



## **INFORME FINAL**

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

**CONVENIO**

**Nº 038 DEL 2012**

**UPTC - CORPOCHIVOR**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA**



## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	13
1 GENERALIDADES.....	14
1.1 PRESENTACIÓN (JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE).....	14
1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	15
1.2.1 Objetivo General.....	15
1.2.2 Objetivos Específicos.....	15
1.3 LOCALIZACIÓN.....	17
1.4 PERSONAL.....	17
1.5 DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES REALIZADAS.....	19
1.5.1 Trabajo de campo.....	19
1.5.2 Análisis de laboratorio.....	21
1.5.3 Trabajos de Oficina.....	21
1.6 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y SUS POSIBLES CAUSAS.....	22
1.7 RECOPIACION DE INFORMACION SECUNDARIA.....	23
1.8 ESTADO DE LA INFORMACIÓN.....	24
2 ASPECTOS CLIMATICOS E HIDROLOGICOS.....	26
2.1 ANÁLISIS HIDROLÓGICO.....	27
2.2 BALANCE HÍDRICO.....	27
2.2.1 Tipos de recarga.....	28
2.3 ESTIMACIÓN DE LA ESCORRENTÍA.....	30
2.4 ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN.....	36
2.5 ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP).....	48
2.5.1 Formula de J. B. García y J.D. López.....	48
2.6 Estimación del Balance Hídrico.....	49
2.6.1 Metodología.....	50
2.7 RESULTADOS OBTENIDOS.....	53
2.8 CALCULO DE CAUDAL DE DISEÑO A PARTIR DE LAS CURVAS IDF.....	57
2.8.1 Resultados.....	57
2.9 MORFOMETRÍA DE LA CUENCA.....	59

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



2.9.1	Densidad de drenaje (Dd).....	61
2.9.2	Tiempo de Concentración (TC) .....	61
3	<b>GEOLOGÍA.....</b>	<b>64</b>
3.1	GEOLOGÍA HISTÓRICA .....	64
3.2	MARCO GEOLÓGICO REGIONAL .....	65
3.3	ESTRATIGRAFÍA.....	66
3.3.1	Formación Churuvita (Ksch) .....	66
3.3.2	Formación Conejo (Kscn) .....	66
3.3.3	Formación Plaeners (Kg2).....	67
3.3.4	Depósitos Cuaternarios. ....	67
3.4	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL .....	68
3.4.1	Tectónica.....	68
4	<b>GEOMORFOLOGÍA .....</b>	<b>70</b>
4.1	GEOMORFOLOGIA LOCAL .....	70
4.2	ANÁLISIS FOTOGEOLÓGICO .....	70
4.3	PROCESOS MORFODINÁMICOS.....	72
4.3.1	Los deslizamientos compuestos.....	72
4.3.2	Reptaciones.....	73
4.4	INCLINACIÓN DE LAS PENDIENTES .....	76
4.5	UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS .....	78
4.5.1	Geoformas de Origen Denudacional. ....	78
4.6	MORFODINÁMICA - INTENSIDAD DE EROSIÓN.....	81
4.7	USO ACTUAL Y COBERTURA DEL SUELO .....	83
4.7.1	Metodología.....	84
4.7.2	Estudio de la flora.....	85
4.7.3	Cobertura y uso de suelo para el área de estudio .....	87
4.7.4	Áreas y porcentajes de las coberturas en el área de estudio. ....	116
4.7.5	Unidades de cobertura vegetal.....	117
5	<b>HIDROGEOLOGÍA .....</b>	<b>121</b>
5.1	Unidades Hidrogeológicas.....	121
5.1.1	Acuífero.....	121
5.1.2	Acuitardo.....	121
5.1.3	Acuicierres.....	122
5.2	MARCO HIDROLÓGICO GENERAL.....	122



5.2.1	Unidad I (Permeabilidad Alta).....	122
5.2.2	Unidad II (Permeabilidad Media) .....	122
5.2.3	Unidad III (Permeabilidad Baja).....	122
6	<b>ESTUDIO GEOELECTRICO (TOMOGRAFIA ELECTRICA RESISTIVA)</b>	
	123	
6.1	INTRODUCCION.....	123
6.2	OBJETIVO .....	126
6.3	PRINCIPIO DEL METODO GEOFISICO. ....	126
6.3.1	Resistividad Aparente:.....	126
6.3.2	Dispositivos: .....	129
6.4	METODOLOGIA.....	130
6.4.1	Tomografía N°1 .....	132
6.4.2	Resultados.....	136
7	<b>GEOTECNIA .....</b>	<b>137</b>
7.1	EXPLORACIÓN DE CAMPO.....	137
7.1.1	Sondeos geotécnicos .....	137
7.2	CARACTERIZACIÓN DEL SUELO Y SUBSUELO.....	142
7.2.1	Trabajos de Laboratorio .....	142
7.2.2	Propiedades mecánicas de las rocas .....	147
7.2.3	Resumen de resultados.....	149
7.3	CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO.....	152
7.3.1	Índice de Calidad de la Roca (RQD): .....	152
7.3.2	Clasificación Según el RMR: .....	153
7.3.3	Clasificación Según el Índice Geológico de Resistencia (GSI):.....	156
7.4	CINEMÁTICA DE LOS MOVIMIENTOS .....	158
7.5	CAUSAS DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA.....	158
7.5.1	Causas Reales .....	158
7.5.2	Causas Inmediatas.....	159
7.6	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y MODELACIÓN GEOTÉCNICA.....	160
7.6.1	Análisis estructuralmente controlado.....	163
7.6.2	Análisis estructuralmente no controlado .....	167
8	<b>ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA</b>	<b>172</b>



8.1	DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DE AMENAZAS .....	172
8.2	RESULTADO DE ANALISIS.....	174
8.3	ANALISIS DE AMENAZA .....	175
8.3.1	Amenaza Media.....	178
9	EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD Y RIESGO .....	179
9.1	VULNERABILIDAD.....	179
9.1.1	Inventario de viviendas .....	180
9.2	ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD .....	181
9.2.1	Tipificación de las Estructuras .....	182
9.2.2	Calificación de los daños.....	183
9.2.3	Índice de Exposición (IE).....	185
9.2.4	Índice de Resistencia (IR).....	186
9.2.5	Tipología de viviendas.....	187
9.2.6	Intensidad e índice de daño.....	189
9.3	EVALUACIÓN Y GENERACIÓN DE ESCENARIOS DE RIESGO .....	192
9.4	RESULTADOS DE ENCUESTAS.....	193
10	OBRAS RECOMENDADAS .....	196
11	CONCLUSIONES.....	197
12	RECOMENDACIONES .....	198
13	BIBLIOGRAFÍA .....	199



## LISTAS DE FOTOGRAFÍAS.

	Pág.
Fotografía 1. Exploración directa del subsuelo (SPT) .....	20
Fotografía 2. Tejido urbano discontinuo presente en la zona de estudio. ....	90
Fotografía 3. Tejido artificializado de nivel 4 red vial.....	91
Fotografía 4. Territorio agrícola presente en la zona de estudio. ....	92
Fotografía 5. Leguminosas presentes en la zona de estudio. ....	94
Fotografía 6. <i>Arracacia xanthorrhiza Bancroft</i> presente en la zona de estudio. ....	96
Fotografía 7. <i>Solanum tuberosum L.</i> presente en la zona de estudio. ....	97
Fotografía 8. Cultivos permanentes arbóreos. ....	98
Fotografía 9. Cultivo permanente herbáceo. ....	99
Fotografía 10. Cultivo agroforestal. ....	100
Fotografía 11. Plantación silvopastoril. ....	101
Fotografía 12. Pastos limpios presentes en la zona de estudio.....	102
Fotografía 13. Pastos enmalezados. ....	103
Fotografía 14. Bosque denso bajo de tierra firme.....	108
Fotografía 15. Pino presente en la zona de estudio. ....	110
Fotografía 16. Eucaliptos presentes en la zona de estudio .....	111
Fotografía 17. Helechal presente en la zona de estudio.....	113
Fotografía 18. Sucesión secundaria baja. ....	115
Fotografía 19. Parte media del deslizamiento. ....	134
Fotografía 20. Parte media del deslizamiento. ....	134
Fotografía 21. Perforación realizada en la zona de estudio.....	139
Fotografía 22. Punto de rocas aflorantes en la cercanía del deslizamiento y zona de mapeo geológico.....	141
Fotografía 23. Medición de volumen de la muestra para establecer propiedades físicas de la roca.....	145
Fotografía 24. Muestra fallada en el ensayo de compresión no confinada.....	146
Fotografía 25. Muestras a las que se le realizo la prueba de corte directo.....	147
Fotografía 26. Ensayo de Tilt Test.....	148



Fotografía 27. Ensayo de carga por punta o ensayo de Franklin .....	149
Fotografía 28. Parte superior del movimiento .....	168
Fotografía 29. Límites del deslizamiento .....	169
Fotografía 30. Vía vereda y vivienda ubicada en trayectoria del movimiento ....	177
Fotografía 31. Viviendas ubicadas dentro de la zona de deslizamiento. Nótese el tipo constructivo utilizado.....	194
Fotografía 32. Viviendas ubicadas dentro del Deslizamiento .....	194

## LISTAS DE TABLAS.

	Pág.
Tabla 1. Tabla general para la determinación de número de curva (CN).....	32
Tabla 2. Escorrentía calculada por interpolación de estaciones cercanas, tipo de suelo CI .....	35
Tabla 3. Estaciones pluviométricas utilizadas en la estimación de la precipitación para el área de estudio.....	37
Tabla 4. Tabla de precipitación por interpolación de estaciones cercanas al área de estudio.....	38
Tabla 5. Rangos de temperatura municipio de Boyacá.....	49
Tabla 6. Valores de Evapotranspiración.....	49
Tabla 7. Calculo de Infiltración, basado en los valores de escorrentía (R) y precipitación (P). Interpolación de estaciones cercanas al área de estudio. ....	52
Tabla 8. Estimación del Balance Hídrico .....	54
Tabla 9. Valores de parámetros morfométricos para la microcuenca. Fuente resultado del estudio .....	63
Tabla 10. Clasificación de las pendientes. ....	77
Tabla 11. Descripción geomorfológica. ....	80
Tabla 12. Porcentaje de coberturas vereda Rique municipio de Boyacá. ....	116
Tabla 13. Unidades de cobertura vegetal presenes en la zona de estudio. ....	119
Tabla 14. Resistividades de algunos suelos y rocas. ....	129
Tabla 15. Resistividad de los materiales presentes. ....	135
Tabla 16. Coordenadas de los sondeos realizados.....	138
Tabla 17. Tabla Resumen de resultados ensayos de laboratorio.....	151
Tabla 18. Puntos de control para realizar la clasificación geomecánica. ....	155
Tabla 19. Resumen de Resultados de la Clasificación RMR .....	155
Tabla 20. Coeficientes de aceleración sísmica para el departamento Boyacá....	162
Tabla 21. Coeficientes de reducción de coeficientes de aceleración sísmica ....	162
Tabla 22. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla planar.....	163
Tabla 23. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.....	164
Tabla 24. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.....	164
Tabla 25. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla planar.....	165
Tabla 26. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.....	165
Tabla 27. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.....	165



Tabla 28. Valores de propiedades físicas y mecánicas utilizadas en los modelos de estabilidad.....	168
Tabla 29. Factores de seguridad para el modelo perfil B-B'.....	171
Tabla 30. Parámetros físicos y naturales estimados para la Identificación de Zonas Inestables (Deslizamientos) .....	173
Tabla 31. Categorización de amenazas por fenómenos de remoción en masa ..	175
Tabla 32. Categorización de amenaza por FRM según NSR-10.....	175
Tabla 33. Criterios de resistencia de la estructura .....	183
Tabla 34. Categorías de los daños.....	184
Tabla 35. Índice de Exposición.....	186
Tabla 36. Factores de Ponderación .....	189
Tabla 37. Matriz para la determinación intensidad de daño .....	190
Tabla 38. Determinación índice de daño.....	190
Tabla 39. Rangos de velocidad utilizadas en el estudio.....	192
Tabla 40. Matriz para escenarios de riesgo.....	193
Tabla 41. Número de integrantes por familia.....	193



## LISTAS DE FIGURAS.

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Localización área de estudio .....	17
Figura 2. Organigrama .....	18
Figura 3. Gráfico de precipitación media multianual mensual. ....	40
Figura 4. Gráfico de precipitación media multianual.....	40
Figura 5. Precipitación media mensual interpolacion estaciones cercanas (1996)	41
Figura 6. Precipitación media mensual interpolacion estaciones cercanas (2001)	41
Figura 7. Precipitacion media mensual interpolacion estaciones cercanas (2009) .....	42
Figura 8. Isoyetas mes de enero y febrero .....	42
Figura 9. Isoyetas mes de marzo y abril.....	43
Figura 10. Isoyetas mes de mayo y junio .....	44
Figura 11. Isoyetas Julio Agosto .....	45
Figura 12. Isoyetas mes de septiembre octubre.....	46
Figura 13. Isoyetas mes de Noviembre y Diciembre .....	47
Figura 14. Comportamiento de las Curvas del Balance Hídrico .....	56
Figura 15. Figura ilustrativa de la microcuenca de Boyacá .....	62
Figura 16. Imagen mapa geológico del área de estudio.....	65
Figura 17. Fotografías pertenecientes al vuelo 2803-252, 253 tomadas por el IGAC, durante los años 90. ....	71
Figura 18. Esquema del movimiento compuesto.....	73
Figura 19. Esquema del movimiento, reptación 1 .....	74
Figura 20. Esquema del movimiento, reptación 2 .....	75
Figura 21. Esquema del movimiento, reptación 3 .....	76
Figura 22. Imagen del Mapa de inclinación de las pendientes. ....	77
Figura 23. Imagen del Mapa geomorfológico. ....	78
Figura 24. Imagen del Mapa erosión.....	82
Figura 25. Criterios para la clasificación de los bosques.....	106
Figura 26. Mapa cobertura vegetal y uso de suelo.....	116
Figura 27. Principio teórico de operación de las TER's.....	124
Figura 28. Rangos de resistividad para diferentes materiales.....	125
Figura 29. Dispositivo Wenner. ....	130
Figura 30. Localización línea de tomografía.....	133



Figura 31. Perfil 1 tomografía.....	135
Figura 32. Perfil litológico 1 .....	136
Figura 33. Perfil geotécnico S2 .....	140
Figura 34. Límites de Atterbeg .....	143
Figura 35. Manera de establecer las fases de la roca .....	145
Figura 36. Guía para la definición del Índice geológico de resistencia (GSI) .....	157
Figura 37. Análisis cinemático, falla por volcamiento .....	166
Figura 38. Análisis cinemático falla planar .....	166
Figura 39. Análisis cinemático falla por cuña .....	167
Figura 40. Perfil geológico AA' .....	170
Figura 41. Modelo de análisis perfil A-A' .....	170
Figura 42. Dirección del movimiento, presencia de grietas, hundimientos con formaciones de grietas, hundimientos con formación de terracetas.....	176
Figura 43. Indicadores de Índice de Vulnerabilidad social.....	180
Figura 44. Estado y edad de las construcciones, sistema estructural y calidad de las viviendas.....	186
Figura 45. Formulario de inventario de viviendas.....	195



## LISTAS DE ANEXOS

### ANEXO 1 - MAPAS TEMÁTICOS

MAPA 1 GEOLÓGICO

MAPA 2 GEOMORFOLÓGICO

MAPA 3 SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSIÓN

MAPA 4 DE PENDIENTES

MAPA 5 COBERTURA Y USO DEL SUELO

MAPA 6 HIDROGEOLÓGICO

MAPA 7 EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA

MAPA 8 ZONIFICACIÓN GEOMECÁNICA

MAPA 9 ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA

MAPA 10 VULNERABILIDAD FÍSICA Y SOCIAL

MAPA 11 ZONIFICACIÓN DE RIESGOS POR FRM

### ANEXO 2 - ANÁLISIS FOTO INTERPRETACIÓN

### ANEXO 3 - RESULTADOS DE LABORATORIO

### ANEXO 4 - CARTERAS TOPOGRAFICAS

### ANEXO 5 - HIDROLOGIA

### ANEXO 6 - CURVAS IDF

### ANEXO 7 - FICHAS DE INVENTARIO DE PROCESOS GEOMORFOLOGICOS

### ANEXO 8 - ENCUESTAS SOCIOECONOMICAS

### ANEXO 9 - FORMATO DE LEVANTAMIENTO DE INFORMACION DE VULNERABILIDAD FISICA

### ANEXO 10 – DISEÑO DE OBRAS DE MITIGACION, PROTECCION Y RECUPERACION

### ANEXO 11 - RESULTADOS DE SEV

### ANEXO 12 - RESULTADOS PERFORACIONES



## INTRODUCCIÓN.

Las temporadas de altas precipitaciones en la región andina, han causado variedad de problemas a lo largo y ancho del país, uno de las regiones más afectadas debido a éste fenómeno ha sido el departamento de Boyacá, donde en sus diferentes municipios se han presentado, inundaciones y deslizamientos que afectan a las comunidades de manera directa o indirecta de cada locación donde se presentan.

Eventos con ocurrencia de tipo estacional, se vieron incrementados en su capacidad de daño, por el incremento de las precipitaciones, dando lugar a movimientos en masa de grandes proporciones que afectaron laderas de la mayoría de los municipios, de Boyacá. La evidencia de los cuerpos de deslizamientos, permite registrar relativamente por memoria histórica y evidencias geomorfológicas, la ocurrencia de estos tipos de fenómenos de remoción en masa. De igual forma, las precipitaciones por eventos y acumuladas, ocurridas en dichos municipios, con llevaron a picos de escorrentía que provocaron desbordes e inundaciones de los valles intermontanos del territorio boyacense, causando así estos movimientos.



## 1 GENERALIDADES

### 1.1 PRESENTACIÓN (JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE)

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

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

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



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

## 1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

### 1.2.1 Objetivo General

❖ Realizar el estudio de riesgo (amenaza y vulnerabilidad) y diseño de obras en la A lo largo de la vía Puente de Boyacá-Boyacá kilómetro 21+400 que conduce a la vereda Rique, del municipio die Boyacá, área afectada por fenómenos de remoción de masa. Municipio de la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Chivor CORPOCHIVOR.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

❖ Realizar el estudio diagnóstico físico y de cobertura y uso del suelo con el fin de identificar las amenazas geoclimáticas en zona de afectación.

❖ Realizar un estudio geomorfológico detallado con el propósito de apoyar la identificación y la posterior zonificación de las principales amenazas naturales, en particular las relacionadas con los eventos de remoción en masa, erosión, socavación, represamientos e inundaciones.



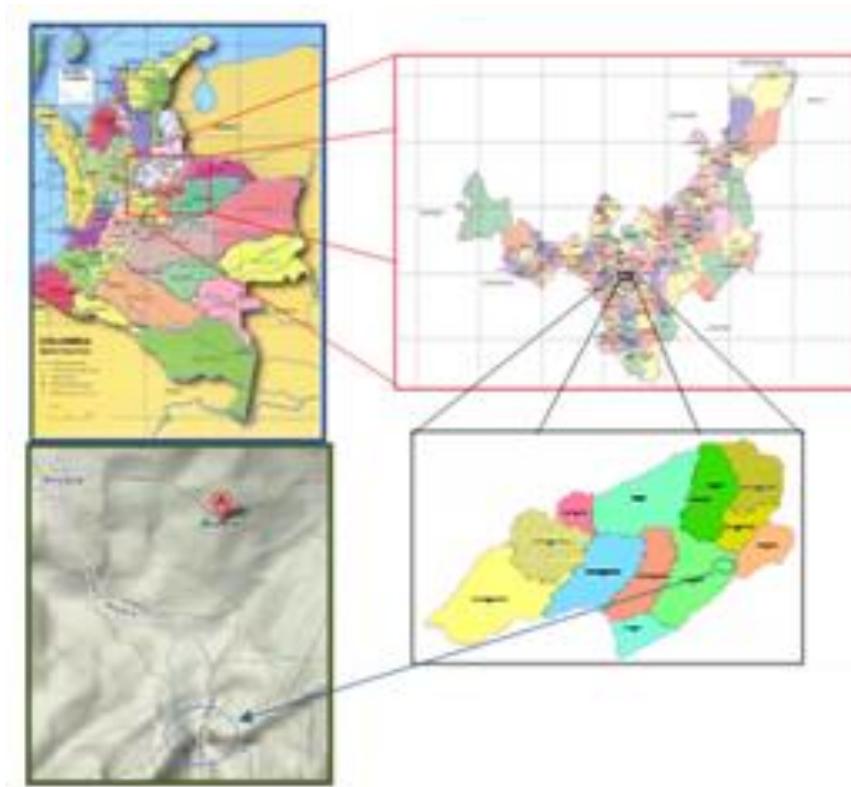
- ❖ Evaluar aspectos climáticos (precipitación) de los años 2009, 2010 y 2011 utilizando los datos de las estaciones meteorológicas del departamento y limítrofes, y compararlos con las series anteriores disponibles.
- ❖ Evaluación de Información histórica y memoria colectiva sobre los eventos de FRM y sísmicos ocurridos en la zona de estudio.
- ❖ Desarrollar la caracterización geotécnica de los diferentes materiales involucrados en los diferentes sectores del deslizamiento.
- ❖ Evaluar tomografías del suelo con el fin de determinar la superficie de falla actual.
- ❖ Establecer el grado de vulnerabilidad social y la percepción de la comunidad ante el desarrollo de eventos de alta peligrosidad, mediante la toma de encuestas con la comunidad afectada, potencialmente susceptible y de moderada a baja susceptibilidad.
- ❖ Establecer vulnerabilidades y escenarios de riesgos de las áreas de mayor importancia dentro de la zona de estudio.
- ❖ Implementar un sistema de información geográfica que permita visualizar y manipular los datos y cartografía temática integrados, con el fin de ser actualizada y retroalimentada.
- ❖ Recomendar medidas de reducción de riesgos de desastres a nivel puntual.



❖ Establecer medidas de estabilización mediante la evaluación de diferentes escenarios y el grado de confiabilidad ante la implementación de medidas estructurales.

