



INFORME FINAL

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

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

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
<i>INTRODUCCION</i>	11
1 <i>GENERALIDADES</i>	12
1.1. PRESENTACION (JUSTIFICACION Y ALCANCE)	12
1.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	12
1.2.1. Objetivo General	12
1.2.2. Metodología.....	13
1.3. LOCALIZACIÓN.....	14
1.4. PERSONAL.....	14
1.5. DESCRIPCION DE ACTIVIDADES REALIZADAS	15
1.5.1. Trabajo de campo.....	16
1.6. ANÁLISIS DE LABORATORIO.....	17
1.6.1. Trabajos de Oficina	17
1.7. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y SUS POSIBLES CAUSAS.....	18
1.8. ESTADO DE LA INFORMACIÓN	19
2 <i>ASPECTOS CLIMATICOS E HIDROLOGICOS</i>	20
2.1 ASPECTOS CLIMATICOS E HIDROLOGICOS	20
2.2. ANÁLISIS HIDROLÓGICO.....	21
2.3. BALANCE HÍDRICO.....	21
2.3.1. Tipos de recarga.....	22
2.3.2. Estimación de la escorrentía	24
2.3.3. Estimación de la precipitación.....	31
2.4. ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP).....	35
2.4.1. Formula de J. B. García y J.D. López.....	35
2.4.2. Estimación del Balance Hídrico	36
2.4.3. Metodología.....	37
2.4.4. RESULTADOS OBTENIDOS	40
2.4.5. Morfometría de la cuenca.....	42
3 <i>GEOLOGIA</i>	47
3.1. GEOLOGÍA HISTÓRICA	48

3.2.	GEOLOGÍA LOCAL.....	48
3.2.1.	Formación Une (Kiu)	48
3.2.2.	Formación Churuvita (Ksch).....	49
3.2.3.	Formación Conejo (Kscn).....	49
3.2.4.	Formación Plaeners (Kg2).	50
3.2.5.	Formación Labor y Tierna (Kg1).....	50
3.3.	DEPOSITOS CUATERNARIOS	51
3.3.1.	Cuaternarios Coluviales (Qc).....	51
4	GEOMORFOLOGÍA LOCAL	52
4.1.	ANÁLISIS FOTOGEOLOGÍCO	52
4.2.	PROCESOS MORFODINÁMICOS	54
4.2.1.	Los deslizamientos compuestos.....	54
4.2.2.	Reptaciones.....	57
4.3.	INCLINACIÓN DE LAS PENDIENTES	60
4.4.	UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	62
4.4.1.	Geoformas de Origen Denudacional.	63
4.5.	MORFODINÁMICA - INTENSIDAD DE EROSIÓN.....	66
4.6.	USO ACTUAL Y COBERTURA DEL SUELO	67
4.6.1.	Descripción regional	69
4.6.2.	Cobertura y uso de suelo para el área de influencia del estudio	72
4.6.3.	Estudio de la flora.....	75
4.6.11.	Áreas y porcentajes de las coberturas en el área de estudio	100
5	GEOELECTRICAESTUDIO GEOELECTRICO (TOMOGRAFIA	
	ELECTRICA RESISTIVA)	102
5.1.	INTRODUCCION.....	102
5.2.	OBJETIVO	105
5.3.	PRINCIPIO DEL METODO GEOFISICO	105
5.3.1.	Resistividad Aparente:.....	105
5.3.2.	Dispositivos:	108
5.4.	METODOLOGIA.....	109
5.4.1.	TOMOGRAFIA N°1	110
5.4.2.	TOMOGRAFIA N°2	114
5.4.3.	RESULTADOS	117
6	GEOTECNIA	118
6.1.	EXPLORACIÓN DE CAMPO.....	118

6.2.	Sondeos geotécnicos	118
6.2.1.	Exploración directa del sub suelo.	118
6.3.	CARACTERIZACIÓN DEL SUELO Y SUBSUELO	120
6.3.1.	Trabajos de Laboratorio	120
6.3.2.	Propiedades mecánicas de las rocas	124
6.3.3.	Resumen de resultados.....	124
6.4.	Clasificación del Macizo Rocoso.	129
6.4.1.	Índice de Calidad de la Roca (RQD):	129
6.4.2.	Clasificación Según el RMR:	130
6.4.3.	Clasificación Según el Índice Geológico de Resistencia (GSI):.....	132
6.5.	CINEMÁTICA DE LOS MOVIMIENTOS	134
6.6.	CAUSAS DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA.....	134
6.6.1.	Causas Reales	134
6.6.2.	Causas Inmediatas.....	135
6.7.	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y MODELACIÓN GEOTÉCNICA	136
6.7.1.	Modelamiento del comportamiento hidráulico.....	137
6.7.2.	Efecto de la Aceleración Sísmica en el Modelo.....	137
6.7.3.	Análisis estructuralmente controlado.....	139
6.7.4.	Análisis estructuralmente no controlado.....	149
7	<i>ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA</i> 154	
1.9.	7.1. DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DE AMENAZAS.....	154
7.1.1.	Resultado de análisis	157
7.2.	ANALISIS DE AMENAZA	158
7.2.1.	Amenaza Media.....	159
7.2.2.	Amenaza Baja.	161
8	<i>EVALUACIÓN Y ANALISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO</i>	162
8.1.	Vulnerabilidad.....	162
8.1.1.	Inventario de viviendas	163
8.2.	ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD	164
8.2.1.	Tipificación de las Estructuras	166
8.3.	CALIFICACION DE LOS DAÑOS.....	167
8.3.1.	Índice de exposición (IE)	168
8.3.2.	Índice de resistencia (IR).....	169
8.3.3.	Intensidad e índice de daño.....	173
8.4.	EVALUACION Y GENERACION DE ESCENARIOS DE RIESGO.....	175

8.4.1.	Resultados de encuestas	176
8.5.	ANÁLISIS Y GRAFICAS ESTADÍSTICAS DE LAS ENCUESTAS REALIZADAS EN EL MUNICIPIO DE VIRACACHA, VEREDA GALINDOS.	177
9.	<i>OBRAS RECOMENDADAS</i>	194
10.	<i>CONCLUSIONES</i>	195
11.	<i>RECOMENDACIONES</i>	197
12.	<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	199

LISTAS DE FOTOGRAFÍAS.

	Pág.
Fotografía 1. Tejido urbano discontinuo presente en la zona de estudio	79
Fotografía 2. Tejido urbano discontinuo presente en la zona de estudio.	79
Fotografía 3. Red vial zona de estudio.....	80
Fotografía 4. Tejido artificializado de nivel 4 red vial.....	81
Fotografía 5. Pyrus communis	83
Fotografía 6. Rubus ulmifolius.....	84
Fotografía 7. Cultivos agroforestales.....	85
Fotografía 8. Pastos limpios presente en la zona de estudio	89
Fotografía 9. Pastos limpios presente en la zona de estudio	90
Fotografía 10. Bosque denso bajo de tierra firme.....	93
Fotografía 11. Eucaliptos presentes en la zona de estudio	95
Fotografía 12. Cupressaceae	96
Fotografía 13. Arbustal Abierto Mesofilo.....	98
Fotografía 14. Embalse	99
Fotografía 15. Parte baja del deslizamiento.	112
Fotografía 16. Parte alta del deslizamiento.	115
Fotografía 17. Perforación realizada en la zona de estudio.....	119
Fotografía 18. Muestra fallada en el ensayo de compresión no confinada.....	123
Fotografía 19. Muestras a las que se les realizo la prueba de corte directo.	123
Fotografía 20. Panoramica de la zona afectada	158
Fotografía 21. Se observa vía vereda La Placa - Galindos	160
Fotografía 22. Proceso de reptamiento hacia la parte baja	161
Fotografía 23. Desplazamiento del material.	176
Fotografía 24. Parte baja del área evaluada.....	177
Fotografía 25. Unidad sanitaria de vivienda evaluada.	179
Fotografía 26. Niños en vivienda de zona evaluada.....	181
Fotografía 27. Vivienda en riesgo.....	182
Fotografía 28. Vivienda en riesgo.....	183
Fotografía 29. Vivienda en donde habitan menores de edad.	184
Fotografía 30. Vivienda parte alta del deslizamiento	185
Fotografía 31. Hundimiento de terreno parte baja del deslizamiento.	188
Fotografía 32. Movimiento de terreno, parte media del deslizamiento.	189
Fotografía 33. Vista desde la parte alta del movimiento.	191
Fotografía 34. Vista de la parte baja del movimiento.....	192

LISTA DE TABLAS.

	Pág.
Tabla 1. Tabla general para la determinación de número de curva (CN).....	26
Tabla 2. Escorrentía Estación Viracacha, suelo tipo CL.....	29
Tabla 3. Escorrentía Estación Viracacha, suelo tipo CL.....	30
Tabla 4. Estaciones pluviométricas utilizadas en la estimación de la precipitación para el área de estudio.....	31
Tabla 5. Precipitación media multianual mensual por estación.....	32
Tabla 6. Rangos de temperatura Viracachá.....	36
Tabla 7. Valores de Evapotranspiración.....	36
Tabla 8. Calculo de Infiltración, basado en los valores de escorrentía (R) y precipitación (P). Estación Viracacha.....	39
Tabla 9. Estimación del Balance Hídrico.....	41
Tabla 10. Valores de parámetros morfométricos para la microcuenca.....	46
Tabla 11. Clasificación de las pendientes.....	61
Tabla 12. Descripción geomorfológica.....	65
Tabla 13. Áreas de coberturas.....	101
Tabla 14. Resistividades de algunos suelos y rocas.....	107
Tabla 15. Datos de resistividad y materiales.....	112
Tabla 16. Datos de resistividad y materiales.....	115
Tabla 17. Coordenadas de los sondeos realizados.....	119
Tabla 18. Resumen de resultados ensayos de laboratorio (Suelos).....	126
Tabla 19. Resumen de resultados ensayos de laboratorio (Rocas).....	127
Tabla 20. Resumen de Resultados de la Clasificación RMR.....	132
Tabla 21. Coeficientes de aceleración sísmica para el departamento Boyacá....	138
Tabla 22. Coeficientes de reducción de coeficientes de aceleración sísmica.....	138
Tabla 23. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla planar.....	140
Tabla 24. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.....	140
Tabla 25. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.....	140
Tabla 26. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla planar.....	141
Tabla 27. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.....	141
Tabla 28. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.....	142
Tabla 29. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla planar.....	142
Tabla 30. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.....	143
Tabla 31. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.....	143
Tabla 32. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla planar.....	144
Tabla 33. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.....	144
Tabla 34. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.....	144
Tabla 35. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla planar.....	145

Tabla 36. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.....	145
Tabla 37. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.....	146
Tabla 38. Factores de seguridad para el modelo perfil B-B'.....	150
Tabla 39. Factores de seguridad para el modelo perfil B-B'.....	152
Tabla 40. Factores de seguridad para el modelo perfil C-C'	153
Tabla 41. Parámetros físicos y naturales estimados para la Identificación de Zonas Inestables (Deslizamientos)	155
Tabla 42. Categorización de amenazas por FRM	157
Tabla 43. Categorización de amenaza por frm SEGÚN NSR-10	157
Tabla 44. Criterios de resistencia de la estructura	166
Tabla 45. Categorías de los daños.....	167
Tabla 46. Índice de Exposición.....	169
Tabla 47. Factores de Ponderación	172
Tabla 48. Matriz para la determinación intensidad de daño	173
Tabla 49. Determinación índice de daño.....	174
Tabla 50. Matriz para escenarios de riesgo.....	175
Tabla 51. Número de integrantes por familia.....	176

LISTAS DE FIGURAS.

