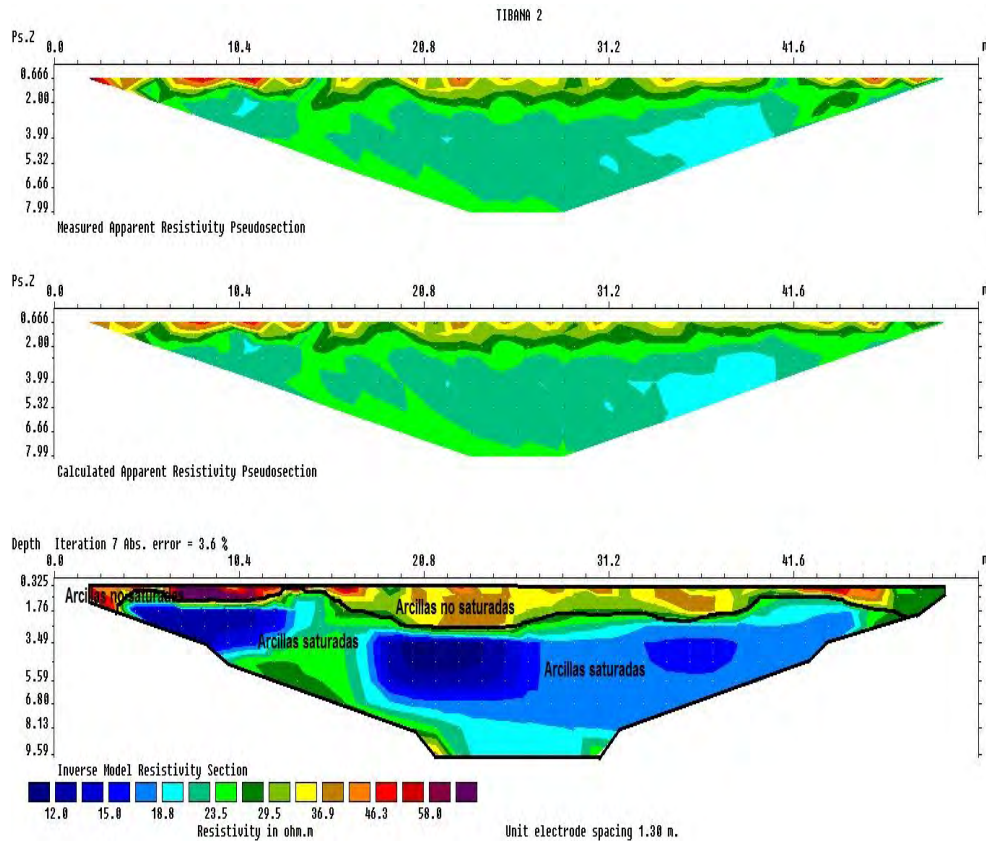
Fuente: Registro fotográfico.

Tabla 20. Datos de resistividad y materiales

MATERIAL	PROFUNDIDAD (m)	RESISTIVIDAD ( $\Omega \cdot m$ )	INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA
<b>1</b>	1.76 – 9.59	12 – 23.5	Arcillas saturadas
<b>2</b>	0.325 – 1.76	23.5 – 58	Arcillas semisaturadas o no saturadas

Fuente: Resultado del estudio.

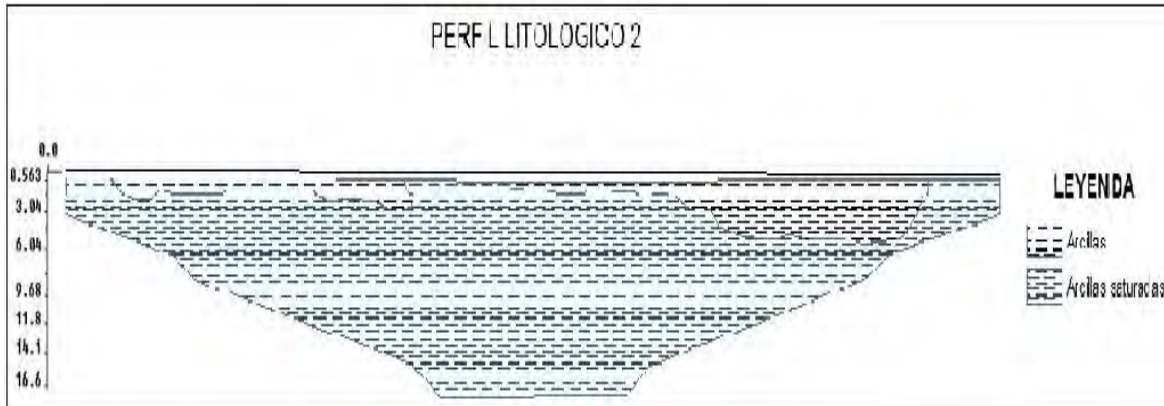
Figura 31. Perfil 2 tomografía.



Fuente: Resultado del estudio.






Figura 32. Perfil litológico 2



Fuente: Resultado del estudio.

### 6.4.3. RESULTADOS

Con ayuda del software Res2DINX64, se relacionaron datos de las respectivas resistividades de los materiales del área obtenidas por el equipo, resultando así el modelamiento del talud, en la línea 1 se observa que el área está conformada por tres unidades Geoeléctricas bien definidas, donde encontramos niveles de arcillas saturadas con rangos de resistividades que oscilan entre 2.87 – 16.6  $\Omega^*m$ , arcillas semisaturadas o no saturadas con resistividades que van desde 20 – 120  $\Omega^*m$ , y finalmente areniscas saturadas con resistividades que oscilan entre 128 - 241  $\Omega^*m$ , ver Figura 29 y Figura 30 Por parte de la línea 2 se puede observar que está conformada por dos unidades Geoeléctricas, el primer material compuesto por arcillas saturadas con rangos de resistividades que van entre 12 – 23.5  $\Omega^*m$ , y el segundo son arcillas no saturadas que poseen rangos de resistividades que van entre 23.5 – 58  $\Omega^*m$ , ver Figura 31 y Figura 32.

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

## 7 GEOTECNIA

En este capítulo se consignan los aspectos relacionados con la evaluación geotécnica de los fenómenos de remoción en masa (FRM) presentes en la vereda Bayeta, municipio de Tibana, sucedidos desde hace unos años, y que han evolucionado hasta afectar considerablemente viviendas presentes 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 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 5 hasta los 14 metros de y sus ubicaciones se relacionan en la Tabla 21; de estos se realizaron los también ensayos de propiedades índices y propiedades mecánicas.

Tabla 21. Coordenadas de los sondeos realizados

<b>Tibana</b>			
Sondeo	Coordenadas		Profundidad (metros)
	Este	Norte	
Afloramiento	1,071,152	1,080,195	14.9
Apique1	1,071,028	1,080,093	2.2
Apique 2	1,070,912	1,079,023	3.39
sondeo 1	1,060,599	1,080,457	5

Fuente: Resultado del estudio

Además de estos apiques se programaron sondeos para recuperación de muestras por medio de la cuchara partida y explorar a una profundidad mayor el sub suelo (más o menos de 2 a 3 metros).

Fotografía 21. Perforación realizada en la zona de estudio



Fuente: Resultado del estudio

También se caracterizó las rocas aledañas al deslizamiento y se realizó la toma de muestras tamaño puño para realizar la caracterización de sus propiedades físicas y algunos pequeños bloques para realizar ensayos en laboratorio como tilt test y cargas por punta con el fin de conocer su resistencia, a la vez se realizó el mapeo



en estos puntos donde se hizo el levantamiento de discontinuidades en los puntos donde se pudo observar la roca aflorante.

Fotografía 22. Punto de rocas aflorantes en la cercanía del deslizamiento y zona de mapeo geológico.



Fuente: Resultado del estudio

## 7.2. CARACTERIZACIÓN DEL SUELO Y SUBSUELO

### 7.2.1. Trabajos de Laboratorio

En el laboratorio de Mecánica de Suelos 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 de las rocas presentes en la zona de estudio, acontinuacion se realiza una descripción de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos y rocas

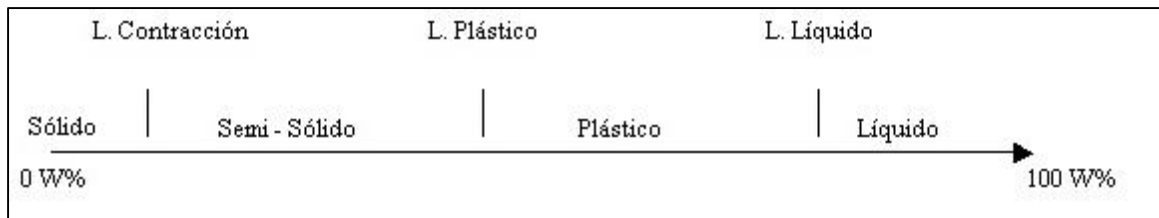
concluyendo con un numeral con los resúmenes de los resultados de estas pruebas.

### 7.2.1.1. Propiedades índices de los suelos

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




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

Figura 33. Límites de Atterbeg



Fuente: Juárez Badillo y Rico Rodríguez



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

- **Humedad natural:** Se denomina humedad natural o contenido de agua de un suelo, a la relación entre el peso de agua contenido en el mismo y el peso de su fase sólida, este se expresa como porcentaje.
  
- **Peso unitario:** El peso unitario es definido como la masa de una masa por unidad de volumen. El peso unitario del suelo varía de acuerdo al contenido de agua que tenga el suelo, que son: húmedo (no saturado), saturado y seco.
  
- **Granulometría:** Se denomina clasificación granulométrica o granulometría, a la medición y gradación que se lleva a cabo de los granos de una formación sedimentaria, de los materiales sedimentarios, así como de los suelos, con fines de análisis, tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas, y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica.

#### 7.2.1.2. Propiedades índices de las rocas

La roca como agregado de mineral presenta características físicas que influyen en su respuesta mecánica, además algunos de estos parámetros son importantes en el diseño y construcción de obras ingenieriles.

Se establecieron propiedades físicas tales como:

- Densidad total de la muestra ( $\rho$ )
- Densidad seca de la muestra ( $\rho_d$ )
- Densidad saturada de la muestra ( $\rho_{sat}$ )
- Porcentaje de humedad ( $\omega$  %)
- Porcentaje de saturación ( $S$ %)

- Porosidad ( $n\%$ )
- Relación de vacíos ( $e$ )
- Peso específico ( $\gamma$  ( $\text{KN}/\text{m}^3$ ))
- Peso específico seco ( $\gamma_d$  ( $\text{KN}/\text{m}^3$ ))
- Peso específico saturada ( $\gamma_{\text{sat}}$  ( $\text{KN}/\text{m}^3$ ))

### 7.2.1.3. 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. Ver (Fotografía 23).

Fotografía 23. 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. Ver (Fotografía 24).




Fotografía 24. Muestras a las que se les realizó la prueba de corte directo.



Fuente: resultado del estudio.

### 7.2.2. Propiedades mecánicas de las rocas

- **Ensayo de Tilt Test:** Este ensayo permite estimar el ángulo de rozamiento de una discontinuidad o ángulo de fricción básico de la matriz rocosa para condiciones de bajos niveles de esfuerzo normal.
- **Carga puntual:** También denominado PLT (point load test) o ensayo Franklin. Se utiliza para determinar la resistencia a compresión simple de especímenes de roca, a partir de una correlación con el índice de carga puntual corregido (Is50), obtenido de este ensayo.

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

























### 7.2.3. Resumen de resultados

En general los ensayos realizados reflejan la particularidad de materiales finos en el subsuelo según la Carta de Clasificación de Casagrande, los suelos fueron clasificados dentro del grupo CL (material limoso de baja plasticidad) correspondientes al material de relleno, arcillas limosas, con peso unitario de 1.4 – 2.2 gr/cm<sup>3</sup>, con limite líquido < 33% e IP entre 5% y 27%.

Los resultados de las propiedades mecánicas reflejan una resistencia a la compresión simple de 0.4 – 2.7 kg/cm<sup>2</sup>, cohesión de 0.2 – 1 Kgf/cm<sup>2</sup>, ángulos de fricción entre 7° y 31°. 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 22).

En cuanto a las rocas presentes se obtuvieron pesos específicos de entre los valores de 21 a 28 kN/m<sup>3</sup> en las diferentes rocas, con ángulos de rozamiento residual de que varían entre 30° y 60° y resistencias obtenidas por el ensayo de carga puntual de 6 – 27 MPa.

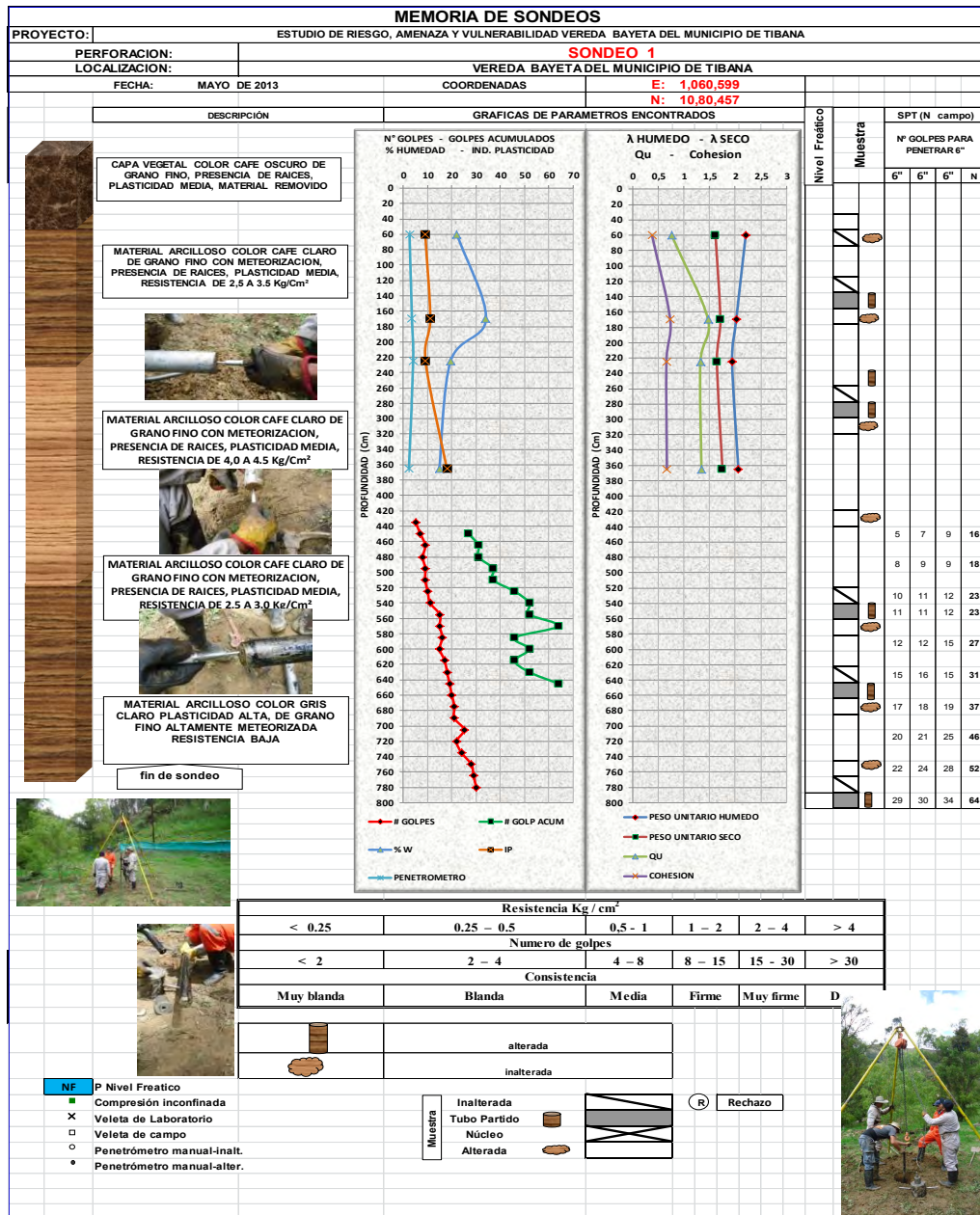
Tabla 22. Resumen de resultados ensayos de laboratorio