### 1.3 LOCALIZACIÓN.

Figura 1. Localización área de estudio



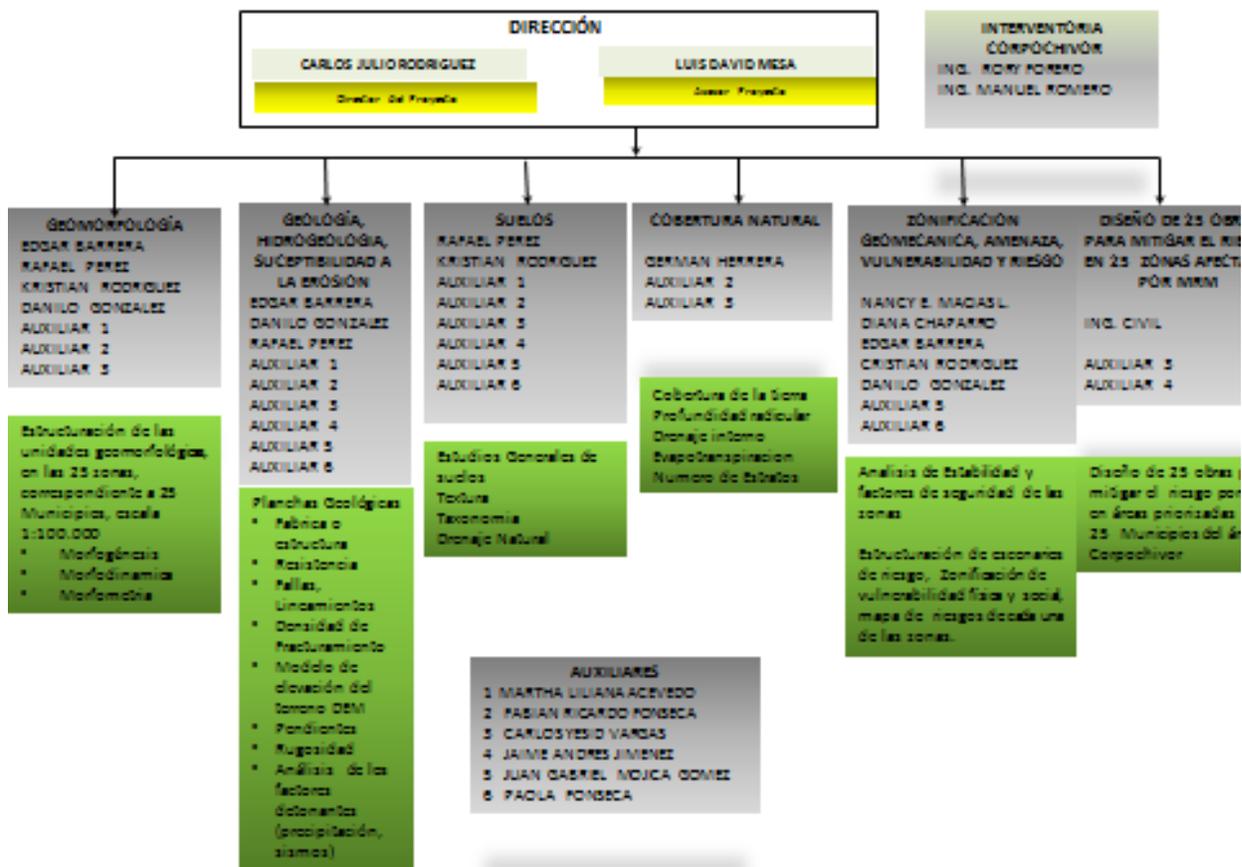
Fuente. Google maps

### 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, Biólogo German Saavedra, Socióloga Diana Chaparro, El Ingeniero topógrafo Jorge. Por parte de Corpochivor la interventoría técnica la cual ejerce supervisión con los Ingenieros Rory Forero y Manuel Romero.

Figura 2. Organigrama



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



## 1.5 DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES REALIZADAS

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

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

### 1.5.1 Trabajo de campo

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

El trabajo de campo consistió en:

- ❖ **Apiques y sondeos geotécnicos.** En total, se realizaron 5 apiques geotécnicos y 2 sondeos manuales por SPT (standar penetration test), en los que

se tomaron muestras para análisis, cuya profundidad de exploración varió de los 2 a los 18 m.

**Fotografía 1. Exploración directa del subsuelo (SPT)**



**Fuente. Registro fotográfico.**

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

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

❖ Levantamiento Geológico y Geotécnico de la zona: Comprende el reconocimiento del lugar, haciendo el levantamiento geológico que permitió conocer la litología, rasgos estructurales, grado de alteración de la roca, depósitos no consolidados y demás detalles de utilidad que sirvieron para crear el modelo geológico local (escala 1: 500). Con el fin de conocer en detalle la naturaleza del



subsuelo, y la caracterización de cada uno de los (F.R.M.) se realizó la exploración del subsuelo mediante la realización de apiques, perforaciones.

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

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

### 1.5.2 Análisis de laboratorio

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

### 1.1.3 Trabajos de Oficina

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



1. Recopilación y revisión de información,
2. Procesamiento y análisis de resultados,
3. Concepción del modelo de secuencia cronológica de los distintos eventos ocurridos,
4. Definición del mapa de Amenazas por movimientos en masa,
5. Análisis de estabilidad para las zonas homogéneas definidas,
6. 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, Jenesano Nuevo Colon.

## **1.6 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y SUS POSIBLES CAUSAS**

Los movimientos en masa que afectan al municipio de Boyacá, Boyacá se ven influenciados por diversos factores tales como, el uso de los suelos, la presencia de fallas geológicas o neotectonismo, la composición de los materiales, el clima, entre otros; causando problemas de diversa índole relacionados tanto con la población local es decir a sus habitantes , casas, vías, predios que se encuentran afectados de manera directa por el deslizamiento; como también municipal, regional e inclusive Nacional, en el caso de vías de importancia económica.

Por esta razón la Corporación Autónoma Regional de Chivor - CORPOCHIVOR ha hecho un reconocimiento de este sitio en donde se puede evidenciar los sitios más críticos de riesgo por fenómenos naturales y antrópicos, para intervención con medidas de mitigación de riesgo. Por tal motivo, se requiere disponer de conceptos técnicos de ingeniería geológica que garanticen la aplicación de



criterios necesarios para realizar el diseño de obras de protección, mitigación y corrección de los efectos de los fenómenos de remoción en masa existentes.

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

## **1.7 RECOPIACION DE INFORMACION SECUNDARIA**

A partir de la recopilación bibliográfica de estudios realizados en la zona en años anteriores por entidades del orden nacional, regional y local (EOT, POMCA) informes de visitas de emergencia, cartografía geológica y fotografías aéreas se adelantaron las siguientes actividades:

- ❖ Revisión y análisis de la información fotogeológica, con el fin de determinar estructuras, formaciones estratigráficas regionales y características litológicas generales de las áreas de estudio.
  
- ❖ Verificación, ajuste y complementación de la información de Unidades Geológicas Superficiales mediante trabajo de campo, haciendo una descripción y cartografía de las geoformas asociadas a las unidades geológicas. En el trabajo de campo se identificaron las características litológicas (composición, tamaño de grano, textura, compactación, color, etc.), su disposición estructural (afectación por fallamiento, grado de fracturamiento y plegamiento) y grado de meteorización, entre otros aspectos, a partir de los cuales se clasificaron las Unidades Geológicas Superficiales que se describirán posteriormente.



- ❖ Evaluación y procesamiento de la información de campo, elaboración de mapas de Unidades Geológicas Superficiales, Geomorfología y movimientos en masa.
- ❖ Digitalización de mapas.
- ❖ Elaboración de la memoria técnica explicativa.

## 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: tomografías eléctricas del subsuelo.
- Hidrogeológica: Inventario de puntos de agua, niveles de agua, cartografía hidrogeológica, balance hídrico.



Después de llevar a cabo la identificación de la información recopilada se procedió a evaluar y calificar el grado de confiabilidad de la misma, de tal manera que se realizó procesos de depuración y selección.



## 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, la más significativa 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 Boyacá y sus alrededores, se debe evaluar la magnitud de la recarga potencial proveniente de la precipitación a través de los suelos teniendo en cuenta espacial y temporalmente la magnitud de la escorrentía, la evapotranspiración y la variaciones de contenido de humedad de los suelos de cada una de las cuencas y/o subcuencas involucradas en el área de estudio. Por tal razón se hace necesaria la estimación de la escorrentía superficial,



evapotranspiración y valores de precipitación media mensual multianual en cada una de las subcuencas, lo que permitirá estimar el Balance Hídrico con el fin de obtener la oferta total de agua subterránea y superficial.

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

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

### **2.2.1 Tipos de recarga**

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

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



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

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

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

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

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

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



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

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

### 2.3 ESTIMACIÓN DE LA ESCORRENTÍA

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

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

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



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

**Dónde:**

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

**P=** Precipitación

**CN=** Número de curva (tablas)

**R=** 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 del sistema de clasificación de suelos (S.C.S) 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.** Resultados de la investigación

**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 aterrizados (terrazas abiertas con desagüe para la conservación de suelos).

Tabla 2. Escorrentía calculada por interpolación de estaciones cercanas, tipo de suelo CI

RESULTADOS INTERPOLACIÓN DE ESTACIONES CERCANAS			
P	R	S CL (B)	CN
48,3916667	7,092924524	93,9452055	73
53,93625	9,56931745		
53,51875	9,373642767		
48,3608333	7,079923511		
48,8325	7,279773738		
54,058875	9,627061909		
57,801675	11,44712949		
63,1516667	14,22943685		
55,5005542	10,31508526		
58,9931667	12,04904788		
49,4781667	7,556685389		
62,8081667	14,04481434		
49,8413833	7,714135005		
61,7434	13,47759548		
46,98315	6,508205657		
59,07445	12,09049201		
63,5692833	14,45495493		
58,3276667	11,71155262		
72,4208334	19,49063326		
53,332	9,286583053		
65,3685	15,43960985		
41,383875	4,380696298		
63,123875	14,21447019		

**Fuente.** Resultados 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 influencias 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 2 estaciones climatológicas (**ver Tabla 3**), 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 29 años (1982-2011), 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.

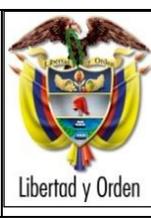


Tabla 3. Estaciones pluviométricas utilizadas en la estimación de la precipitación para el área de estudio.

CODIGO	NOMBRE ESTACION	CORRIENTE	NOMBRE DEPARTAMENTO	NOMBRE MUNICIPIO
35070010	RAMIRIQUÍ	RIO JENESANO	BOYACÁ	RAMIRIQUÍ
35077090	PUENTE ADRIANA	RIO JENESANO	BOYACÁ	JENESANO

Fuente. IDEAM

En la **Tabla 3** se presentan los valores de precipitación medios mensuales multianuales (mm) obtenidas el promedio de las estaciones de Jenesano y Ramiriquí 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 (Kcn) que se delimito y que hace parte del área del presente convenio.



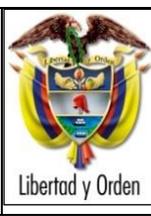
**MINISTERIO DE AMBIENTE Y  
DESARROLLO SOSTENIBLE**  
FONDO DE COMPENSACIÓN  
AMBIENTAL FCA  
CORPORACIÓN AUTÓNOMA  
REGIONAL DE CHIVOR –  
**CORPOCHIVOR**



Tabla 4. Tabla de precipitación por interpolación de estaciones cercanas al área de estudio

AÑO	NOMBRE ESTACIÓN	ESTE	NORTE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICEMBRE	ANUAL	PROMEDIO AÑO
1986	INTERPOLACIÓN DE ESTACIONES CERCANAS	1095086	1072356	5,6	35,09	30,815	50,39	8,75	69,44	73,45	92,225	21,15	97,45	29,95	12,1	526,41	43,8675
1987	INTERPOLACIÓN DE ESTACIONES CERCANAS	1095086	1072356	6,725	21,75	20,8	44,725	18,375	78,6	100,1	73,2	46,35	96	57,11	33,3	597,035	49,75291667
1988	INTERPOLACIÓN DE ESTACIONES CERCANAS	1095086	1072356	8,7	24,55	15,14	35,65	6,96	84,55	90,45	66,45	61,2	76,45	101,225	52,7	624,025	52,00208333
1990	INTERPOLACIÓN DE ESTACIONES CERCANAS	1095086	1072356	14,25	24,75	38,3	66,45	29,6	71,5	94,15	39,39	38,4	61,9	53,4	47,2	579,29	48,27416667
1991	INTERPOLACIÓN DE ESTACIONES CERCANAS	1095086	1072356	3,1	7,3	28,95	31,05	27,3	80,0515	134,115	144,54	59,8	33,55	63,35	12,8	625,9065	52,158875
1992	INTERPOLACIÓN DE ESTACIONES CERCANAS	1097275	1071213	5,1	13,9923	24,6263	47,5515	6,5	50,65	98,55	90,15	57,45	21,55	88,1	46,2	550,4201	45,86834167
1993	INTERPOLACIÓN DE ESTACIONES CERCANAS	1097275	1071213	14,5	11,75	48,45	74,95	14,05	80,4	83,35	79,35	83,85	36,25	76,37	30,8	634,07	52,83916667
1994	INTERPOLACIÓN DE ESTACIONES CERCANAS	1097275	1071213	20,75	31,73	55,7	86,375	4,12515	76,95	97,7515	66,2	43,04	68,6	58,15	14,8	624,17165	52,01430417
1995	INTERPOLACIÓN DE ESTACIONES CERCANAS	1097275	1071213	4,025	6,7215	51,675	58,8765	0	73,05	67,65	74,8	53,525	91,645	62,845	64,19	609,003	50,75025
1996	INTERPOLACIÓN DE ESTACIONES CERCANAS	1097275	1071213	30,02	25,62	48,515	32,615	23,415	128,824	131,824	63,415	44,42	62,68	34,185	105,6	731,133	60,92775
1998	INTERPOLACIÓN DE ESTACIONES CERCANAS	1094335	1076576	5,775	26,95	35,49	62,815	9,125	119,425	152,644	83,054	44,95	69,78	19,34	4	633,348	52,779
1999	INTERPOLACIÓN DE ESTACIONES CERCANAS	1094335	1076576	17,3954	42,4504	30,7504	65,4004	0,95	90,7	57,5	21,2	82,9	67,75	58,05	37,1	572,1466	47,67888333
2000	INTERPOLACIÓN DE ESTACIONES CERCANAS	1094335	1076576	18,6954	29,849	48,349	43,024	12,009	86,139	79,609	84,209	65,789	77,094	77,009	54,9908	676,7662	56,39718333
2001	INTERPOLACIÓN DE ESTACIONES CERCANAS	1094335	1076576	9,7454	14,2254	10,9604	27,3304	10,159	68,689	60,099	95,289	76,109	39,6304	47,2804	75,0608	534,5782	44,54818333
2003	INTERPOLACIÓN DE ESTACIONES CERCANAS	1094335	1076576	4,0054	8,955	54,825	58,37	16,169	66,585	111,095	50,58	66,03	87,615	75,319	85,09	684,6384	57,0532

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



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

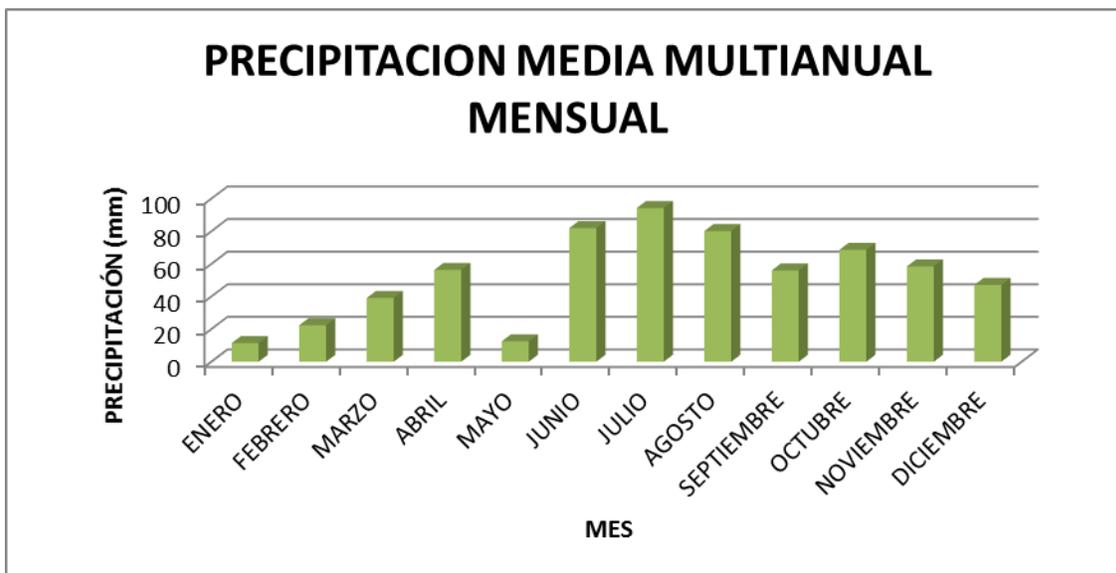


2004	INTERPOLACIÓN DE ESTACIONES CERCANAS	1094335	1076576	5,3004	13,15	16,5	72,2	9,35	103,554	92,854	132,715	49,35	60,7	61,754	80,108	697,5354	58,12795
2005	INTERPOLACIÓN DE ESTACIONES CERCANAS	1096151	1070148	21,205	29,215	32,325	61,494	30,789	86,879	65,444	99,344	87,464	99,949	20,549	13,65	648,307	54,02558333
2006	INTERPOLACIÓN DE ESTACIONES CERCANAS	1096151	1070148	7,67	78,635	81,81	73,24	18,044	96,135	91,884	75,399	81,41	91,985	42,664	37,348	776,224	64,68533333
2007	INTERPOLACIÓN DE ESTACIONES CERCANAS	1096151	1070148	7,025	7,4685	27,9735	59,695	5,105	77,695	73,095	116,11	42,145	83,83	44,18	56,224	600,546	50,0455
2008	INTERPOLACIÓN DE ESTACIONES CERCANAS	1096151	1070148	13,925	6,1905	73,755	49,515	7,6715	92,25	89,275	97,06	40,345	76,18	116,445	74,42	737,032	61,41933333
2009	INTERPOLACIÓN DE ESTACIONES CERCANAS	1096151	1070148	24,255	26,441	54,181	45,5	3,912	52,0985	74,705	78,355	58,455	27,375	8,662	5,934	459,8735	38,32279167
2010	INTERPOLACIÓN DE ESTACIONES CERCANAS	1096151	1070148	2,653	5,2955	29,378	90,718	11,88	67,875	154,19	39,135	28,284	80,64	90,3315	92,513	692,893	57,74108333

**Fuente.** IDEAM

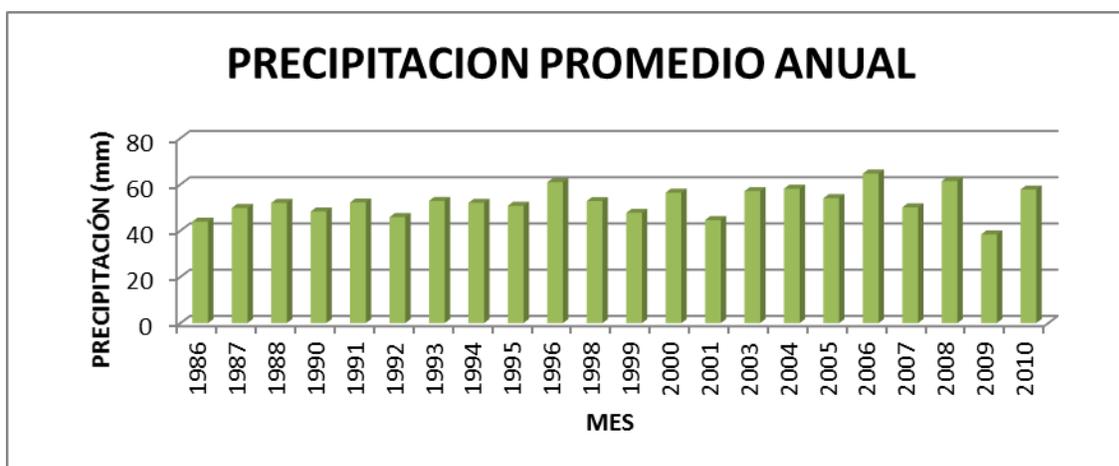
La precipitación media del área de estudio presenta un comportamiento bimodal, que muestra dos periodos de precipitación alta comprendidos en los meses marzo- junio y septiembre-noviembre (Figura 3) y dos periodos de sequía comprendidos en los meses diciembre-febrero y julio-agosto.

Figura 3. Gráfico de precipitación media multianual mensual.



Fuente. IDEAM

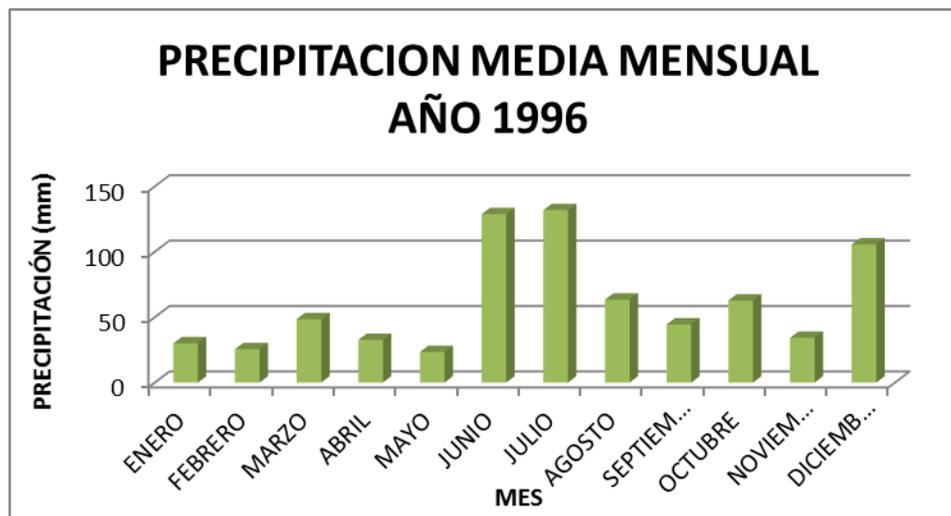
Figura 4. Gráfico de precipitación media multianual.



Fuente. IDEAM

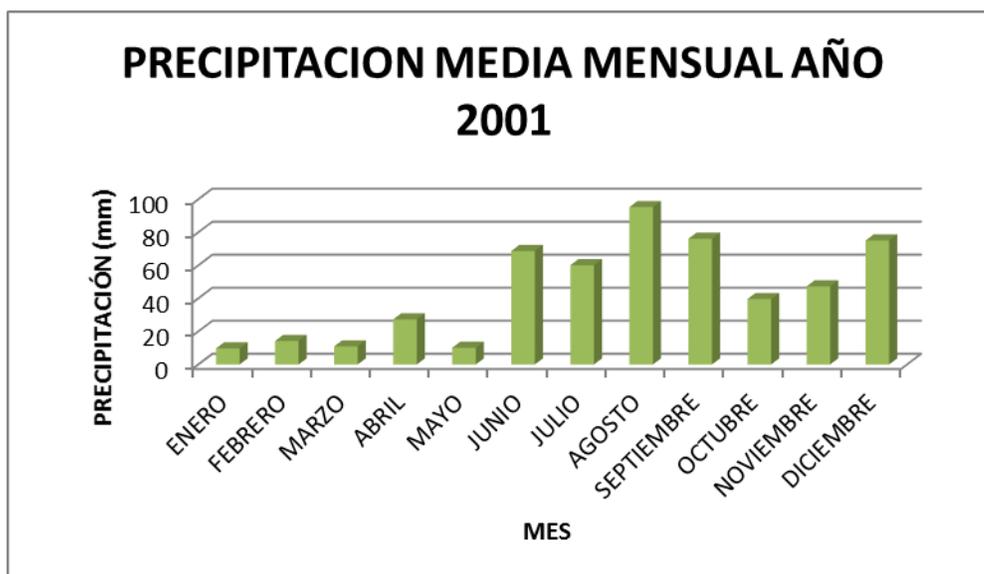
El comportamiento de la precipitación promedio anual, para los años 1996, 2006 y 2008 (Figura 4) se encuentran valores iguales o superiores a 60 mm, mientras que en los años 2001 y 2009 encontramos los valores más bajos de precipitaciones (menores o iguales a 40 mm).