	Pág.
Figura 1. Localización geográfica.....	14
Figura 2. Gráfico de precipitación media multianual.....	34
Figura 3. Comportamiento de las Curvas del Balance Hídrico	42
Figura 4. Imagen ilustrativa de la microcuenca Viracachá	45
Figura 5. Imagen mapa Geológico	47
Figura 6. Fotografías pertenecientes al vuelo 2804- 104,105	53
Figura 7. Esquema del movimiento compuesto.....	55
Figura 8. Esquema del movimiento, perfil deslizamiento compuesto	55
Figura 9. Esquema del movimiento compuesto.....	56
Figura 10. Esquema del movimiento, perfil deslizamiento compuesto	57
Figura 11. Esquema del movimiento, reptación 1	58
Figura 12. Esquema del movimiento, Perfil reptación 1.	58
Figura 13. Esquema del movimiento, reptación 2	59
Figura 14. Esquema del movimiento, perfil reptación 2.....	60
Figura 15. Imagen del Mapa de inclinación de las pendientes.....	61
Figura 16. Imagen del Mapa geomorfológico.	62
Figura 17. Imagen del Mapa erosión.....	67
Figura 18. Posiciones aproximadas de las Líneas guía de las regiones latitudinales	70
Figura 19. Criterios para la clasificación de los bosques.....	92
Figura 20. Mapa cobertura vegetal y uso de suelo.....	100
Figura 21. Porcentaje de coberturas	101
Figura 22. Principio teórico de operación de las TER's.....	103
Figura 23. Rangos de resistividad para diferentes materiales.....	104
Figura 24. Dispositivo Wenner.	108
Figura 25. Localización líneas de tomografía.....	111
Figura 26. Perfil 1 tomografía.....	113
Figura 27. Perfil litológico 1	114
Figura 28. Perfil 2 tomografía.....	116
Figura 29. Perfil litológico 2	117
.....	117
Figura 30. Límites de Atterbeg	121
Figura 31. Perfil geotécnico.....	128
Figura 32. Guía para la definición del Índice geológico de resistencia (GSI).	133
Figura 33. Orientación de planos en la zona 1	146
Figura 34. Orientación de planos en la zona 2	147

Figura 35. Orientación de planos en la zona 3	147
Figura 36. Orientación de planos en la zona 4	148
Figura 37. Orientación de planos en la zona 5	148
Figura 38. Perfil geológico A-A'	149
Figura 39. Modelo de análisis perfil A-A'	150
Figura 40. Perfil geológico B-B'	151
Figura 41. Modelo de análisis perfil B-B'	151
Figura 42. Perfil geológico C-C'	152
Figura 43. Modelo de análisis perfil C-C'	153
Figura 44. Indicadores de Índice de Vulnerabilidad social.....	164
Figura 45. Tipología de viviendas.....	171

LISTAS DE ANEXOS

ANEXO 1 - MAPAS TEMÁTICOS

MAPA 1 GEOLÓGICO

MAPA 2 GEOMORFOLÓGICO

MAPA 3 SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSIÓN

MAPA 4 DE PENDIENTES

MAPA 5 HIDROGEOLÓGICO

MAPA 6 ZONIFICACIÓN GEOMECÁNICA

MAPA 7 ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA

MAPA 8 VULNERABILIDAD FÍSICA Y SOCIAL

MAPA 9 ZONIFICACIÓN DE RIESGOS POR FRM

ANEXO 2 - ANÁLISIS FOTO INTERPRETACIÓN

ANEXO 3 – ENSAYOS DE SUELOS

ANEXO 4 - CARTERAS TOPOGRÁFICAS

ANEXO 5 - HIDROLOGÍA

ANEXO 6 - CURVAS IDF

ANEXO 7 - FICHAS DE INVENTARIO DE PROCESOS GEOMORFOLÓGICOS

ANEXO 8 - ENCUESTAS SOCIOECONÓMICAS

ANEXO 9 - FORMATO DE INFORMACIÓN DE VULNERABILIDAD FISICA

ANEXO 10 - MEMORIAS DE DISEÑO DE OBRAS

ANEXO 11 - PRESUPUESTO DE OBRAS Y MANUAL DE ESPECIFICACIONES

TECNICAS

ANEXO 12 - PLANOS DE OBRAS RECOMENDADAS

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

INTRODUCCION.

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

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

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

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

■ GENERALIDADES

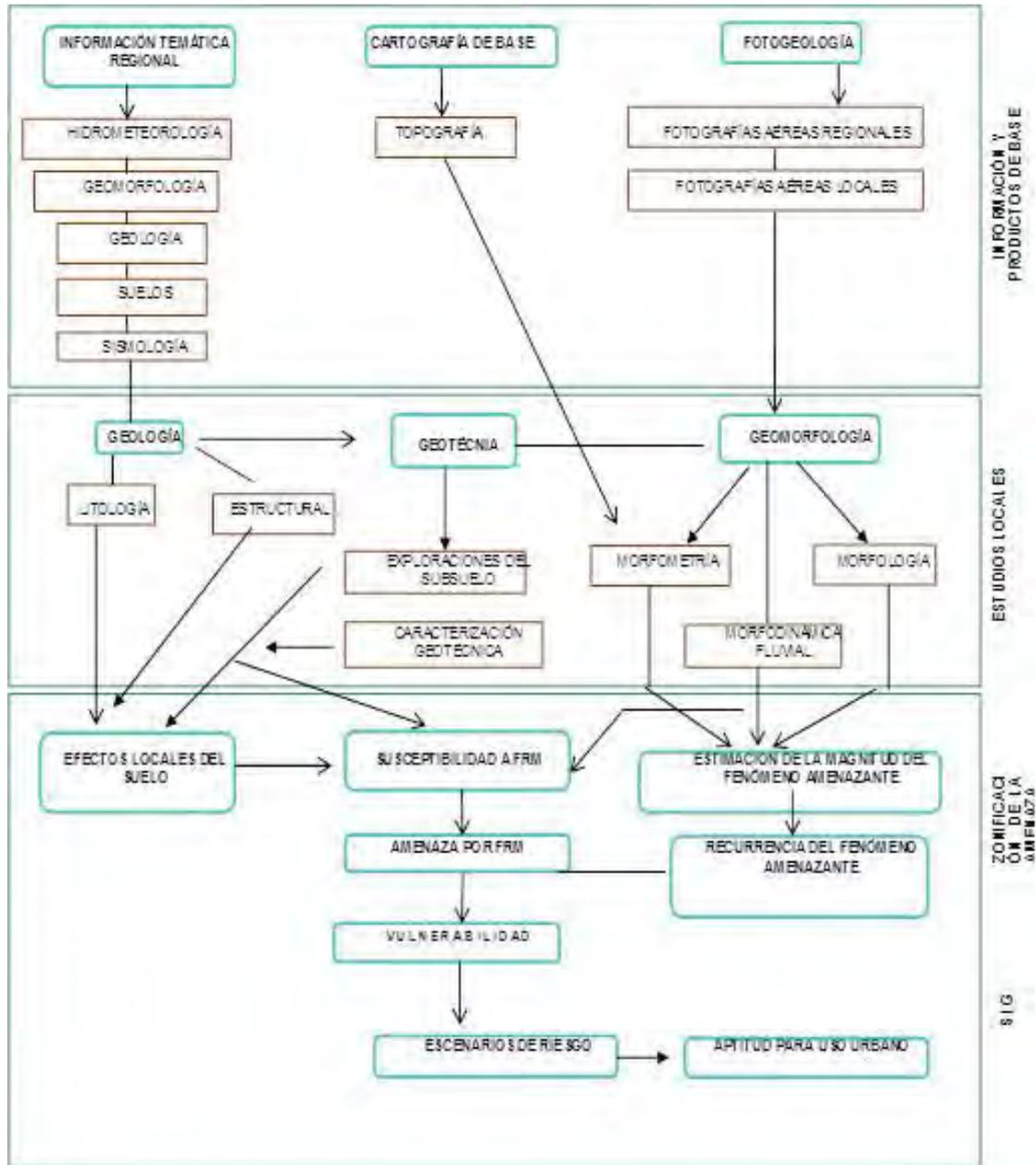
1.1. PRESENTACION (JUSTIFICACION Y ALCANCE)

1.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.2.1. Objetivo General

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

1.2.2 Metodología



1.3. LOCALIZACIÓN.

Figura 1. Localización geográfica.