 <b>UNIVERSIDAD PEDAGOGICA Y TECNOLOGICA DE COLOMBIA</b> <b>LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS</b> <b>SECCIONAL SOGAMOSO</b> <span style="float: right;"></span>																					
PROYECTO:		ESTDIO DE RIESGO, AMENAZA Y VULNERABILIDAD VEREDA BAYETA DEL MUNICIPIO DE TIBANA																			
PERFORACION:		AFLO 1 -2-3 SONDEO # 1																			
LOCALIZACION:		VEREDA BAYETA DEL MUNICIPIO DE TIBANA - DEPARTAMENTO DE BOYACA																			
FECHA:		MAYO DE 2013																			
<input type="checkbox"/> inalterada <input type="checkbox"/> 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 %	φ °	C Kg/cm2	Peso Unitario	Peso Unitario	COMPRESION INCONFINADA qu	C	PENETROMETRO BOLSILLO Kg/cm²			
AFLO 1	1		1,44	1,071,152	1,080,195							3,082							> 4,5		
	2		2,94	1,071,152	1,080,195	2,28%						18,506	24,3230	1,3305	2,0182	1,6782	2,7812	1,3906	> 4,5		
	3		3,39	1,071,152	1,080,195	20,05%	33,1600	11,11	22,05		CLASIF	4,894	26,1970	0,88	1,9622	1,6346	1,8403	0,9202	> 4,5		
	4		3,74	1,071,152	1,080,195	22,07%	35,2	21,43	13,77		CLASIF	3,759	7,06850	0,5405	1,9970	1,6359	1,0540	0,5270	> 4,5		
	5		5,59	1,071,152	1,080,195		ARENISCA													> 4,5	
	6		6,44	1,071,152	1,080,195	10,58%	39,1000	33,33	5,77		ML-OL	5,188	34,9920	2,525	1,7850	1,4489	1,4215	0,7108	> 4,5		
	7		8,09	1,071,152	1,080,195															> 4,5	
	8		9,84	1,071,152	1,080,195	9,93%	41,3100	13,4	27,91		CL	5,553	31,7989	0,6505	1,9747	1,5770	0,7985	0,3993	> 4,5		
	9		10,44	1,071,152	1,080,195		ARENISCA													> 4,5	
	10		11,40	1,071,152	1,080,195	20,53%	38,1300	21,05	17,08		CL	10,564			2,0438	1,6957	1,0057	0,5029	> 4,5		
	11		11,90	1,071,152	1,080,195															> 4,5	
	12		14,90	1,071,152	1,080,195	17,77%	31,09	20,00	11,09		CL	2,248			2,1563	1,8310	0,6656	0,3328	> 4,5		
API 2	1		0,47	1,071,028	1,080,093	3,55%						7,322							> 4,5		
	2		1,08	1,071,028	1,080,093	2,14%	LODOLITA												> 4,5		
	3		2,02	1,071,028	1,080,093	0,53%	ARENISCA CARBONATADA												> 4,5		
API 3	1		1,5	1,070,912	1,079,023	1,55%	27,2	18,42	8,78		CL	2,715			2,0133	1,6461	0,4977	0,2489	> 4,5		
	2		2,30	1,070,912	1,079,023	2,09%	25,63	16,13	9,50		CL	5,625			2,0154	1,7118	0,9311	0,4656	> 4,5		
	3		3,39	1,070,912	1,079,023	11,71%														> 4,5	
S 1	1		1,15	1,060,599	1,080,457	22,1%	30,64	21,64	9,00		CL	7,296	8,1926	0,60905	2,2044	1,6175	0,7638	0,3819	2,5		
	2		1,96	1,060,599	1,080,457	34,1%	36,0800	25	11,08		CL				2,0198	1,7107	1,4723	0,73615	4,0		
	3		3,00	1,060,599	1,080,457	19,5%	30,9800	21,88	9,10		CL	9,933			1,9400	1,6444	1,3227	0,66135	3,0		
	4		5,00	1,060,599	1,080,457	14,9%	33,32	15,38	17,94		CL	4,058			2,0620	1,7522	1,3436	0,6718	2,25		

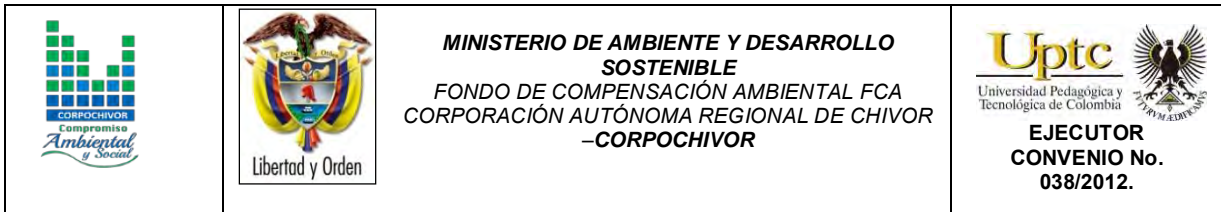
ELABORACIÓN DE ESTUDIO DE RIESGO (AMENAZA Y VULNERABILIDAD) Y DISEÑO DE OBRAS DE ESTABILIZACION EN LA VEREDA BAYETA, MUNICIPIO DE TIBANA JURISDICCIÓN DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR (CORPOCHIVOR).



Figura 34. Perfil Geotécnico



Fuente: Resultado del estudio



### 7.3. Clasificación del Macizo Rocos.

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

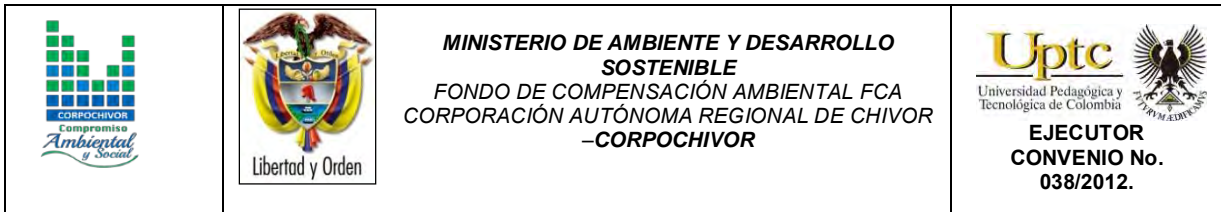
#### 7.3.1. Índice de Calidad de la Roca (RQD):

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

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

Donde,

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



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

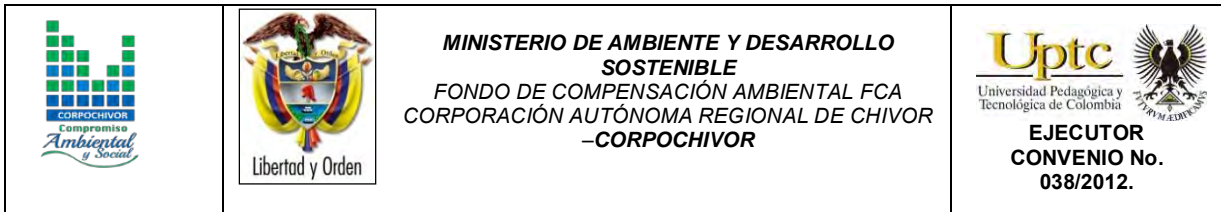
- 1: <25%: Muy Mala (MM)
2. 25-50: Mala (M)
3. 50-75: Regular(R)
- 4: 75-90: Buena (B)
- 5: 90-100: Muy Buena (MB)

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

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

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

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



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

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

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

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

Procesando los resultados para cada banco e intercalación de la prueba de resistencia a compresión simple, de R.Q.D., de las condiciones de discontinuidades, de las condiciones de agua subterránea de acuerdo a lo observado en campo y, realizando la corrección correspondiente, fue posible realizar la clasificación geomecánica del macizo rocoso. En el Tabla 23 se muestra el resultado de la clasificación por el método RMR para los afloramientos presentes.

Tabla 23. Resumen de Resultados de la Clasificación RMR

Parámetro de clasificación		TIBANA			
		Areniscas (Kg2)		Areniscas (Kscn)	
		Parámetro	Valuación	Parámetro	Valuación
Resistencia Compresión simple (MPa)		36,00	5	0,78	2
R.Q.D (%)		R	10	R	11
Separación de las discontinuidades		Mj	8	Mj	10
Estado de las discontinuidades	Rugosidad - JRC	Muy Rugosa	6	Rugosa	5
	Abertura	Cerrada	6	0,1-1mm	4
	Relleno	Duro	5	Suelos Resi.	3
	Alteración	Mod. Alt.	3	Lige. Alt.	5
	Continuidad	1-3 m	3	3-10 m	3
Agua subterránea		LIG. HÚME DO	12	LIG. HÚME DO	12
VALORACIÓN RMR		58		55	
VALORACIÓN GSI		53		50	
VALORACION DE Q'		4,7		3,4	
Ajuste	Favorables/Medias	-5	-25	-5	-25
VALOR RMR		53	33	50	30
Clase		III Media	IV Mala	III Media	IV Mala

Fuente: Resultado del estudio.

Estos valores fueron establecidos para los puntos relacionados en la Tabla 24.



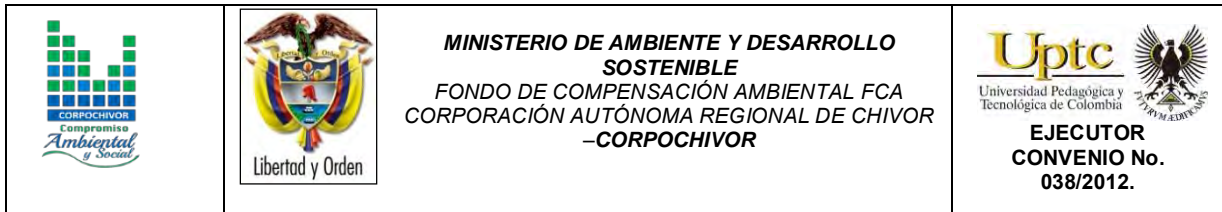


Tabla 24. Puntos de Control para realizar la clasificación geo mecánica.



Formación	E	N	Z
Kscn	1071403	1080672	2438
Kg2	1071006	1079486	2156

Fuente: Resultado del estudio.

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




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

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

INDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICA (GSI)	Condición de la superficie				
	Disminución en calidad de superficie				
	Muy buena	Buena	Moderada	Escasa	Muy escasa
 <b>INTACTA O MASIVA</b> - macizo rocoso con pocas discontinuidades, carente de planos de deformación.	80	70			
 <b>POCO FOLIADA</b> - macizo rocoso parcialmente fracturado con hasta tres sistemas de discontinuidades. Puede contener intercalaciones de rocas foliadas.		60	50		
 <b>MODERADAMENTE FOLIADA</b> - macizo rocoso fracturado constituido por intercalaciones de rocas foliadas y no foliadas en proporciones semejantes.			40	30	
 <b>BRECHADA</b> - macizo rocoso muy alterado tectónicamente con aspecto brechoide.				20	10
 <b>MUY FOLIADA</b> - macizo rocoso plegado, altamente fracturado, constituido únicamente por rocas muy foliada.	N/A	N/A			0

Fuente: Hoek y Brown (2002)

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

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

valuación de condiciones de agua subterránea igual a 15. De acuerdo a lo anterior el valor de GSI 53 y 50 respectivamente como se observa en la Tabla 23.

#### **7.4. CINEMÁTICA DE LOS MOVIMIENTOS**

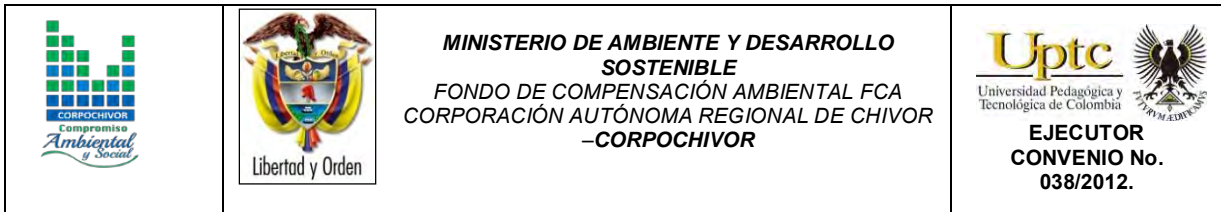
El comportamiento cinemático de los movimientos complejo y depende de varios factores (Pellegrino y otros, 2000):

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

#### **7.5. CAUSAS DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA**

##### **7.5.1. Causas Reales**

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

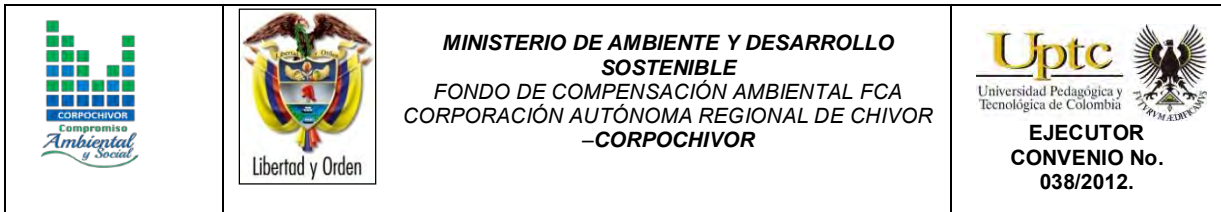


### 7.5.2. Causas Inmediatas

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

Como detonantes de los eventos se han establecido los siguientes:

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



## 7.6. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y MODELACIÓN GEOTÉCNICA

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

Los modelos constituyen simplificaciones de problemas complejos acorde con la realidad, que permiten comprender mejor el funcionamiento de un sistema, son muy utilizados en todas las ciencias, aunque adquieren una gran relevancia en la Ingeniería Geológica, para este modelamiento se deben tener en cuenta tres aspectos fundamentales, Modelo Geológico, Modelo Geomecánico, para así poder llegar al Modelos Geotécnico del comportamiento del terreno (Modelo Numérico).




El modelamiento geotécnico se establece con estos criterios, La exploración del subsuelo y las condiciones geológicas encontradas vistas en los numerales anteriores. Debido a la complejidad del fenómeno de remoción en masa se sectorizo en tres partes a las cuales se le realizo su respectivo análisis mostrado en los perfiles de plano de exploración geotécnica.

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

### 7.6.1. Modelamiento del comportamiento hidráulico.

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



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

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

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

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

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

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

El Municipio de Tibana 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 para el corregimiento de Granada. 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 Tibana los coeficientes de

aceleración horizontal ( $A_a$ ) y vertical ( $A_d$ ) son iguales a 0.15 y 0.07 respectivamente, de acuerdo a la NSR-10, sin embargo la versión vigente del código colombiano sismorresistente, indica que los coeficientes se tomen igual al valor mayor, en este caso 0.20 y 0.25. 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 25).

Tabla 25. Coeficientes de aceleración sísmica para el departamento Boyacá

N°	Municipio	Código	$A_a$	$A_v$	Zona de Amenaza Sísmica	$A_e$	$A_d$
1	Tunja	15001	0.20	0.20	Intermedia	0.15	0.07
107	Tibaná	15804	0.20	0.25	Alta	0.16	0.07
108	Tibasosa	15806	0.20	0.25	Alta	0.16	0.08
109	Tinjacá	15808	0.15	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

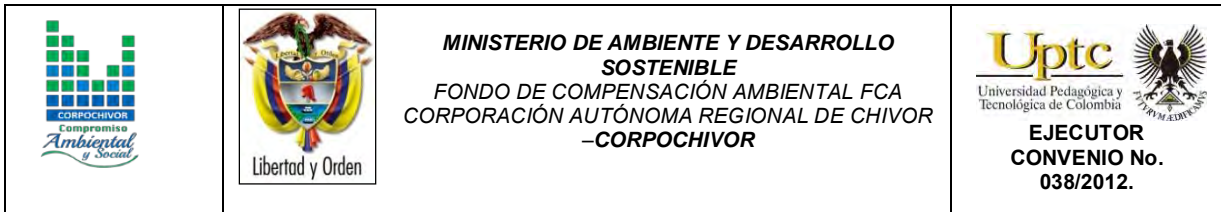
Fuente: Título A NSR – 10

Tabla 26. Coeficientes de reducción de coeficientes de aceleración sísmica

Material	$K_{ST} / a_{m\acute{a}x}$ Mínimo	Análisis de Amplificación Mínimo
Suelos, enrocados y macizos rocosos muy fracturados (RQD < 50%)	0.80	Ninguno
Macizos rocosos (RQD > 50%)	1.00	Ninguno
Todos los materiales térreos	0.67	Amplificación de onda unidimensional en dos columnas
Todos los materiales térreos	0.50	Amplificación de onda bidimensional

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

Por tanto el coeficiente de aceleración para análisis pseudoestático resulta:



$$k = k_{ST} * A_a = 0.8 \times 0.25 = 0.2$$

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.

### 7.6.3. Análisis estructuralmente controlado

Se realizó un análisis estructuralmente controlado para determinar esas zonas donde es probable posibles mecanismos de falla por consecuencia de las estructuras geológicas, este se realizó respecto a las diferentes direcciones de las laderas presentes en la zona y se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 27. Resultado análisis estructuralmente estructurado Falla Planar.

ANÁLISIS CINEMÁTICO						
PLANAR						
Ladera	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO LADERA			RANGO BUZAMIENTO		
1	113	A	153	30	A	52
1	12	A	52	30	A	85
1	252	A	292	30	A	51

Fuente: Resultado del estudio.