Figura 5. Precipitación media mensual interpolación estaciones cercanas (1996)



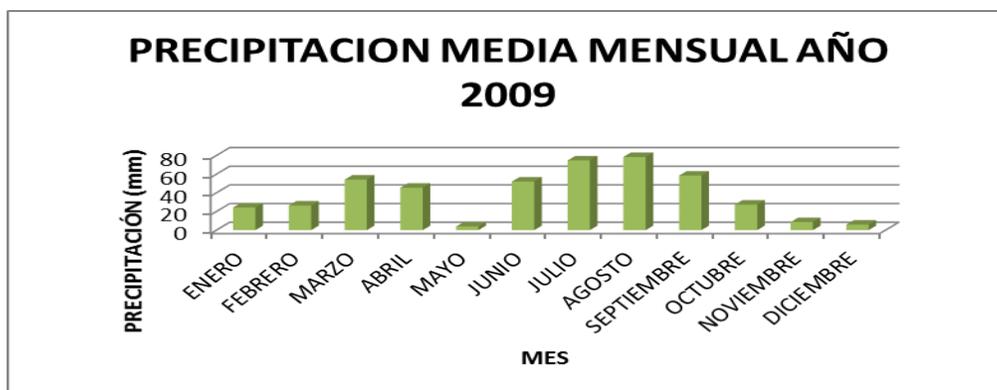
Fuente. IDEAM

Figura 6. Precipitación media mensual interpolación estaciones cercanas (2001)



Fuente. IDEAM

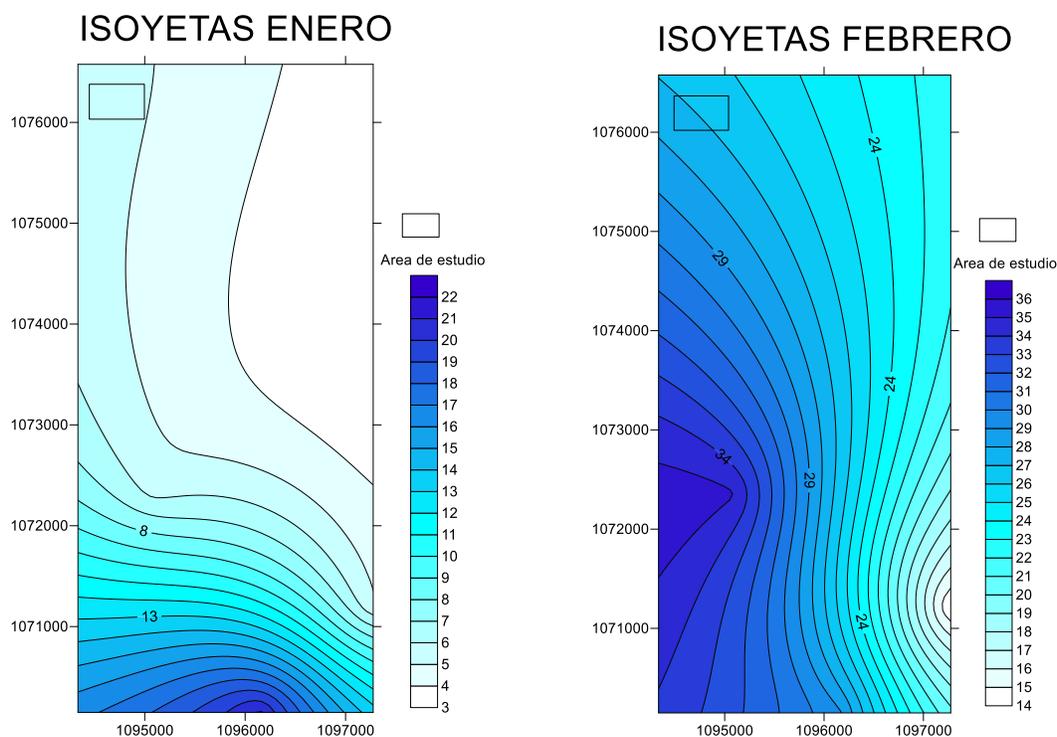
Figura 7. Precipitación media mensual interpolación estaciones cercanas (2009)



Fuente. IDEAM

Para la realización de los mapas de Isoyetas se tuvieron en cuenta datos correspondientes a las Estaciones de Ramiriqui y Puente Adriana.

Figura 8. Isoyetas mes de enero y febrero

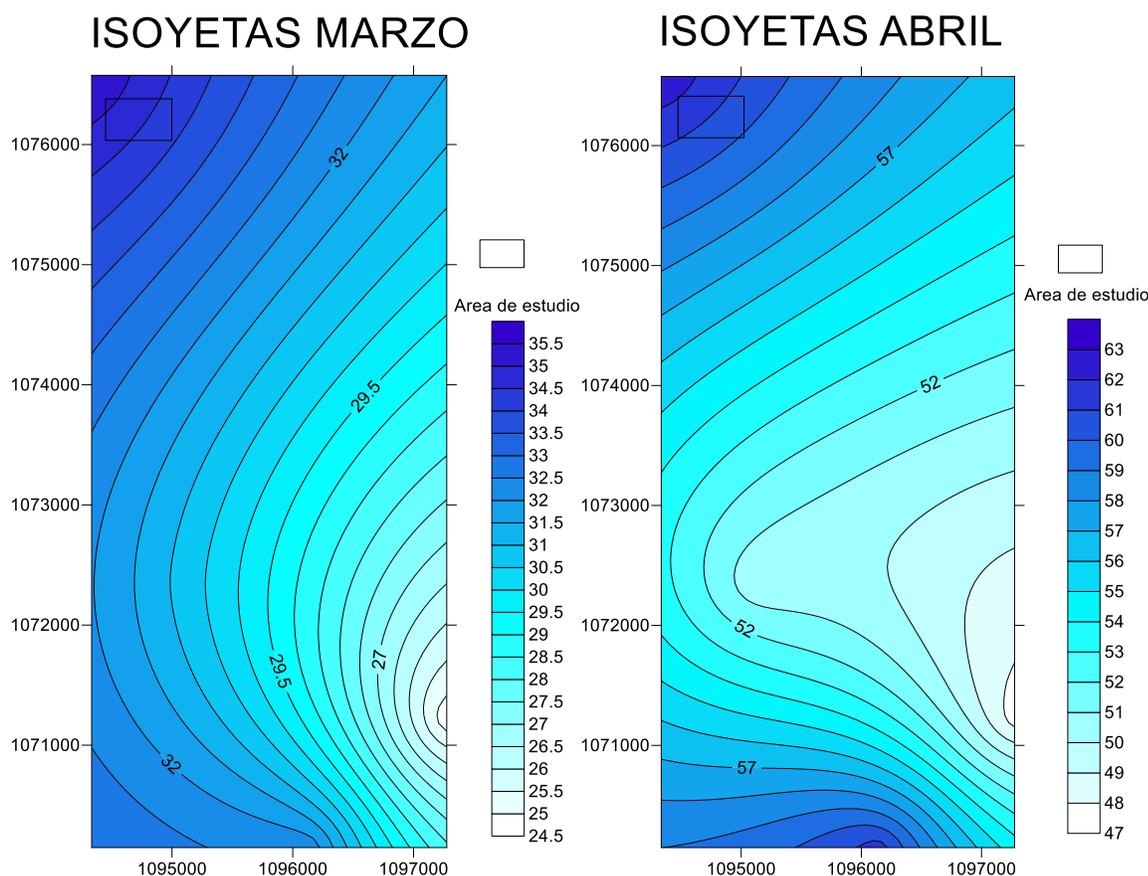


Fuente. Resultados del estudio

El comportamiento de la precipitación para el mes de Enero (Figura 8) hacia la parte suroeste se encuentran valores de precipitación de 8- 10 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Febrero (Figura 8) aumenta de este a oeste con valores de 14-35 mm.

Figura 9. Isoyetas mes de marzo y abril

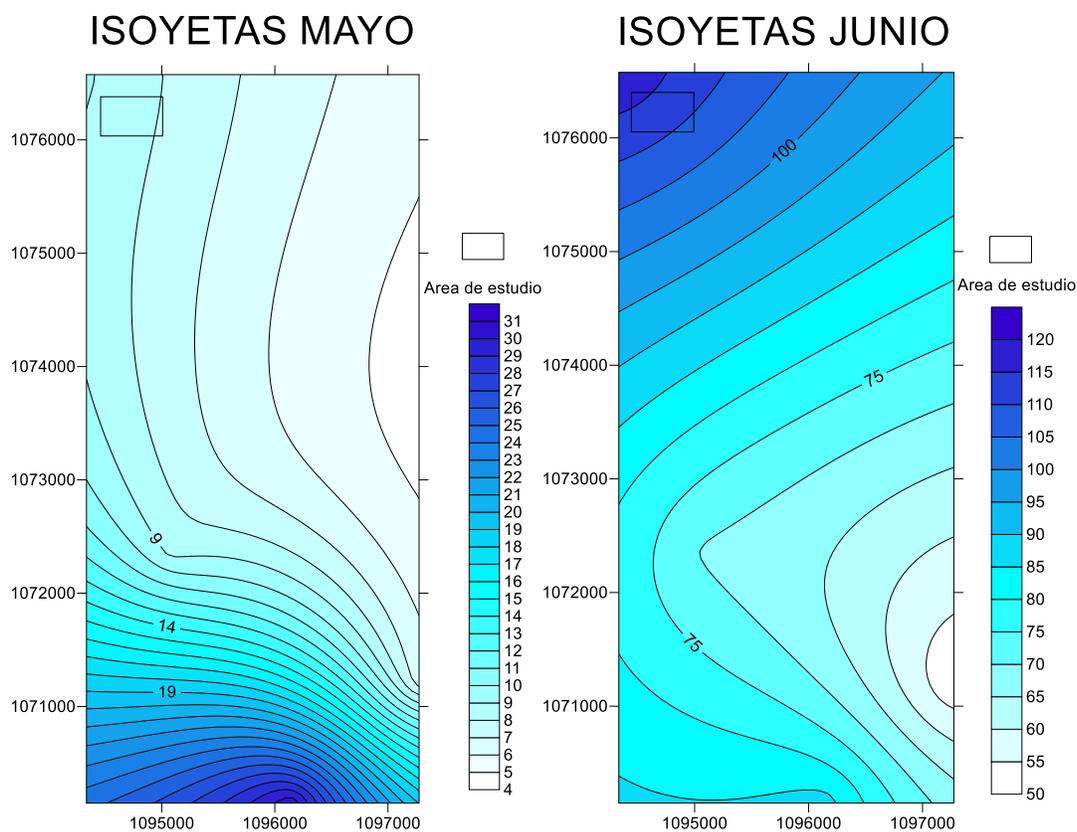


Fuente. Resultados del estudio

El comportamiento de la precipitación para el mes de Marzo (Figura 9). Aumenta de sureste hacia noroeste con valores de precipitación que van desde 24.5 hasta 35 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Abril (Figura 9) hacia la parte sureste que van desde 47- 52 mm, aumentando los valore e precipitación hacia la parte noroeste con valores de 57- 62 mm.

Figura 10. Isoyetas mes de mayo y junio

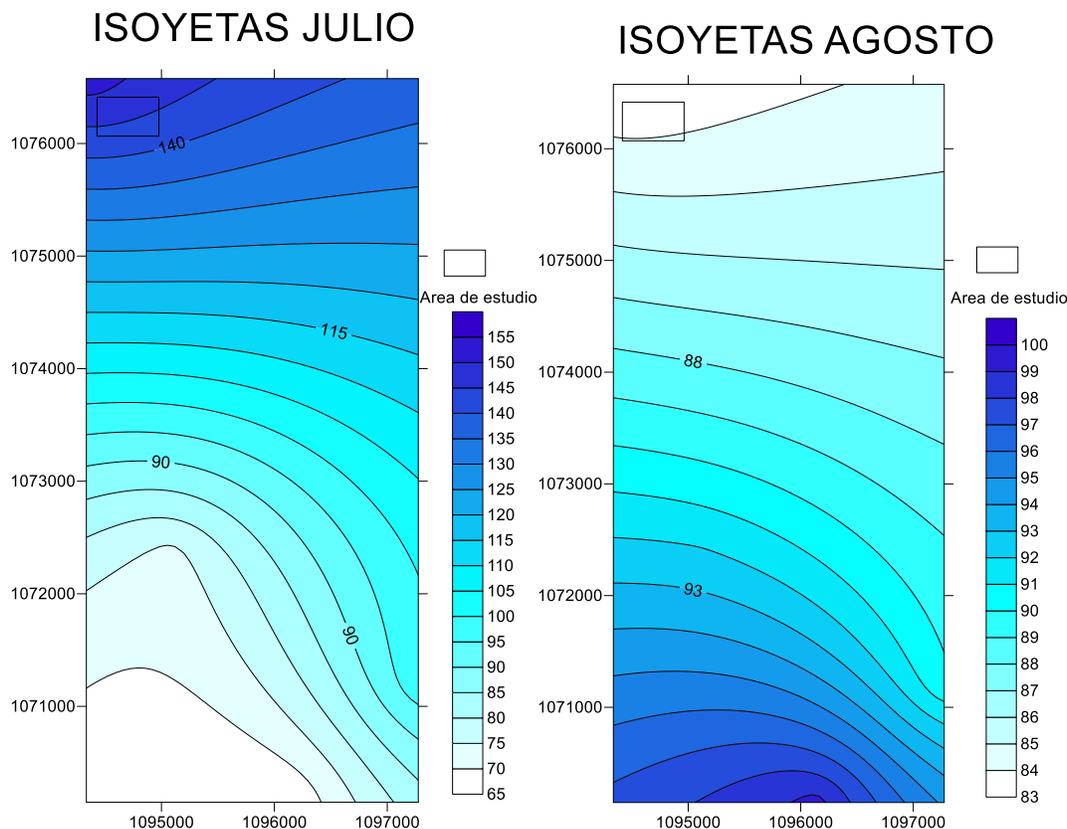


Fuente. Resultados del estudio

El comportamiento de la precipitación para el mes de Mayo (Figura 10) hacia la parte sur se encuentran los valores de precipitación mayores que van desde 19- 31mm, disminuyendo hacia la parte noreste con valores de 8-4 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Junio (Figura 10). Aumentan hacia la parte noreste con valores máximo de 120 mm y mínimo de 50mm.

Figura 11. Isoyetas Julio Agosto

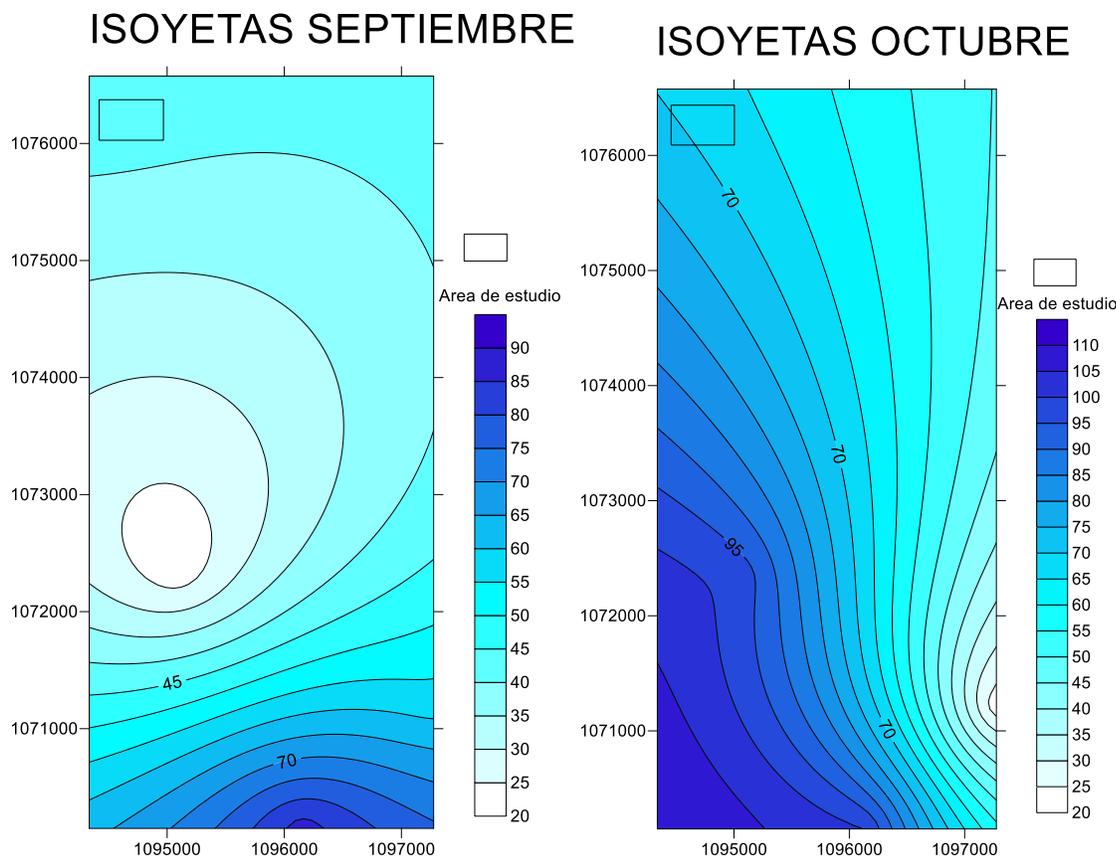


Fuente. Resultados del estudio

El comportamiento de la precipitación para el mes de Julio (Figura 11) hacia la parte noroeste se encuentran valores que varían entre los 115 – 140 mm. Hacia la parte suroeste se presentan valores que disminuyen desde los 90-65 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Agosto (Figura 11) hacia la parte noroeste se encuentran valores que varían entre los 88 – 83 mm. Hacia la parte suroeste se presentan valores que van desde los 93-100 mm. Hacia el sector noreste se presentan valores inferiores a 52 mm.

Figura 12. Isoyetas mes de septiembre octubre

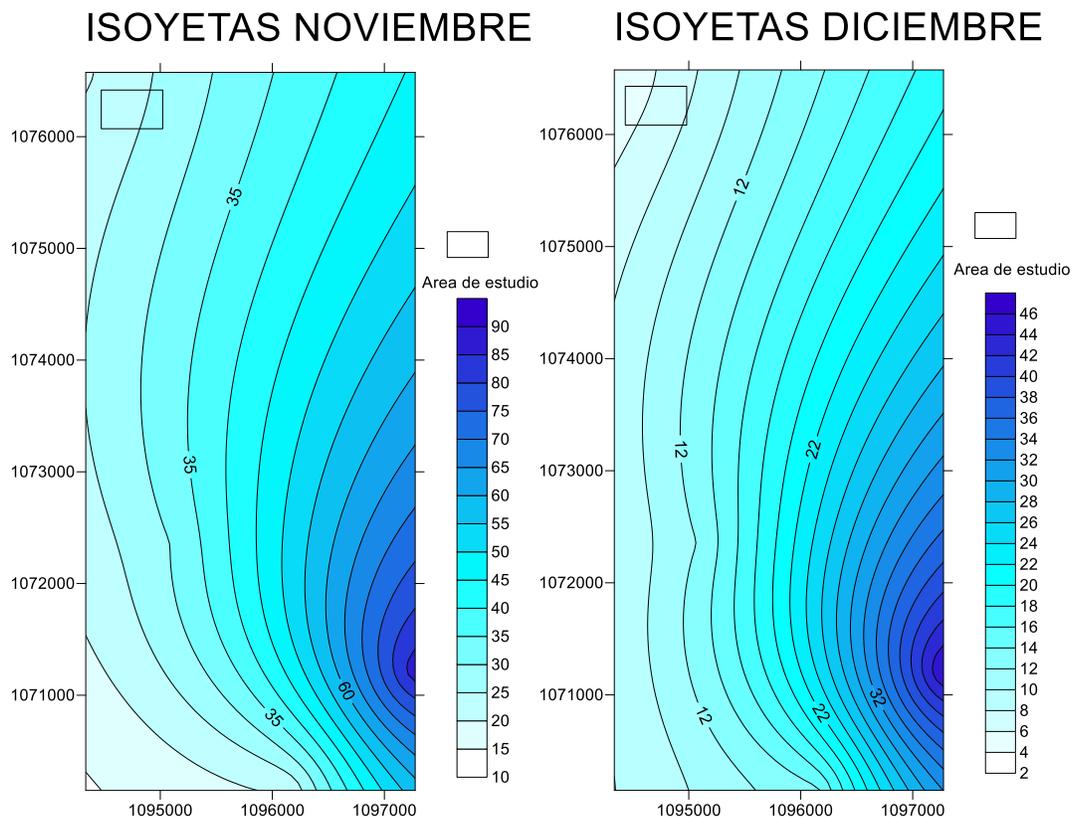


Fuente. Resultado del estudio

El comportamiento de la precipitación para el mes de Septiembre (Figura 12) hacia la parte suroeste se encuentran valores máximos que varían entre los 70– 90 mm. Hacia la parte noreste se presentan valores que disminuyen desde los 50-20 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Octubre (Figura 12) hacia la parte suroeste se encuentran valores que varían entre los 95 –110 mm. Hacia la parte noroeste se presentan valores que disminuyen desde los 70-20 mm.

Figura 13. Isoyetas mes de Noviembre y Diciembre



Fuente. Resultados del estudio

El comportamiento de la precipitación para el mes de Noviembre (Figura 13) hacia la parte suroeste se encuentran valores que disminuyen desde los 35 – 10 mm, hacia la parte sureste se encuentran valores que aumentan de 60-92 mm.

El comportamiento de la precipitación para el mes de Diciembre (Figura 13) hacia la parte suroeste se encuentran valores que disminuyen entre los 10–22 mm. Hacia la parte noroeste se presentan valores que aumentan desde los 32-46 mm.

## 2.5 ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP)

### 2.5.1 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 5. Rangos de temperatura municipio de Boyacá

	TEMPERATURA (°C)
PERIODO 1	13
PERIODO 2	14
PERIODO 3	16

**Fuente.** Resultados del estudio

El valor de la humedad relativa (HR) se toma del POT del municipio de Boyacá que corresponde al valor del 84%. De donde obtenemos:

Tabla 6. Valores de Evapotranspiración

ETP1	ETP2	ETP3
3,38201842	3,79139374	4,64583726

**Fuente.** Plan de ordenamiento territorial del municipio de Boyacá

## 2.6 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 cuenca del río 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.

### 2.6.1 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 fórmula:

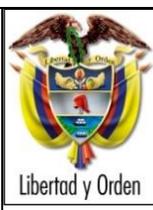
$$I = P - ETR - R$$

Dónde:

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

**ETR** = evapotranspiración real.

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



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



Tabla 7. Calculo de Infiltración, basado en los valores de escorrentía (R) y precipitación (P).  
Interpolación de estaciones cercanas al área de estudio.