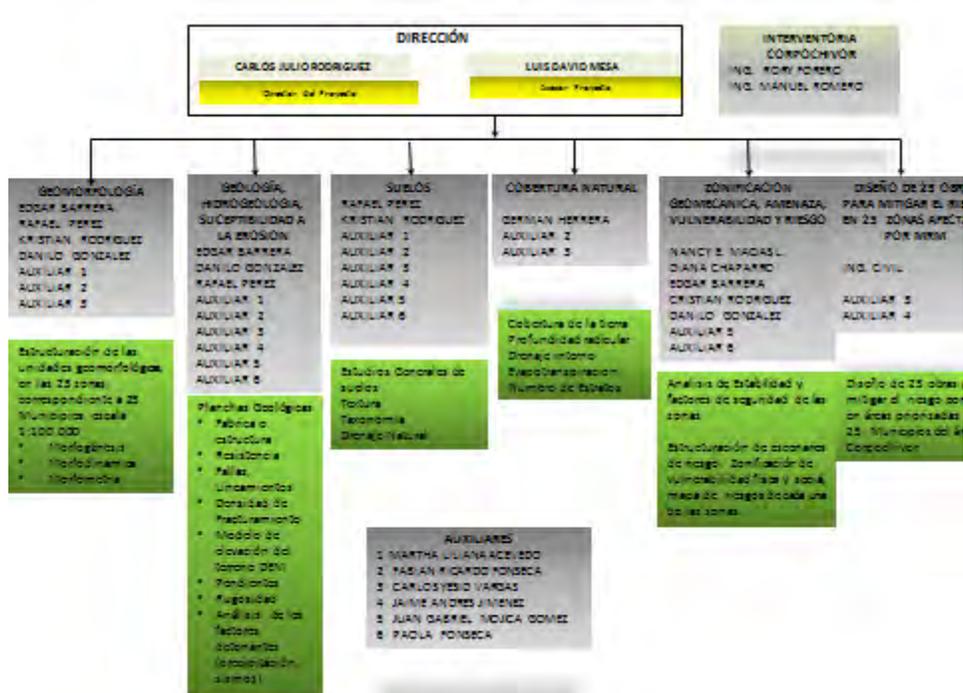
Fuente: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colombia_-_Boyaca_-_Viracacha.svg.

El área de Estudio se encuentra en las coordenadas N 1092247, E 1087151, a una altura de 2290 msnm; en la Provincia de Márquez, en el Municipio de Viracachá, Vereda de Galindos.

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,

Daniilo H. Gonzalez, Nancy E. Macías Leguizamón, Kristian Rodríguez, Ingeniero Ambiental German Saavedra, Socióloga Diana Chaparro, El Ingeniero topógrafo Jorge Mesa y para el desarrollo de prospección Geoeléctrica se capacito personal que hace parte del convenio, la universidad contrato los servicios de Supervisión Rory Forero ,Manuel Romero, Catalina Rodríguez, la interventoría Técnica externa contratada por Corpochivor.



ORGANIGRAMA

1.5. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES REALIZADAS

En la primera fase de la investigación se hizo el reconocimiento de la zona inestable, estableciendo aspectos geológicos y sectores con similares patrones de desplazamiento, buscando definir la evolución cronológica de la inestabilidad, al igual que su dinámica y una clasificación preliminar de los eventos. Esto sirvió de

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

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.

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.

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

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

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

1.6. ANÁLISIS DE LABORATORIO.

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

1.6.1. Trabajos de Oficina

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

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

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

Las planchas geológicas del IGAC tomadas en cuenta, fueron la 191 y 210, a escala 1:100.000.; los datos de pluviometría del IDEAM de los años de 1957 a 2011, de la estación de Viracachá.

1.7. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y SUS POSIBLES CAUSAS

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

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

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

1.8. ESTADO DE LA INFORMACIÓN

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

La información recopilada tuvo en cuenta aspectos tales como:

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

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

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

■ ASPECTOS CLIMATICOS E HIDROLOGICOS

2.1 ASPECTOS CLIMATICOS E HIDROLOGICOS

Desde el punto de vista biofísico, el clima es importante por su directa intervención en la evolución de los suelos y el paisaje. También por ser uno de los elementos o insumos necesarios para la determinación de las amenazas naturales y desde el punto de vista socioeconómico, por la influencia en la decisión de utilización de las tierras para determinados usos específicos utilizando el territorio.

Según la clasificación de Köppen, el área de estudio presenta un clima de tipo EH: Frío de alta montaña. Al igual que todas las regiones de la Zona Intertropical, el clima está influenciado solamente por la altitud y las corrientes oceánicas que causan leves variaciones de temperatura, las más significativas entre el día y la noche.

Cuenta con dos periodos de baja precipitación (Diciembre a Marzo y Julio a Septiembre) y dos periodos lluviosos (Abril a Junio y Octubre a Noviembre), que varían su intensidad según la influencia de los fenómenos de la Corriente de Humboldt que se presentan cada 2 o 3 años en los países del norte de Sudamérica.

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

El 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.

2.2. 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.

2.3. BALANCE HÍDRICO.

Para estimar las reservas del agua subterránea de los sistemas acuíferos que se extienden subsuperficialmente y en el subsuelo dentro del área de estudio perteneciente al municipio de Tibana y sus alrededores, se debe evaluar la magnitud de la recarga potencial proveniente de la precipitación a través de los suelos teniendo en cuenta espacial y temporalmente la magnitud de la escorrentía, la evapotranspiración y la variaciones de contenido de humedad de los suelos de

cada una de las cuencas y/o subcuencas involucradas en el área de estudio. Por tal razón se hace necesaria la estimación de la escorrentía superficial, evapotranspiración y valores de precipitación media mensual multianual en cada una de las subcuencas, lo que permitirá estimar el Balance Hídrico con el fin de obtener la oferta total de agua subterránea y superficial.

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

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

2.3.1. 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).

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

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

- Recarga directa o recarga difusa, proveniente del agua lluvia
- Recarga concentrada o indirecta, producto de cauces permanentes, estacionales y efímeros.
- Flujos laterales, procedentes de otros acuíferos.
- Retorno de riegos, excesos de riegos o las pérdidas en los canales de distribución.
- 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.

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

- **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.

2.3.2. 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

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

relación lluvia-escorrentía es una función del tipo de suelo, uso del suelo y de condiciones hidrológicas (Chow et al., 1964; USDA, 1986).

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

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

Dónde:

S= (25400/CN)-254

P= Precipitación

CN= Número de curva (tablas)

Q= Escorrentía

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

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

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

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

Cultivos densos de leguminosas o prados en alternancia	R	Pobre	66	77	85	89
	R	Buena	58	72	81	85
	C	Pobre	64	75	83	85
	C	Buena	55	69	78	83
	C + T	Pobre	63	73	80	83
	C + T	Buena	51	67	76	80
Pastizales o pastos naturales	-	Pobres	68	79	86	89
	-	Regulares	49	69	79	84
	-	Buenas	39	61	74	80
Pastizales	C	Pobres	47	67	81	88
	C	Regulares	25	59	75	83
	C	Buenas	6	35	70	79
Prados permanentes	-	-	30	58	71	78
Matorral-herbazal, siendo el matorral preponderante	-	Pobres	48	67	77	83
	-	Regulares	35	56	70	77
	-	Buenas	≤30	48	65	73
Combinación de arbolado y herbazal, cultivos agrícolas leñosos	-	Pobres	57	73	82	86
	-	Regulares	43	65	76	82
	-	Buenas	32	58	72	79
Montes con pastos (aprovechamiento silvopastorales)	-	Pobres	45	66	77	83
	-	Regulares	36	60	73	79
	-	Buenas	25	55	70	77
Bosques	-	I Muy pobre	56	75	86	91
	-	II Pobre	46	68	78	84
	-	III Regular	36	60	70	76
	-	IV Buena	26	52	63	69

	-	V Muy buena	15	44	54	61
Caseríos	-	-	59	74	82	86
Caminos en tierra	-	-	72	82	87	89
Caminos con firme	-	-	74	84	90	92

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

Dónde:

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

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

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

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

Tabla 2. Escorrentía Estación Viracacha, suelo tipo CL

P	R	SCL	CN
35,6333333	4,34533065	75,8701299	77
38,825	5,62060257		
48,7166667	10,2831574		
79,25	29,3379403		
64,5	19,4339252		
46,9166667	9,36315676		
50,6666667	11,3119271		
33	3,39144678		
49,5	10,6925059		
97,5	42,8428124		
74,25	25,8619597		
92,5	39,0304068		
81,9166667	31,2354923		
81,2916667	30,7881615		
91,4583333	38,2459799		
97,9	43,1510397		
78,4833333	28,7978488		
69,4666667	22,64619		
89,7333333	36,9548036		
73,075	25,0616366		
94,325	40,4130569		
94,5583333	40,5905838		
95,2916667	41,1496128		
85,5333333	33,8538684		
83,4716667	32,3551353		
90,9666667	37,876958		
81,7666667	31,1279907		
76,2916667	27,2678794		
107,325	50,5400918		

Fuente: Resultado del estudio

Tabla 3. Escorrentía Estación Viracacha, suelo tipo CL

119,666667	60,5375044
85,425	33,7747199
76,2916667	27,2678794
52,5066667	12,3117664
85,5666667	33,8782306
78,3333333	28,6924711
85,4583333	33,7990686
99,3416667	44,2657488
81,6416667	31,0384745
99,65	44,5049179
74,25	25,8619597
101,683333	46,0887188
86,7666667	34,7579676
99,8916667	44,6925605
71,675	24,1167443
88,0583333	35,710681
87,3916667	35,2182196
95,8583333	41,582708
80,8833333	30,4967526
99,3	44,233449
85,0166667	33,4767807
90,5916667	37,5960364
75,8666667	26,9736519
97,1083333	42,5414572
130,566667	69,6186798
99,375	44,291592

Fuente: Resultado del estudio

2.3.3. 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 6 estaciones climatológicas (Tabla 4) las cuales se encuentran ubicadas dentro y en áreas colindantes del área de estudio del presente convenio. Con el propósito de obtener el valor (mm) de precipitación media mensual multianual de la zona de estudio se utilizaron los datos mensuales de las estaciones seleccionadas para un periodo de 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 4. Estaciones pluviométricas utilizadas en la estimación de la precipitación para el área de estudio.