Tabla 28. Resultado análisis estructuralmente estructurado Falla Cuña.

ANÁLISIS CINEMÁTICO						
CUÑA						
Rango	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO LADERA			RANGO BUZAMIENTO		
2 Y 3	286	A	326	46	A	90
3 Y1	181	A	221	24	A	90
2 Y 1	92	A	132	49	A	90

Fuente: Resultado del estudio.

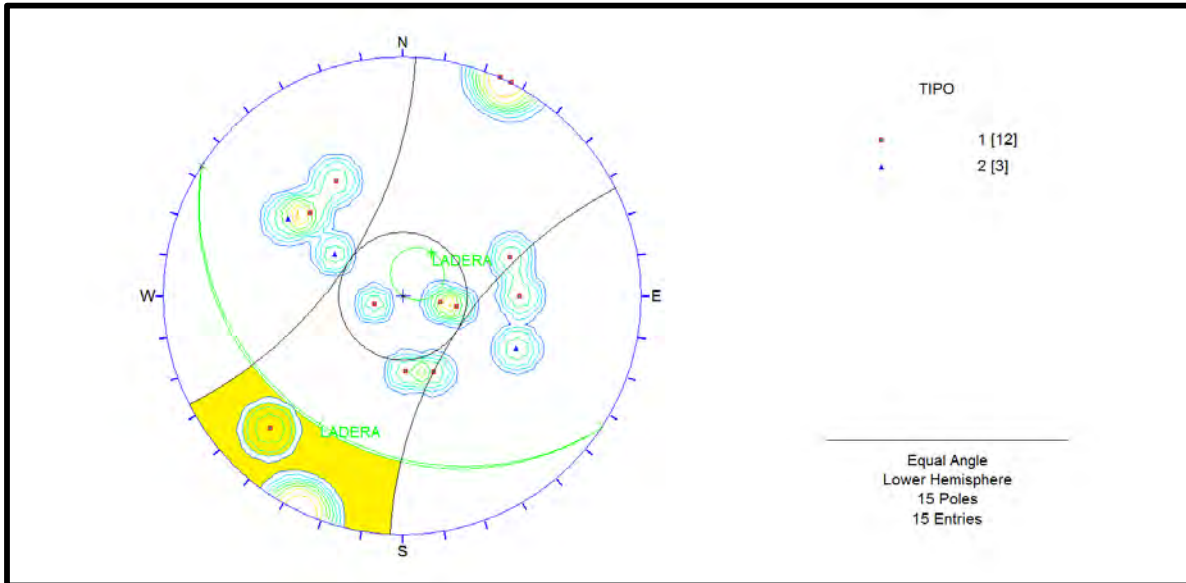
Tabla 29. Resultado análisis estructuralmente estructurado Falla Volteo.

ANÁLISIS CINEMÁTICO						
VOLTEO						
Rango	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO LADERA			RANGO BUZAMIENTO		
1	283	A	333	65	A	90
2	62	A	112	65	A	90
3	252	A	302	65	A	90

Fuente: Resultado del estudio.

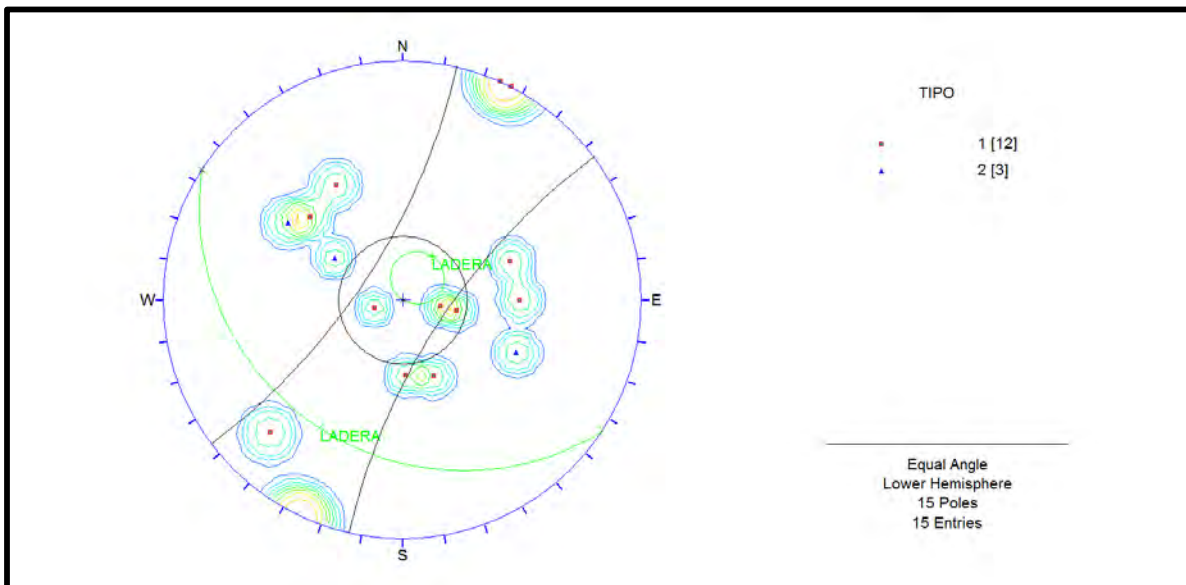
Las Tabla 27, Tabla 28, Tabla 29, reflejan los posibles rangos de dirección de buzamiento de las laderas y la inclinación que deben cumplir para que cada una de las fallas ocurra; estas se obtienen tras analizar cada una de las estructuras presentes en esta zona como se observa de manera esquemática en las Figura 36, Figura 37, Figura 38.

Figura 36. Análisis cinemático, falla por volcamiento



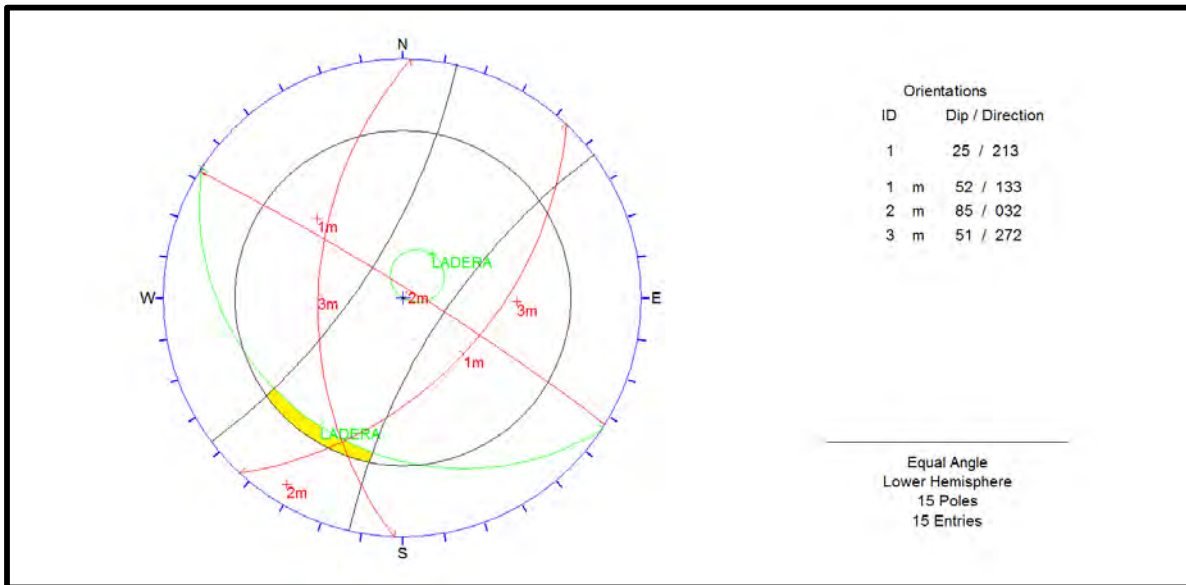
Fuente: Resultado del estudio.

Figura 37. Análisis cinemático falla planar



Fuente: Resultado del estudio.

Figura 38. Análisis cinemático falla por cuña



Fuente: Resultado del estudio.

## 7.7. Análisis estructuralmente no controlado

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

### 7.7.1. Modelo perfil A – A'





El modelo gráfico del 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 los resultados de los diferentes ensayos anteriormente relacionados en el trabajo de laboratorio.

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



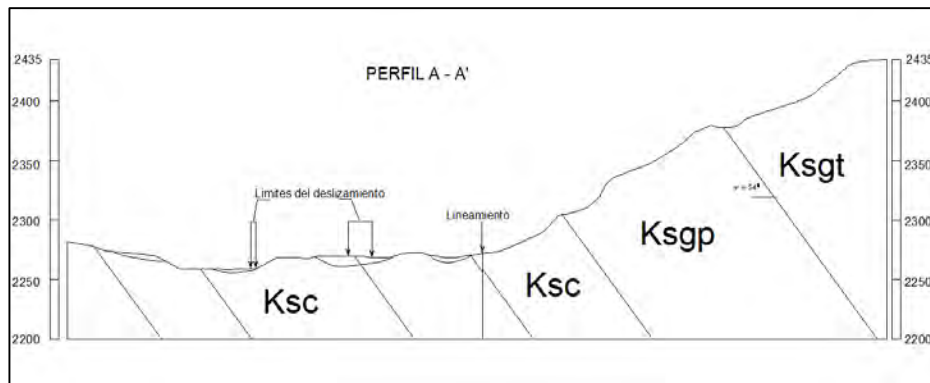
factores de reducción a los resultados ya algunas pruebas de resistencia se realizaron sobre muestras re moldeadas, esto con el fin de poder llegar a contempla un modelo que se acerque a la verdad y no diciendo que este sea igual.

Tabla 30. Valores de Propiedades Físicas y Mecánicas Utilizadas en los Modelos de estabilidad.

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	UCS (kPa)	m	s	a	Water Surface	Ru
Qc		25	Mohr-Coulomb	40	17					None	0.5
Kscn		26	Generalised Hoek-Brown			120000	1.67677	0.00386592	0.505734	None	0.3
ksgt L		23	Generalised Hoek-Brown			90000	3.60353	0.014666	0.502459	None	0.3
Ksgp P		23	Generalised Hoek-Brown			40000	1.5089	0.000686468	0.510622	None	0.3

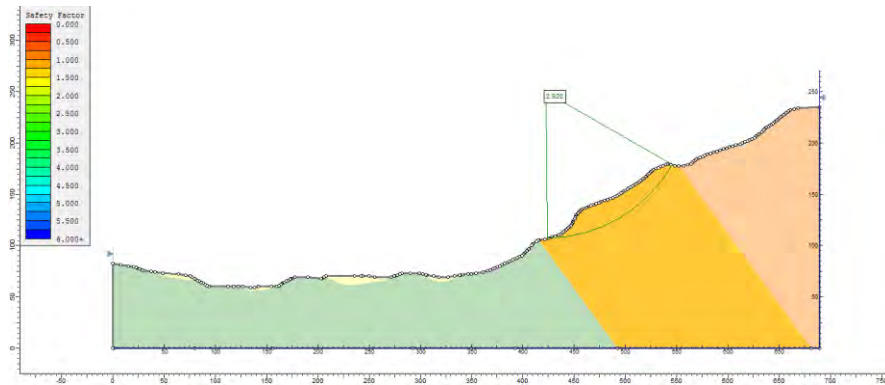
Fuente: Resultados de la Investigación.

Figura 39. Perfil geológico A-A'



Fuente: Resultados del Proyecto.

Figura 40. Modelo de análisis perfil A-A'



Fuente: Resultados del Proyecto.

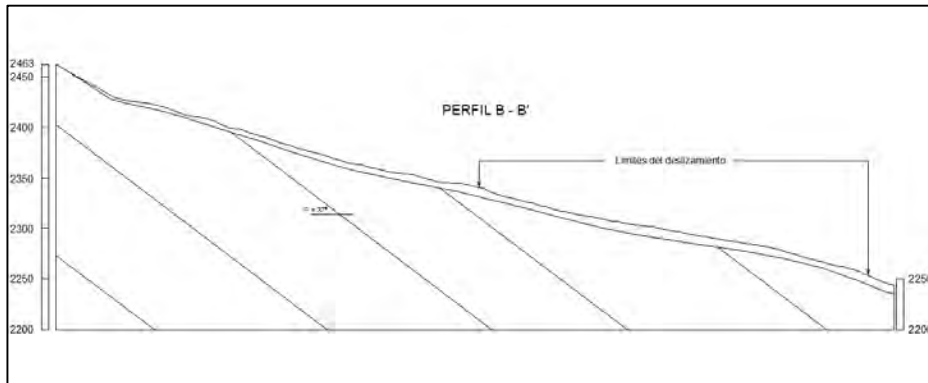
Los resultados de este análisis se relacionan en las siguientes tablas.

Tabla 31. Factores de seguridad para el modelo perfil B-B'

Condición del modelo	Factor de Seguridad			
	Met. Fellenious	Met. Bishop Simplificado	Metodo de Janbu Simple	Metodo de Janbu Corregido
Condición de agua subterránea normal (Ru = 0.1)	2,9	2,6	2,65	2,45
Condición de agua subterránea crítica (Ru = 0.3)	2,1	1,97	1,95	1,92
Condición de agua subterránea media (Ru = 0.5) y sismo (análisis pseudoestático)	1,7	1,65	1,45	1,7

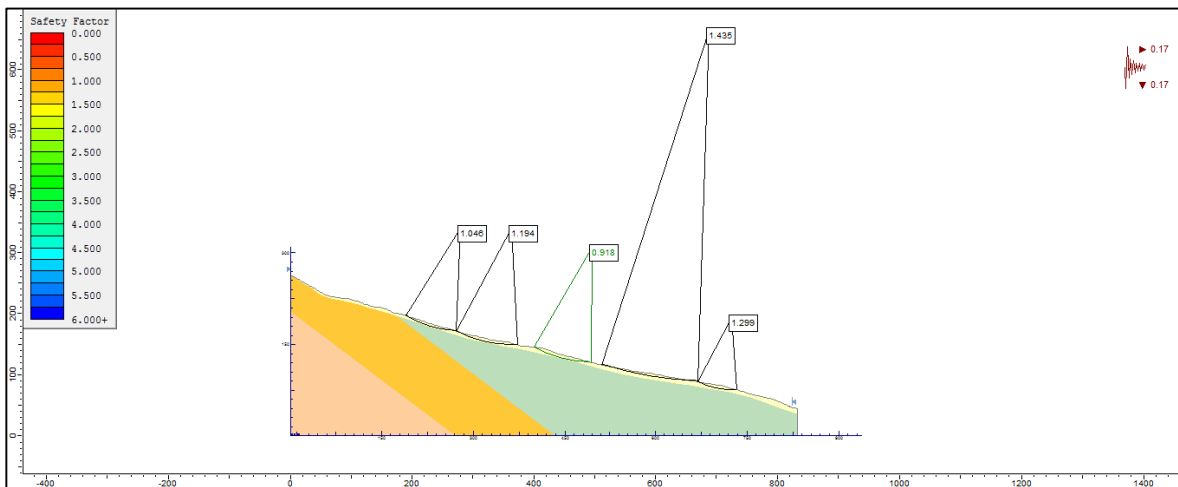
Fuente: Resultados del Proyecto.

Figura 41. Perfil geológico B-B'



Fuente: Resultados del Proyecto.

Figura 42. Modelo de análisis perfil B-B'



Fuente: Resultados del Proyecto.

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

Tabla 32. Factores de seguridad para el modelo perfil B-B'

Condición del modelo	Factor de Seguridad			
	Met. Fellenious	Met. Bishop Simplificado	Metodo de Janbu Simple	Metodo de Janbu Corregido
Condición de agua subterránea normal (Ru = 0.1)	1,04	1,14	1,65	1,45
Condición de agua subterránea crítica (Ru = 0.3)	0,87	0,76	0,88	0,67
Condición de agua subterránea media (Ru = 0.5) y sismo (análisis pseudoestático)	0,5	0,49	0,87	0,67

Fuente: Resultados del Proyecto.

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

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

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

### 8.1. DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DE AMENAZAS

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

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

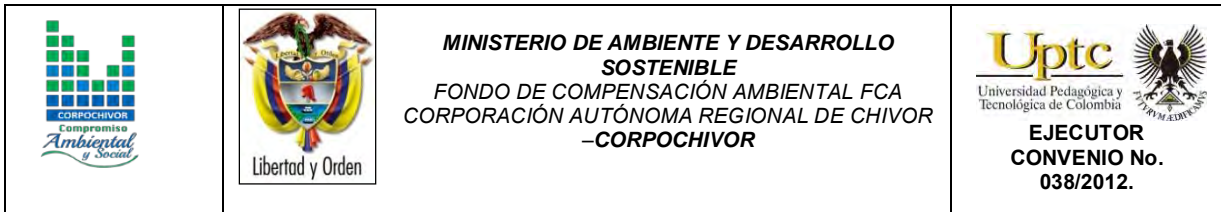
Existen amenazas por inundación, erosión hídrica y fenómenos de remoción en masa, las cuales es importante identificar y caracterizar, para tomar medidas de mitigación que permitan la disminución de la vulnerabilidad y la complementación de los planes de emergencia para cada sector.