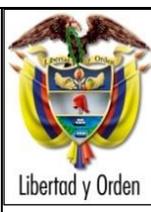
<b>RESULTADOS INTERPOLACIÓN DE ESTACIONES CERCANAS</b>			
<b>AÑO</b>	<b>P</b>	<b>R</b>	<b>I</b>
1986	48,3916667	7,092924524	41,29874214
1987	53,93625	9,56931745	40,42718274
1988	53,51875	9,373642767	40,20535742
1990	48,3608333	7,079923511	37,34116001
1991	48,8325	7,279773738	37,61297645
1992	54,058875	9,627061909	40,49206328
1993	57,801675	11,44712949	46,35454551
1994	63,1516667	14,22943685	44,98248001
1995	55,5005542	10,31508526	41,2457191
1996	58,9931667	12,04904788	43,00436898
1997	49,4781667	7,556685389	37,98173147
1998	62,8081667	14,04481434	44,8236025
1999	49,8413833	7,714135005	42,12724833
2000	61,7434	13,47759548	44,32605473
2001	46,98315	6,508205657	36,53519453
2003	59,07445	12,09049201	43,04420818
2004	63,5692833	14,45495493	45,17457859
2005	58,3276667	11,71155262	42,67636423
2006	72,4208334	19,49063326	52,93020009
2007	53,332	9,286583053	40,10566714
2008	65,3685	15,43960985	45,98914035
2009	41,383875	4,380696298	33,06342889
2010	63,123875	14,21447019	44,96965501

**Fuente.** Resultados del estudio



## 2.7 RESULTADOS OBTENIDOS

Los valores obtenidos dentro del balance hídrico se encuentran resumidos en la Figura 14 y expresados esquemáticamente en la Tabla 8



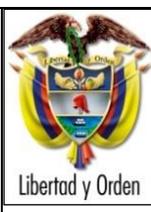
**MINISTERIO DE AMBIENTE Y  
DESARROLLO SOSTENIBLE**  
FONDO DE COMPENSACIÓN  
AMBIENTAL FCA  
CORPORACIÓN AUTÓNOMA  
REGIONAL DE CHIVOR –  
**CORPOCHIVOR**



Tabla 8. Estimación del Balance Hídrico

AÑO	1986	1987	1988	1990	1991	1992	1993	1994
PRECIPITACIÓN PROMEDIO	48,3916667	53,93625	53,51875	48,3608333	48,8325	54,058875	57,801675	63,1516667
ESCORRENTÍA	7,09292452	9,56931745	9,37364277	7,07992351	7,27977374	9,62706191	11,4471295	14,2294368
EVAPOTRANSPIRACIÓN	3,38201842	3,38201842	3,38201842	3,38201842	3,38201842	3,38201842	3,38201842	3,79139374
DELTA	37,9167237	40,9849141	40,7630888	37,8988914	38,1707078	41,0497947	42,9725271	45,1308361
ALMACENAMIENTO	37,9167237	40,9849141	40,7630888	37,8988914	38,1707078	41,0497947	42,9725271	45,1308361
DÉFICIT	0	0	0	0	0	0	0	0
RECARGA	37,9167237	40,9849141	40,7630888	37,8988914	38,1707078	41,0497947	42,9725271	45,1308361

AÑO	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
PRECIPITACIÓN PROMEDIO	55,5005542	58,9931667	49,4781667	62,8081667	49,8413833	61,7434	46,98315
ESCORRENTÍA	10,3150853	12,0490479	7,55668539	14,0448143	7,71413501	13,4775955	6,50820566
EVAPOTRANSPIRACIÓN	3,79139374	3,79139374	3,79139374	3,79139374	3,79139374	3,79139374	4,64583726
DELTA	41,3940751	43,152725	38,1300875	44,9719586	38,3358546	44,4744108	35,8291071
ALMACENAMIENTO	41,3940751	43,152725	38,1300875	44,9719586	38,3358546	44,4744108	35,8291071
DÉFICIT	0	0	0	0	0	0	0
RECARGA	41,3940751	43,152725	38,1300875	44,9719586	38,3358546	44,4744108	35,8291071



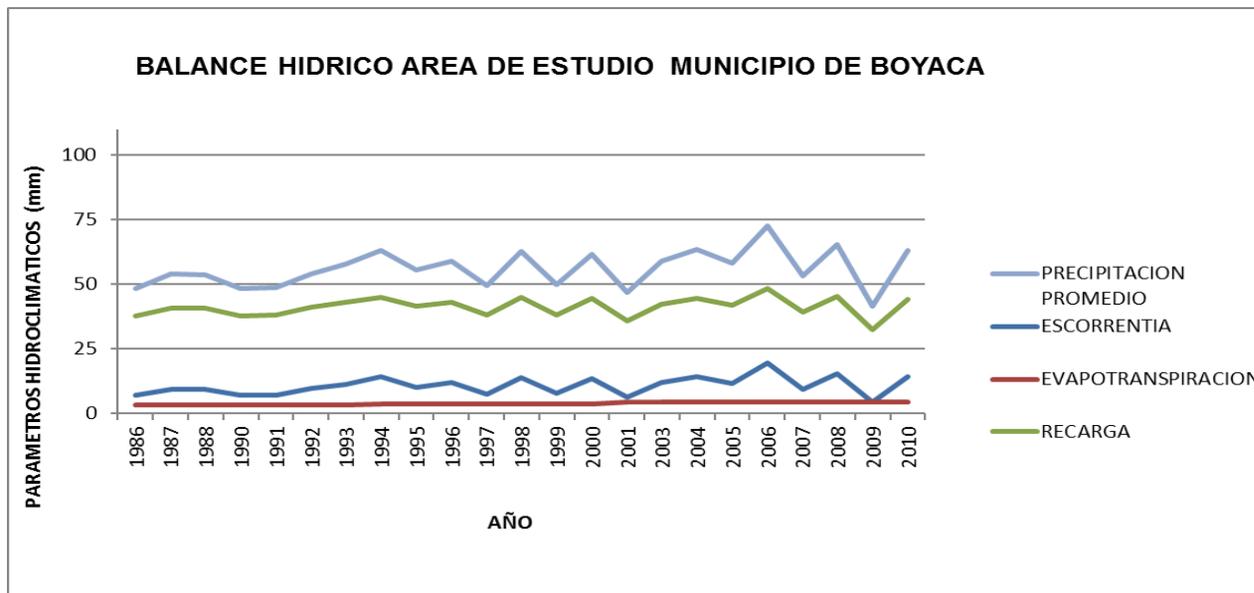
MINISTERIO DE AMBIENTE Y  
DESARROLLO SOSTENIBLE  
FONDO DE COMPENSACIÓN  
AMBIENTAL FCA  
CORPORACIÓN AUTÓNOMA  
REGIONAL DE CHIVOR –  
CORPOCHIVOR

Uptc  
Universidad Pedagógica y  
Tecnológica de Colombia  
EJECUTOR  
CONVENIO No.  
038/2012.

AÑO	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
PRECIPITACIÓN PROMEDIO	59,07445	63,5692833	58,3276667	72,4208334	53,332	65,3685	41,383875	63,123875
ESCORRENTÍA	12,090492	14,4549549	11,7115526	19,4906333	9,28658305	15,4396098	4,3806963	14,2144702
EVAPOTRANSPIRACIÓN	4,64583726	4,64583726	4,64583726	4,64583726	4,64583726	4,64583726	4,64583726	4,64583726
DELTA	42,3381207	44,4684912	41,9702768	48,2843628	39,3995797	45,2830529	32,3573414	44,2635675
ALMACENAMIENTO	42,3381207	44,4684912	41,9702768	48,2843628	39,3995797	45,2830529	32,3573414	44,2635675
DÉFICIT	0	0	0	0	0	0	0	0
RECARGA	42,3381207	44,4684912	41,9702768	48,2843628	39,3995797	45,2830529	32,3573414	44,2635675

Fuente. Resultados del estudio.

Figura 14. Comportamiento de las Curvas del Balance Hídrico



Fuente. Resultados del estudio

## 2.8 CALCULO DE CAUDAL DE DISEÑO A PARTIR DE LAS CURVAS IDF

### 2.8.1 Resultados

Ajuste de una serie de datos a la distribución normal

Serie de datos X:

Nº	X
1	95,0
2	0,0
3	111,0
4	132,0
5	99,0
6	96,0
7	116,0
8	116,0
9	78,0
10	154,0
11	0,0
12	154,0

Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov:

-----  
----

M	X	P(X)	F (Z) Ordinario	F(Z) Mom Lineal	Delta
1	0,0	0,0769	0,0282	0,0247	0,0487
2	0,0	0,1538	0,0282	0,0247	0,1256
3	78,0	0,2308	0,3608	0,3568	0,1300
4	95,0	0,3077	0,4927	0,4925	0,1850
5	96,0	0,3846	0,5007	0,5007	0,1160
6	99,0	0,4615	0,5244	0,5252	0,0629
7	111,0	0,5385	0,6179	0,6213	0,0794
8	116,0	0,6154	0,6552	0,6596	0,0398
9	116,0	0,6923	0,6552	0,6596	0,0371
10	132,0	0,7692	0,7635	0,7701	0,0057
11	154,0	0,8462	0,8760	0,8830	0,0298
12	154,0	0,9231	0,8760	0,8830	0,0471

Ajuste con momentos ordinarios:

Como el delta teórico 0,1850, es menor que el delta tabular 0,3926. Los datos se ajustan a la distribución Normal, con un nivel de significación del 5%

Parámetros de la distribución normal:

Con momentos ordinarios:

Parámetro de localización ( $X_m$ )= 95,9167

Parámetro de escala (S)= 50,2855

Con momentos lineales:



Media lineal (XI)= 95,9167

Desviación estándar lineal (SI)= 48,8096

-----

Caudal de diseño:

-----

- El caudal de diseño para un periodo de retorno de 2 años, es 95,92
- El caudal de diseño para un periodo de retorno de 5 años, es 138,23
- El caudal de diseño para un periodo de retorno de 10 años, es 160,37
- El caudal de diseño para un periodo de retorno de 25 años, es 183,97
- El caudal de diseño para un periodo de retorno de 50 años, es 199,21
- El caudal de diseño para un periodo de retorno de 75 años, es 207,39
- El caudal de diseño para un periodo de retorno de 100 años, es 212,92
- El caudal de diseño para un periodo de retorno de 500 años, es 240,66

## 2.9 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:

---

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



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

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

Perímetro de la cuenca (P)

Longitud medida del contorno de la cuenca, es decir por las divisorias de aguas que la limitan, y está dada en Km.

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

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

C= 1: Cuenca de forma compacta redonda.

C= 1.20: Cuenca semicompacta semiojal redonda

C= 1.50: Cuenca semicompacta oblonga

C >1: Cuenca semicompacta rectángulo – oblonga

---

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



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

### 2.9.1 Densidad de drenaje (Dd)

Es la medición de la longitud acumulada de todas las corrientes (Ld) y el área (A)

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

Dd < 0.5 : Baja

Dd = 0.5 : Media

Dd > 1 : Alta

### 2.9.2 Tiempo de Concentración (TC)

Es el tiempo que gasta una gota de agua en recorrer el sitio más lejano de la cuenca a la desembocadura del cauce principal.

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

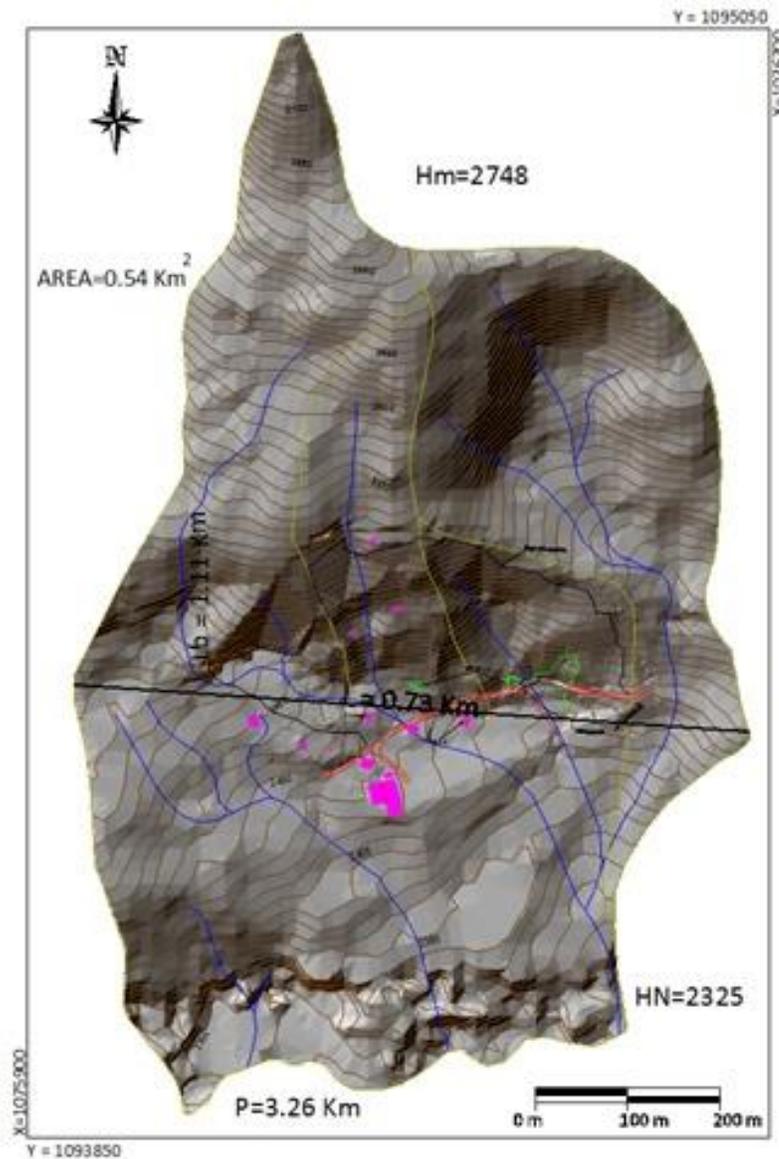
Con base al análisis anterior sus parámetros morfométricos indican las microcuencas analizadas presentan de media a alta susceptibilidad a la torrencialidad, ver tabla de resultados.

---

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

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

Figura 15. Figura ilustrativa de la microcuenca de Boyacá



Fuente resultado de estudio

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

Tabla 9. Valores de parámetros morfométricos para la microcuenca. Fuente resultado del estudio

OMBRE MICROCUENCA	Área de la Cuenca en Km (A)	Perímetro de la cuenca Km (P)	longitud de la cuenca Km (Lb)	el ancho mayor Km (I)	longitud acumulada de todas las corrientes Km (Ld)	longitud acumulada de todas las corrientes Km (Ld)
Garagoa	0,54	3,26	1,11	0,73	4,21	2748
Cota Mínima de la Cuenca(Hn)	Diferencia de Altura Km (Hc)	Razón de Relieve (Rr)	Número de Corrientes(Nc)	Frecuencia de Corrientes (Cauces/Km2)	Pendiente media de Corriente Ic % (Ic)	Índice de Alargamiento (Ia)
2325	0,42	0,38	3	5,53	38,2	1,52
COEFICIENTE DE COMPACIDAD (C). FORMA Y SUSCEPTIBILIDAD		COEFICIENTE DE REDONDEZ (K). FORMA Y SUSCEPTIBILIDAD		DENSIDAD DE DRENAJE (Dd)		TIEMPO DE CONCENTRACIÓN en horas (TC)
0,56	REDONDA	0,56	Irregular	7,76	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
0,49	crítico	0,75	SEMIREDONDA	0,67	Irregular	4

Fuente. Resultados del estudio

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



### 3 GEOLOGÍA

En el municipio de Boyacá se encuentran formaciones con una secuencia de rocas duras y blandas que en algunos sectores se encuentran bien definidas e identificadas, al igual que los depósitos recientes que generalmente se originan en zonas de muy baja pendiente

#### 3.1 GEOLOGÍA HISTÓRICA

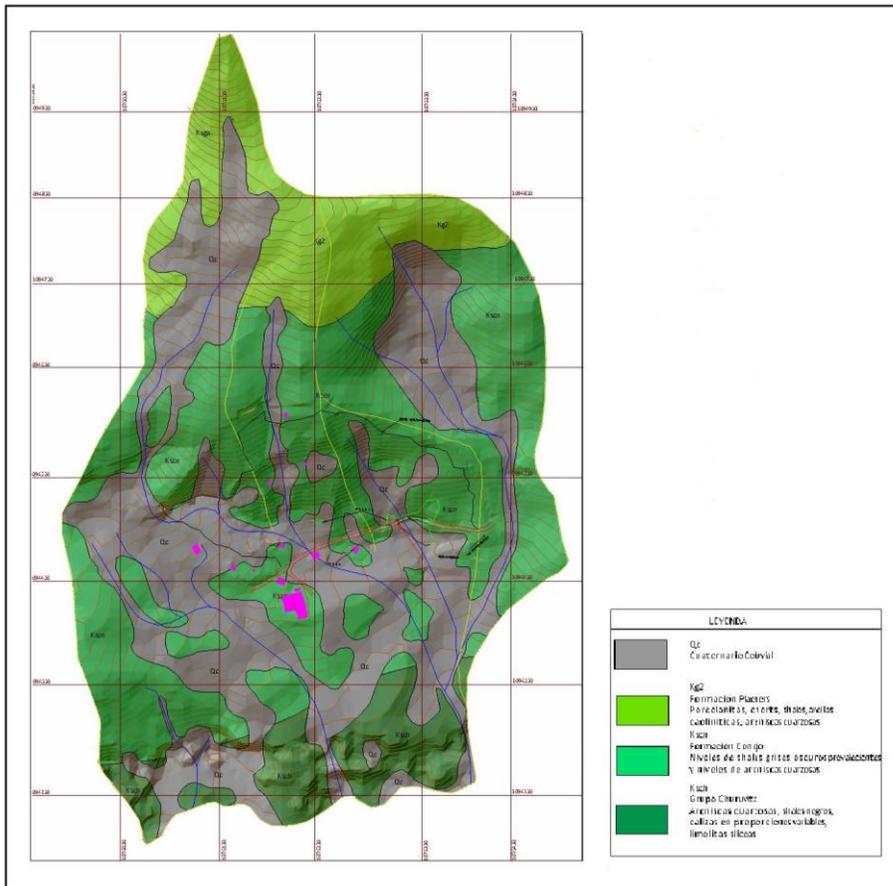
La cordillera oriental a la cual pertenece la zona estudiada a través de su historia geológica ha sido sometida a grandes movimientos tectónicos como los ocurridos en la mitad del periodo Terciario entre el oligoceno y el mioceno en donde se produjeron levantamientos y hundimientos. Estos movimientos 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.

Mesozoico

### 3.2 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

En el municipio de Boyacá afloran rocas sedimentarias del cretácico y terciario y depósitos recientes d tipo aluvial y coluvial.

Figura 16. Imagen mapa geológico del área de estudio.



Fuente. Resultados del estudio.



### 3.3 ESTRATIGRAFÍA

Se presenta la siguiente secuencia estratigráfica de base a techo.

#### 3.3.1 Formación Churuvita (Ksch)

Etayo (1964)<sup>1</sup> denominó Formación Churuvita a una sección localizada entre Sáchica –Tunja, la cual está constituida por una arenisca basal de 105 m, con alternancia en la parte media de arcillolitas, areniscas y calizas con exóginas, y una sección superior de arenisca y caliza de 225 m, denominó Formación San Rafael a la secuencia que la subrayase, constituida por 60mde shales grises en la parte inferior y por 15 m de capas limolítico-silíceas en la parte superior.

La edad de la Formación Churuvita se infiere como Cenomaniano-Turoniano, la parte media de la Formación Churuvita, aflora en diferentes sectores del área estudiada, tales como el sector de la planta eléctrica y sobre la vía Ramiriquí - Boyacá. En el primer sector se observa una secuencia de 5 m de arcillolitas grises algo meteorizadas y en el segundo sector se observa un afloramiento de 8 m constituidos por paquetes de arcillolitas alternadas con capas de 10 cm de espesor de areniscas amarillas de grano medio con presencia de óxidos. El espesor aproximado de esta formación es de 150 m.

#### 3.3.2 Formación Conejo (Kscn)

Renzoni G. (1981)<sup>2</sup> denominó Formación Conejo a una secuencia que aflora en el carretable Oicatá – Chivata en la vereda de San Rafael. Dicha secuencia está constituida por una sucesión de areniscas cuarzosas de grano fino a medio en

<sup>1</sup> Boletín Geológico. Vol. 29. N-2. Servicio Geológico Colombiano. 1964

<sup>2</sup> Boletín Geológico. Vol. 24. N-2. Instituto Agustín Codazzi



paquetes que alcanzan los 20 m de espesor y shales de color gris oscuro a negro de considerable espesor y esporádicos estratos de caliza en la parte superior.

### 3.3.3 Formación Plaeners (Kg2)

Se presenta en las veredas de Rupagatá y Pachaquirá, en límites con los municipios de Jenesano y Ramiriquí, también en las veredas Vanega, Rique y Huertachica.

Se caracteriza por presentar la composición litológica más uniforme y por su topografía de escarpes Fuertes, además de la omnipresencia de capas silíceas, representada por liditas varicoloreadas, las cuales se fracturan en planos paralelos; arcillolitas silíceas pardas y café muy semejantes a las liditas, limolitas silíceas y esporádicamente areniscas ligeramente fosfáticas, en su parte basal abundancia de arcillolitas silíceas bastante compactas y areniscas en su sección intermedia.

Mientras que en la parte superior se presenta arcillosa, menos dura que en las anteriores con intercalaciones arcillolíticas y limolíticas; es frecuente la laminación paralela en los estratos silíceos y el poco espesor de ellos, además es común el replegamiento y fracturamiento menor en toda la secuencia, con la presencia de foraminíferos, pellets y nódulos calcáreos.

### 3.3.4 Depósitos Cuaternarios.

Comprende depósitos recientes caracterizados por no estar estratificados, su composición es heterogénea y ofrecen condiciones desfavorables de estabilidad.



### 3.3.4.1 Cuaternario coluvial (Qc)

Este tipo de depósitos se encuentra en las márgenes de los ríos y quebradas, son generados por la acumulación de materiales transportados por corrientes fluviales.

Los materiales depositados se caracterizan por ser angulosos de tamaño variado desde 20 cm hasta 50 cm, se trata generalmente de bloques de arenisca aislados y depositados en amplios sectores.

Muchos de estos materiales reposan sobre formaciones menos resistentes en pendientes como la Formación Conejo y Guaduas.

Todos los materiales de depósito coluvial se han desprendido de la Formación Plaeners la cual por efecto tectónico y de meteorización ha permitido que estos materiales se desprendan y depositen posteriormente, en el pie del talud.

## 3.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

### 3.4.1 Tectónica.

El área de estudio fue sometido a esfuerzos compresionales y de distensión generados durante la orogenia andina. Estos esfuerzos dieron como resultado una tectónica compleja, que en el area se manifiesta con una dirección preferencial NE-SW en las estructuras. Esta orientación corresponde a la directriz tectónica de la cordillera oriental.

En algunos sectores las fallas cortan perpendicularmente estructuras como la falla de Rique ubicada al SW de la población.



### 3.4.1.1 FALLAS

La Principal falla presente en el área de estudio es:

#### 3.4.1.1.1 FALLA DE RIQUE.

Posee una dirección E-W y pone en contacto la formación Churuvita con rocas de las formaciones Conejo, Plaeners, Labor y Tierna y trunca la parte norte del Sinclinal la Rosa. La inclinación de la Falla es de 50° al Se aproximadamente. Esa casi toda cubierta por un depósito de Cuaternario Aluvial

### 3.4.1.2 PLIEGUES

Estas estructuras son originadas por esfuerzos de tensión y/o compresión

#### 3.4.1.2.1 Sinclinales.

Están formados por materiales competentes, dentro de los cuales se encuentran los siguientes:

##### 3.4.1.2.1.1 Sinclinal de la Rosa.

Su eje tiene una dirección NE-SW el cal se prolonga por seis kilómetros a lo largo del área de estudio. En sus flancos afloran rocas de las formaciones Labor y Tierna y Plaeners. Estas estructuras simétricas se truncan al norte por la falla de Rique que la corta perpendicularmente.