CODIGO	NOMBRE ESTACION	CORRIENTE	NOMBRE DEPARTAMENTO	NOMBRE MUNICIPIO
35070512	VIRACACHA	RIO VIRACACHA	BOYACA	VIRACACHA

Fuente: Resultado del estudio

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

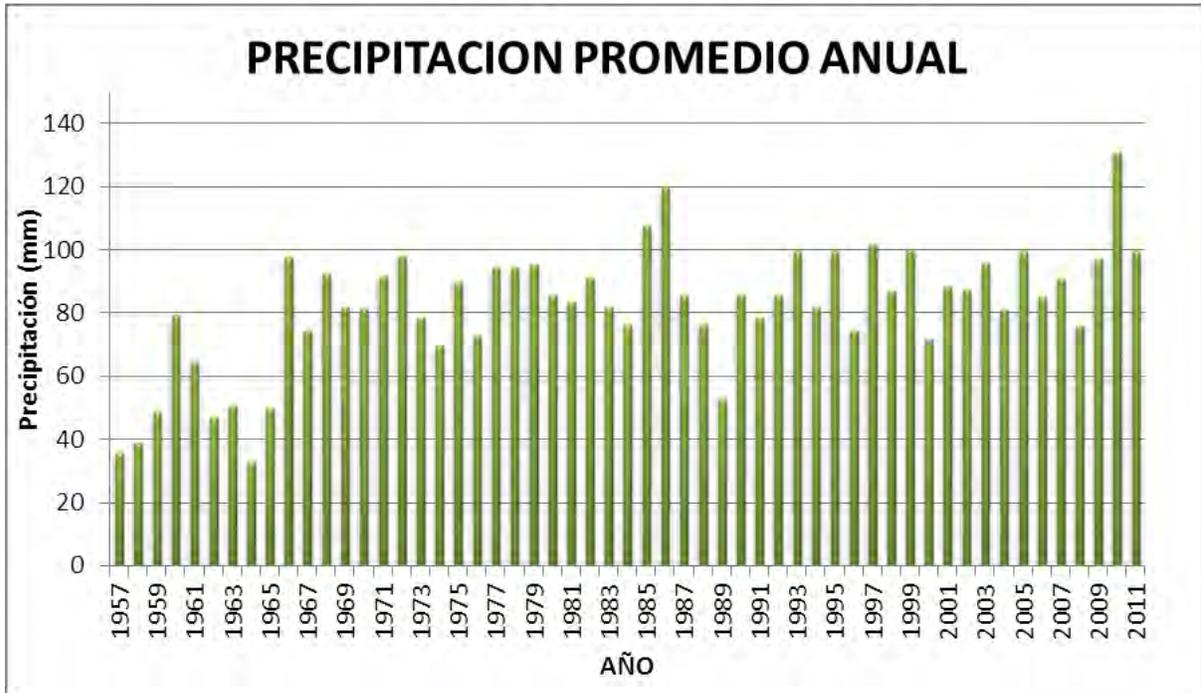
Tabla 5. Precipitación media multianual mensual por estación.

NOMBRE ESTACION	ESTE	NORTE	P
VIRACACHA	1087151	1092247	35,6333333
VIRACACHA	1087151	1092247	38,825
VIRACACHA	1087151	1092247	48,7166667
VIRACACHA	1087151	1092247	79,25
VIRACACHA	1087151	1092247	64,5
VIRACACHA	1087151	1092247	46,9166667
VIRACACHA	1087151	1092247	50,6666667
VIRACACHA	1087151	1092247	33
VIRACACHA	1087151	1092247	49,5
VIRACACHA	1087151	1092247	97,5
VIRACACHA	1087151	1092247	74,25
VIRACACHA	1087151	1092247	92,5
VIRACACHA	1087151	1092247	81,9166667
VIRACACHA	1087151	1092247	81,2916667
VIRACACHA	1087151	1092247	91,4583333
VIRACACHA	1087151	1092247	97,9
VIRACACHA	1087151	1092247	78,4833333
VIRACACHA	1087151	1092247	69,4666667
VIRACACHA	1087151	1092247	89,7333333
VIRACACHA	1087151	1092247	73,075
VIRACACHA	1087151	1092247	94,325
VIRACACHA	1087151	1092247	94,5583333
VIRACACHA	1087151	1092247	95,2916667
VIRACACHA	1087151	1092247	85,5333333
VIRACACHA	1087151	1092247	83,4716667
VIRACACHA	1087151	1092247	90,9666667
VIRACACHA	1087151	1092247	81,7666667
VIRACACHA	1087151	1092247	76,2916667
VIRACACHA	1087151	1092247	107,325
VIRACACHA	1087151	1092247	119,666667
VIRACACHA	1087151	1092247	85,425
VIRACACHA	1087151	1092247	76,2916667

VIRACACHA	1087151	1092247	52,5066667
VIRACACHA	1087151	1092247	85,5666667
VIRACACHA	1087151	1092247	78,3333333
VIRACACHA	1087151	1092247	85,4583333
VIRACACHA	1087151	1092247	99,3416667
VIRACACHA	1087151	1092247	81,6416667
VIRACACHA	1087151	1092247	99,65
VIRACACHA	1087151	1092247	74,25
VIRACACHA	1087151	1092247	101,683333
VIRACACHA	1087151	1092247	86,7666667
VIRACACHA	1087151	1092247	99,8916667
VIRACACHA	1087151	1092247	71,675
VIRACACHA	1087151	1092247	88,0583333
VIRACACHA	1087151	1092247	87,3916667
VIRACACHA	1087151	1092247	95,8583333
VIRACACHA	1087151	1092247	80,8833333
VIRACACHA	1087151	1092247	99,3
VIRACACHA	1087151	1092247	85,0166667
VIRACACHA	1087151	1092247	90,5916667
VIRACACHA	1087151	1092247	75,8666667
VIRACACHA	1087151	1092247	97,1083333
VIRACACHA	1087151	1092247	130,5666667
VIRACACHA	1087151	1092247	99,375

Fuente: Resultado del estudio

Figura 2. Gráfico de precipitación media multianual.



Fuente: Resultado del estudio

El comportamiento de la precipitación promedio anual, para los años 1957, 1961, 1965, 1989, 2003, 2009 (Figura 2) se encuentran valores que varían entre los 30 - 70 mm, en los años 1966-1972-1985-1993-1995-1999-2005-2010-2011-2010 se encuentran valores que varían entre los 80-130 mm y los años restantes se presentan valores que varían entre 60-90 mm.

2.4. ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP)

2.4.1. 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 6. Rangos de temperatura Viracachá.

	Temperatura (°C)
Periodo 1	15.2
Periodo 2	15.6
Periodo 3	16.8

Fuente: Resultado del estudio

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

Tabla 7. Valores de Evapotranspiración

ETP1	ETP2	ETP3
3,27926959	3,36603828	3,63951626

Fuente: Resultado del estudio

2.4.2. Estimación del Balance Hídrico

La estimación del balance hídrico para la zona de estudio se realizó partiendo de los resultados del cálculo de precipitación, escurrimiento y evapotranspiración media mensual multianual. Para poder calcular los valores de recarga potencial para las cuencas de los ríos Teatinos, Jenesano, esta recarga se estimó por medio del balance hídrico con base en los valores promedios mensuales de precipitación, evapotranspiración potencial y escurrimiento calculada por el método de número de



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

- Herramientas y métodos.

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

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

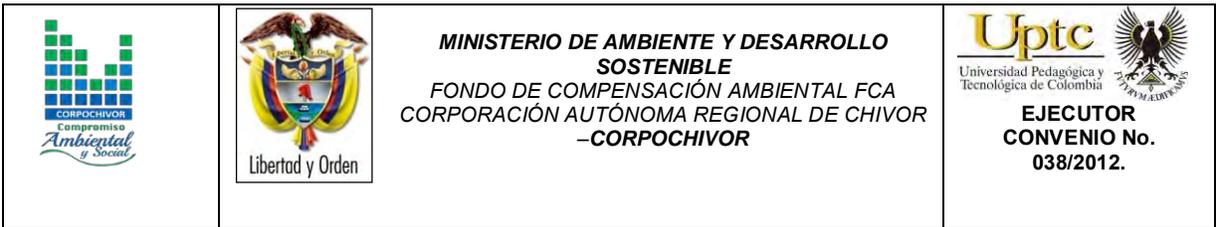
2.4.3. Metodología

La metodología utilizada para el cálculo de la recarga.

- Se realiza un procesamiento de los datos de las estaciones pluviométricas del IDEAM, generando tablas de precipitación media y mensual con el comportamiento multitemporal de las precipitaciones.

- Generación de tablas de evapotranspiración media con el comportamiento multitemporal de la evapotranspiración, a partir de los datos de temperatura del IDEAM, aplicando la **Formula de J. B. García y J.D. López.** para el cálculo de la evapotranspiración.

- Se calcula el número de curva para cada categoría con características iguales de cobertura, velocidad de infiltración, condición hidrológica y uso del suelo.



Con la ecuación propuesta por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de Norteamérica se calcula la escorrentía para cada categoría y microcuenca, que utiliza el número de curva de escorrentía y la precipitación media mensual como variables.

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

Cálculo del balance hídrico.

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

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

P= precipitación

ESC = escorrentía

ETR= evapotranspiración

ΔS= cambios en el contenido de humedad del suelo

REC= recarga o infiltración potencial

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

$$I = P - ETR - R$$

Dónde:

P = precipitación media por el método de las isoyetas.

ETR = evapotranspiración real.

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

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

AÑO	P	R	I
1957	35,6333333	4,34533065	28,0087331
1958	38,825	5,62060257	29,9251278
1959	48,7166667	10,2831574	35,1542397
1960	79,25	29,3379403	46,6327901
1961	64,5	19,4339252	41,7868052
1962	46,9166667	9,36315676	34,2742404
1963	50,6666667	11,3119271	36,07547
1964	33	3,39144678	26,3292836
1965	49,5	10,6925059	35,5282245
1966	97,5	42,8428124	51,377918
1967	74,25	25,8619597	45,1087707
1968	92,5	39,0304068	50,1903236
1969	81,9166667	31,2354923	47,4019049
1970	81,2916667	30,7881615	47,2242356
1971	91,4583333	38,2459799	49,9330838
1972	97,9	43,1510397	51,4696907
1973	78,4833333	28,7978488	46,4062149
1974	69,4666667	22,64619	43,5412071
1975	89,7333333	36,9548036	49,4124914
1976	73,075	25,0616366	44,6473251
1977	94,325	40,4130569	50,5459048
1978	94,5583333	40,5905838	50,6017112
1979	95,2916667	41,1496128	50,7760157
1980	85,5333333	33,8538684	48,3134266
1981	83,4716667	32,3551353	47,7504931
1982	90,9666667	37,876958	49,7236704
1983	81,7666667	31,1279907	47,2726377
1984	76,2916667	27,2678794	45,657749

1985	107,325	50,5400918	53,4188699
1986	119,666667	60,5375044	55,7631244
1987	85,425	33,7747199	48,2842418
1988	76,2916667	27,2678794	45,657749
1989	52,5066667	12,3117664	36,8288621
1990	85,5666667	33,8782306	48,3223978
1991	78,3333333	28,6924711	46,274824
1992	85,4583333	33,7990686	48,2932264
1993	99,3416667	44,2657488	51,7098797
1994	81,6416667	31,0384745	47,2371539
1995	99,65	44,5049179	51,5055659
1996	74,25	25,8619597	44,748524
1997	101,683333	46,0887188	51,955098
1998	86,7666667	34,7579676	48,3691828
1999	99,8916667	44,6925605	51,55959
2000	71,675	24,1167443	43,9187394
2001	88,0583333	35,710681	48,708136
2002	87,3916667	35,2182196	48,5339308
2003	95,8583333	41,582708	50,636109
2004	80,8833333	30,4967526	46,7470644
2005	99,3	44,233449	51,4270347
2006	85,0166667	33,4767807	47,9003698
2007	90,5916667	37,5960364	49,356114
2008	75,8666667	26,9736519	45,2534985
2009	97,1083333	42,5414572	50,9273598
2010	130,566667	69,6186798	57,308471
2011	99,375	44,291592	51,4438917

Fuente: Resultado del estudio

2.4.4. RESULTADOS OBTENIDOS

Los valores obtenidos dentro del balance hídrico se encuentran resumidos en la Figura 3 y expresados esquemáticamente en la Tabla 9.