Tabla 33. Parámetros físicos y naturales estimados para la Identificación de Zonas Inestables (Deslizamientos)<sup>1</sup>

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

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





Estructurales	Postes inclinados, cables tenso 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: Resultado del estudio.

## 8.2. RESULTADO DE ANALISIS

Para la clasificación de la amenaza de la zona se utilizaron como criterios de categorización los presentados en la Tabla 34, teniendo en cuenta los parámetros de la Metodología de Leone.

Tabla 34. Categorización de amenazas por FRM

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

Fuente: Resultado del estudio.

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

Tabla 35. Categorización de amenaza por FRM Según NSR-10

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

Fuente: Resultado del estudio.

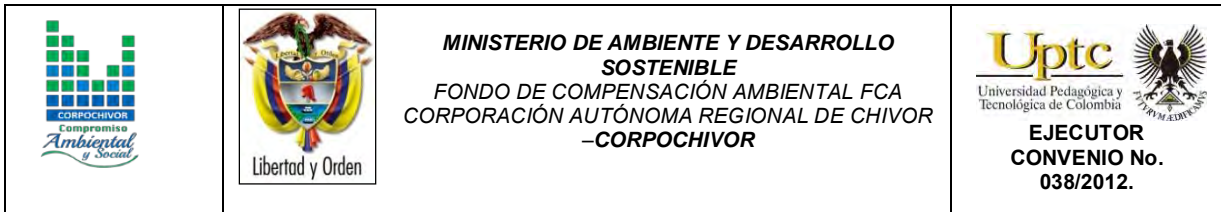
### 8.3. ANALISIS DE AMENAZA

Fotografía 25. Panorámica de la zona de deslizamiento



Fuente: Resultado del estudio.

Se observa un proceso complejo, generando una serie de discontinuidades, que han constituido grandes desprendimientos y terracetas, acelerando el movimiento, los materiales fluyen fácilmente por la diferencia de pendiente, ayudado por la naturaleza arcillosa de los materiales que constituyen el sector, con presencia de nacimientos de agua que unidos a las actividades antrópicas



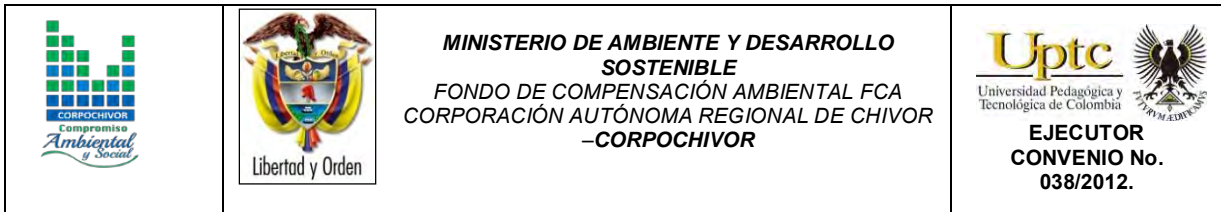
como pastoreo y mal uso de la tierra incrementan estos movimientos. Este movimiento presenta reactivaciones en época invernal como consecuencia de la saturación que se genera en el material inestable. Este movimiento, ya ha afectado algunas de las viviendas que se encuentran dentro de la zona del movimiento, e igualmente han modificado de manera considerable las condiciones morfológicas, afectando a los pobladores en el uso de los predios para actividades agrícolas y pecuarias.

En este estudio, ante la manifestación de inestabilidad del terreno, la amenaza se ha obtenido directamente de la valoración de los efectos notables en el sector, los cuales se evidencian en geoformas, movimientos del terreno, hundimientos, trazas de superficies de falla, presencia de grietas, presencia de escarpes, agrietamiento de las construcciones existentes dentro del cuerpo del deslizamiento y cinemática actual.

Como resultado de esta valoración se obtuvo la zonificación de amenazas (Ver Mapa). Se tienen 2 zonas de Amenaza: Alta y Media.

### **8.3.1. Amenaza Alta.**

Corresponde a toda la zona delimitada topográficamente, en donde se encuentran ubicadas 5 viviendas dentro de la zona del deslizamiento, e igualmente la Escuela Rural Bayeta, en donde laboran 2 adultos y 20 niños en edad escolar. Ver (Fotografía 26)



Fotografía 26. Instalaciones escuela rural Bayeta

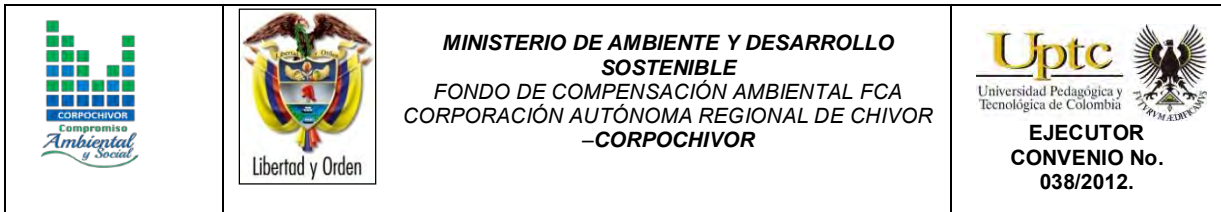


Fuente: Resultado del estudio.

### 8.3.2. Amenaza Media.

Está constituida por la zona de la margen derecha del río Turmequé, que es a donde llega el material desplazado, este río va paralelo a la vía Turmequé – Tibana.

Una vez definidas las características y el comportamiento de la zona, para el análisis de estabilidad se plantearon diferentes condiciones del terreno, presentando escenarios y comportamientos diferentes, basados en estos resultados se plantean las obras necesarias para el manejo de esta zona.



## **9 EVALUACIÓN Y ANALISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO**

En el análisis de vulnerabilidad y riesgo se evalúa teniendo en cuenta los elementos expuestos predominantes en el área de estudio, como viviendas e infraestructura.

### **9.1. VULNERABILIDAD**

La vulnerabilidad constituye un sistema dinámico, que surge como consecuencia de la interacción de una serie de factores y características (externas e internas) que convergen en una comunidad o área particular. A esta interacción de factores se le conoce como vulnerabilidad global. Esta vulnerabilidad global puede dividirse en varias vulnerabilidades o factores de vulnerabilidad, todos ellos relacionados entre sí: vulnerabilidad física; factores de vulnerabilidad económicos, sociales y ambientales. (Wilches-Chaux, 1993).

El estudio de vulnerabilidad física de los elementos expuestos, en este caso las viviendas, se realizó teniendo como fuente de información básica el formulario de inventario de Viviendas, el cual se anexa; El formulario indaga sobre diferentes tópicos, tendientes a establecer parámetros útiles tanto de la vulnerabilidad física como de la social. Para la primera, el análisis se realizó de manera semicuantitativa con adopciones específicas para este proyecto (más extrapolables para otros ámbitos) a la metodología propuesta por Leone (1996). Las adopciones se refieren a la resistencia de los elementos (tipología de viviendas). A la asignación del grado de exposición (escenario de riesgo) y a la matriz de daño elaborada con base en las anteriores. Para la segunda, la vulnerabilidad social, el análisis es apenas cualitativo y se basa en la información de los formularios como: el nivel de ingresos, la percepción del peligro, las

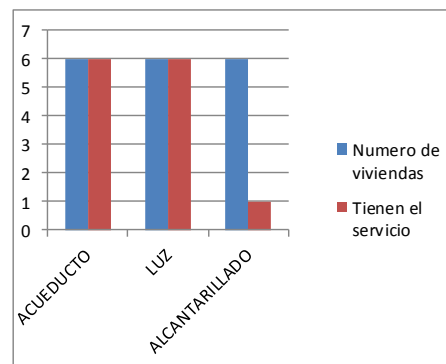
recomendaciones para medidas urgentes, la cobertura de los servicios públicos y el índice de carencia de la vivienda.

## 9.2. INVENTARIO DE VIVIENDAS

Se realizó dentro del estudio, un inventario de viviendas para la evaluación de la vulnerabilidad que consistió en el diligenciamiento de un formato que contiene las principales características de cada vivienda. La información contemplada en el formato incluye entre otros, datos sobre: área construida, estado actual de la construcción, sistema estructural, uso de la edificación, ingresos familiares y cobertura de servicios (Figura 43). Todos tendientes a establecer la exposición y la resistencia de las construcciones y la capacidad de reacción de los habitantes en caso de presentarse deslizamiento.

Figura 43. Indicadores de Índice de Vulnerabilidad social

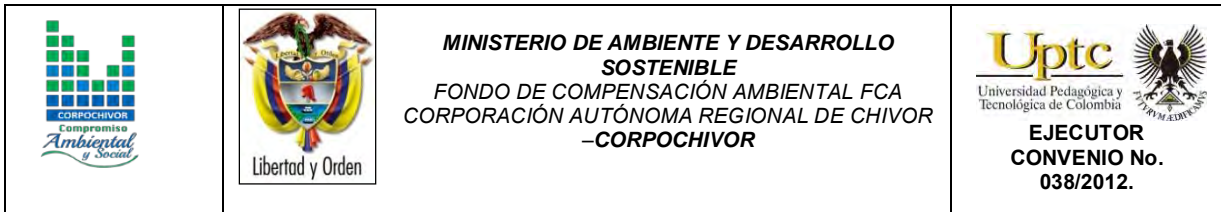
	ACUEDUCTO	LUZ	ALCANTARILLADO
Numero de viviendas	6	6	6
Tienen el servicio	6	6	1
No tienen el servicio	0	0	5
% carencia	0	0	66.66
Promedio	66.66		
Indice de servicios	0.666		



TIPO DE VIVIENDA	SISTEMA ESTRUCTURAL	No. DE VIVIENDAS	%
ADECUADO	MUROS PORTANTES	0	0
	PORTICO	0	0
	PORTICO CON TABIQUES	0	0
	ENTRAMADO TABIQUES	0	0
INADECUADO	SISTEMA MIXTO	6	100
	DE RECUPERACION	0	0
		6	100

Fuente: Resultado del estudio.





En el Anexo 9 se presenta copia de los respectivos soportes del inventario.

En el sector, se encuentran 3 viviendas en la zona afectada, las cuales presentan un grado de Vulnerabilidad alto, ya que se encuentran en la zona directa del deslizamiento generando una mayor percepción de riesgo.

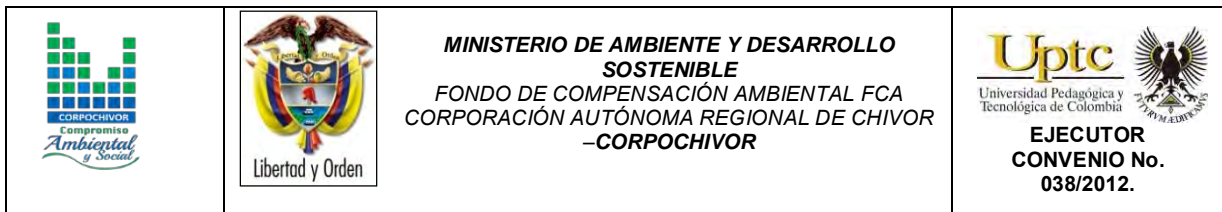
### 9.3. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

Se define vulnerabilidad con relación a los siguientes aspectos:

La **vulnerabilidad estructural** o física describe el grado hasta el cual una estructura es susceptible de ser dañada o alterada en una situación de peligro.

La **vulnerabilidad social** se definió como la capacidad de respuesta de la población ante la ocurrencia de un evento que ocasione daños, en este sentido se tomaron como componentes de análisis la capacidad económica de los pobladores, la cobertura de servicios públicos, las organizaciones cívicas, la tipología de las viviendas, y el nivel de conocimiento que los habitantes tienen del problema o potenciales repercusiones que este ocasiona o puede ocasionar sobre sus viviendas. Aunque la capacidad de respuesta de la comunidad involucra el estudio de otros aspectos como la organización del Municipio en lo referente a la Alcaldía, juntas de Acción comunal, puesto que estas son las encargadas de actuar como intermediarias entre la comunidad y las entidades del Departamento y de esa manera dar a conocer los procedimientos a seguir ante la ocurrencia de un desastre como un flujo de material en la zona

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 población en el sector, 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 vías, construcciones, infraestructura, población, cultivos entre otros.

### 9.3.1. Tipificación de las Estructuras

En forma general la vulnerabilidad es una función tanto de la intensidad 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 tipifican las viviendas teniendo en cuenta los criterios de resistencia de la estructura Tabla 36.

Tabla 36. Criterios de resistencia de la estructura

TIPO DE SOLICITACION	MODOS DE DAÑO	CRITERIO DE RESISTENCIA DE LA ESTRUCTURA
DESPLAZAMIENTOS LATERALES	Transporte, deformación, asentamientos ruptura	Profundidades de la cimentación arriostamiento de la estructura altura de la estructura
EMPUJES LATERALES	Deformación ruptura	Profundidad de la cimentación refuerzo
IMPACTOS	Deformación ruptura	Refuerzo

Fuente: Resultado del estudio.

### 9.3.2. Calificación de los daños

De acuerdo a la Metodología propuesta, para calificar los daños producidos en la zona por los Fenómenos de Remoción en Masa, se sigue con el criterio DRM (Delegation Aux Risques Majeurs), el cual divide los daños en cinco (5) categorías, como se muestra en la Tabla 37.

Tabla 37. Categorías de los daños

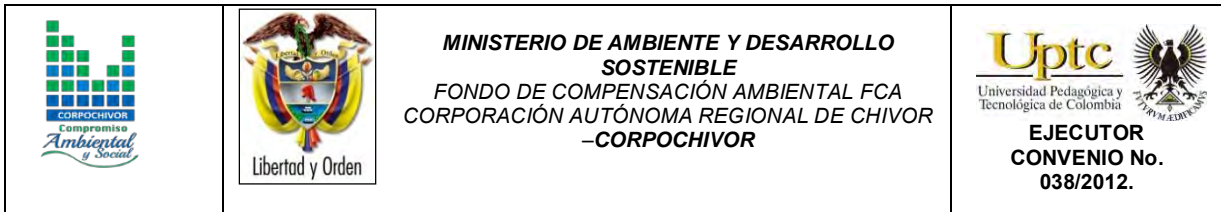
INDICE DE DAÑO	TIPO DE DAÑO	PORCENTAJE DE DAÑO
1	Daños ligeros no estructurales. estabilidad no afectada	0.0 – 0.1
2	Figuración de paredes (muros). reparaciones no urgentes	0.2 – 0.3
3	Deformaciones importantes. daños en elementos estructurales	0.4 – 0.6
4	Fracturación de la estructura. evacuación inmediata	0.7 – 0.8
5	derrumbe parcial o total de la estructura	0.9 – 1.0

Fuente: Resultado del estudio.

La vulnerabilidad física de las viviendas ubicadas en la zona de estudio, se puede evaluar teniendo en cuenta aspectos sobre tipología de viviendas, la cobertura de servicios públicos y la calidad de la construcción.

Con fines prácticos para la elaboración de este trabajo, se optó por evaluar la vulnerabilidad de las viviendas a partir del grado de exposición de estas ante el fenómeno amenazante (Índice de Exposición IE) y el comportamiento de las construcciones en tales circunstancias (Índice de Resistencia, IR), empleando la siguiente metodología:

- Se determinó la ubicación de la vivienda frente al deslizamiento



- Se calcularon los índices de resistencia
- Con los índices de resistencia y el grado de exposición, se obtuvo la resistencia movilizada, mediante la siguiente fórmula:

$RM = (1 - IR^{IE})^{(1 - IE)}$ , (Expresión matemática propuesta por INGEOCIM, 1998 y modificada por Lara, 2002). Dónde:

RN: Resistencia Movilizada

IR: Índice de Resistencia

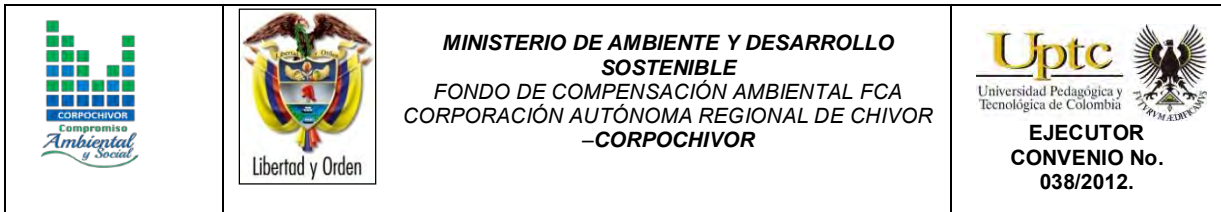
IE: Índice de Exposición

#### **9.4. INDICE DE EXPOSICION (IE)**

Esta variable cobra importancia dentro del análisis de vulnerabilidad física, si y solo si los elementos se encuentran dentro de la zona de influencia de los eventos de flujo (es decir, expuestos) y pueden ser atacados por ellos.