## 4 GEOMORFOLOGÍA

El municipio presenta una geomorfología bastante heterogénea ya que por su litología se han generado irregularidades estructurales que reflejadas en superficies conforman las diversas unidades geomorfológicas como: unidades de laderas con control estructural y unidades de depósito.

### 4.1 GEOMORFOLOGIA LOCAL

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

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

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

### 4.2 ANÁLISIS FOTOGEOLÓGICO

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

---

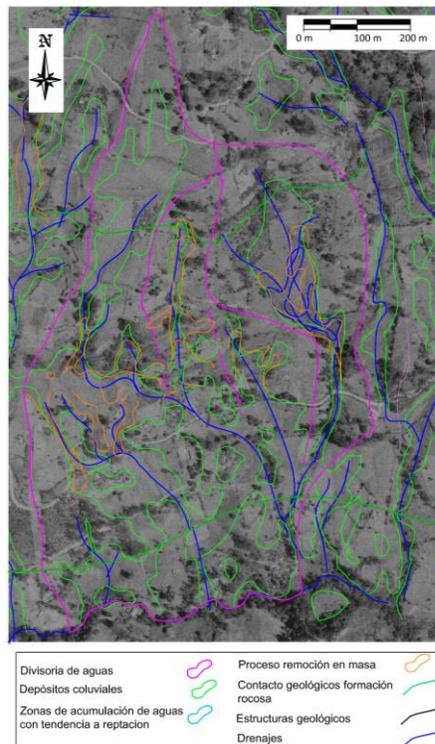
ELABORACIÓN DE ESTUDIO DE RIESGO (AMENAZA Y VULNERABILIDAD) Y DISEÑO DE OBRAS DE ESTABILIZACIÓN EN LA VEREDA RIQUE MUNICIPIO DE BOYACÁ, JURISDICCIÓN DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR (CORPOCHIVOR).



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

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

Figura 17. Fotografías pertenecientes al vuelo 2803-252, 253 tomadas por el IGAC, durante los años 90.



**Fuente: Resultado del estudio.**

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



### 4.3 PROCESOS MORFODINÁMICOS

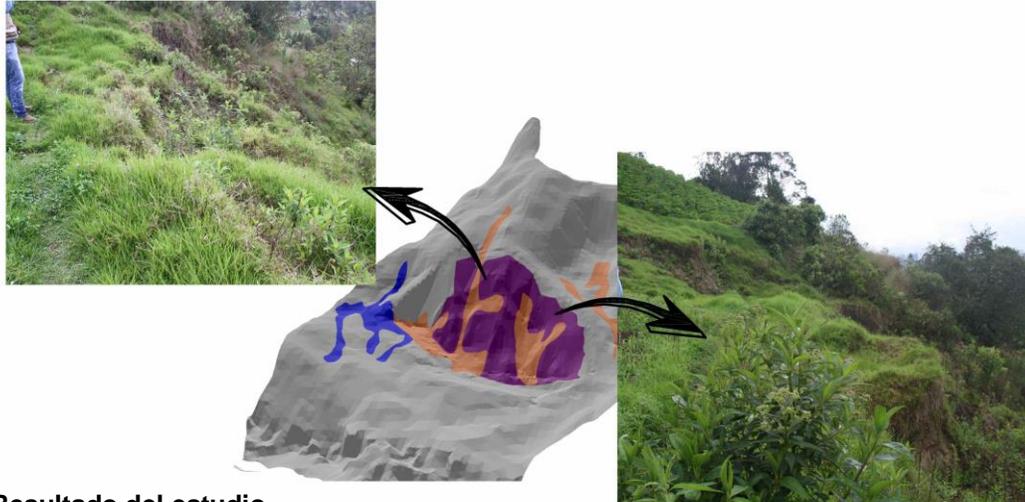
En el Plano de Geomorfología se localizaron los diferentes procesos morfodinámicos observados en la zona. A continuación, se describe en forma general las características de estos de acuerdo a la clasificación de Varnes. Las Fichas de Inventario de procesos se presentan en el anexo de estas.

#### 4.3.1 Los deslizamientos compuestos

##### 4.3.1.1 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 35268,7 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 entre la Formación Conejo (Kscn) y el Deposito Coluvial (Qc) (Ver 0).

Figura 18. Esquema del movimiento compuesto.



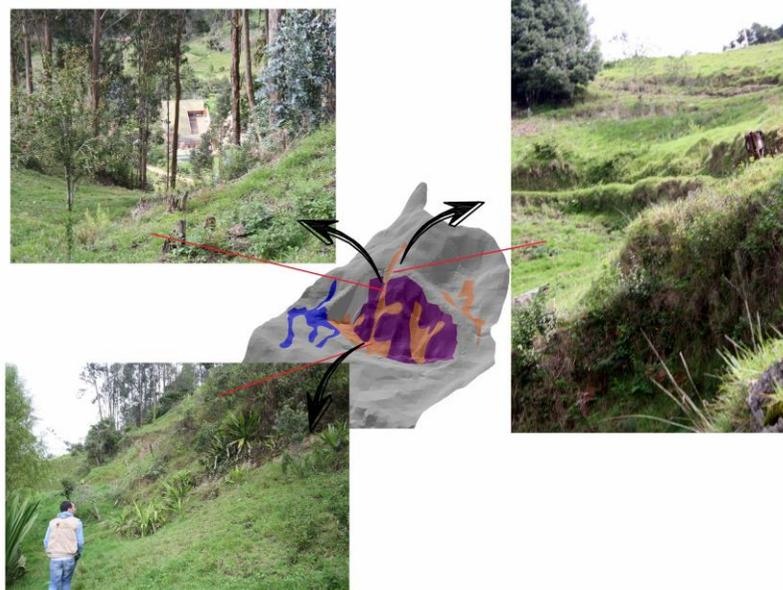
Fuente: Resultado del estudio.

## 4.3.2 Reptaciones

### 4.3.2.1 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 27463,5 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 19. Esquema del movimiento, reptación 1



Fuente: Resultado del estudio.

#### 4.3.2.2 Reptación 2

Movimientos lentos del terreno en donde no se distingue una superficie de falla. La reptación es de tipo estacional, se asocia a cambios climáticos o de humedad del terreno originadas en delgadas capas de suelo coluvial a lo largo de laderas de moderada pendiente. Causado por el mal manejo del suelo, detonado en épocas de lluvias, tiene 16540,43 m<sup>2</sup> con distribución creciente.



Figura 20. Esquema del movimiento, reptación 2



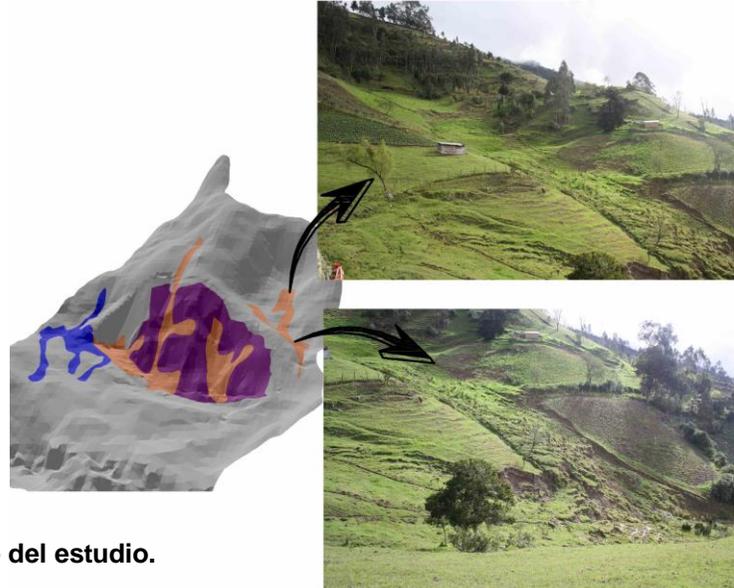
Fuente: Resultado del estudio.

#### 4.3.2.3 Reptación 3

Presentan las mismas características del anterior, movimientos lentos del terreno en donde no se distingue una superficie de falla. La reptación es de tipo estacional, se asocia a cambios climáticos o de humedad del terreno originadas en delgadas capas de suelo coluvial a lo largo de laderas de moderada pendiente. Causado por el mal manejo del suelo, detonado en épocas de lluvias, tiene 12164,9 m<sup>2</sup> con distribución creciente.



Figura 21. Esquema del movimiento, reptación 3

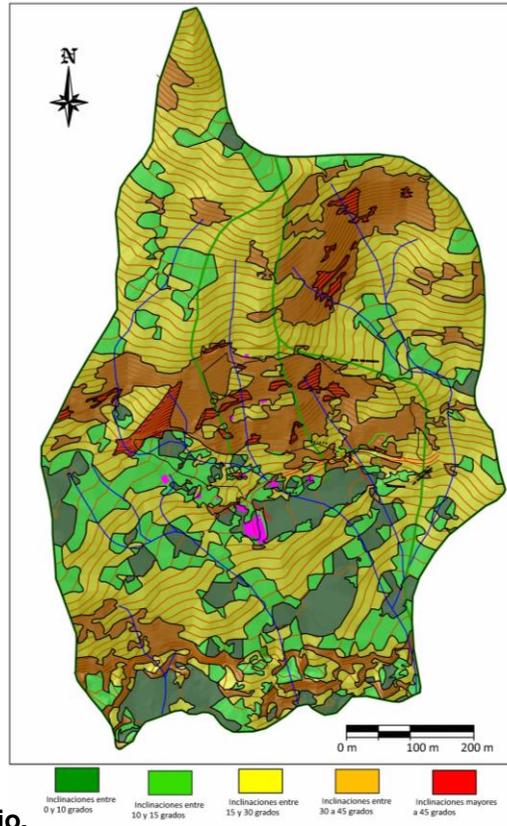


Fuente: Resultado del estudio.

#### 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 seis clases para el área de estudio. Los valores de susceptibilidad de este parámetro o variable son presentados en la **Figura 22**.

Figura 22. Imagen del Mapa de inclinación de las pendientes.



Fuente: Resultado del estudio.

Tabla 10. Clasificación de las pendientes.

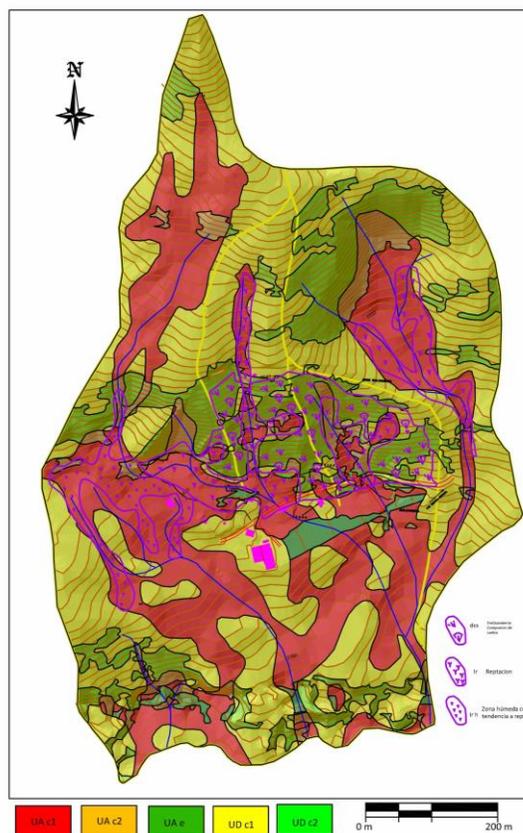
<b>CLASIFICACIÓN DE LAS PENDIENTES</b>	
<b>UNIDAD CARTOGRÁFICA</b>	<b>GRADOS</b>
Suavemente inclinada	0-10
Inclinada	10 15
Abrupta	15-30
Escarpada	30 - 45
Muy Escarpada	> 45

Fuente: Resultado del estudio.

## 4.5 UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

Teniendo en cuenta, las necesidades de los análisis de estabilidad y amenaza por [inestabilidad, se delimitaron cinco (5) unidades geomorfológicas de carácter local denominadas como:

Figura 23. Imagen del Mapa geomorfológico.



Fuente: Resultado del estudio.

### 4.5.1 Geformas de Origen Denudacional.

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



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

Dicha unidad está compuesta por depósitos coluviales, los cuales yacen sobre estratificaciones en contra a la dirección de las pendientes presenta un área de 2.82 ha, de las cuales el 5.10 % presenta inestabilidad. Siendo su susceptibilidad a movimientos en masa alta.

#### **4.5.1.2 Unidad Agradacional con inclinaciones mayores a 30 grados en ladera en contra pendiente (UA c2)**

Dicha unidad está compuesta por formaciones rocosas, los cuales yacen sobre estratificaciones en contra a la dirección de las pendientes presenta un área de 1.78 ha, de las cuales el 5.16 % presenta inestabilidad. Siendo su susceptibilidad a movimientos en masa alta.

#### **4.5.1.3 Unidad Agradacional con inclinaciones entre 0 y 30 grados en ladera estructural (UA e)**

Dicha unidad está compuesta por formaciones rocosas, 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 movimientos en masa.

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

Dicha unidad está compuesta por formaciones rocosas, cuyas estratificaciones se encuentran en contra a la dirección de las pendientes, presenta un área de 3.78 ha, de las cuales el 0.2 % presenta inestabilidad. Siendo de las más estables a movimientos en masa.

#### 4.5.1.5 Unidad Degradacional con inclinaciones mayores a 30 grados en ladera en contra pendiente (UD c2)

Dicha unidad está compuesta por formaciones rocosas, cuyas estratificaciones se encuentran en contra a la dirección de las pendientes, presenta un área de 3.22 ha, de las cuales el 0.4 % presenta inestabilidad. Presenta estabilidad a movimientos en masa.

A continuación describimos en la **Tabla 11**, la descripción y análisis de las unidades geomorfológicas.

Tabla 11. Descripción geomorfológica.

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

Fuente: Ambientes geomorfológicos, geológicos. C Bartolini, B Palla, E Pranzini



#### 4.6 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 24**).

Figura 24. Imagen del Mapa erosión.



Fuente: Resultado del estudio.

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



#### 4.7 USO ACTUAL Y COBERTURA DEL SUELO

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

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

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

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



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

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

#### **4.7.1 Metodología**

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 se hizo con el propósito de realizar un 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.

---

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



- 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.

#### **4.7.2 Estudio de la flora**

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

- ❖ Identificar, sectorizar y describir las zonas de vida o formaciones vegetales.
- ❖ Identificación, sectorización y descripción de los diferentes tipos de cobertura vegetal existente.
- ❖ Identificación de especies endémicas, amenazadas o en peligro de extinción.
- ❖ Presentar un plano de cobertura vegetal y uso del suelo a partir de sensores remotos y control de campo, en caso de requerirse. Las unidades cartografiadas se deben describir, teniendo en cuenta su localización, distribución e importancia ecológica y social. El análisis para el área de estudio directo (AED) se estudiara entre otras las siguientes variables:

---

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



- 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.



### 4.7.3 Cobertura y uso de suelo para el área de 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.

#### **4.7.3.1 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 a de cambia del usa del suela hacia fines comerciales, industriales, de servicias y recreativas.

##### **4.7.3.1.1 Zonas Urbanas.**

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. El municipio de Boyacá presenta las siguientes unidades:

#### 4.7.3.1.1 Tejido urbano discontinuo:

En el municipio de Boyacá 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.**

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



**Fuente.** Registro fotográfico



#### 4.7.3.2 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.

##### 4.7.3.2.1 Red Ferroviaria y terrenos asociadas:

Es un espacio artificializado con infraestructuras de comunicaciones como carreteras que comunica el municipio de Boyacá Boyacá con el Puente de Boyacá; se incluye la infraestructura conexas y las instalaciones asociadas tales como: estaciones de servicios, andenes, terraplenes y áreas verdes, **Fotografía 3.**

**Fotografía 3. Tejido artificializado de nivel 4 red vial.**



**Fuente.** Resultados del estudio



#### **4.7.3.3 Zona de escombros:**

Comprende las áreas donde se extraen o acumulan materiales asociados con actividades mineras, de construcción, producción industrial y vertimiento de residuos de diferente origen en este caso los residuos generados por el deslizamiento que comprende en más del 80/ de la zona de estudio. Comprende la siguiente unidad:

##### **4.7.3.3.1 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.**

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



**Fuente.** Convenio UPTC-CORPOCHIVOR



#### 4.7.3.3.1.1 CULTIVOS TRANSITORIOS

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

#### **OLEAGINOSAS Y LEGUMINOSAS**

Cobertura compuesta principalmente por cultivos transitorios de plantas para el consumo y la producción de aceite y almidón. Las oleaginosas se caracterizan por ser plantas cuyas semillas se consumen o utilizan para la extracción de aceite. Las tierras agrícolas cubiertas por las leguminosas abarcan una amplia variedad de productos, ricas en almidón, **Fotografía 5.**

**Fotografía 5. Leguminosas presentes en la zona de estudio.**



**Fuente.** Convenio UPTC-CORPOCHIVOR

#### **4.7.3.3.2 HORTALIZAS**

Cobertura terrestre de manera intensiva caracterizada por ser un conjunta de plantas herbáceas, cultivadas generalmente en huertas, que se consumen como alimenta humano. Se hace en pequeñas extensiones, dándole el máximo de cuidadas y manteniendo el suela constantemente ocupada.

#### **CEBOLLA**

Esta cobertura terrestre, se caracteriza por pertenecer a la familia de las *aliáceas*, las cuales son plantas bianuales (necesita de dos ciclos para producir semillas, que desarrollan un bulbo (parte comestible) en su primera etapa de crecimiento y los vástagos o tallos florales en la segunda etapa.



## **TUBÉRCULOS**

Cobertura compuesta principalmente por cultivos transitorios de diferentes tipos de plantas que poseen tubérculos. Un tubérculo es un tallo subterráneo modificado y engrosado donde se acumulan los nutrientes de reserva para la planta. Esta cobertura la componen principalmente cultivos de papa y apio.

## **APIO CRIOLLO**

La *Arracacia xanthorrhiza Bancroft* (Hoker, 1831 y Muñoz, 1968) es una planta herbácea de porte bajo que puede alcanzar hasta 1.5 m. de altura. En relación a la producción de raíces tuberosas es una planta anual, y bianual en relación a su ciclo vegetativo, razón por la cual raras veces completa este periodo en siembras comerciales. La cosecha se realiza entre 10 y 12 meses de siembra donde la planta es extraída antes de la floración. La propagación para fines comerciales es esencialmente vegetativa.

Las hojas presentan de tres a cuatro folíolos laterales opuestos y uno terminal, que miden hasta 50 cm. La coloración de las hojas y el pecíolo varía de verde a rojo, de acuerdo con el clon. El tallo es un tronco corto cilíndrico, vertical y rizomatoso que alcanza hasta 10 cm. de altura y capaz de dividirse en la parte superior. Entre el tallo y las raíces se encuentra una corona que da origen a la parte aérea y a las raíces tuberosas. En la parte superior de la corona aparecen ramificaciones conocidas como hijuelos, brotes, hijos o propágulos, utilizados para la propagación vegetativa, en número variable de 10 a 30 y de donde nacen las hojas. La parte subterránea está constituida principalmente por las raíces tuberosas, en número que varía entre 4 y 10, emergen de la parte inferior de la corona. Las raíces son ovoides, cónicas o fusiformes, con una longitud de 5 a 25 cm. y con un diámetro entre 3 y 8 cm. Las plantas que producen raíces de color amarillo tienen,

---

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

generalmente, ciclo vegetativo más largo, presentan mayor resistencia a las adversidades climáticas y producen raíces más grandes. Las plantas de raíces blancas o rojas son menos resistentes a las variaciones climáticas y a veces producen raíces menores, siendo más precoces y con raíces de consistencia más suave y preferidas por los consumidores (Carrasquilla, 1944 & Muñoz, 1968).

**Fotografía 6. *Arracacia xanthorrhiza* Bancroft presente en la zona de estudio.**



**Fuente.** Convenio UPTC-CORPOCHIVOR

### **PAPA**

Cobertura terrestre propia de las zonas de montaña de clima frío, situadas entre los 2,000 y 3,000 msnm, La papa (*Solanum tuberosum* L.) es una especie de planta herbácea, tuberosa, perenne, perteneciente a la familia de las solanáceas, de tallo erecto o semidecumbente. Que puede medir hasta un metro de altura

**Fotografía 7. *Solanum tuberosum L.* presente en la zona de estudio.**



**Fuente. Convenio UPTC-CORPOCHIVOR**

#### **4.7.3.3.2.1 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 ARBÓREOS**

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



## **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.** Convenio UPTC-CORPOCHIVOR

## **CULTIVOS PERMANENTES HERBÁCEOS**

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

### **CAÑA**

Cobertura compuesta principalmente par cultivo de caña (*Saccharum officinarum* L.J). El cultivo de caña puede estar presente en grandes a pequeñas extensiones de acuerdo con la zona geográfica y el producto final de comercialización.

#### **Fotografía 9.**

**Fotografía 9. Cultivo permanente herbáceo.**



**Fuente.** Convenio UPTC-CORPOCHIVOR

#### 4.7.3.3.2 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 por surcos a hilera de árboles con cultivos o arboles con pastos.