Tabla 9. Estimación del Balance Hídrico

AÑO	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966
PRECIPITACION PROMEDIO	35,6333333	38,825	48,7166667	79,25	64,5	46,9166667	50,6666667	33	49,5	97,5
ESCORRENTIA	4,34533065	5,62060257	10,2831574	29,3379403	19,4339252	9,36315676	11,3119271	3,39144678	10,6925059	42,8428124
EVAPOTRANSPIRACION	3,27926959	3,27926959	3,27926959	3,27926959	3,27926959	3,27926959	3,27926959	3,27926959	3,27926959	3,27926959
DELTA	28,0087331	29,9251278	35,1542397	46,6327901	41,7868052	34,2742404	36,07547	26,3292836	35,5282245	51,377918
ALMACENAMIENTO	28,0087331	29,9251278	35,1542397	46,6327901	41,7868052	34,2742404	36,07547	26,3292836	35,5282245	51,377918
DEFICIT										
RECARGA	28,0087331	29,9251278	35,1542397	46,6327901	41,7868052	34,2742404	36,07547	26,3292836	35,5282245	51,377918

1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978
74,25	92,5	81,9166667	81,2916667	91,4583333	97,9	78,4833333	69,4666667	89,7333333	73,075	94,325	94,5583333
25,8619597	39,0304068	31,2354923	30,7881615	38,2459799	43,1510397	28,7978488	22,64619	36,9548036	25,0616366	40,4130569	40,5905838
3,27926959	3,27926959	3,27926959	3,27926959	3,27926959	3,27926959	3,27926959	3,27926959	3,27926959	3,27926959	3,27926959	3,36603828
45,1087707	50,1903236	47,4019048	47,2242356	49,9330838	51,4696907	46,4062149	43,5412071	49,4992601	44,7340938	50,6326735	50,6017112
45,1087707	50,1903236	47,4019048	47,2242356	49,9330838	51,4696907	46,4062149	43,5412071	49,4992601	44,7340938	50,6326735	50,6017112
45,1087707	50,1903236	47,4019048	47,2242356	49,9330838	51,4696907	46,4062149	43,5412071	49,4992601	44,7340938	50,6326735	50,6017112

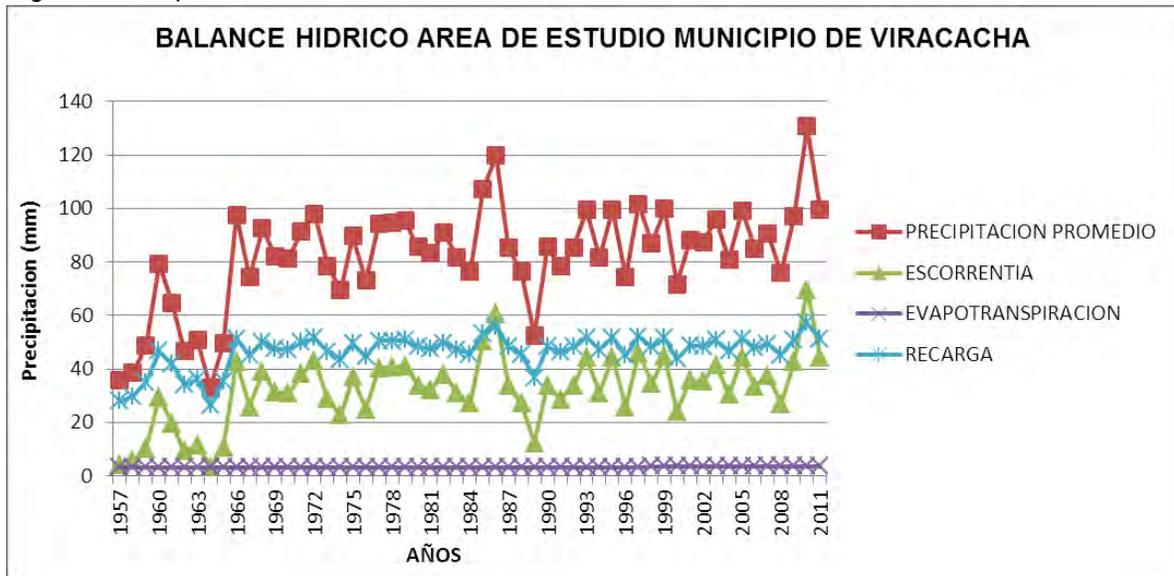
1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
94,5583333	95,2916667	85,5333333	83,4716667	90,9666667	81,7666667	76,2916667	107,325	119,666667	85,425	76,2916667
40,5905838	41,1496128	33,8538684	32,3551353	37,876958	31,1279907	27,2678794	50,5400918	60,5375044	33,7747199	27,2678794
3,36603828	3,36603828	3,36603828	3,36603828	3,36603828	3,36603828	3,36603828	3,36603828	3,36603828	3,36603828	3,36603828
50,6017112	50,7760156	48,3134266	47,7504931	49,7236704	47,2726377	45,657749	53,4188699	55,7631243	48,2842418	45,657749
50,6017112	50,7760156	48,3134266	47,7504931	49,7236704	47,2726377	45,657749	53,4188699	55,7631243	48,2842418	45,657749
50,6017112	50,7760156	48,3134266	47,7504931	49,7236704	47,2726377	45,657749	53,4188699	55,7631243	48,2842418	45,657749

1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
52,5066667	85,5666667	78,3333333	85,4583333	99,3416667	81,6416667	99,65	74,25	101,683333	86,7666667	99,8916667	71,675
12,3117664	33,8782306	28,6924711	33,7990686	44,2657488	31,0384745	44,5049179	25,8619597	46,0887188	34,7579676	44,6925605	24,1167443
3,36603828	3,36603828	3,36603828	3,36603828	3,36603828	3,36603828	3,36603828	3,36603828	3,36603828	3,36603828	3,36603828	3,36603828
36,828862	48,3223978	46,2748239	48,2932264	51,7098796	47,2371539	51,7790438	45,022002	52,2285759	48,3691828	51,5595899	43,9187394
36,828862	48,3223978	46,2748239	48,2932264	51,7098796	47,2371539	51,7790438	45,022002	52,2285759	48,3691828	51,5595899	43,9187394
36,828862	48,3223978	46,2748239	48,2932264	51,7098796	47,2371539	51,7790438	45,022002	52,2285759	48,3691828	51,5595899	43,9187394

2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
88,0583333	87,3916667	95,8583333	80,8833333	99,3	85,0166667	90,5916667	75,8666667	97,1083333	130,566667	99,375
35,710681	35,2182196	41,582708	30,4967526	44,233449	33,4767807	37,5960364	26,9736519	42,5414572	69,6186798	44,291592
3,63951626	3,63951626	3,63951626	3,63951626	3,63951626	3,63951626	3,63951626	3,63951626	3,63951626	3,63951626	3,63951626
48,708136	48,5339308	50,636109	46,7470644	51,4270347	47,9003697	49,356114	45,2534985	50,9273598	57,3084709	51,4438917
48,708136	48,5339308	50,636109	46,7470644	51,4270347	47,9003697	49,356114	45,2534985	50,9273598	57,3084709	51,4438917
48,708136	48,5339308	50,636109	46,7470644	51,4270347	47,9003697	49,356114	45,2534985	50,9273598	57,3084709	51,4438917

Fuente: Resultado del estudio

Figura 3. Comportamiento de las Curvas del Balance Hídrico



Fuente: Resultado del estudio

2.4.5. Morfometría de la cuenca

Los parámetros morfométricos de una cuenca permiten establecer las características geométricas de la misma, la cual determina en alto grado la susceptibilidad que ésta tiene para presentar, en sucesos eventuales o con el transcurso del tiempo, inundaciones y Avenidas Torrenciales; por ejemplo: una microcuenca alargada muestra una amenaza baja por avenidas torrenciales, porque permite disipar con facilidad una precipitación abundante de corta

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

duración, lo inverso sucede con una microcuenca redonda. Para objeto de este estudio, se analizarán únicamente las Avenidas Torrenciales, ya que por las características topográficas de la región, es poco posible que se presentes inundaciones propiamente dichas. Los parámetros morfométricos determinados para todas las cuencas de la jurisdicción se enuncian a continuación:

- Área de la Cuenca (A)
 - Perímetro de la cuenca (P)
 - Coeficiente de compacidad (C).
 - Coeficiente de redondez (K).
 - Densidad de drenaje (Dd)
 - Pendiente media de la corriente (IC)
- **Área de la Cuenca (A).** El área de la cuenca se obtiene de acuerdo al promedio de las mediciones realizadas con el Planímetro, AutoCad, o cualquier otro método para su medición, está limitada por divisorias de aguas, hasta la desembocadura del río o quebrada y está dada en Km².
- **Perímetro de la cuenca (P).** Longitud medida del contorno de la cuenca, es decir por las divisorias de aguas que la limitan, y está dada en Km.
- **Coeficiente de compacidad (C).** Esta variable compara el perímetro de la cuenca con la longitud o perímetro asociado.

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

C= 1: Cuenca de forma compacta redonda.