La determinación del índice de exposición, involucró conocer el tipo de fenómeno a estudiar, y su distribución espacial. El límite externo de la zona de influencia directa, se obtiene a partir de la modelación del deslizamiento; se asignó el índice de exposición intentando considerar la magnitud de los eventos y su sollicitación sobre los elementos expuestos.

Con base en la localización de viviendas dentro de las áreas de distribución espacial en la zona de deslizamiento, se asigna el número de exposición, intentando considerar la magnitud de los eventos y su sollicitación, sobre los elementos expuestos teniendo en cuenta la superficie de contacto SC que el desplazamiento de material pudiera provocar, el valor de esta factor se tomó



como porcentaje de la altura total de la vivienda, que sería cubierto por el material desplazado.  $H_f$  = Altura de flujo y  $H_v$ : Altura de vivienda.

Tabla 38. Índice de Exposición

RANGO	SC
$H_f < 1/3 H_v$	0.09
$1/3 H_v < H_f < 2/3 H_v$	0.40 a 0.60
$2/3 H_v < H_f < H_v$	0.75

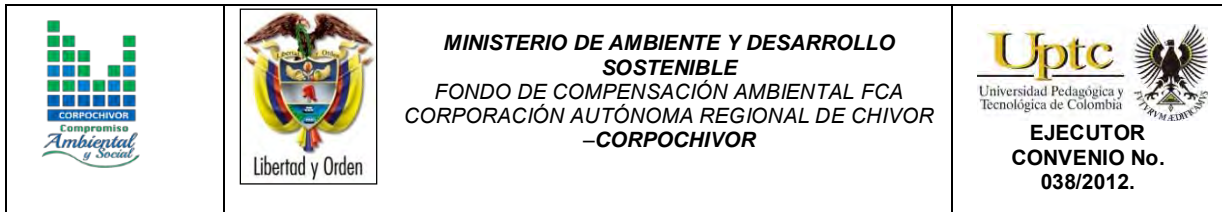
Fuente: Resultado del estudio.

### 9.5. INDICE DE RESISTENCIA (IR)

En términos generales, la importancia de evaluar la vulnerabilidad, radica en que a mayor resistencia de los elementos, la vulnerabilidad física es menor. Aunque la resistencia de la vivienda como conjunto está determinada por la de sus componentes, en el presente estudio, se estimó un comportamiento integral asociado a la clase de sistema estructural. En la Figura 44 se muestra el tipo de cubierta, estructura de techo, estructura del piso y sistema estructural.

De acuerdo a la concepción de cualificar el comportamiento de las viviendas, estas fueron discriminadas según el sistema estructural, la calidad de sus materiales y su calidad constructiva en:

- Recuperación y palafitos. Incluye viviendas construidas con sistemas muy precarios en madera y sin un correcto sistema de transmisión de cargas al suelo de cimentación; en materiales como cartón, lata y madera; sin sistemas de cimentación, con techos en Zinc, madera, lata, cartón y mixtos; la calidad se considera baja.



- Prefabricados: Son viviendas modulares en concreto, de media a baja calidad constructiva sobre placas delgadas del mismo material; la estructura del techo es en madera y su cubierta en teja de asbesto – cemento.
- Vivienda en mampostería: Contempla todas las viviendas de uno a tres pisos, cuyos muros son en mampostería con diferentes tipos de elementos de amarre estructural, donde ellos hacen las veces de unidades de soporte. Con calidad constructiva que oscila desde alta hasta regular, la cubierta generalmente es de asbesto cemento, teja de zinc o de barro.
- Vivienda hasta dos niveles: de buena calidad de construcción, con estructura. Estas unidades involucran sistemas aporricados con placas de entrepisos cuyos materiales de cubierta pueden ir desde la teja de asbesto - cemento hasta concreto.

El índice de resistencia utilizado para evaluar la vulnerabilidad, se midió a partir de las componentes del sistema estructural de las viviendas como son: Cubierta, C, la estructura del techo, T, y el tipo del sistema estructural SE y el tipo de material constitutivo de cada componente.

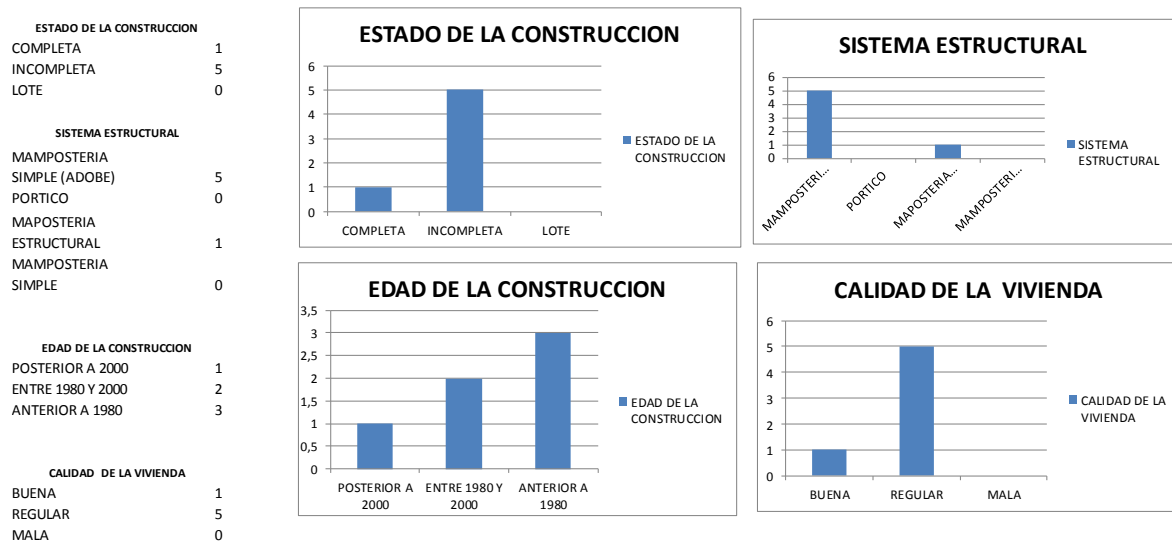
A las variables mencionadas se les asignó un grado de contribución a la resistencia, simulando que en todos los casos la sollicitación más crítica es por presiones laterales, así:

- **Tipo de Cubierta:** Se considera arbitrariamente que esta puede aportar un 20% de la resistencia de la vivienda ante un evento de deslizamiento o flujo de lodos. En el área de estudio predominan las cubiertas en teja de barro y Zinc (Figura 44).



- **Estructura de la cubierta.** El material de la estructura del techo fue incluido como elemento aportante de un 20% de la resistencia total de la vivienda.
- **Sistema Estructural:** Otra de las variables involucradas es el tipo de sistema estructural de la vivienda, siendo este el elemento considerado con mayor aporte a la resistencia que podría ofrecer la vivienda 60%. La Figura 44 muestra la composición de las viviendas por sistema estructural según los datos obtenidos en la encuesta, las viviendas no cuentan con sistema estructural.

Figura 44. Tipología de viviendas.



Fuente: Resultado del estudio

La Tabla 39 contiene los valores asignados, de ella se aprecia que las unidades construidas en concreto reciben las mayores calificaciones (0.85)

De acuerdo a esto, el Índice de Resistencia se definió a partir de la siguiente relación:

$IR = 0.2 \cdot C + 0.2 \cdot T + 0.6 \cdot SE$  Donde:

IR = Índice de Resistencia

C = Valor asignado para cada tipo de cubierta

T = Valor asignado para tipo de Estructura de techo

SE = Valor asignado para tipo de Sistema Estructural

Tabla 39. Factores de Ponderación

VALORES ASIGNADOS PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE ESTRUCTURAS								
CUBIERTA			ESTRUCTURA DE TECHO			SISTEMA ESTRUCTURAL		
COD.	TIPO	FACTOR PONDERACION	COD.	TIPO	FACTOR PONDERACION	COD.	TIPO	FACTOR PONDERACION
1	TEJA DE BARRO	0.4	1	CONCRETO REFORZADO	0.9	1	MUROS PORTANTES	0.75
2	ASBESTO CEMENTO	0.5	2	METALICO	0.9	2		0
3	ZINC	0.2	3	MADERA	0.55	3		0.75

Fuente: Resultado del estudio

## 9.6. INTENSIDAD E INDICE DE DAÑO

Los perjuicios que se producirían sobre las unidades, están condicionados por dos variables: La variable exposición y la variable resistencia; la primera involucra el tipo de evento (Deslizamiento, flujo), la localización de las viviendas frente al mismo y la sollicitación que el proceso ejerza sobre los componentes; el segundo involucra la calidad, propiedades y atributos de las viviendas, las cuales dependen del tipo de tipología. Estas variables se incluyen en la matriz de Intensidad de Daño (InD). (Ver Tabla 40). Esta Intensidad cuantifica desde muy baja (I), hasta muy alta (V) y se formula como un Índice de Daño (ID), que representa el porcentaje de destrozos en

la vivienda. La reciprocidad entre las variables InD e ID, fue establecida por el DRM (Delegation Aux Risques Majeurs) y se consigna en la Tabla 41.

Tabla 40. Matriz para la determinación intensidad de daño

MATRIZ PARA LA DETERMINACION D E LA INTENSIDAD DE DAÑO							
EVENTO	SOLICITACION		TIPO DE VIVIENDA				
			RECUPERACION	MUROS	PREFABRICADA	PORTICOS	LOTE VACIO
DESIZAMIENTOS, FLUJOS DE LODOS	PRESIONES LATERALES	SC < 1/3 < SE	IV	III	II	II	IV
		1/3 SE < SC < 2/3 SE	IV	III	II	II	IV
		2/3 SE < SC < SE	V	V	IV		V
	ACUMULACIONES	CUBIERTA PARCIALMENT	IV	III	III	II	V
		CUBIERTA TOTALMENTE	V	V	IV	III	V

SC = SUPERFICIE DE CONTACTO  
SE = SUPERFICIE EXPUESTA

Fuente: Resultado del estudio

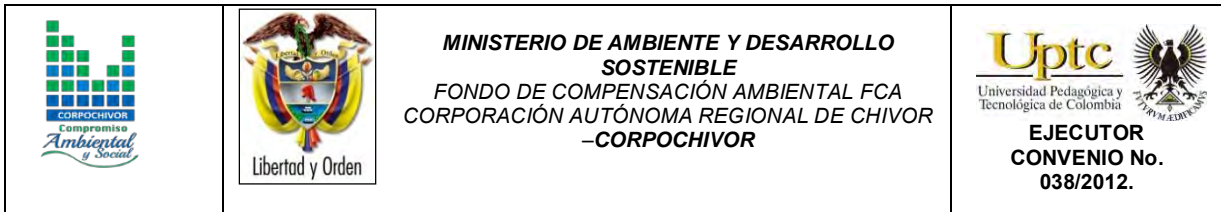
Tabla 41. Determinación índice de daño

DETERMINACION DEL INDICE DE DAÑO			
INTENSIDAD DE DAÑO (InD)		INDICE DE DAÑO (ID)	DESCRIPCION
I	MUY BAJA	0.055	DAÑOS LIGEROS NO ESTRUCTURALES, ESTABILIDAD NO AFECTA
II	BAJA	0.115	FISURACION DE MUROS, REPARACIONES
III	MEDIA	0.50	DEFORMACIONES IMPORTANTES, FISURAS EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES
IV	ALTA	0.75	FRACTURAMIENTO DE LA ESTRUCTURA, EVACUACION INMEDIATA
V	MUY ALTA	0.95	COLAPSO PARCIAL O TOTAL DE LA ESTRUCTURA

Fuente: Resultado del estudio

El porcentaje de daño o índice de pérdidas (IP) lo define Leone, como:

$$IP = \frac{(Vi - Vf)}{Vi}$$



Donde,

Vi : Valor inicial del bien (antes del evento).

Vf : Valor final del bien (después del evento).

Para el sector, las viviendas que se encuentran dentro de la zona del deslizamiento, con un porcentaje de Deformaciones Importantes, con daños en elementos estructurales. Estos daños son producidos por la deficiencia en las construcciones, ya que no cuentan con ningún tipo de estructura que cumpla con la Norma NSR-10.

Para el caso en estudio, la solicitud corresponde a deformaciones moderadas altas a los desplazamientos laterales, que se pueden catalogar como moderados (VM3), de otra parte la infraestructura localizadas en la parte baja la solicitud es (PL1) que son presiones laterales altas.

### **9.7. EVALUACION Y GENERACION DE ESCENARIOS DE RIESGO**

En particular, se puede llamar la atención sobre la existencia de lugares de riesgo Medio mediante la representación de sitios críticos.

La formulación de escenarios de riesgo comprende la estimación de pérdidas y daños que se puede sufrir ante la ocurrencia de un evento asociado a los riesgos identificados, para lo cual se tomó como Escenario de Riesgo ante deslizamiento generado por el incremento de la precipitación en la zona, trabajando con la Matriz de Zonificación de Riesgo (Cardona). (Ver Mapa de Riesgos).

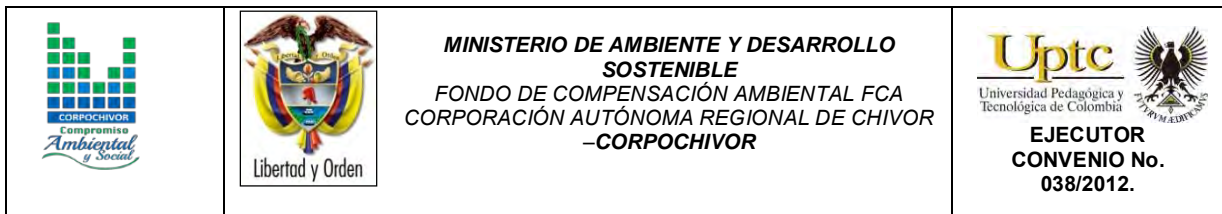


Figura 45. Matriz para escenarios de riesgo

		NIVELES DE VULNERABILIDAD			
		MUY ALTO	ALTO	MEDIO	BAJO
		4	3	2	1
NIVELES DE PELIGRO	MUY ALTO	4	4	3	3
	ALTO	3	4	2	2
	MEDIO	2	3	2	1
	BAJO	1	3	2	1
NIVELES DE RIESGO ANTE DESLIZAMIENTOS					

Fuente: Resultado del estudio

### 9.8. RESULTADOS DE ENCUESTAS

En el proyecto se elaboraron encuestas para evaluar la vulnerabilidad social en las viviendas encontradas en el sector. La encuesta incluía preguntas relacionadas con las características generales de las viviendas. Dentro de los elementos expuestos se encuentran tres viviendas en el área de influencia del movimiento. Las viviendas del sector fueron censadas.

Tabla 42. Número de integrantes por familia

FAMILIA	No. INTEGRANTES
OLIVA AGUIRRE	2
CARLOS ROBERTO APONTE	3
JOSE ANTONIO GIL REYES	3
MARIA CASALLAS, LUIS VELOZA	4
ISAURO REYES RODRIGUEZ	1
ESCUELA RURAL BAYETA	2 ADULTOS 20 NIÑOS

Fuente: Resultado del estudio

Fotografía 27. Desplazamiento del material en el área de estudio



Fuente: Resultado del estudio

En la zona en general se observa el desplazamiento del material, con formación de escarpes, grandes terracetas y agrietamientos en toda la zona afectada.

### **9.9. ANÁLISIS Y GRAFICAS ESTADÍSTICAS DE LAS ENCUESTAS REALIZADAS EN EL MUNICIPIO DE TIBANA, VEREDA BAYETA.**

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 28. Vista de parte del área afectada por el deslizamiento.



Fuente: Registro fotográfico

### 9.9.1. Tipo de sector evaluado.

La zona priorizada a evaluar dentro del municipio de Tibana, corresponde a la vereda Bayeta, sector rural de fácil acceso en donde habitan alrededor de seis (6) familias y donde se encuentra también ubicada una escuela en la que reciben clases 16 niños entre los cinco y (5) y once (11) años de edad.

#### ▪ Las viviendas

Dentro de la zona de influencia del deslizamiento se encuentran 6 viviendas habitadas, de las cuales tres son ocupadas por sus propietarios, y tres más son arrendadas, adicionalmente se encuentran alrededor de 4 casas deshabitadas, por su proceso de deterioro.

#### ▪ Servicios básicos.

Todas las viviendas visitadas dentro de la zona de influencia del deslizamiento cuentan con servicios de agua y luz, cuyo servicio es regular y constante según lo manifestado por los habitantes de la zona.