**Fotografía 10. Cultivo agroforestal.**



**Fuente.** Convenio UPTC-CORPOCHIVOR

### **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 por surcos a hileras de árboles con pastos.

**Fotografía 11. Plantación silvopastoril.**



**Fuente.** Registro fotográfico

#### **4.7.3.3.2.3 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.

---

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

## **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.

**Fotografía 12. Pastos limpios presentes en la zona de estudio.**



**Fuente.** Registro fotográfico

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

### **PASTAS ENMALEZADOS**

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

**Fotografía 13. Pastos enmalezados.**



**Fuente. Registro fotográfico**



#### **4.7.3.3.3 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.

##### **4.7.3.3.3.1 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.

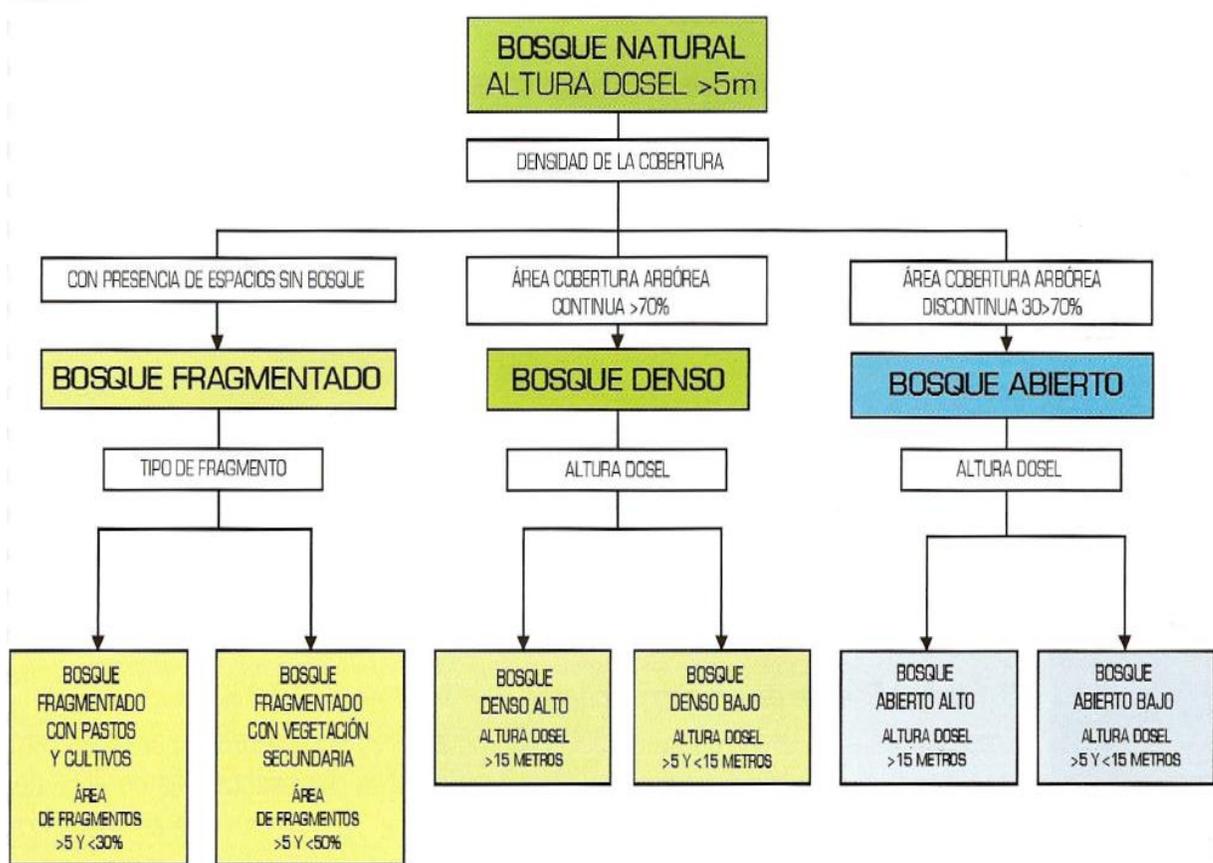
Para efectos de la caracterización de la densidad se definió como el porcentaje de cobertura de la copa. Por su parte, la cobertura de la copa, en este documento, corresponde al porcentaje del suelo o del terreno ocupado por la proyección perpendicular de la vegetación en su conjunto, o por uno de sus 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 25. Criterios para la clasificación de los bosques



Fuente. Corine Land Cover 2010

## **BOSQUE DENSO**

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



alterado su estructura original y las características funcionales. Se exceptúan de esta unidad los bosques fragmentados.

### **BOSQUE DENSO BAJO**

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

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

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

**Fotografía 14. Bosque denso bajo de tierra firme**



**Fuente.** Convenio UPTC-CORPOCHIVOR

### **PLANTACIÓN FORESTAL**

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

Esta cobertura presenta en la imagen de satélite un patrón geométrico regular, constituido por las hileras de árboles generalmente de la misma edad. Para su



identificación se requiere del apoyo de información secundaria como fotografías aéreas, mapas temáticos y control de campo.

## **CUPRESSACEAE**

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

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



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

**Fotografía 15. Pino presente en la zona de estudio.**



**Fuente.** Convenio UPTC-CORPOCHIVOR

## **MYRTACEAE**

Esta es una familia en donde sus miembros son plantas dicotiledóneas. Entro de sus características generales podemos decir que todas las especies son arboladas, presentan aceites esenciales, y la flor casi siempre presenta sus verticilos en múltiplos de cuatro o cinco. Una característica representativa de esta familia es que libre está situado en ambos lados del xilema exterior, difiriendo con el resto de las plantas.

---

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



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 16. Eucaliptos presentes en la zona de estudio**



**Fuente.** Convenio UPTC-CORPOCHIVOR



#### 4.7.3.3.4 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.

##### 4.7.3.3.4.1 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.

##### 4.7.3.3.4.2 HELECHAL

Cobertura dominada por la especie de helecho tropical *Pteridium Aquilinum* (L.) Kuhn llamado por lo general helecho águila o común es una especie de helecho perteneciente a la familia *Hypolepydaceae*. Esta especie es uno de los organismos

---

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



vegetales de más amplia distribución pudiéndose encontrar en todos los continentes, salvo la Antártida.

Helecho isospóreo vivaz o perenne con un rizoma subterráneo muy desarrollado que llega a alcanzar hasta un metro de longitud de color pardo y cubierto de vellosidades oscuras. Frondes muy grandes, de hasta 2 metros con láminas tri o cuatripinnadas con pinnas ovoides y glabras en el haz mientras que en el envés son muy pilosas, peciolo menor o igual en longitud que la lámina. Posee soros reunidos en cenosoros lineares con doble indusio, por una parte un pseudoindusio membranoso compuesto por la misma lámina y un indusio verdadero de color pardo situados en el envés de las frondes.

**Fotografía 17.** Helechal presente en la zona de estudio.



**Fuente.** Convenio UPTC-CORPOCHIVOR



#### **4.7.3.3.5 VEGETACIÓN SECUNDARIA O EN TRANSICIÓN**

Comprende aquella cobertura vegetal originada por el proceso de sucesión de la vegetación natural que se presenta luego de la intervención o por la destrucción de la vegetación primaria, que puede encontrarse en recuperación tendiendo al estado original. Se desarrolla en zonas desmontadas para diferentes usos, en áreas agrícolas abandonadas y en zonas donde por la ocurrencia de eventos naturales la vegetación natural fue destruida. No se presentan elementos intencionalmente introducidos por el hombre.

##### **4.7.3.3.5.1 VEGETACIÓN SECUNDARIA BAJA**

Son aquellas áreas cubiertas por vegetación principal mente arbustiva y herbácea con dosel irregular y presencia ocasional de árboles y enredaderas, que corresponde a los estadios iniciales de la sucesión vegetal después de presentarse un proceso de deforestación de los bosques o aforestación de los pastizales. Se desarrolla posterior a la intervención original y, generalmente, están conformadas por comunidades de arbustos y herbáceas formadas por muchas especies.

La vegetación secundaria comúnmente corresponde a una vegetación de tipo arbustivoherbaceo de ciclo corta, con alturas que no superan los cinco metros y de cobertura densa. Por lo general corresponde con una fase de colonización de inductores preclimáticos, donde especies de una fase más avanzada se establecen y comienzan a emerger.



**Fotografía 18. Sucesión secundaria baja.**



**Fuente. Convenio UPTC-CORPOCHIVOR**

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

Figura 26. Mapa cobertura vegetal y uso de suelo



Fuente. Resultados del estudio

Tabla 12. Porcentaje de coberturas vereda Rique municipio de Boyacá.

TIPO DE COBERTURA	AREA m <sup>2</sup>	% COBERTURA
Red vial	943	1,37
Tejido urbano discontinuo	4505	6,56
Bosque forestal	8101	11,80
Cultivos transitorios de oleaginosas y leguminosas	1987	2,89

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

Cultivos transitorios de hortalizas	222	0,32
Cultivos transitorios de tubérculos	2666	3,88
Cultivos transitorios de tubérculos	2442	3,56
Cultivos permanentes herbáceos	933	1,36
Cultivos agroforestales	662	0,96
Cultivos permanentes arbóreos	393	0,57
Bosque denso bajo	8358	12,17
Pastos limpios	12338	17,96
Pastos enmalezados	6208	9,04
Pastos arbolados	7445	10,84
Helechal abierto	1789	2,60
Arbustal abierto	5273	7,68
Zona de deslizamiento	4413	6,43

Fuente. Resultados del estudio.

#### 4.7.5 Unidades de cobertura vegetal

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

En ecología se pueden hacer estudios de fauna de diferentes formas. Los estudios pueden ser de tipo descriptivo, comparativo, observacional y experimental. Los estudios descriptivos son generalmente exploratorios y no tienen una hipótesis a



*priori*. El objetivo de estos estudios es obtener información acerca de un fenómeno o sistema del cual previamente se tenía ninguna o muy poca información. Los estudios comparativos se deben realizar en sistemas de los que se tiene cierta información y cuando se tiene una o varias hipótesis de antemano.

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

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

Tabla 13. Unidades de cobertura vegetal presenes en la zona de estudio.

FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
Rosáceae	<i>Pyrus malus</i> L.	Manzana
Asteráceae	<i>Baccharis latifolia</i>	Chilca
Fabáceae	<i>Acacia longifolia</i>	Acacia
Araliaceae	<i>Oreopanax floribundus</i> (Kunth) Decne. & Planch.	Mano de oso
Poaceae	<i>Poacea máximum</i>	Pasto
Gramínea	<i>Axonopus scoparius</i>	Pasto imperial
Onagraceae	<i>Fuchsia boliviana</i> Carrière	Fucsia
Caricáceae	<i>Carica cundinamarcensis</i>	Papayuela
Cupresáceas	<i>Pinus halepensis</i>	pino de piña
Cupresáceas	<i>Pinus pinaster</i>	Pino
Asteráceae	<i>Taraxacum officinale</i>	Diente de león
Salicaceae	<i>Salix humboldtiana</i>	Sauce
Poaceae	<i>Pennicetum setaceum</i>	Catalán
Cucurbitáceae	<i>Cucúrbita pepo</i> L.	Calabaza
Poaceae	<i>Bromus unioloides</i>	Cebadilla criolla
Poaceae	<i>Pennicetum clandestinum</i>	Pasto
Aliáceas	<i>Allium ascalonicum</i>	Cebolla
Solanáceae	<i>Cyphomandra betacea</i>	Tomate de árbol
Musáceae	<i>Musa sapientum</i> L.J	Maduro
Umbelliferae	<i>Arracacia xanthorrhiza</i> Bancroft (Hoker, 1831 y Muñoz, 1968)	Arracacha
Poaceae	<i>Anthoxanthum odoratum</i>	Pasto de olor
Pinaceae	<i>Pinus patula</i> Schltld. & Cham.	Pino
Quenopodiáceae	<i>Beta vulgaris</i>	Acelgas
Pteridaceae	<i>Pteridium esculentum</i>	Helecho
Cucurbitáceae	<i>Cucúrbita máxima</i>	Auyama
Rosáceae	<i>Pyrus communis</i>	Peral
Myrtaceae	<i>Eucalyptus pellita</i>	Eucalipto
Solanáceae	<i>Physalis peruviana</i>	Uchuva
Poaceae	<i>Phalaris canariensis</i>	Alpiste

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



Rosáceae	<i>Prunus pérsica</i>	Durazno
Oleaceae	<i>Fraxinus chinensis</i> Roxb.	urapán
Polygonaceae	<i>Polygonum hidropiper</i> L.	barbasco
Fabáceae	<i>Pisum sativum</i> L. var. <i>sativum</i>	Arveja
Verbenaceae	<i>Duranta mutisii</i> L.f.	Garbanzo
Salicaceae	<i>Salix humboldtiana</i> Willd.	sauce
Umbelliferae	<i>Arracacia xanthorrhiza</i> Bancroft (Hoker, 1831 y Muñoz, 1968)	Apio criollo
Rosáceae	<i>Rubus glaucus</i> Benth	Mora

**Fuente. Investigación y trabajo en campo**



## 5 HIDROGEOLOGÍA

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

### 5.1 Unidades Hidrogeológicas.

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

#### 5.1.1 Acuífero.

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

#### 5.1.2 Acuitardo.

Son aquellas rocas que almacenan una gran cantidad de agua pero la transmiten muy lentamente, siendo aptas solo para bajas captaciones, entre ellas están los materiales arcillo-arenosos. Se consideran como sinónimos de Acuicierre, ya que con el tiempo los espacios intergranulares tienden a sellarse formando estratos



permeables que aunque pueden contener grandes cantidades de agua no permiten su flujo a través de sus poros.

### 5.1.3 Acuíferos.

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

## 5.2 MARCO HIDROLÓGICO GENERAL

### 5.2.1 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.

### 5.2.2 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.

### 5.2.3 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 acuíferos.

---

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



## 6 ESTUDIO GEOELECTRICO (TOMOGRAFIA ELECTRICA RESISTIVA)

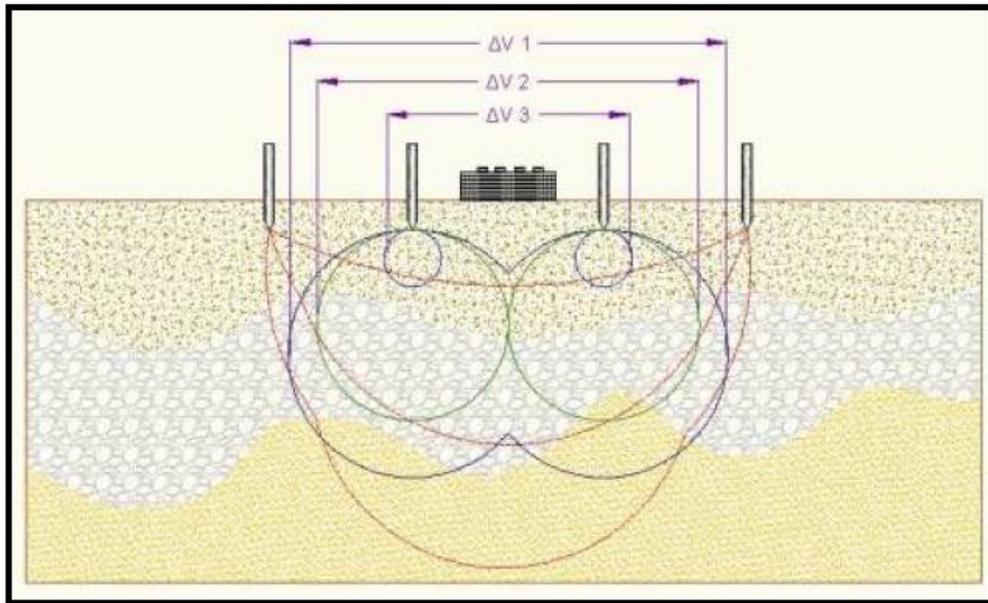
### 6.1 INTRODUCCION

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 27); 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 28). Lo

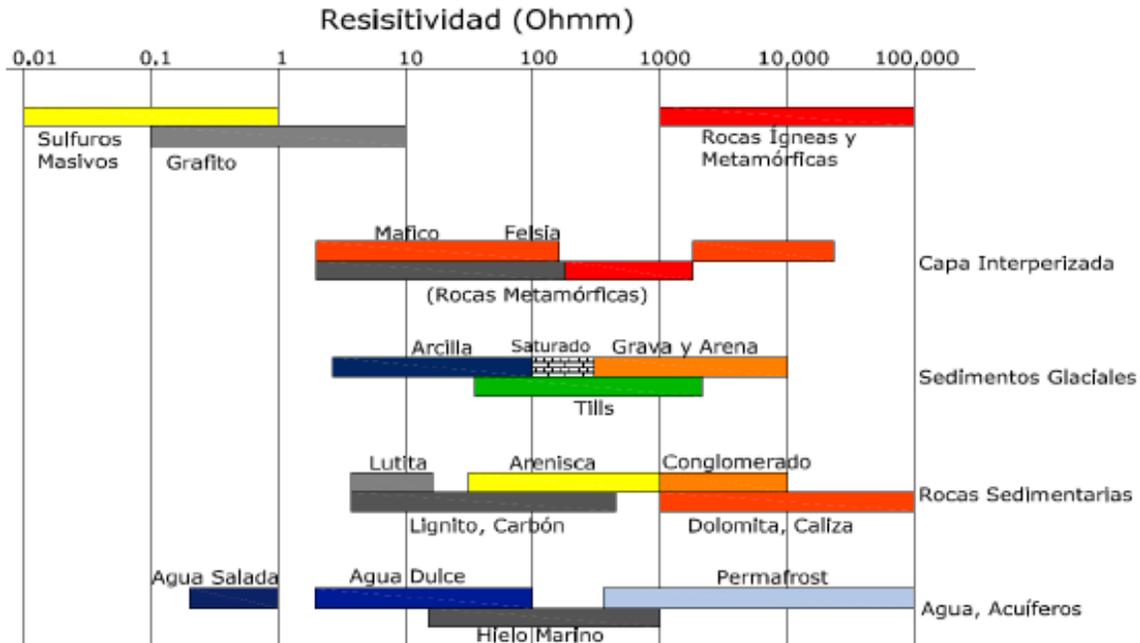
anterior, es relativo a diversos parámetros geológicos como el contenido mineralógico y de humedad, así como la porosidad y grado de saturación de agua dentro del material de estudio. Durante décadas, los Estudios de Resistividad Eléctrica han sido utilizados en investigaciones sobre hidrogeología, geotecnia y también actualmente en estudios ambientales (Loke 2004).

Figura 27. 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 28. 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 multielectródica en la que todo el proceso de adquisición de datos está totalmente automatizado. Esto nos permite poder realizar un gran número de medidas, tanto en profundidad como lateralmente, en un breve espacio de tiempo (del orden de 500 medidas en una hora y media), obteniendo por tanto modelos 2-D de gran resolución.

## 6.2 OBJETIVO

Como apoyo al estudio geotécnico y de estabilidad que se está realizando para el convenio interadministrativo UPTC-CORPOCHIVOR, en la vereda Rique, del municipio de Boyacá, 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.

La ecuación matemática que describe esta relación es:

---

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



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

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 14, 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 14 se encuentra un conjunto de valores típicos de resistividad de geomateriales.



Tabla 14. Resistividades de algunos suelos y rocas.

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

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

### 6.3.2 Dispositivos:

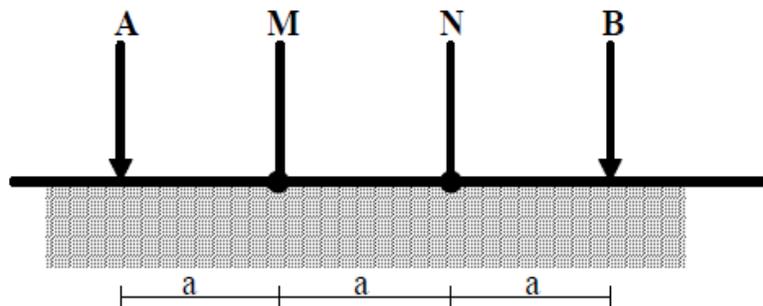
Un dispositivo es un arreglo de electrodos formado con dos pares de electrodos, dos emisores y dos receptores. A través de los electrodos emisores C1C2 se inyecta la corriente continua al terreno midiendo su intensidad con un miliamperímetro en serie, y a través del segundo par se mide la diferencia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

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

### 6.3.2.1 Dispositivo Wenner.

Los electrodos se disponen equidistantes sobre una línea en el orden AMNB (Figura 29).

Figura 29. Dispositivo Wenner.



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

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

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

Dónde:

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.

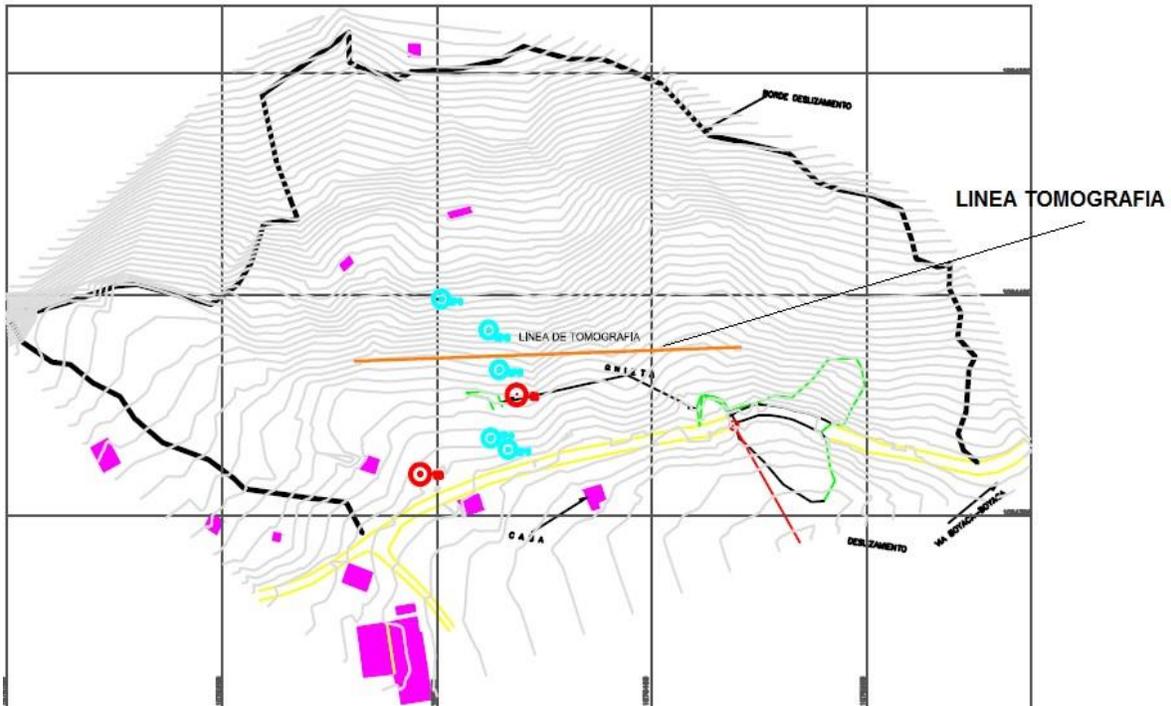


Para la realización de las tomografías en la vereda Rique, del municipio de Boyacá, se utilizó el equipo TERRAMETER LS 04-064-250 propiedad de la U.P.T.C., con 3 carretes de 210 mts cada uno, 70 electrodos conectados cada uno respectivamente al equipo, para obtener así la siguiente línea con su respectivo análisis.

#### **6.4.1 Tomografía N°1**

Localizada en la parte media del deslizamiento, coordenadas parte inicial X: 1076261, Y: 1094369, parte final X: 1076441, Y: 1094376, orientación N95°E, con una longitud de 105 mts., profundidad obtenida de 20 mts., y los electrodos conectados a una distancia de 1.50 mts cada uno.

Figura 30. Localización línea de tomografía.



Fuente: Resultado del estudio.

**Fotografía 19. Parte media del deslizamiento.**



Fuente: Registro fotográfico.