C= 1.20: Cuenca semicompacta semioval redonda

C= 1.50: Cuenca semicompacta oblonga

C >1: Cuenca semicompacta rectángulo – oblonga

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

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

K = 1: Redonda

K > 1: Semiredonda

K < 1: Irregular

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

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

Dd < 0.5 : Baja

Dd = 0.5 : Media

Dd > 1 : Alta

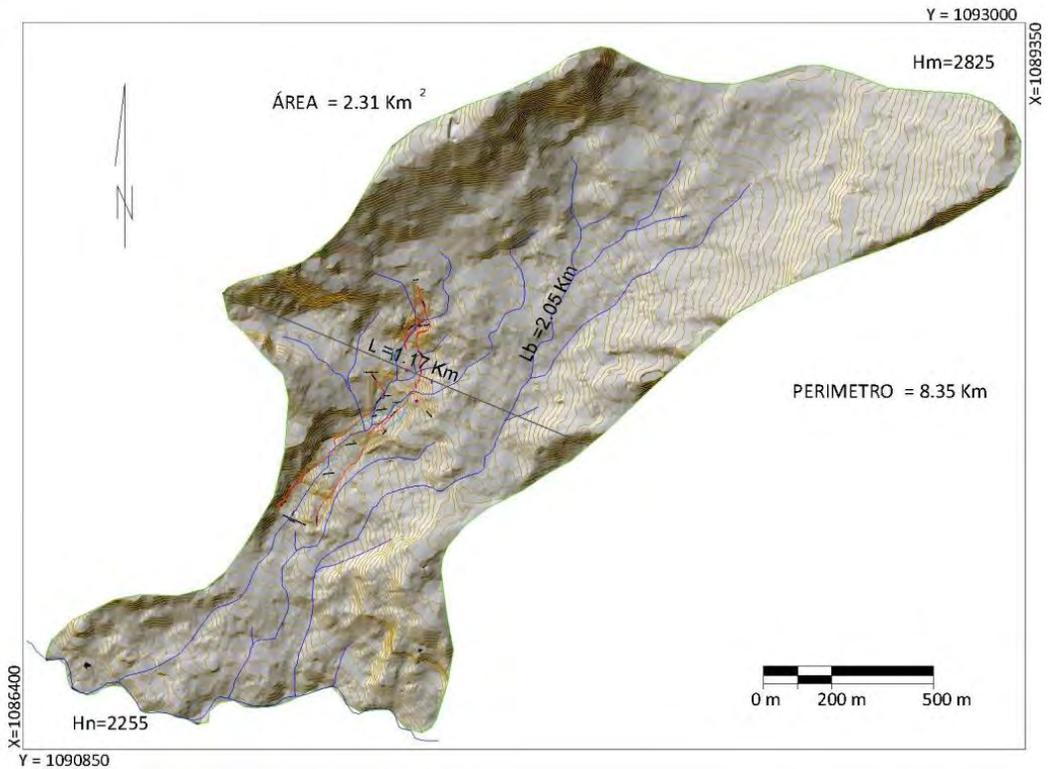
- **Tiempo de concentración (TC).** Es el tiempo que gasta una gota de agua en recorrer el sitio más lejano de la cuenca a la desembocadura del cauce principal.

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

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

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

Figura 4. Imagen ilustrativa de la microcuenca Viracachá



Fuente: Resultado del estudio.

Tabla 10. Valores de parámetros morfométricos para la microcuenca.

NOMBRE MICROCUENCA	Área de la Cuenca en Km (A)	Perímetro de la cuenca Km (P)	longitud de la cuenca Km (Lb)	el ancho mayor Km (l)	longitud acumulada de todas las corrientes Km (Ld)	longitud acumulada de todas las corrientes Km (Ld)
Viracachá	2,31	8,35	2,05	1,17	10,83	2825
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)
2255	3	0,28	2	0,86	27,86	1,76
COEFICIENTE DE COMPACIDAD (C). FORMA Y SUSCEPTIBILIDAD		COEFICIENTE DE REDONDEZ (K). FORMA Y SUSCEPTIBILIDAD		DENSIDAD DE DRENAJE (Dd)		TIEMPO DE CONCENTRACIÓN en horas (TC)
0,45	SEMI REDONDA	0,45	Irregular	4,68	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
1,13	Normal a lento.	0,84	Redonda	0,97	CUADRADA	4

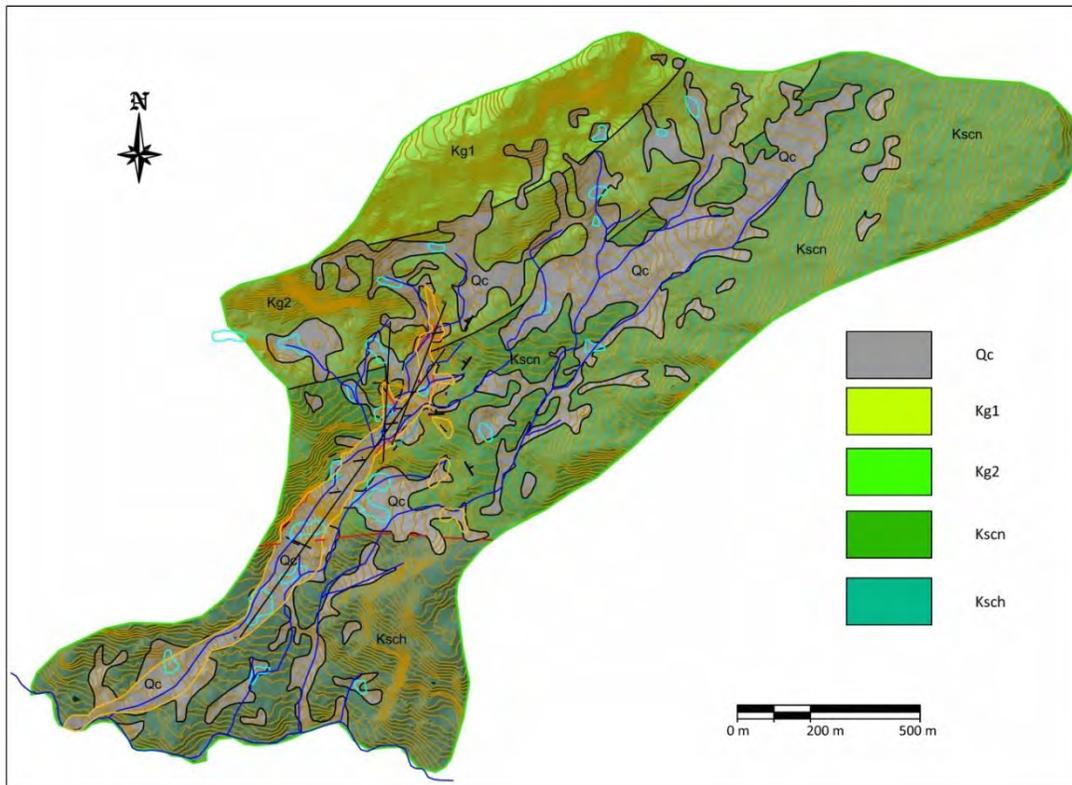
Fuente: Resultado del estudio

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

■ GEOLOGIA

En el municipio de Viracachá afloran formaciones geológicas de edad cretácea al igual que depósitos recientes de tipo aluvial y coluvial. Estas formaciones son una secuencia de rocas duras y blandas que en la mayoría del sector se encuentran bien definidas e identificadas al igual que los depósitos recientes que generalmente se ubican en zonas de muy baja pendiente.

Figura 5. Imagen mapa Geológico



Fuente: Resultado del estudio

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

3.1. GEOLOGÍA HISTÓRICA

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

3.2. GEOLOGÍA LOCAL

3.2.1. Formación Une (Kiu)

Renzoni C 1991, denominó un conjunto estratigráfico correspondiente a las areniscas de Une, descritas por Hubach (1957) que deriva su nombre de la población Une localizada al oriente de Bogotá. En la base de la formación se presenta areniscas cuarzosas de color amarillo grisáceo intercaladas con arcillolitas grises, seguidas por bancos gruesos de arenisca blanca cuarsítica que algunas veces se presenta en estratificación cruzada. La granulometría es grano decreciente hacia la base, la formación Une tiene una edad que va desde el Albiano superior al Cenomaniano superior, el espesor de la sección tipo es de 510 mts aproximadamente. Esta formación aflora al sur –este del casco urbano del

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

municipio en las veredas de la isla y caros, se evidencia con un pronunciado escarpe de areniscas masivas y compactas con rumbo N 38 E y buzamiento de 30 NW y un espesor aproximado de 480 mts. A esta formación la suprayace la formación churubita, los materiales presentes y el cambio de facies litológico indica un ambiente de depositacion costero con un alto aporte arenoso proveniente del escudo, evidenciado en los niveles cuarcíticos.

3.2.2. Formación Churuvita (Ksch).

Secuencia de arcillolitas fisibles de color gris oscuro, interestratificadas con areniscas de grano fino calizas y limolitas silíceas, el espesor de la sección tipo es de 475 mts aproximadamente, aflora al sudeste del casco urbano en las veredas de pirguata, galindos y caros aflorando casi en su totalidad en la margen izquierda del río Viracachá y siguiendo el cauce de la quebrada cuarto que hasta el nacimiento de la quebrada honda, con un espesor aproximado de 363 mts. Su ambiente de depositacion es marino poco profundo, en su parte basal se presentan paquetes de areniscas compactas , la parte media está compuesta por una alternancia de arcillolitas , areniscas y calizas con presencia de fósiles (exogiras y ostreas) , evidenciándose una disminución en el espesor , la parte superior esta constituida por areniscas y calizas y hacia el techo por shales negros y grises seguidos por limolitas silíceas . la roca presenta un rumbo preferencial N45° este y buzando 14° al NW , su edad comprende desde el Cenomaniano al Turoniano .

3.2.3. Formación Conejo (Kscn).

Secuencia estratigráfica denominada por Renzoni (1967) se inicia con un estrato de caliza seguida de shales negros limolíticos y calcáreos que los subyace, en la

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

parte media presentan Shales gris oscuro y areniscas bandeadas un poco silíceas fracturadas, siguen niveles de arenisca con intercalaciones de shales negros . El espesor de la sección tipo es de 273 mts, en el municipio aflora en la parte central y comprende las veredas, parte alta de pinguata , parras , Galindos , pueblo viejo y el alto de Quemba , presenta un rumbo N 50° E y un buzamiento de las rocas de 30° al NW , el espesor medido en este sector es de 205 mts aproximadamente , su ambiente de depositacion es transicional y su edad va desde el Coniaciano superior al Santoniano.