Fotografía 29. Vivienda habitada en el sector evaluado.



Fuente: Registro fotográfico

▪ **Acueducto.**

Cinco (5) de las viviendas visitadas cuentan con servicio de acueducto veredal y solo una (1) vivienda no cuenta con este servicio, por lo que toman el agua de un pozo cercano.

▪ **Alcantarillado.**

Los habitantes del sector manifiestan que no cuentan con servicio de alcantarillado razón por la cual las aguas servidas no son canalizadas de forma adecuada, lo que constituye un factor negativo que puede reforzar el movimiento en masa que se viene dando en la zona, sumado a la deficiente de educación ambiental de la comunidad.

▪ **Seguridad social.**

Cinco (5) de las familias cuentan con afiliación al régimen de seguridad social subsidiado, y solo una se encuentra cubierta por el régimen contributivo, según lo manifestado por las personas que habitan cada una de las viviendas visitadas.

Fotografía 30. Vivienda habitada en el sector evaluado.



Fuente: Registro fotográfico

#### ▪ **Discapacidad**

Dentro de la zona evaluada no se evidencio la presencia de ninguna persona con algún tipo de discapacidad, siendo este un factor positivo para las familias que se encuentran en la zona de influencia del movimiento.

#### ▪ **Género.**

En cuanto a genero dentro de la zona de influencia del deslizamiento se encuentra habitando siete (7) mujeres y seis (6) hombres, que centran su actividades cotidianas y económicas en este sector.

#### ▪ **Presencia de menores de edad.**

Los menores de edad presentes en la zona de deslizamiento corresponden a dieciséis (16) menores que asisten a la institución educativa de Bayeta y además viven con sus familias en la área de influencia del movimiento.

#### ▪ **Niños escolarizados.**

Los niños y niñas que se encuentran en edad escolar, asisten a clases en la escuela rural de la vereda, siendo esta su principal ocupación diaria, sin embargo sus padres manifiestan su preocupación por el riesgo que podrían correr sus hijos durante la jornada escolar, ya que la escuela está ubicada hacia la mitad del movimiento en masa evaluado.

Fotografía 31. Aula de clases escuela Bayeta.



Fuente: Registro fotográfico

#### ▪ **Adultos mayores.**

En tres de las viviendas visitadas habitan por lo menos un adulto mayor, los cuales no padecen ningún tipo de discapacidad que les impida realizar sus actividades diarias y valerse por sí mismos, interactuando de forma normal tanto con su familia como con el resto de la comunidad.

Fotografía 32. Habitante vereda Bayeta.



Fuente: Registro fotográfico

▪ **Estratificación de las viviendas.**

Tres de las viviendas visitadas pertenecen al estrato uno (1) y tres al estrato dos (2), los propietarios de estas últimas manifiestan su inconformidad por el deterioro en que se encuentran sus viviendas a causa del movimiento del terreno y por no tener el apoyo de los entes municipales en cuanto a este fenómeno que ha deteriorado también sus áreas cultivables.

▪ **Tipo de vivienda.**

Todas las viviendas visitadas que se encuentran dentro de la zona de influencia del deslizamiento son de tipo unifamiliar, habitadas por familias pequeñas por lo que no se presenta problemas de hacinamiento, algunas construcciones ya están deshabitadas por representar un riesgo para la vida de las personas.

▪ **Área aproximada de las viviendas.**



Las áreas de las viviendas son diversas, dos construcciones tienen un área menor a los 50 metros cuadrados, dos más tienen alrededor de 80 metros cuadrados y dos más tienen un área superior a los 100 metros cuadrados, en la que se encuentra incluida la construcción de la institución educativa de la vereda.

Fotografía 33. Vivienda vereda Bayeta.



Fuente: Registro fotográfico

▪ **Número de pisos tiene las viviendas**

Todas las viviendas cuentan con un solo piso de construcción, con áreas básicas de habitación, las construcciones no presentan mejoras aunque la mayoría de ellas las requieren, las personas que las habitan manifiestan que no vale la pena realizar este tipo de inversiones ya que la zona sobre la que están construidas es inestable.

▪ **Edad de las construcciones**

Cuatro (4) viviendas visitadas tienen más de veinte (20) años de construidas, una tiene entre dieciséis (16) y veinte (20) años de construidas y solo una (1) es una construcción nueva de menos de cinco (5) años. Todas presentan algún tipo de



afectación que las hace susceptibles de ser evaluadas más detenidamente, para evitar que se conviertan en una amenaza para sus habitantes.

Fotografía 34. Vivienda vereda Bayeta.



Fuente: Registro fotográfico

▪ **Armazón de las viviendas**

La armazón de las viviendas evaluadas corresponde a materiales como adobe y bloque, hallándose tres (3) viviendas en un material y tres (3) en el otro respectivamente, es de resaltar que todas presentan afectaciones en su estructura física que requieren la pronta atención para evitar que puedan colapsar y lesionar a las personas que las habitan.

▪ **Cubierta de las viviendas.**

Cuatro (4) de las viviendas presenta cubiertas metálicas y otras dos (2) presentan cubiertas en eternit, las cubiertas son sencillas con poco mantenimiento y algunas presentan filtraciones que terminan por afectar los muros.

▪ **Muros de las viviendas.**

El material utilizado en los muros es adobe y bloque, predominando el bloque en la mayoría de las construcciones que aún se encuentran habitadas en la zona de influencia del deslizamiento.

▪ **Acabado de los pisos.**

Tres de las construcciones más antiguas presentan pisos en cemento, el cual presenta fisuras en diferentes grados de afectación y las construcciones más nuevas (Tres) presentan pisos en baldosa común sencilla, los cuales presentan pequeñas fisuras, producto del movimiento del terreno según lo manifiestan las personas que las habitan.

Fotografía 35. Vivienda con presencia de grietas en pisos.



Fuente: Registro fotográfico

▪ **Estado de las construcciones.**

Tres (3) de las viviendas presentan un estado de la construcción malo, dado que el movimiento del terreno ha deteriorado considerablemente su estructura, en algunos casos llevándose parte de las viviendas como se observa en la siguiente fotografía, otras dos (2) viviendas presentan un estado de la construcción regular por la fisuras que se observan en diferentes partes de las mismas, la escuela presenta un estado

de construcción bueno para el caso del aula de clases que está en uso, y que fue construida hace poco tiempo, sin embargo la parte antigua de la escuela en donde funciona el comedor y el área de la cocina presenta grietas que representan un peligro para los menores que toman sus alimentos en esta parte de la escuela.

Fotografía 36. Vivienda con desprendimiento de construcción de la parte frontal.



Fuente: Registro fotográfico

#### ▪ Daños en las construcciones.

La mayoría de los habitantes manifiestan que el movimiento que se viene dando en la zona es el culpable de las afectaciones de sus viviendas, y les preocupa la falta de atención que se le ha dado al tema por parte de los entes municipales, en cuanto a la estructura de la escuela la docente manifiesta que las afectaciones en la parte antigua de la escuela, se debe en primer lugar al proceso normal de deterioro de la construcción ya que esta parte es muy antigua, pero que le preocupa que un movimiento fuerte del terreno pueda ocasionar daños a la estructura nueva también, ya que esta se encuentra en toda la mitad del proceso de remoción en masa que se viene dando y pone en riesgo la vida de los menores

que asisten cotidianamente a sus clases, especialmente en épocas de lluvias que es cuando se activa este tipo de fenómenos.

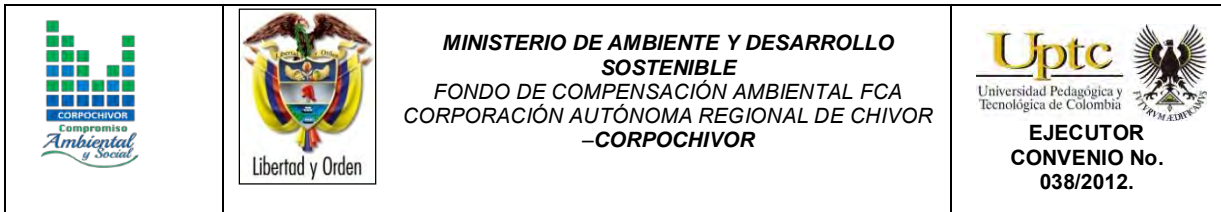
Fotografía 37. Vivienda a punto de colapsar por su grado de antigüedad.



Fuente: Registro fotográfico

#### ▪ Tipos de daño de las viviendas

Una (1) de las viviendas visitadas presenta un daño severo en sus estructura ya que confluyen dos factores: la antigüedad de la construcción y la afectación por parte del movimiento, por lo que se sugirió a la familia evacuar lo más pronto posible, otras dos (2) viviendas presentan daño fuerte, ya que las estructuras de las mismas se ha visto afectadas en un alto grado por el deslizamiento y es evidente que podrían colapsar ante un movimiento inesperado del terreno, por lo que se les sugirió reubicarse antes de que empiece la temporada de lluvias, que es cuando puede agudizarse el fenómeno, las demás viviendas presentan daños entre moderados y ligeros, pero de igual manera requieren atención en cuanto a mejoras en la estructura con el fin de evitar que estas se sigan deteriorando y representen también un peligro para las personas que las habitan.



▪ **Parte de la construcción más afectada.**

Los pisos son la parte de las viviendas que mas presentan afectaciones con grietas bastantes amplias y contantes, seguidas de las afectaciones de los muros que sumadas representan un riesgo para la estabilidad de la estructuras de las viviendas.

▪ **La vivienda con bases o cimientos.**

Tres (3) de las viviendas más antiguas no cuentan con bases de sostenimiento y las otras tres (3) viviendas evaluadas si cuentan con bases según lo manifestado por las personas que las habitan, y las observaciones realizadas a la estructura.

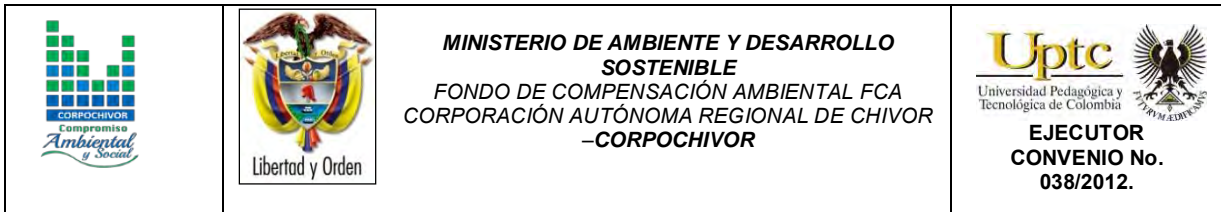
▪ **Inestabilidad del suelo.**

Todas las personas que se encuestaron en la zona de influencia del deslizamiento manifiestan que la inestabilidad del terreno se debe al deslizamiento que se viene dando hace tiempo, pero que se ha agudizado en el último año a causa del invierno y la falta de intervención por parte de los entes competentes.

▪ **Ingresos económicos de las familias.**

Cuatro (4) de las familias visitadas manifiestan que sus ingresos son inferiores a la mitad de un salario mínimo, ya que su dinero proviene de sus actividades agrícolas las cuales son muy limitadas, otra (1) manifiesta que sus ingresos son aproximadamente un salario mínimo, y solo una (1) recibe ingresos superiores a un SMLV. Razón por la cual algunas familias han tenido que buscar ayuda de la alcaldía municipal para poder evacuar sus viviendas y salir de la zona de riesgo.





▪ **Hogares con apoyo de familia extensa.**

Solo dos (2) familias de las que habitan la zona evaluada, cuentan con familia extensa a la cual acudir en caso de ser necesaria una evacuación por riesgo de desastre, las otras cuatro (4) familias no cuentan con nadie que les pueda brindar una ayuda inmediata ante un riesgo inminente.

▪ **Acciones de mitigación implementadas.**

Ninguna de las familias ha realizado ningún tipo de acción para contrarrestar el riesgo con el que conviven, especialmente en cuanto a mejorar la estructura de las viviendas que habitan, en cuanto a la escuela que se haya en la zona, según lo manifiesta la docente, se han recogido algunas firmas para solicitar la intervención de los entes municipales en la reubicación de la misma, con el fin de no exponer la integridad física de los menores que allí asisten.

▪ **Capacidad de afrontamiento del riesgo.**

Ninguna persona encuestada en la zona manifiesta sentirse capacitada para enfrentar adecuadamente una situación de riesgo de desastre, por lo que sugieren que se realicen acciones al respecto.



Fotografía 38. Paredes de vivienda antigua del sector.



Fuente: Registro fotográfico

▪ **Actuaciones de las personas frente a un evento catastrófico.**

La mayoría de las personas piensan que salir corriendo sería su reacción inmediata ante la ocurrencia de una situación de desastre, solo una familia piensa que buscaría un sitio cercano y seguro para refugiarse. Sin embargo al no tener claridad acerca de cómo afrontar una situación de riesgo los convierte en una población vulnerable a ser presa del mismo.

▪ **Tiempo que lleva el fenómeno de remoción en masa.**

Los habitantes de la zona manifiestan que este fenómeno se viene dando hace más de un año pero de forma muy lenta, pero que hace menos de un año, a causa del invierno intenso, el deslizamiento ha tomado más fuerza, razón por la algunas personas ya han abandonado sus viviendas y otros están en el proceso de hacerlo por el riesgo que representa para sus vidas.

Fotografía 39. Vista de vivienda arrasada por el deslizamiento.



Fuente: Registro fotográfico

- **Conocimiento del fenómeno de remoción en masa.** La mayoría de las personas manifiestan que no conocían de este fenómeno de remoción en masa, pues no habían visto en años anteriores que sucediera un deslizamiento como el que se está dando en la actualidad en el sector.

- **Afectación emocional familiar.**

Tres (3) familias dicen sentir temor de tener que dejar sus viviendas y terrenos a causa del movimiento del terreno, otra (1) familia a la cual el deslizamiento se le llevo parte de su vivienda manifiestan sentir temor por sus vidas, por lo que están gestionando la evacuación de la vivienda buscando ayuda en los entres municipales, otra familia manifiesta que las afectaciones emocionales son variadas, ante la incertidumbre por la falta de ayuda y orientación.

▪ **Economía familiar.**

Todas las personas visitadas en la zona evaluada manifiesta que dependen de los terrenos que habitan para su subsistencia y la de sus familias, por lo que esperan una pronta ayuda al respecto.

Fotografía 40. Campesino del sector cultivando



Fuente: Registro fotográfico

▪ **Uso del suelo.**

La mayoría de los predios son de uso agrícola y solo uno es de uso educativo, en donde se benefician dieciséis (16) niños y niñas del sector.

▪ **Capacitación en prevención de riesgos.**

Cuatro (4) familias manifiestan que si han escuchado que el municipio en alguna ocasión brindo este tipo de capacitaciones, pero que en el último año ellos no han sido invitados a participar en ninguna a pesar de necesitarlas por la situación que afrontan, dos (2) familias más desconocen sobre este tipo de capacitaciones.

▪ **Reubicación de las familias.**

La mayoría de las familias piensan que de tener que reubicarse en otro lugar, preferirían buscar un lugar seguro en la misma vereda, ya que están habituados a vivir allí y no les gustaría tener que trasladarse a otro lugar diferente.

▪ **Consejo municipal de gestión del riesgo.**

La mayoría de las personas encuestadas manifiesta que no han tenido ninguna visita por parte de este ente de control del riesgo, por lo que solicitan que si existe este debe hacerse visible ante ellos, con acciones puntuales como respuesta a su problemática de forma oportuna y preventiva.

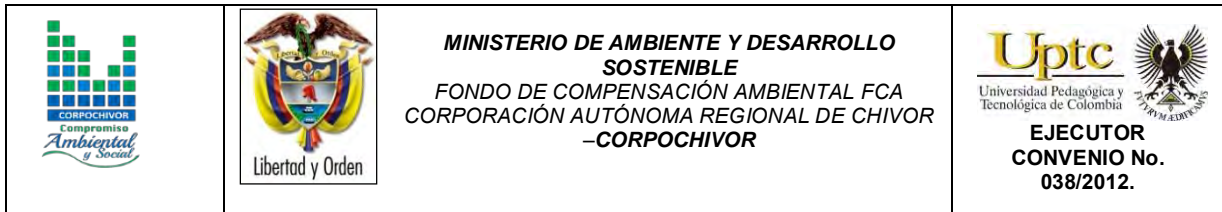
Fotografía 41. Habitante de la vivienda arrasada por el deslizamiento.