**Fotografía 20. Parte media del deslizamiento.**



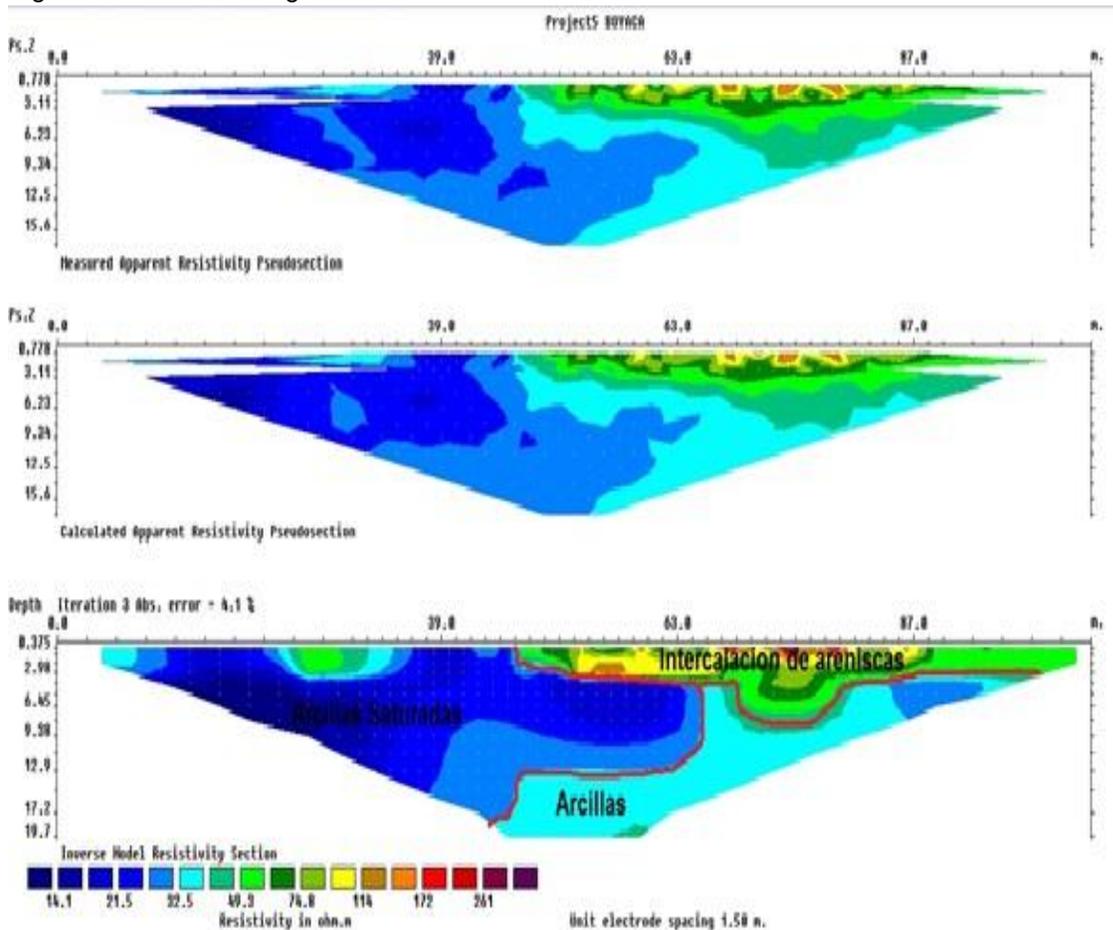
Fuente: Registro fotográfico.

Tabla 15. Resistividad de los materiales presentes.

MATERIAL	PROFUNDIDAD (m)	RESISTIVIDAD ( $\Omega \cdot m$ )	INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA
1	0 – 17	14 -20	<i>Arcillas saturadas</i>
2	6 – 19.7	20 - 40	<i>Arcillas semisaturadas o no saturadas</i>
3	0 – 8.	80 - 200	<i>Intercalacion de areniscas</i>

Fuente: Resultado del estudio.

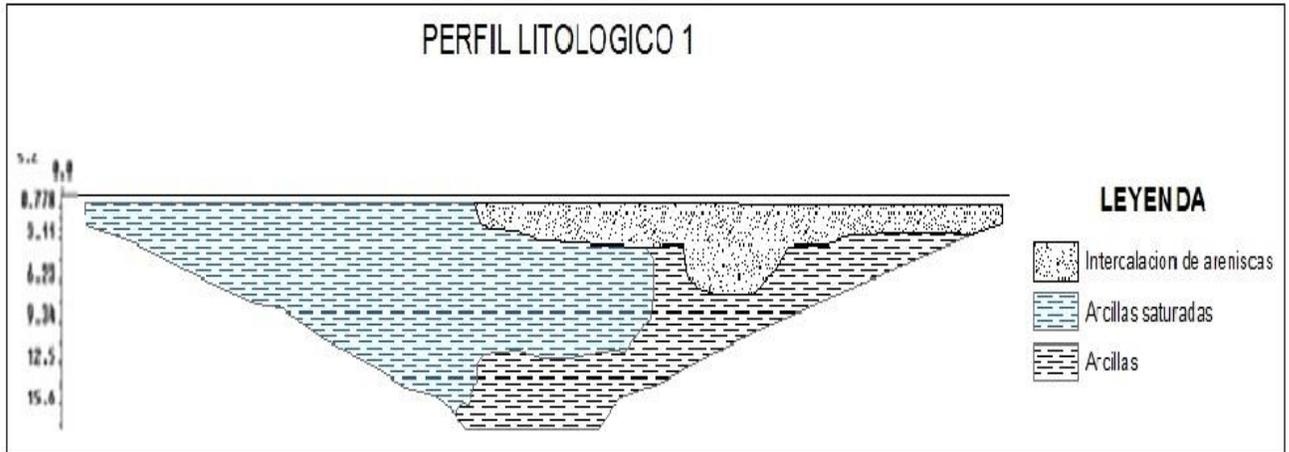
Figura 31. Perfil 1 tomografía.



Fuente: Resultado del estudio.

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

Figura 32. Perfil litológico 1



Fuente: Resultado del estudio.

#### 6.4.2 Resultados

Con ayuda del software Res2DINX64, se relacionaron datos de las respectivas resistividades de los materiales del área obtenidas por el equipo, resultando así el modelamiento del talud, donde se observan que el área está conformada por tres unidades Geoeléctricas bien definidas, donde encontramos niveles de arcillas saturadas con rangos de resistividades que oscilan entre 14 – 20  $\Omega \cdot m$ , arcillas semisaturadas o no saturadas con resistividades que van desde 20 - 40  $\Omega \cdot m$ , intercalación de areniscas con resistividades entre 80 – 200  $\Omega \cdot m$ , ver Figura 31 y Figura 32.



## 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 Riqué, municipio de Boyacá-Boyacá, sucedidos desde hace unos años, y que han evolucionado hasta afectar considerablemente viviendas y la escuela presente en la zona.

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

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

### 7.1 EXPLORACIÓN DE CAMPO

#### 7.1.1 Sondeos geotécnicos

##### 7.1.1.1 Exploración indirecta del subsuelo.

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

### 7.1.1.2 Exploración directa del sub suelo.

La exploración directa del sub suelo consiste en la realización una apique y una trinchera, De estos se tomaron muestras alteradas e inalteradas para realizar los ensayos pertinentes para caracterizar los materiales presentes en esta zona. Además se realizaron sondeos a profundidades de que van de 0.51 hasta los 5.80 metros de y sus ubicaciones se relacionan en la siguiente tabla (Tabla 16); **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**; de estos se realizaron los también ensayos de propiedades índices y propiedades mecánicas.

Tabla 16. Coordenadas de los sondeos realizados

Boyacá			
Sondeo	Coordenadas		Profundidad (metros)
	Este	Norte	
Apique 1	1,076,302	1,094,398	1
Apique 2	1,076,324	1,094,384	1.50
Apique 3	1,076,325	1,094,335	2
sondeo 1	1,076,337	1,094,355	5.80
sondeo 2	1,076,292	1,094,319	5.50

**Fuente: Resultados de la Investigación**

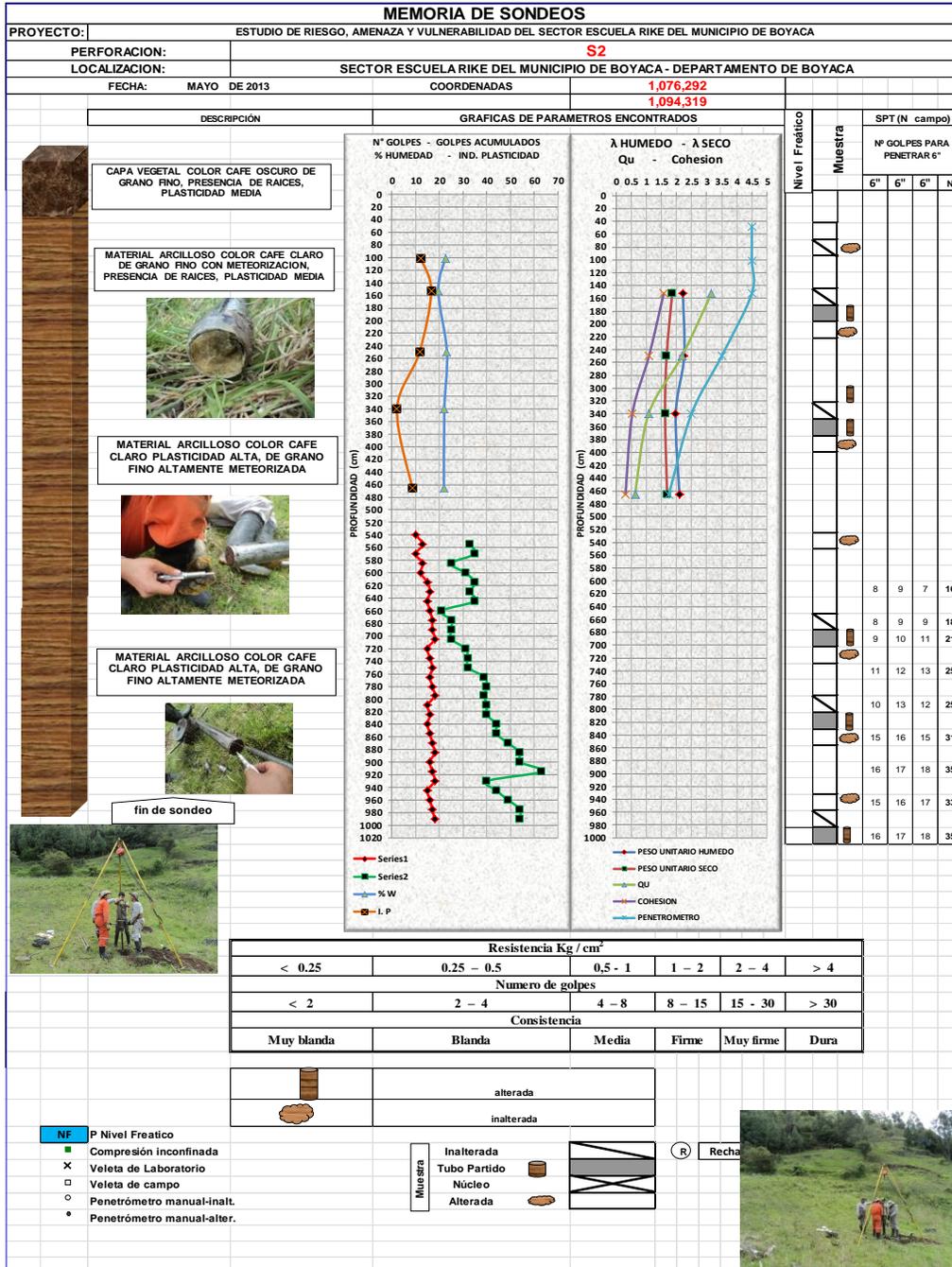
De estos se obtuvieron perfiles geotécnicos del sitio como se observa en la Figura 33. Como también para los apiques 0.

**Fotografía 21. Perforación realizada en la zona de estudio**



**Fuente: Registro Fotográfico.**

Figura 33. Perfil geotécnico S2



Fuente. Resultados del estudio.

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



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 til 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: Registro Fotográfico.**



## 7.2 CARACTERIZACIÓN DEL SUELO Y SUBSUELO

### 7.2.1 Trabajos de Laboratorio

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

#### 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





### 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.

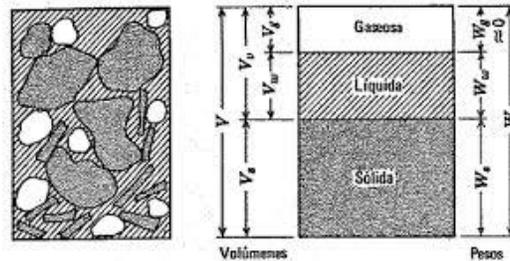
Se establecieron propiedades físicas tales como:

- 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 ( $\gamma$  (KN/m<sup>3</sup>))
- Peso específico seco ( $\gamma_d$  (KN/m<sup>3</sup>))
- Peso específico saturado ( $\gamma_{sat}$  (KN/m<sup>3</sup>))

La determinación de las propiedades físicas se basa en el establecimiento de los pesos y volumen de la probeta o muestra de la roca de roca y/o mineral, siendo los equipos y accesorios en la mayoría de los casos los de un laboratorio químico y/o metalúrgico. Y están constituidas por:

- Una balanza de precisión en grs.
- Un horno ventilado.
- Vasos de precipitación.
- Agua destilada.

Figura 35. Manera de establecer las fases de la roca



Fuente: Juárez Badillo y Rico Rodríguez

Fotografía 23. Medición de volumen de la muestra para establecer propiedades físicas de la roca



Fuente. Registro fotografico.

### 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.

**Fotografía 24. Muestra fallada en el ensayo de compresión no confinada.**



**Fuente. Registro Fotográfico**

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

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

Fotografía 25. Muestras a las que se le realizó la prueba de corte directo.



Fuente. Registro fotografico.

## 7.2.2 Propiedades mecánicas de las rocas

**Ensayo de Til 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.

Fotografía 26. Ensayo de Tilt Test.



Fuente. Registro fotografico.

**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.

**Fotografía 27. Ensayo de carga por punta o ensayo de Franklin**



**Fuente. Resultados del estudio.**

### **7.2.3 Resumen de resultados**

En general los ensayos realizados reflejan la particularidad de materiales finos en el subsuelo según la Carta de Clasificación de Casagrande, los suelos fueron clasificados dentro del grupo CL (material limoso de baja plasticidad) correspondientes al material de relleno, arcillas limosas, con peso unitario de 1.5 – 2.26 gr/cm<sup>3</sup>, con limite líquido < 40% e IP entre 2% y 22%.

Los resultados de las propiedades mecánicas reflejan una resistencia a la compresión simple de 0.6 – 5.64 kg/cm<sup>2</sup>, cohesión de 0.32 – 2.82 Kgf/cm<sup>2</sup>, ángulos de fricción entre 10° y 20°. 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 17**).

En cuanto a las rocas presentes se obtuvieron pesos específicos de entre los valores de 20 a 27 kN/m<sup>3</sup> en las diferentes rocas, con ángulos de rozamiento residual de que varían entre 39° y 35° y resistencias obtenidas por el ensayo de carga puntual de 17 – 98 MPa.





### 7.3 CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO.

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

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

EL RQD determina el grado de fracturación del macizo rocoso. Este parámetro se puede determinar a partir de núcleos de roca recuperados en sondeos con longitud mayor de 10cm; a partir del número volumétrico de juntas ( $J_v$ ), como el número de discontinuidades por metro cúbico de macizo; ó, en función de la frecuencia de discontinuidades ( $\lambda$ ), 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 la Tabla 19 se muestra el resultado de la clasificación por el método RMR para los afloramientos presentes.

Estos valores fueron establecidos para los puntos relacionados a continuación.



Tabla 18. Puntos de control para realizar la clasificación geomecánica.

E	N	Descripción
1,076,357	1,094,000	FOSFORITA
1,076,329	1,094,366	ARENISCA COMPACTA
1,076,324	1,094,384	ARENISCA
1,076,302	1,094,398	ARENISCA

Fuente. Resultados de la investigación.

Tabla 19. Resumen de Resultados de la Clasificación RMR

Parámetro de clasificación		BOYACÁ							
		FOSFORITA		ARENISCA COMPACTA		ARENISCA		ARENISCA	
		Parámetro	Valuación	Parámetro	Valuación	Parámetro	Valuación	Parámetro	Valuación
Resistencia Compresión simple (MPa)		27,00	4	38	5	97	12	17	1
R.Q.D (%)		Regular	10	MB	20	MB	20	MB	20
Separación de las discontinuidades		Mj	8	Mj	10	Mj	10	Mj	10
Estado de las discontinuidades	Rugosidad - JRC	Muy Rugosa	6	Rugosa	5	Rugosa	5	Rugosa	5
	Abertura	Cerrada	6	0,1-1mm	4	0,1-1mm	4	0,1-1mm	4
	Relleno	Duro	5	Suelos Resi.	3	Suelos Resi.	3	Suelos Resi.	3
	Alteración	Mod. Alt.	3	Lige. Alt.	5	Lige. Alt.	5	Lige. Alt.	5
	Continuidad	1-3 m	3	3-10 m	3	3-10 m	3	3-10 m	3
Agua subterránea		LIG. HÚMEDO	12	LIG. HÚMEDO	12	LIG. HÚMEDO	12	LIG. HÚMEDO	12
VALORACIÓN RMR		57		67		74		63	
VALORACIÓN GSI		52		62		69		58	
VALORACION DE Q´		4,2		12,9		28,0		8,3	

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



<b>Ajuste</b>	Favorables/ Medias	-5	-25	-5	-25	-5	-25	-5	-25
<b>VALOR RMR</b>		<b>52</b>	<b>32</b>	<b>62</b>	<b>42</b>	<b>69</b>	<b>49</b>	<b>58</b>	<b>38</b>
<b>Clase</b>		III Media	IV Mala	II Buena	III Media	II Buena	III Media	III Media	IV Mala

Fuente: Resultados de la investigación.

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

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

Figura 36. 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
 <p>INTACTA O MASIVA - macizo rocoso con pocas discontinuidades, carente de planos de deformación.</p>	80 70				
 <p>POCO FOLIADA - macizo rocoso parcialmente fracturado con hasta tres sistemas de discontinuidades. Puede contener intercalaciones de rocas foliadas.</p>		60 50			
 <p>MODERADAMENTE FOLIADA - macizo rocoso fracturado constituido por intercalaciones de rocas foliadas y no foliadas en proporciones semejantes.</p>			40	30	
 <p>BRECHADA - macizo rocoso muy alterado tectónicamente con aspecto brechoide.</p>				20	10
 <p>MUY FOLIADA - macizo rocoso plegado, altamente fracturado, constituido únicamente por rocas muy foliadas.</p>	N/A	N/A			5

Fuente: Resultados de la investigación.

Dada la sencillez de la guía para la determinación del GSI, y en cierta medida su subjetividad se propone para valores de GSI mayores que 25 que este pueda ser establecido a partir del valor de clasificación RMR89, teniendo en cuenta que se debe tomar el valor RMR sin corrección por orientación de discontinuidades y una valuación de condiciones de agua subterránea igual a 15. De acuerdo a lo anterior el valor de GSI 38 y 69 respectivamente.



## 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.

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

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

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

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

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

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

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

El Municipio de Boyacá 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 Boyacá los coeficientes de aceleración horizontal (Aa) y vertical (Av) son iguales a 0.14 y 0.06 respectivamente, de acuerdo a la NSR-10, sin embargo la versión vigente del código colombiano sismorresistente, indica que los coeficientes se tomen igual al valor mayor, en este caso 0.20 y 0.20. El coeficiente de reducción de los coeficientes de aceleración para suelos y macizos rocosos con R.Q.D menores a 50%, es igual a 0.8 (**Tabla 21**).

Tabla 20. Coeficientes de aceleración sísmica para el departamento Boyacá

Nº	Municipio	Código	Aa	Av	Zona de Amenaza Sísmica	Ae	Ad
1	Tunja	15001	0.20	0.20	Intermedia	0.15	0.07
9	Boyacá	15104	0.20	0.20	Intermedia	0.14	0.06
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 21. Coeficientes de reducción de coeficientes de aceleración sísmica

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

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



Por tanto el coeficiente de aceleración para análisis pseudoestático resulta:

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

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

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

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

### 7.6.1 Análisis estructuralmente controlado

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

En el área de estudio se determinaron dos sectores estructuralmente diferentes como se ve a continuación.

Por tal razón se presentan primero los datos de la ZONA 1

Zona 1	
1076448	1094421

Tabla 22. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla planar.

ANÁLISIS CINEMÁTICO						
PLANAR						
Rango	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO LADERA			RANGO BUZAMIENTO		
1	100	A	140	20	A	89

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



2	235	A	275	20	A	30
3	290	A	330	20	A	73
4	21	A	61	20	A	39

Fuente: Resultados de la investigación.

Tabla 23. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.

ANÁLISIS CINEMÁTICO						
CUÑA						
Rango	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO LADERA			RANGO BUZAMIENTO		
1	309	A	349	30	A	90
2	338	A	378	52	A	90
3	81	A	121	39	A	90
4	158	A	198	26	A	90

Fuente: Resultados de la investigación.

Tabla 24. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.

ANÁLISIS CINEMÁTICO						
VOLTEO						
Rango	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO LADERA			RANGO BUZAMIENTO		
1	270	A	320	65	A	90
2	100	A	150	65	A	90
3	191	A	241	65	A	90

Fuente: Resultados de la investigación.

A continuación se representa los datos de la zona 2.

Zona 2	
1076393	1094492



Tabla 25. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla planar.

ANÁLISIS CINEMÁTICO						
PLANAR						
Rango	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO LADERA			RANGO BUZAMIENTO		
1	330	A	10	20	A	89
2	60	A	100	20	A	30
3	130	A	170	20	A	73

Fuente: Resultados de la investigación.

Tabla 26. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.

ANÁLISIS CINEMÁTICO						
CUÑA						
Rango	DIRECCION DE BUEZAMIENTO			RANGO BUZAMIENTO		
1	348	A	28	58	A	90
2	53	A	93	10	A	90
3	142	A	182	39	A	90

Fuente: Resultados de la investigación.

Tabla 27. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.

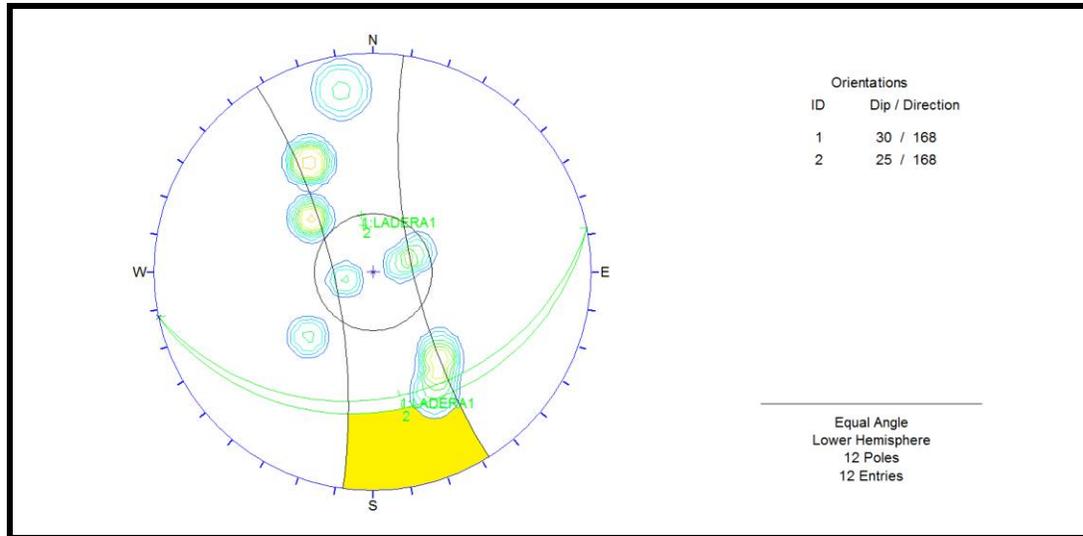
ANÁLISIS CINEMÁTICO						
VOLTEO						
Rango	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO LADERA			RANGO BUZAMIENTO		
1	140	A	190	65	A	90
2	300	A	350	65	A	90
3	150	A	200	65	A	90

Fuente: Resultados de la investigación.