3.2.4. Formación Plaeners (Kg2).

Secuencia estratigráfica definida por Hubach (1931). En el municipio esta formación está constituida por niveles de chert, nódulos calcáreos y porcelanitas, y fosforita en la parte basal y de Shales silíceas y arenisca en la parte media y superior de esta formación. Todos los materiales son ricos en fósiles (foraminíferos, vertebrados y espinas de pescado). El espesor medido en esta formación en el área de estudio es de 78 mts aproximadamente, la formación Plaeners aflora en el alto del pueblo, en el sector la casajera de la vereda naranjos bajo en el cauce de la quebrada carrizos, al norte del casco urbano y en la vereda icarina, tienen un rumbo NE y se presentan cambios en la dirección del buzamiento. La edad de esta formación es Campaniano y su ambiente de depositacion es marino poco profundo (zona nerítica).

3.2.5. Formación Labor y Tierna (Kg1).

Secuencia estratigráfica definida por Hubach (1951) y redefinida por el mismo en 1957, está constituida por bancos de arenisca de grano fino medio que presenta una variación en su espesor, se caracterizan por una laminación ondulosa

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

paralela, en la base la formación está constituida por una serie de areniscas fosilíferas , seguida de limolitas moderadamente fosfáticas en la parte media, hacia el techo limolitas sílceas , el espesor medido es de 120 mts aproximadamente , es de edad Campaniano superior , en el sector esta formación aflora en las veredas naranjos y el centro , el alto el gavilán, chen e icarina bajo , los materiales presentan un rumbo preferencial de N 35° E y buzamiento 40° NE en la zona de chen alto el buzamiento invierte su inclinación , los cambios litológicos de facies evidencian un ambiente de depositacion marino poco profundo.

3.3. DEPOSITOS CUATERNARIOS

En el área de estudio se encuentran depósitos cuaternarios Coluviales.

3.3.1. Cuaternarios Coluviales (Qc).

Son el resultado de procesos erosivos antiguos y recientes que consisten en el desprendimiento de materiales de las partes altas de las formaciones aledañas y transportados por gravedad y acumulados en las partes bajas y planas no hay una selección preferencial en el tamaño del material, en el municipio este tipo de depósitos se presentan en la vereda centro, alto de quemba y vereda parras.

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

■ GEOMORFOLOGÍA LOCAL

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

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

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

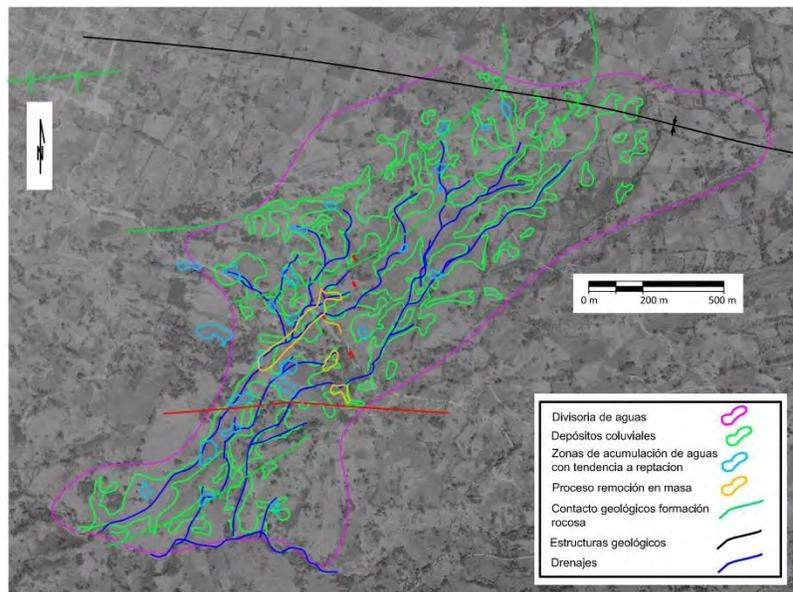
4.1. ANÁLISIS FOTOGEOLÓGICO

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

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

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

Figura 6. Fotografías pertenecientes al vuelo 2804- 104,105 tomadas por el IGAC, durante los años 90.



Fuente: Resultado del estudio.

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

4.2. 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.

4.2.1. Los deslizamientos compuestos

▪ Deslizamientos compuesto 1

Se clasifica el proceso como deslizamiento compuesto ya que su control estructural resultando en superficies de ruptura irregulares incluye movimiento rotacional a lo largo de un escarpe principal seguido de un desplazamiento a lo largo de una superficie de debilidad casi horizontal, paralela a la estratificación, el proceso es activo remontante, y su velocidad es lenta, presenta un área aproximada de 111821,71 m² con una profundidad promedio de 4 m, las causas posibles pueden ser, por material plástico débil detonado por lluvias, por el mal manejo del suelo relacionado con matorrales, cultivos, uso agrícola, ganadería; los daños presentes en el área de las viviendas, áreas agrícolas y para pastoreo, erosión y deforestación son producto del desarrollo del deslizamiento. Se presenta en el Deposito Coluvial (Qc) (Ver Figura 7).

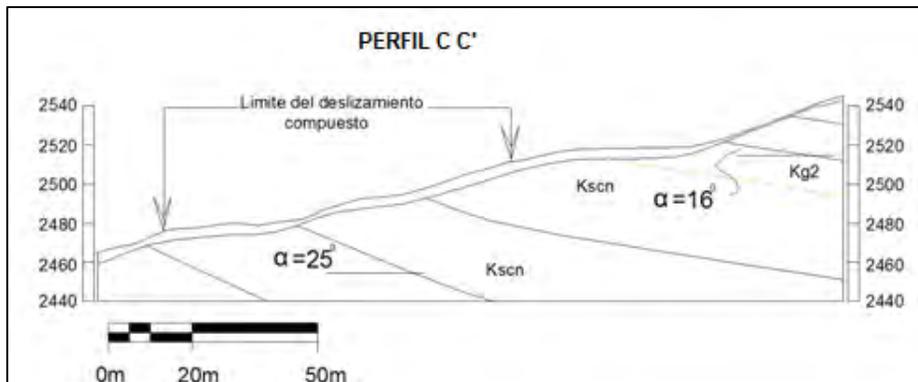
Figura 7. Esquema del movimiento compuesto.



Fuente: Resultado del estudio.

En el perfil (Ver Figura 8) se ilustra el cuerpo del proceso y la geoforma en la cual se encuentra, siendo favorable a su movimiento.

Figura 8. Esquema del movimiento, perfil deslizamiento compuesto



Fuente: Resultado del estudio.

▪ **Deslizamientos compuesto 2**

Presenta las mismas características del anterior, 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, presenta un área aproximada de 1747,4 m². Se presenta en la Formación Conejo (Kscn). (Ver Figura 9).

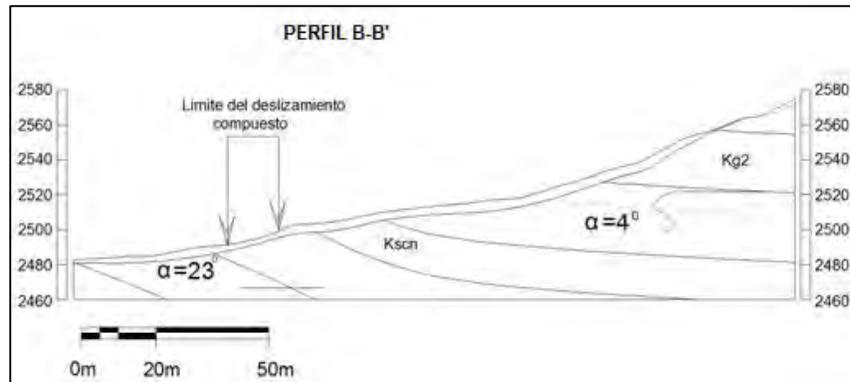
Figura 9. Esquema del movimiento compuesto



Fuente: Resultado del estudio.

En el perfil (Ver Figura 10) se ilustra el cuerpo del proceso y la geoforma en la cual se encuentra, siendo favorable a su movimiento.

Figura 10. Esquema del movimiento, perfil deslizamiento compuesto



Fuente: Resultado del estudio.

4.2.2. Reptaciones

▪ Reptación 1

Movimiento lento del terreno en donde no se distingue una superficie de falla. La reptación es de tipo estacional asociada a cambios climáticos, o de humedad del terreno, el proceso es activo remontante, presenta un área aproximada de 2457,30 m² 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. (Ver Figura 11)

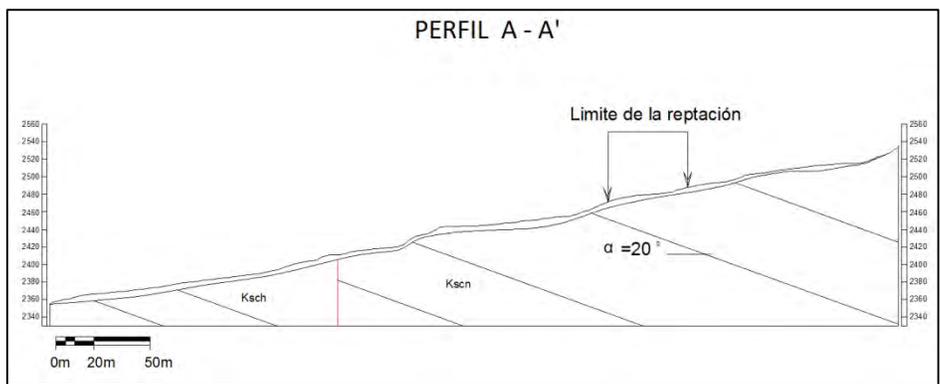
Figura 11. Esquema del movimiento, reptación 1



Fuente: Resultado del estudio.

En el perfil (Ver Figura 12) se ilustra el cuerpo del proceso y la geoforma en la cual se encuentra, siendo favorable a su movimiento.

Figura 12. Esquema del movimiento, Perfil reptación 1.



Fuente: Resultado del estudio.