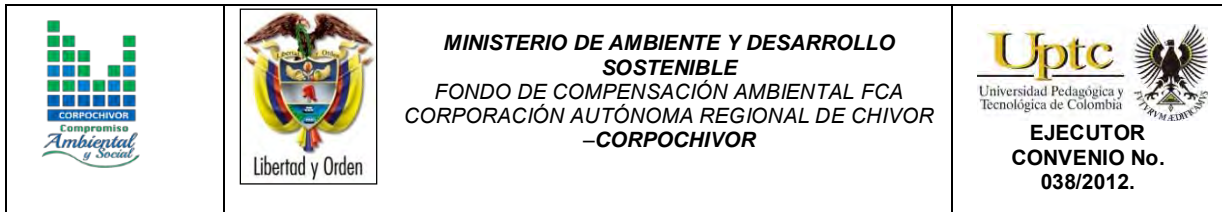
Fuente: Registro fotográfico

▪ **Peticiones a los entes municipales.**

Tres (3) familias esperan que la alcaldía les colabore en la construcción de una vivienda, ya que la que actualmente poseen están a punto de colapsar, dos (2) más esperan ser reubicados en otro lugar más estable, ya que el movimiento del



terreno no les permite levantar nuevamente sus viviendas en el mismo lugar, y otra (1) esperaría que la alcaldía le brinde orientación en cuanto al manejo del riesgo especialmente para no perder del todo sus terrenos cultivables.



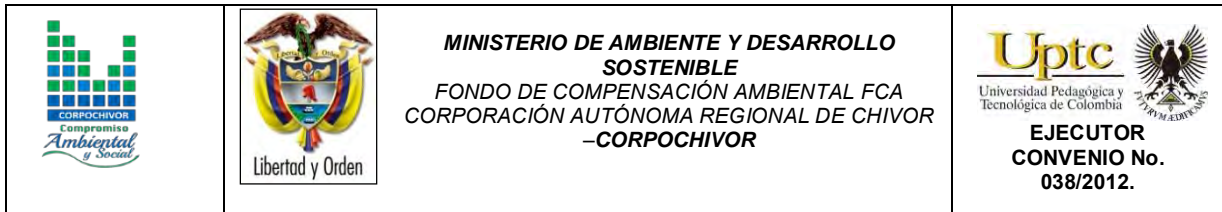
## 10 OBRAS RECOMENDADAS

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 ).

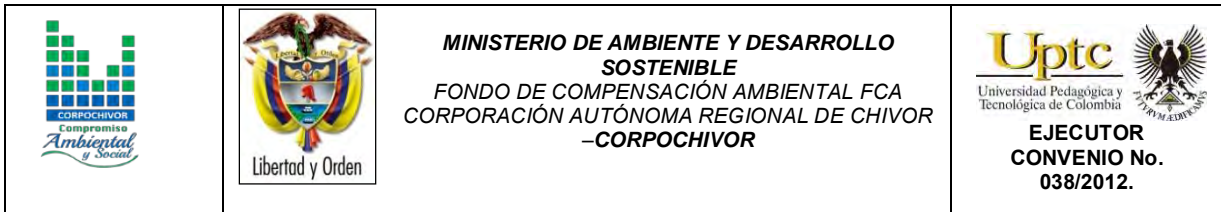
En la memoria digital del presente estudio se presenta una hoja de cálculo correspondiente al presupuesto de las obras propuestas y el análisis detallado APU. Dicha hoja puede ser modificada por la entidad contratante correspondiente para modificación de AIU, precios unitarios, costos de transporte a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



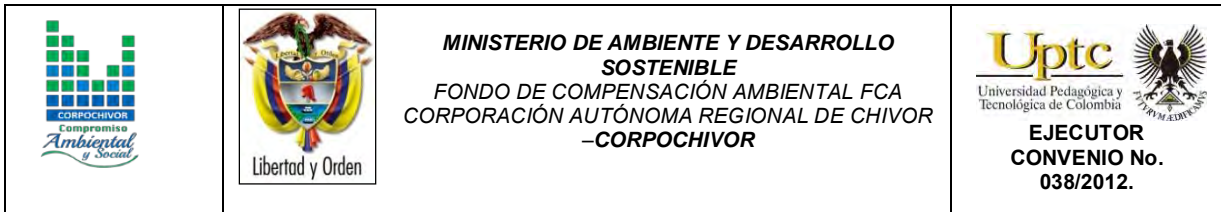


## 11 CONCLUSIONES.

- El FRM analizado es un movimiento lento del terreno en donde no se distingue una superficie de falla. La reptación es de tipo estacional asociada a cambios climáticos, o de humedad del terreno, el proceso es activo remontante, presenta un área aproximada de 7780,75 m<sup>2</sup> con una profundidad promedio de 4 m, sus causas posibles por material plástico débil detonado por lluvias, por su uso dado matorrales, cultivos, agrícola, ganadería, los daños presentes en el área de las viviendas, áreas agrícolas y para pastoreo, erosión y deforestación.
- La mayoría de los habitantes manifiestan que el movimiento que se viene dando en la zona es el culpable de las afectaciones de sus viviendas, y les preocupa la falta de atención que se le ha dado al tema por parte de los entes municipales, en cuanto a la estructura de la escuela la docente manifiesta que las afectaciones en la parte antigua de la escuela, se debe en primer lugar al proceso normal de deterioro de la construcción ya que esta parte es muy antigua
- Se recomienda a las entidades competentes tomar las medidas necesarias para prevenir los riesgos físicos, económicos y sociales que afecten a las familias que aun habitan el área de influencia del deslizamiento.

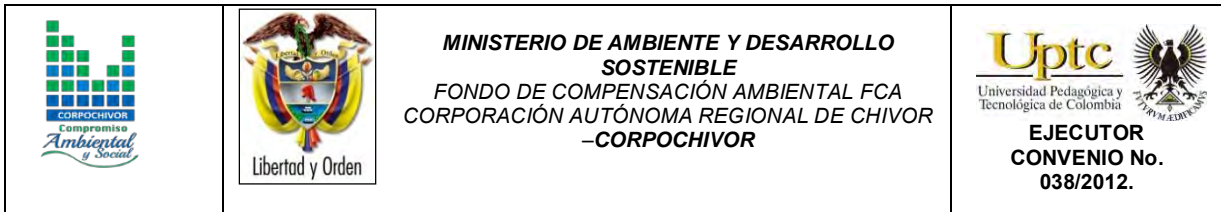


- La comunidad en particular recomienda que se tomen acciones frente a las filtraciones de agua que se dan desde la parte alta del movimiento y que se le oriente al campesino en como desde su cotidianidad contribuir a la mitigación de los riesgos de deslizamiento.
- Se recomienda que los organismos responsables desarrollen o preparen planes de contingencia adecuados que les permita a la población afrontar el riesgo. Preparándolos actuar ordenadamente, indicando sitios a dónde acudir, rutas de evacuación, entre otras.

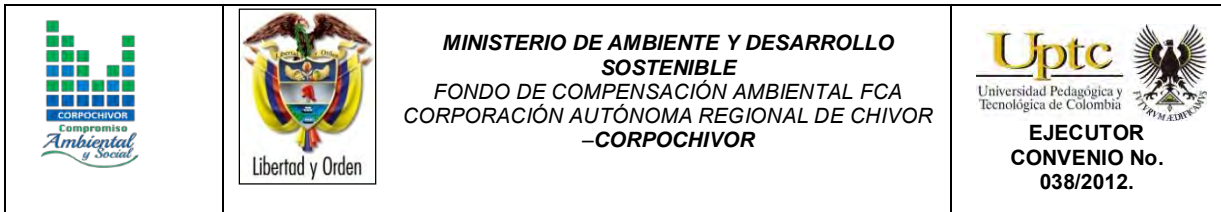


## 12 RECOMENDACIONES.

- Debido a la vulnerabilidad estructural de las viviendas afectadas se deberá realizar una inspección de cada una para determinar su condición de estabilidad estructural y determinar las medidas requeridas para cada caso.
- Una vez se realice la reparación de las vías afectadas se deben implementar sistemas de drenaje que permitan el correcto drenaje de las mismas, mediante filtros o cunetas.
- Se recomienda la construcción de una estructura de contención en tierra armada en la margen del río para evitar la socavación lateral de las márgenes que puedan desencadenar fenómenos de remoción en masa.
- Se debe generar un sistema de captación del agua subsuperficial mediante sistemas de trincheras drenantes.
- Se recomienda la construcción de una serie de cunetas para la captación de agua de escorrentía. (ver ubicación en Anexo 12 ). Esta captación del agua de escorrentía deberá complementarse ser conducida de forma subterránea en algunos tramos, debido a la fuerte pendiente del terreno.



- El último tramo de la canalización será en un canal en tierra cuyas márgenes deberán ser revegetalizadas con arbustos bajos anclados con alambre, con el fin de evitar la erosión de las mismas.
- Adicionalmente deberán construirse estructuras de disipación de energía en el río con piedra de la región, para minimizar el arrastre de material en ese sector del río.
- Se recomienda realizar visitas periódicas, no mayores a dos meses a la escuela veredal para hacer inspección de grietas, fisuras o asentamientos en la estructura.



### 13 BIBLIOGRAFÍA

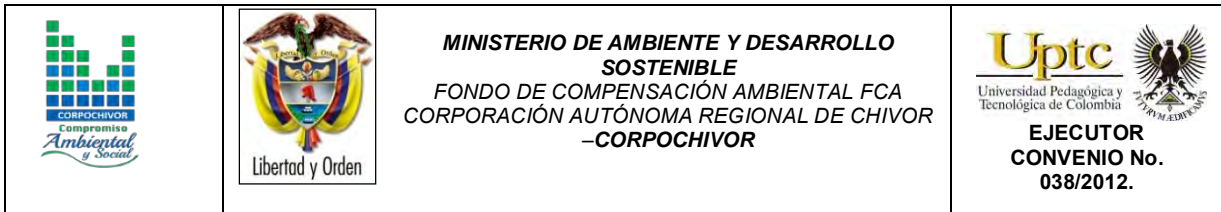
Cuello, N., T.J. Killeen, C.V. Antezana. 1991. Línea de intercepción, una metodología apropiada para el estudio de las sabanas tropicales. en: C. Miranda, D. Restrepo, y E. Castellano (Eds.). Memoria del Curso de Vegetación y Ecología Tropical con un énfasis en los métodos.

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)

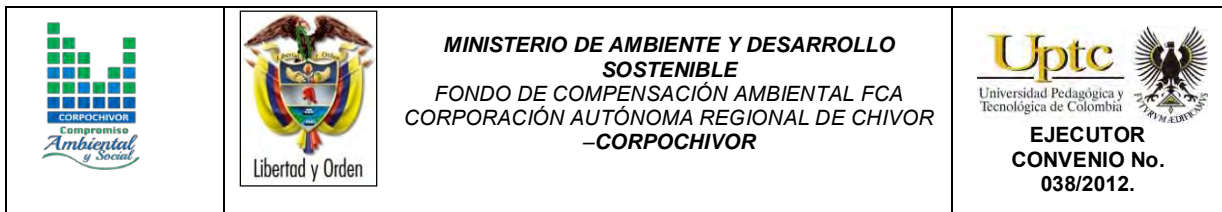
Cardona – Arboleda O. (1989). VULNERABILIDAD Y RIESGO POR DESASTRE – TERMINOS DE USO COMUN EN MANEJO DE RIESGO. Primer taller de planificación en manejo de desastres. ONAD – Colombia – Universidad Jorge Tadeo Lozano.

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.

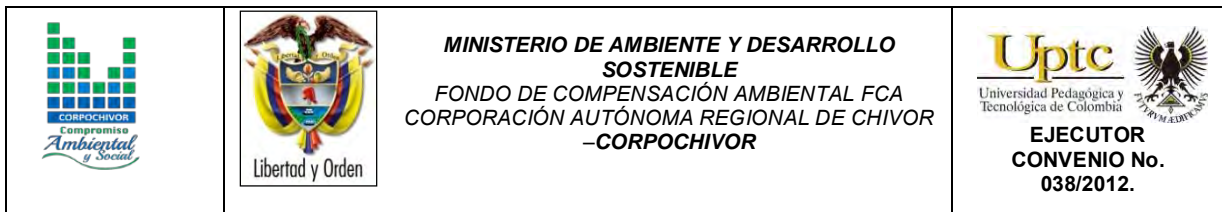




## TABLA DE CONTENIDO

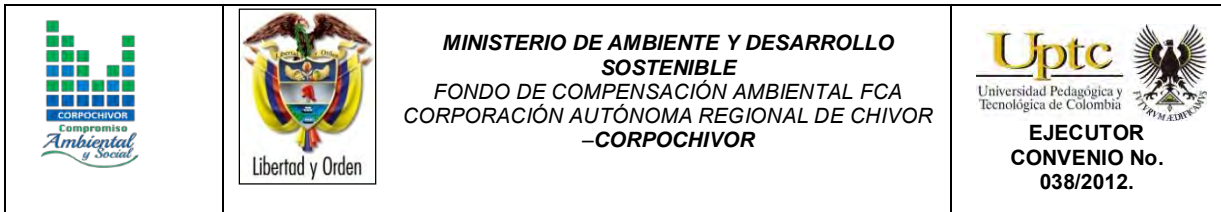
	Pág.
1 GENERALIDADES .....	3
1.1. PRESENTACION (JUSTIFICACION Y ALCANCE) .....	3
1.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO .....	3
1.2.1. Objetivo General .....	3
1.2.2 Metodología .....	4
1.3. LOCALIZACIÓN .....	5
1.4. PERSONAL .....	6
1.5. DESCRIPCION DE ACTIVIDADES REALIZADAS .....	7
1.5.1. Trabajo de campo .....	7
1.6. ANÁLISIS DE LABORATORIO .....	9
1.6.1. Trabajos de Oficina .....	10
1.7. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y SUS POSIBLES CAUSAS .....	10
1.8. ESTADO DE LA INFORMACIÓN .....	11
2 ASPECTOS CLIMATICOS E HIDROLOGICOS .....	12
2.1. ANÁLISIS HIDROLÓGICO .....	13
2.2. BALANCE HÍDRICO .....	13
2.2.1. Tipos de recarga .....	14
2.3. ESTIMACIÓN DE LA ESCORRENTÍA .....	16
2.4. ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN .....	22
2.4.2. Estimación de la evapotranspiración potencial (ETP) .....	34

2.4.2.1. Formula de J. B. García y J.D. López .....	34
2.4.3. Estimación del Balance Hídrico .....	35
2.4.4. Metodología.....	36
2.4.5. Resultados obtenidos .....	39
2.5. MORFOMETRÍA DE LA CUENCA. ....	42
3 GEOLOGIA .....	47
3.1. GEOLOGÍA HISTÓRICA .....	48
3.2. GEOLOGIA LOCAL.....	48
3.2.1. Formación Plaeners (Kg2).....	48
3.2.2. Formación Labor y Tierna (Kg1).....	49
3.2.2.1. Miembro Arenisca de Labor. ....	49
3.2.3. Formación Conejo (Kscn).....	49
3.2.4. Depósitos Cuaternarios. ....	50
3.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL .....	50
3.3.1. Estructuras Plegadas. ....	50
3.3.2. Fallas.....	51
4 GEOMORFOLOGÍA.....	52
4.1. GEOMORFOLOGÍA LOCAL.....	53
4.2. ANÁLISIS FOTOGEOLÓGICO.....	54
4.3. PROCESOS MORFODINÁMICOS.....	55
4.3.1. Los deslizamientos compuestos .....	56
4.3.2. Reptaciones.....	57
4.4. INCLINACIÓN DE LAS PENDIENTES .....	59
4.5. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS.....	60
4.5.1. Geoformas de Origen Denudacional.....	62
4.7. EROSIÓN .....	65
4.7.1. Algunas Formas de Erosión.....	67

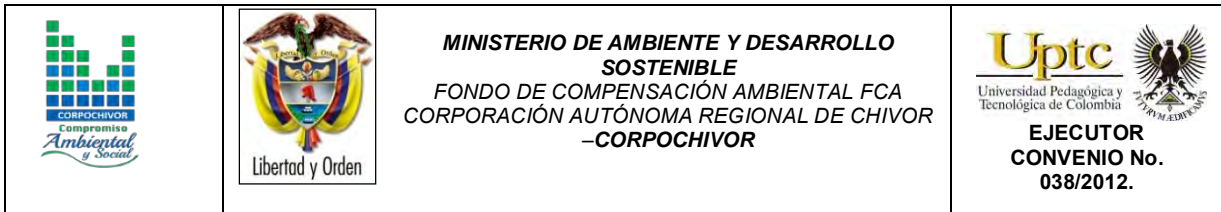


4.7.2. Factores externos .....	67
4.7.3. Factores internos .....	68
4.7.4. Morfodinámica - intensidad de erosión. ....	68
4.8. USO ACTUAL Y COBERTURA DEL SUELO .....	71
4.8.1. Vegetación .....	72
4.8.2. Cobertura y uso de suelo para el área de influencia del estudio .....	75
4.8.3. Estudio de la flora .....	77
4.8.10. Áreas y porcentajes de las coberturas en el área de estudio.....	102
4.8.11. Unidades de cobertura vegetal.....	103
5 MARCO HIDROGEOLÓGICO GENERAL.....	107
5.1. UNIDAD I (Permeabilidad Alta).....	107
Se encuentran areniscas de la formación conejo (Kscn), con alta porosidad y permeabilidad primaria, debido a la distribución de los poros que se encuentran conectados entre sí, lo que genera que los fluidos se transmitan más rápidamente.....	107
5.2. UNIDAD II (Permeabilidad Media) .....	107
5.3. UNIDAD III (Permeabilidad Baja).....	107
6 GEOELECTRICA ESTUDIO GEOELECTRICO (TOMOGRAFIA ELECTRICA RESISTIVA) .....	108
6.1. INTRODUCCION.....	108
6.2. OBJETIVO.....	111
6.3. PRINCIPIO DEL METODO GEOFISICO.....	111
6.3.1. Resistividad Aparente:.....	111
6.3.2. Dispositivos:.....	114
6.4. METODOLOGIA.....	115
6.4.1. TOMOGRAFIA N°1 .....	116
6.4.2. TOMOGRAFIA N°2.....	120
6.4.3. RESULTADOS.....	122