Las **Tabla 25**, **Tabla 26**, **Tabla 27**,... En adelante reflejan los posibles rangos de dirección de buzamiento de las laderas y la inclinación que deben cumplir para que

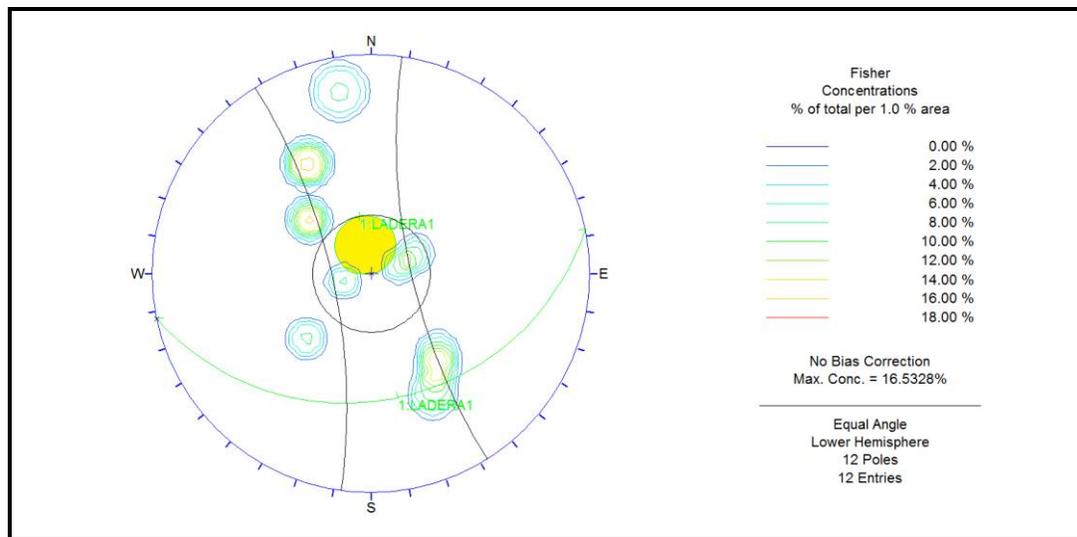
cada una de las fallas ocurra; estas se obtienen tras analizar cada una de las estructuras presentes en esta zona como se observa de manera esquemática en las **Figura 37, Figura 38, Figura 39.**

Figura 37. Análisis cinemático, falla por volcamiento



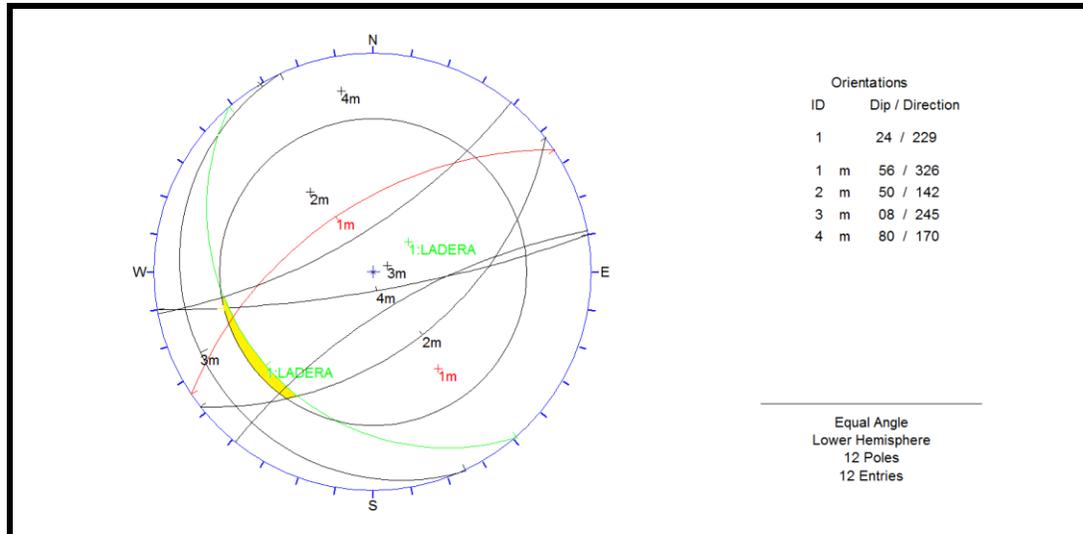
Fuente: Resultados de la investigación.

Figura 38. Análisis cinemático falla planar



Fuente: Resultados de la investigación.

Figura 39. Análisis cinemático falla por cuña



Fuente: Resultados de la investigación.

### 7.6.2 Análisis estructuralmente no controlado

Este análisis se consideró para el sitio donde ya se evidencio 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'

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 28. Valores de propiedades físicas y mecánicas utilizadas en los modelos de estabilidad.

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	UCS (kPa)	m	s	a	Water Surface	Ru
Qc		25	Mohr-Coulomb	20	17					None	0.5
Kscn		26	Generalised Hoek-Brown			120000	1.67677	0.00386592	0.505734	None	0.3

**Fuente.** Resultados de la investigación.

La parte superior del deslizamiento se observa en la Fotografía 28.

**Fotografía 28.** Parte superior del movimiento



**Fuente:** Registro fotográfico.

En la siguiente fotografía se observa el movimiento en totalidad delimitado con las líneas rojas.

**Fotografía 29. Límites del deslizamiento**



**Fuente:** Registro fotográfico.

El modelo gráfico analizado relaciona los datos obtenidos de la campaña de exploración geológica y geotécnica. La parte de geología aporta el perfil geológico y los parámetros mecánicos se obtienen en de los resultados de los diferentes ensayos anteriormente relacionados en el trabajo de laboratorio.

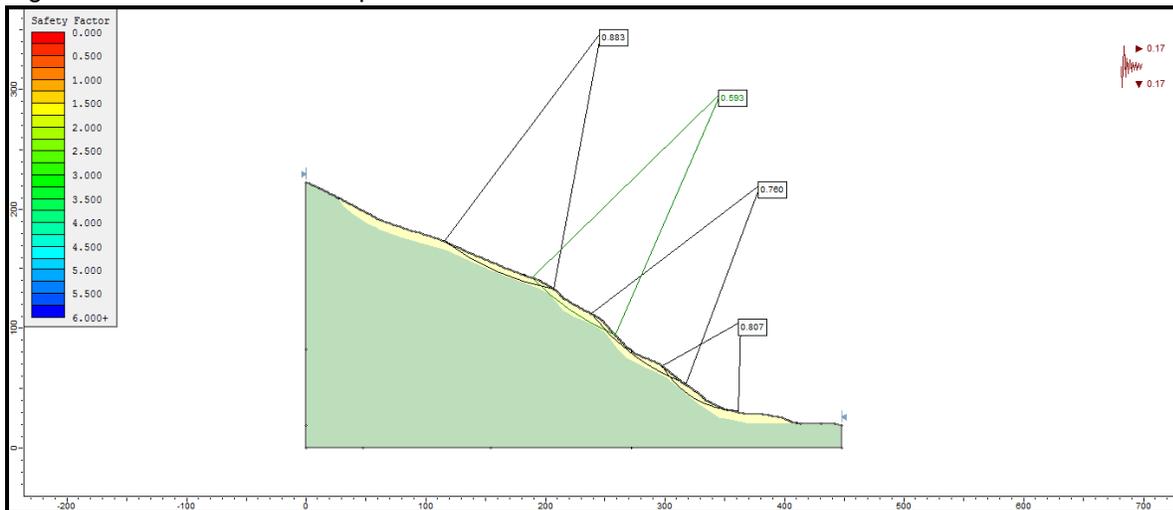
Para este caso se analizaron el perfil AA' y el Perfil B-B', ya que estos son los que comprenden realmente el deslizamiento como tal.

Figura 40. Perfil geológico AA'



Fuente: Resultados del estudio.

Figura 41. Modelo de análisis perfil A-A'



Fuente: Resultados del estudio.

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



Tabla 29. 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 ( $R_u = 0.1$ )	0.97	0.96	0.95	0.98
Condición de agua subterránea crítica ( $R_u = 0.3$ )	0.88	0.85	0.82	0.84
Condición de agua subterránea media ( $R_u = 0.5$ ) y sismo (análisis pseudoestático)	0.45	0.49	0.43	0.46

Fuente: Resultados del estudio.

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



## 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 un plan de emergencia el sector **Tabla 30**.

Tabla 30. Parámetros físicos y naturales estimados para la Identificación de Zonas Inestables (Deslizamientos)

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

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



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

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

## 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 31**, teniendo en cuenta los parámetros de la Metodología de Leone.



Tabla 31. Categorización de amenazas por fenómenos de remoción en masa

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. NRS-10

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 31**. Teniendo en cuenta la clasificación en que se encuentra el Municipio de Boyacá como Zona de Amenaza sísmica Intermedia.

Tabla 32. Categorización de amenaza por FRM según NSR-10

CONDICIÓN	F.S. BÁSICOS MÍNIMOS DIRECTOS
TALUDES - CONDICIÓN ESTÁTICA Y AGUA SUBTERRÁNEA NORMAL	1.5
TALUDES – CONDICIÓN PSEUDO – ESTÁTICA CON AGUA SUBTERRÁNEA NORMAL Y COEFICIENTE SÍSMICO DE DISEÑO	1.02

Fuente. Norma Sismoresistente Colombiana NRS-10

### 8.3 ANALISIS DE AMENAZA

Los deslizamientos que se encuentran en la Vereda Rique – Huerta Chica, del Municipio de Boyacá, son antiguos, con reactivaciones periódicas en épocas de intensa precipitación, modificando de manera considerable las condiciones



morfológicas del terreno, donde se observan grietas y hundimientos diferenciales que facilitan la acumulación de agua de escorrentía, manteniendo el terreno saturado. Este movimiento está asociado a las condiciones litológicas y a cortes inadecuados del talud, limitando el uso de los predios para actividades agrícolas y pecuarias, e igualmente generando amenaza para las viviendas que se encuentran ubicadas dentro de la zona del deslizamiento.

Figura 42. Dirección del movimiento, presencia de grietas, hundimientos con formaciones de grietas, hundimientos con formación de terracetas.



Fuente. Registro fotográfico.



**Fotografía 30. Vía vereda y vivienda ubicada en trayectoria del movimiento**



**Fuente. Registro fotográfico.**

Se observa el material desplazado, con presencia de grietas y terracetas, diferencia de pendiente. En la parte baja (pata del deslizamiento), en la parte baja del deslizamiento se encuentra el río Teatinos.

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..

Como resultado de esta valoración se obtuvo la zonificación de amenazas. Se tiene 1 zona de Amenaza: Media.



### 8.3.1 Amenaza Media.

Toda la zona de deslizamiento se ha catalogado como zona de Amenaza Media.

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 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



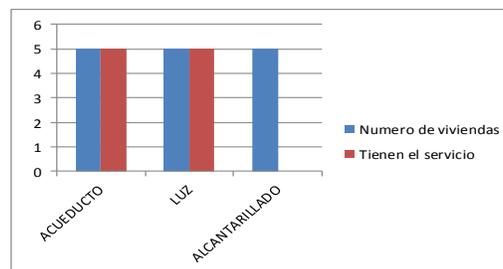
elaborada con base en las anteriores. Para la segunda, la vulnerabilidad social, el análisis es apenas cualitativo y se basa en la información de los formularios como: el nivel de ingresos, la percepción del peligro, las recomendaciones para medidas urgentes, la cobertura de los servicios públicos y el índice de carencia de la vivienda.

### 9.1.1 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	5	5	5
Tienen el servicio	5	5	0
No tienen el servicio	0	0	5
% carencia	0	0	100
Promedio	33.33		
Indice de servicios	0.33		



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	5	100
	DE RECUPERACION	0	0
		5	100

Fuente. Resultados del estudio



En el Anexo 8, se presenta copia de los respectivos soportes del inventario.

En la Vereda Rique, Huerta chica, del Municipio de Boyacá, se encuentran 5 viviendas, dentro del cuerpo de deslizamiento, representando un alto grado de vulnerabilidad, con una mayor percepción del riesgo.

## 9.2 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 calles, edificaciones, población, cultivos entre otros.

### 9.2.1 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 33**.



Tabla 33. Criterios de resistencia de la estructura

TIPO DE SOLICITACIÓN	MODOS DE DAÑO	CRITERIO DE RESISTENCIA DE LA ESTRUCTURA
<b>DESPLAZAMIENTOS LATERALES</b>	Transporte, deformación, asentamientos ruptura	Profundidades de la cimentación arriostamiento de la estructura altura de la estructura
<b>EMPUJES LATERALES</b>	Deformación ruptura	Profundidad de la cimentación Refuerzo
<b>IMPACTOS</b>	Deformación ruptura	Refuerzo

Fuente. Convenio UPTC-CORPOCHIVOR

De acuerdo con los criterios expuestos anteriormente, para tipificar las viviendas se adopta el criterio de Leone, el cual se resume a continuación en la **Tabla 34**.

### 9.2.2 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 34**.



Tabla 34. Categorías de los daños

ÍNDICE 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. Convenio UPTC-CORPOCHIVOR

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), siguiendo 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:



RM: Resistencia Movilizada

IR: Índice de Resistencia

IE: Índice de Exposición

### 9.2.3 Índice de Exposición (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 una avalancha 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 35. Índice de Exposición

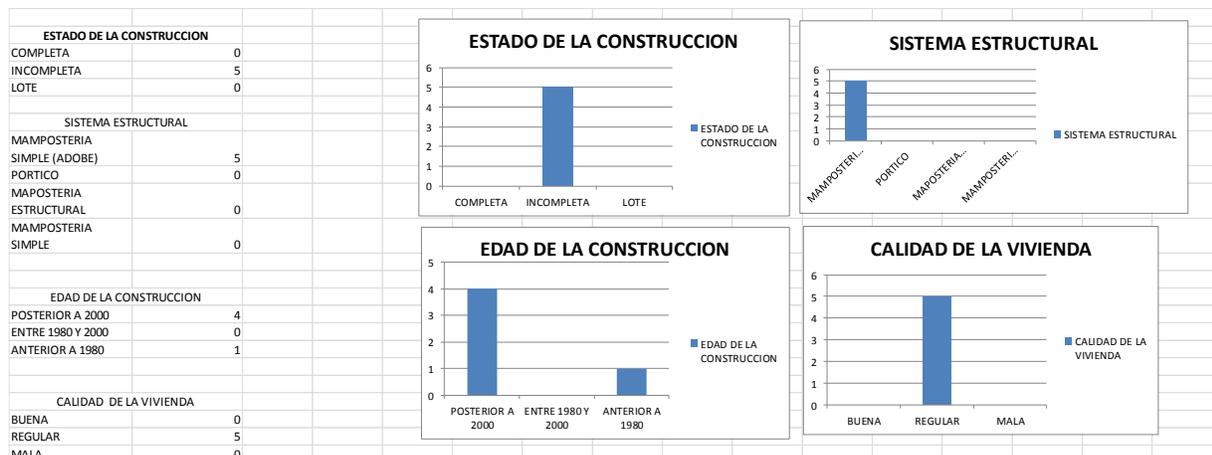
RANGO	SC
$H_f < 1/3 H_v$	0.09
$1/3 H_v < H_f < 2/3 H_v$	0.40 a 0.60
$2/3 H_v < H_f < H_v$	0.75

Fuente. Convenio UPTC-CORPOCHIVOR

### 9.2.4 Índice 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.

Figura 44. Estado y edad de las construcciones, sistema estructural y calidad de las viviendas



Fuente. Resultados del estudio



### 9.2.5 Tipología de viviendas

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:

#### **9.2.5.1 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 (Anexo Inventario de viviendas)

#### **9.2.5.2 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.

#### **9.2.5.3 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.

La **Tabla 36** 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:

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

Dónde:

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 36. 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
4								
5								

Fuente. Resultados del estudio

### 9.2.6 Intensidad e índice 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 37**) 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 38**.

Tabla 37. Matriz para la determinación intensidad de daño

MATRIZ PARA LA DETERMINACION DE LA INTENSIDAD DE DAÑO							
EVENTO	SOLICITACIÓN		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<2/3SE	IV	III	II	II	IV
		2/3SE<SC<SE	V	V	IV		V
	ACUMULACIONES	CUBIERTA PARCIALMENTE	IV	III	III	II	V
		CUBIERTA TOTALMENTE	V	V	IV	III	V

SC= SUPERFICIE DE CONTACTO  
SE= SUPERFICIE EXPUESTA

Fuente. Resultados del estudio

Tabla 38. 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. Resultados del estudio

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



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).

En el sector las viviendas ubicadas en el área de influencia del deslizamiento, presentan un nivel medio de daños en los 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 la caracterización de las velocidades de los Movimientos se utiliza la escala propuesta por Cruden y Varnes, presentada en la **Tabla 39**.



Tabla 39. Rangos de velocidad utilizadas en el estudio

DESCRIPCIÓN	CLASE	VELOCIDAD CARACTERÍSTICA
Muy rápido	VM1	Mayor a 50 mm/seg
Rápido	VM2	Entre 0,5 mm/seg y 50 mm/seg
Moderado	VM3	Entre 0,05 mm/seg y 0,5 mm/seg
Lento	VM4	Entre 0,005 mm/seg y 0,05 mm/seg
Muy lento	VM5	Menor a 0,005 mm/seg

Fuente. Caracterización de las velocidades de los movimientos según Cruden y Varnes

### 9.3 EVALUACIÓN Y GENERACIÓN DE ESCENARIOS DE RIESGO

En particular, se puede llamar la atención sobre la existencia de lugares de Alto riesgo 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).



Tabla 40. Matriz para escenarios de riesgo

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

Fuente. Matriz de zonificación de riesgo según Cardona

#### 9.4 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 cinco viviendas dentro de la zona del deslizamiento, la vía veredal que conduce hacia el Puente de Boyacá.

Tabla 41. Número de integrantes por familia

FAMILIA	No. INTEGRANTES
<b>LUIS ALFONSO TORRES</b>	7
<b>LUIS ALEJANDRO SOSA CAMERO</b>	1
<b>JORGE CRUZ TORRES</b>	3
<b>CARLOS MUÑOZ MUÑOZ</b>	2
<b>NIDIAN QUINTERO GUAYAMBUCO</b>	3

Fuente. Resultados del estudio

**Fotografía 31. Viviendas ubicadas dentro de la zona de deslizamiento. Nótese el tipo constructivo utilizado**



**Fuente. Registro fotográfico.**

**Fotografía 32. Viviendas ubicadas dentro del Deslizamiento**



**Fuente. Registro fotográfico.**

Estas viviendas se encuentran ubicadas en el área de influencia de la zona de deslizamiento



Figura 45. Formulario de inventario de viviendas

FORMULARIO DE INVENTARIO DE VIVIENDAS					
NOMBRE PROPIETARIO:			IDENTIFICACION:		
DIRECCION:			MUNICIPIO:		
TELEFONO:					
I. CLASIFICACION DE VIVIENDA POR MATERIALES		II. USO DE LA EDIFICACION		III. ESTADO DE LA CONSTRUCCION	
1. TUGURIO O MAMPOSTERIA		1. VIVIENDA UNIFAMILIAR		1. COMPLETA	
2. TUGURIO DE MADERA O CARTON		2. VIVIENDA MULTIFAMILIAR		2. COMPLETA	
3. VIVIENDA DE MAMPOSTERIA SIN REFUERZO O PREFABRICADA		3. INSTITUCION			
4. VIVIENDA DE MAMPOSTERIA REFORZADA		4. COMERCIO		IV. ESTADO OCUPACION	
5. ESTRUCTURA UNIFAMILIAR		5. MIXTO		1. OCUPADA	
6. ESTRUCTURA MULTIFAMILIAR		6. OTRO. CUAL?		2. DESOCUPADA	
7. ESTRUCTURA MIXTA					
V. No. APTOS		VI. No. PISOS		VII. AREA CONSTRUIDA	
VIII. No. RESIDENTES ADULTOS		IX. No. RESIDENTES NIÑOS		X. No. FAMILIAS	
XI. SERVICIOS PUBLICOS		ALCANTARILLADO		ACUEDUCTO	ENERGIA
CABLE TV		TELEFONO		GAS	
CARACTERIZACION ESTRUCTURAL					
XII. SISTEMA ESTRUCTURAL		XIII. TIPO DE CIMENTACION		XIV. TIPO DE ESTRUCTURA DE CUBIERTA	
1. Mampostería Simple		1. Continuo de piedra		1. Concreto reforzado	
2. Pórtico		2. Continuo de concreto		2. Metálica	
3. Encofrado		3. Zapata		3. Madera	
4. Mampostería Estructural		4. Vigas de cimentación		4. Recuperación	
5. Mixto		5. Placas de concreto		5. Placa	
6. Tabique		6. Otra. Cuál?		6. Otra. Cuál?	
7. Prefabricada					
8. Recuperación					
XV. ESTRUCTURA DE LA PLACA DE PISO		XVI. TIPO DE CUBIERTA		VII. CONDICION SUELO DE FUNDACION	
1. Concreto reforzado		1. Teja de Barro		1. Roca	
2. Metálica		2. Asbesto -cemento		2. Firme	
3. Madera		3. Zinc		3. Medio	
4. Tierra		4. Recuperación		4. Blando	
5. Otra. Cuál?		5. Otra. Cuál?		5. Relleno	
XVIII. CALIDAD DE LA CONSTRUCCION		XIX. EDAD DE LA CONSTRUCCION			
1. Buena					
2. Regular					
3. Mala					
DAÑO POR FACTORES EXTERNOS					
Deslizamiento		Asentamiento		Expansión	
Sismo		Vientos Fuertes		Caida de Bloques	
Otro. Cual?					
DAÑO EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES					
MURO	COLUMNA	VIGA	PISO	CUBIERTA	TODA LA CONSTRUCCION
1. Ninguno	1. Ninguno	1. Ninguno	1. Ninguno	1. Ninguno	1. Ninguno
2. Moderado	2. Moderado	2. Moderado	2. Moderado	2. Moderado	2. Moderado
3. Severo	3. Severo	3. Severo	3. Severo	3. Severo	3. Severo

Fuente. Convenio UPTC-CORPOCHIVOR.

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



## 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.

- 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 35268,7 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 entre la Formación Conejo (Kscn) y el Deposito Coluvial (Qc)
  
- Con ayuda del software Res2DIN VX64, se relacionaron datos de las respectivas resistividades de los materiales del área obtenidas por el equipo, resultando así el modelamiento del talud, donde se observan que el área está conformada por tres unidades Geoeléctricas bien definidas, donde encontramos niveles de arcillas saturadas con rangos de resistividades que oscilan entre 14 – 20 Ω\*m, arcillas semisaturadas o no saturadas con resistividades que van desde 20 - 40 Ω\*m, intercalación de areniscas con resistividades entre 80 – 200 Ω\*m.



## 12 RECOMENDACIONES .

- Debido a la vulnerabilidad estructural de las viviendas presentes en el área de estudio, deberán ser desalojadas todas la viviendas que se encuentren en zona de amenaza media, alta o a 50 m de éstas.
- Se recomienda la construcción de canales para el manejo del agua de escorrentía presente en el terreno.
- Se deberá construir un muro de contención para la protección de la vía, de acuerdo a la ubicación mostrada en el anexo 12.
- Se debe construir un sistema de subdrenes con el fin de mitigar el nivel freático en las zonas de depósito o material movilizado.
- Se recomienda la instalación de piezómetros, para monitorear la posición del nivel freático.
- Se deberá amojonar diferentes puntos en las zonas de deslizamiento y tomar lecturas trimestrales, para medir desplazamientos y determinar su velocidad.
- Se recomienda instalar inclinómetros en el muro de contención para monitorizar sus deformaciones y estabilidad.



## 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 CORINE Land 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 – términos de uso común 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.