7 GEOTECNIA .....	123
7.1.    EXPLORACIÓN DE CAMPO.....	123
7.1.1.    Sondeos geotécnicos .....	123
7.2.    CARACTERIZACIÓN DEL SUELO Y SUBSUELO .....	126
7.2.1.    Trabajos de Laboratorio.....	126
7.2.2.    Propiedades mecánicas de las rocas .....	130
7.2.3.    Resumen de resultados .....	131
7.3.    Clasificación del Macizo Rocoso. ....	134
7.3.1.    Índice de Calidad de la Roca (RQD):.....	134
7.3.2.    Clasificación Según el RMR:.....	135
7.3.3.    Clasificación Según el Índice Geológico de Resistencia (GSI): .....	138
7.4.    CINEMÁTICA DE LOS MOVIMIENTOS .....	140
7.5.    CAUSAS DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA .....	140
7.5.1.    Causas Reales.....	140
7.5.2.    Causas Inmediatas .....	141
7.6.    ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y MODELACIÓN GEOTÉCNICA .....	142
7.6.3.    Análisis estructuralmente controlado .....	145
7.7.    Análisis estructuralmente no controlado .....	148
7.7.1.    Modelo perfil A – A´ .....	148
8 ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA. .....	153
8.1.    DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DE AMENAZAS .....	153
<b>8.2.    RESULTADO DE ANALISIS.....</b>	<b>155</b>
<b>8.3.    ANALISIS DE AMENAZA .....</b>	<b>156</b>
8.3.1.    Amenaza Alta. ....	157
8.3.2.    Amenaza Media.....	158
9 EVALUACIÓN Y ANALISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO .....	159



9.1.	VULNERABILIDAD .....	159
9.2.	INVENTARIO DE VIVIENDAS.....	160
<b>9.3.</b>	<b>ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD .....</b>	<b>161</b>
<b>9.3.1.</b>	<b>Tipificación de las Estructuras .....</b>	<b>162</b>
9.3.2.	Calificación de los daños.....	163
9.4.	INDICE DE EXPOSICION (IE) .....	164
9.5.	INDICE DE RESISTENCIA (IR).....	165
9.6.	INTENSIDAD E INDICE DE DAÑO .....	168
9.7.	EVALUACION Y GENERACION DE ESCENARIOS DE RIESGO ...	170
9.8.	RESULTADOS DE ENCUESTAS .....	171
9.9.	ANÁLISIS Y GRAFICAS ESTADÍSTICAS DE LAS ENCUESTAS REALIZADAS EN EL MUNICIPIO DE TIBANA, VEREDA BAYETA.....	172
9.9.1.	Tipo de sector evaluado. ....	173
10	OBRAS RECOMENDADAS .....	190
11	CONCLUSIONES.....	191
12	RECOMENDACIONES. ....	193
13	BIBLIOGRAFÍA .....	195



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tabla general para la determinación de número de curva (CN).....	18
Tabla 2. Escorrentía Estación Tibana, suelo tipo ML .....	20
Tabla 3. Escorrentía Estación Tibana, suelo tipo OL .....	21
Tabla 4. Escorrentía Estación Tibana, suelo tipo OL .....	22
Tabla 5. Estaciones pluviométricas para la estimación de la precipitación.. ..	23
Tabla 6. Precipitación media multianual mensual por estación. ....	24
Tabla 7. Precipitación media multianual mensual por estación. ....	25
Tabla 8. Rangos de temperatura Tibana .....	35
Tabla 9. Valores de Evapotranspiración.....	35
Tabla 10. Calculo de Infiltración, por (R) y (P). Estación Tibana.....	38
Tabla 11. Calculo de Infiltración, por (R) y (P). Estación Tibana.....	39
Tabla 12. Estimación del Balance Hídrico .....	40
Tabla 13. Valores de parámetros morfométricos para la microcuenca. ....	46
Tabla 14. Clasificación de las pendientes. ....	60
Tabla 15. Descripción geomorfológica. ....	64
Tabla 16. Porcentaje de coberturas sector puente Camacho.....	103
Tabla 17. Unidades de cobertura vegetal presentes en la zona de estudio. ....	105
Tabla 18. Resistividades de algunos suelos y rocas. ....	113
Tabla 19. Datos de resistividad y materiales .....	118
Tabla 20. Datos de resistividad y materiales .....	121
Tabla 21. Coordenadas de los sondeos realizados.....	124
Tabla 22. Resumen de resultados ensayos de laboratorio.....	132
Tabla 23. Resumen de Resultados de la Clasificación RMR .....	137
Tabla 24. Puntos de Control para realizar la clasificación geo mecánica.....	138
Tabla 25. Coeficientes de aceleración sísmica para el departamento Boyacá.....	144
Tabla 26. Coeficientes de reducción de coeficientes de aceleración sísmica .....	144
Tabla 27. Resultado análisis estructuralmente estructurado Falla Planar. ....	145
Tabla 28. Resultado análisis estructuralmente estructurado Falla Cuña.....	146



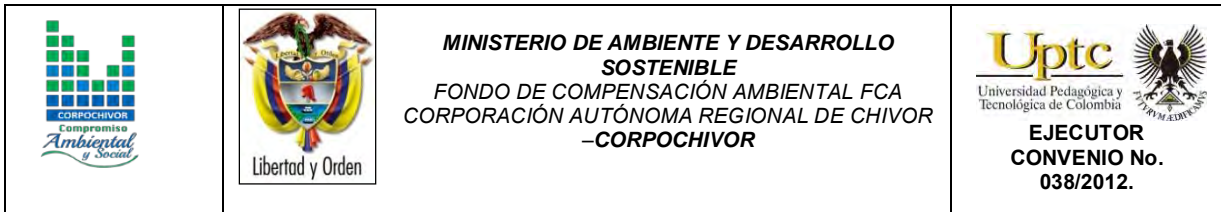
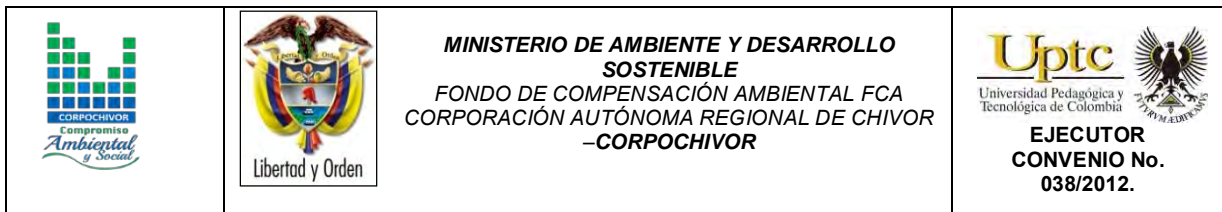


Tabla 29. Resultado análisis estructuralmente estructurado Falla Volteo. ....	146
Tabla 30. Valores de Propiedades Físicas y Mecánicas Utilizadas en los Modelos de estabilidad. ....	149
Tabla 31. Factores de seguridad para el modelo perfil B-B' .....	150
Tabla 32. Factores de seguridad para el modelo perfil B-B' .....	152
Tabla 33. Parámetros físicos y naturales estimados para la Identificación de Zonas Inestables (Deslizamientos) .....	154
Tabla 34. Categorización de amenazas por FRM .....	155
Tabla 35. Categorización de amenaza por FRM Según NSR-10 .....	156
Tabla 36. Criterios de resistencia de la estructura .....	162
Tabla 37. Categorías de los daños.....	163
Tabla 38. Índice de Exposición.....	165
Tabla 39. Factores de Ponderación .....	168
Tabla 40. Matriz para la determinación intensidad de daño .....	169
Tabla 41. Determinación índice de daño .....	169
Tabla 42. Número de integrantes por familia.....	171



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización geográfica.....	5
Figura 2. Gráfico de precipitación media multianual mensual. ....	26
Figura 3. Gráfico de precipitación media multianual.....	27
Figura 4. Isoyetas mes de enero y febrero.....	28
Figura 5. Isoyetas mes de Marzo y Abril.....	29
Figura 6. Isoyetas mes de Mayo y Junio.....	30
Figura 7. Isoyetas mes de Julio y Agosto.....	31
Figura 8. Isoyetas mes de Septiembre y Octubre.....	32
Figura 9. Isoyetas mes de Noviembre y Diciembre.....	33
Figura 10. Comportamiento de las Curvas del Balance Hídrico.....	41
Figura 11. Imagen ilustrativa de la microcuenca Tibana.....	45
Figura 12. Imagen mapa geológico área de estudio.....	47
Fuente: Resultado del estudio.....	47
Figura 13. Ventana extraída del mapa regional de Geomorfología.....	52
Figura 14. Fotografías pertenecientes al vuelo 2804- 16,17.....	55
Figura 15. Esquema del movimiento compuesto.....	56
Figura 16. Esquema del movimiento, perfil movimiento compuesto.....	57
Figura 17. Esquema del movimiento, reptación 1.....	58
Figura 18. Esquema del movimiento, perfil reptación 1.....	58
Figura 19. Imagen del Mapa de inclinación de las pendientes.....	59
Figura 20. Imagen del Mapa geomorfológico.....	61
Figura 21. Imagen del Mapa erosión.....	70
Figura 22. Posiciones de las Líneas gula de las regiones latitudinales.....	73
Figura 23. Criterios para la clasificación de los bosques.....	96
Figura 24. Imagen del Mapa cobertura vegetal y uso de suelo.....	102
Figura 25. Principio teórico de operación de las TER's.....	109
Figura 26. Rangos de resistividad para diferentes materiales.....	110
Figura 27. Dispositivo Wenner.....	114
Figura 28. Localización líneas de tomografía.....	117
Figura 29. Perfil 1 tomografía.....	119

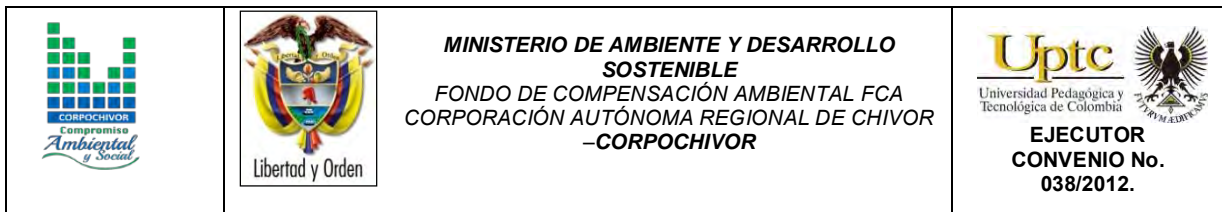
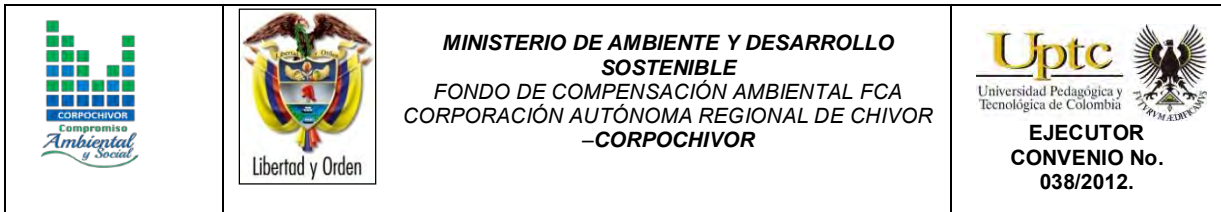


Figura 30. Perfil litológico 1 .....	120
Figura 31. Perfil 2 tomografía. ....	121
Figura 32. Perfil litológico 2 .....	122
Figura 33. Límites de Atterbeg .....	127
Figura 34. Perfil Geotécnico .....	133
Figura 35. Guía para la definición del Índice geológico de resistencia (GSI). ....	139
Figura 36. Análisis cinemático, falla por volcamiento .....	147
Figura 37. Análisis cinemático falla planar .....	147
Figura 38. Análisis cinemático falla por cuña .....	148
Figura 39. Perfil geológico A-A' .....	149
Figura 40. Modelo de análisis perfil A-A' .....	150
Figura 41. Perfil geológico B-B' .....	151
Figura 42. Modelo de análisis perfil B-B' .....	151
Figura 43. Indicadores de Índice de Vulnerabilidad social.....	160
Figura 44. Tipología de viviendas.....	167
Figura 45. Matriz para escenarios de riesgo .....	171
Figura 46. Distribución de los FS para el escenario actual en la condición extrema del Perfil A. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 47. Distribución de los FS para el escenario actual en la condición extrema del Perfil B. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 48. Distribución de los FS para el escenario actual en la condición extrema del Perfil C.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 49. Distribución de los FS para el escenario actual en la condición extrema del Perfil B.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1.	Exploración directa del subsuelo (SPT).....	8
Fotografía 2.	Tejido urbano discontinuo presente en la zona de estudio.....	81
Fotografía 3.	Tejido artificializado de nivel 4 red vial. ....	82
Fotografía 4.	Territorio agrícola presente en la zona de estudio. ....	83
Fotografía 5.	Cultivo De Zea Mays .....	84
Fotografía 6.	Saccharum Officinarum Cultivo Presente en la zona de estudio....	85
Fotografía 7.	Musa Sapiantum L.J Presente en la zona de estudio. ....	87
Fotografía 8.	Cultivos permanentes arbóreos.....	88
Fotografía 9.	Prunus Domestica y Pyrus malus L.....	89
Fotografía 10.	Cyphomandra betacea .....	90
Fotografía 11.	Citrus Nobilis.....	91
Fotografía 12.	Cultivo agroforestal.....	92
Fotografía 13.	Plantación silvopasrotil. ....	93
Fotografía 14.	Pastos limpios presentes en la zona de estudio. ....	94
Fotografía 15.	Bosque denso bajo de tierra firme .....	97
Fotografía 16.	Pino presente en la zona de estudio.....	99
Fotografía 17.	Eucaliptos presentes en la zona de estudio.....	100
Fotografía 18.	Vegetación mesofilo.....	101
Fotografía 19.	Parte alta del deslizamiento.....	118
Fotografía 20.	Parte baja del deslizamiento.....	120
Fotografía 21.	Perforación realizada en la zona de estudio .....	125
Fotografía 22.	Punto de rocas aflorantes en la cercanía del deslizamiento y zona de mapeo geológico. ....	126
Fotografía 23.	Muestra fallada en el ensayo de compresión no confinada. ....	129
Fotografía 24.	Muestras a las que se les realizo la prueba de corte directo. ...	130
Fotografía 25.	Panorámica de la zona de deslizamiento .....	156
Fotografía 26.	Instalaciones escuela rural Bayeta .....	158
Fotografía 27.	Desplazamiento del material en el área de estudio .....	172
Fotografía 28.	Vista de parte del área afectada por el deslizamiento. ....	173
Fotografía 29.	Vivienda habitada en el sector evaluado. ....	174



Fotografía 30.	Vivienda habitada en el sector evaluado. ....	175
Fotografía 31.	Aula de clases escuela Bayeta. ....	176
Fotografía 32.	Habitante vereda Bayeta. ....	176
Fotografía 33.	Vivienda vereda Bayeta. ....	178
Fotografía 34.	Vivienda vereda Bayeta. ....	179
Fotografía 35.	Vivienda con presencia de grietas en pisos. ....	180
Fotografía 36.	Vivienda con desprendimiento de construcción. ....	181
Fotografía 37.	Vivienda a punto de colapsar por su grado de antigüedad. ....	182
Fotografía 38.	Paredes de vivienda antigua del sector. ....	185
Fotografía 39.	Vista de vivienda arrasada por el deslizamiento. ....	186
Fotografía 40.	Campesino del sector cultivando. ....	187
Fotografía 41.	Habitante de la vivienda arrasada por el deslizamiento. ....	188