▪ 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 2578,78 m² con distribución creciente. (Ver Figura 13)

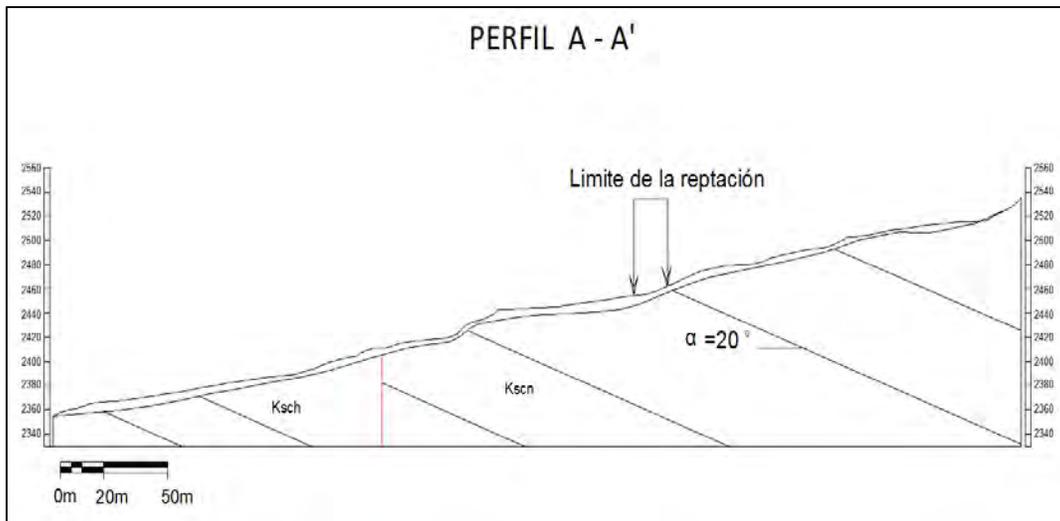
Figura 13. Esquema del movimiento, reptación 2



Fuente: Resultado del estudio.

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

Figura 14. Esquema del movimiento, perfil reptación 2

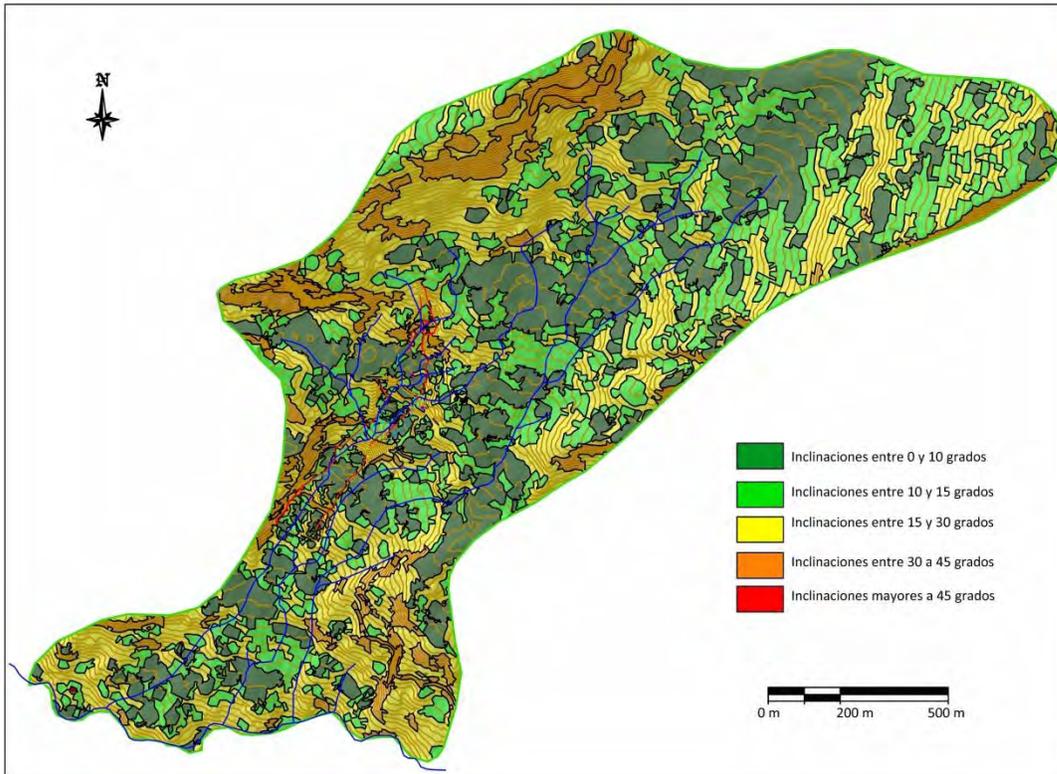


Fuente: Resultado del estudio.

4.3. INCLINACIÓN DE LAS PENDIENTES

A partir de un modelo digital de terreno generado tras la digitalización de curvas de nivel a una escala 1:25.000, se generó el mapa de pendientes con cinco clases para el área de estudio. Los valores de susceptibilidad de este parámetro o variable son presentados en la Figura 15.

Figura 15. Imagen del Mapa de inclinación de las pendientes.



Fuente: Resultado del estudio.

Tabla 11. Clasificación de las pendientes.

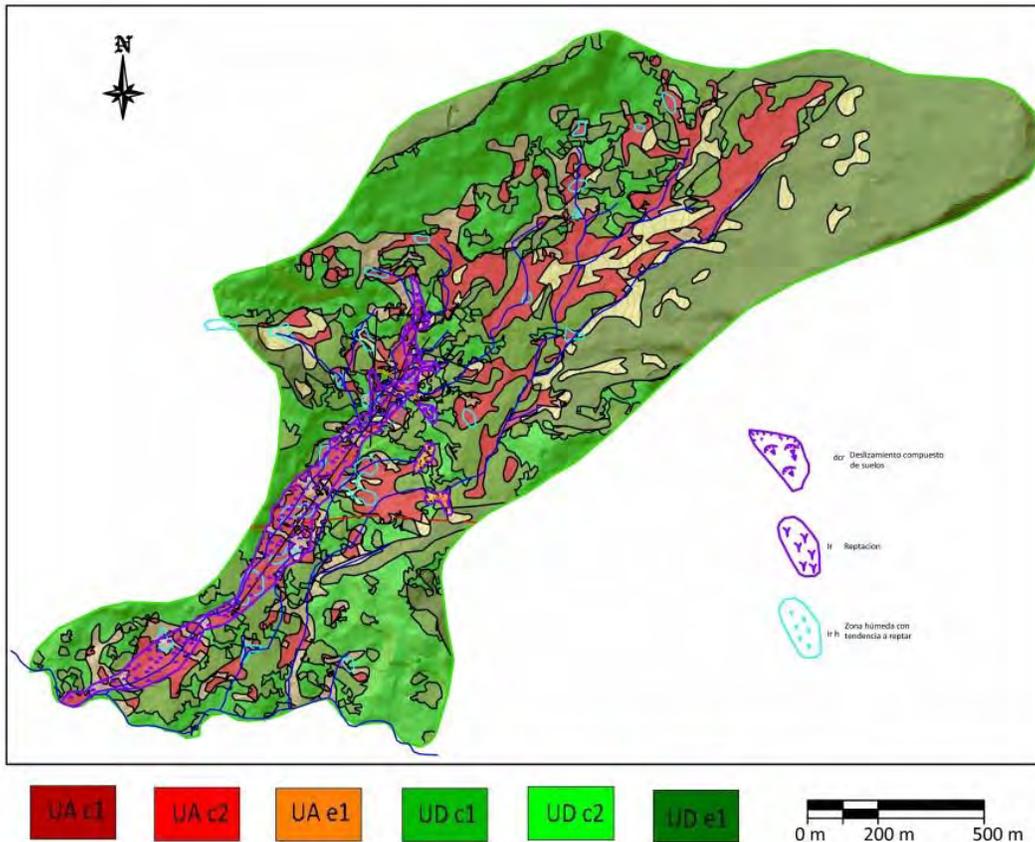
CLASIFICACIÓN DE LAS PENDIENTES	
UNIDAD CARTOGRÁFICA	GRADOS
Suavemente inclinada	0-10
Inclinada	10 15
Abrupta	15-30
Escarpada	30 - 45
Muy Escarpada	> 45

Fuente: Resultado del estudio.

4.4. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

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

Figura 16. Imagen del Mapa geomorfológico.



Fuente: Resultado del estudio.

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

4.4.1. Geoformas de Origen Denudacional.

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

4.4.1.1. 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 37.8 ha, de las cuales el 21.5 % presenta inestabilidad. Siendo susceptible a reptaciones y desprendimientos.

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

Dicha unidad está compuesta por depósitos coluviales, los cuales yacen sobre estratificaciones en contra a la dirección de las pendientes presenta un área de 15.1 ha, de las cuales el 20.8 % presenta inestabilidad. Siendo susceptible a movimientos en masa tales como reptaciones y desprendimientos.

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

Dicha unidad está compuesta por depósitos coluviales, los cuales yacen sobre estratificaciones en contra a la dirección de las pendientes presenta un área de

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

12.4 ha, de las cuales el 4.53 % presenta inestabilidad. Siendo la unidad más afectada, presenta reptaciones y desprendimientos.

4.4.1.4. 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 40.9 ha, de las cuales el 0.2 % presenta inestabilidad.

4.4.1.5. 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 65.9 ha, de las cuales el 0.28 % presenta inestabilidad.

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

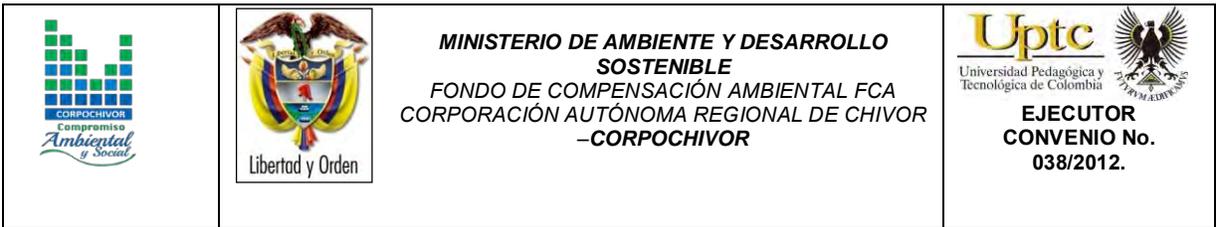
Dicha unidad está compuesta por formaciones rocosas, cuyas estratificaciones se encuentran en contra a la dirección de las pendientes, presenta un área de 59.1 ha, de las cuales el 0.02 % presenta inestabilidad

A continuación describimos en la Tabla 12, la descripción y análisis de las unidades geomorfológicas

Tabla 12. Descripción geomorfológica.

ORIGEN	ESTRUCTURA	MORFOMETRIA	MORFODINAMICA	SÍMBOLO
Unidad agradacional	ladera en contra pendiente	con inclinaciones entre 0 y 30 grados	Presenta reptaciones y desprendimientos	UA c1
		con inclinaciones mayores a 30 grados	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 e1
Unidad degradacional	ladera en contra pendiente	con inclinaciones entre 0 y 30 grados		UD c1
		con inclinaciones mayores a 30 grados		UD c2
	ladera estructural	con inclinaciones entre 0 y 30 grados		UD e1

Fuente: Resultado del estudio.



4.5. 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.

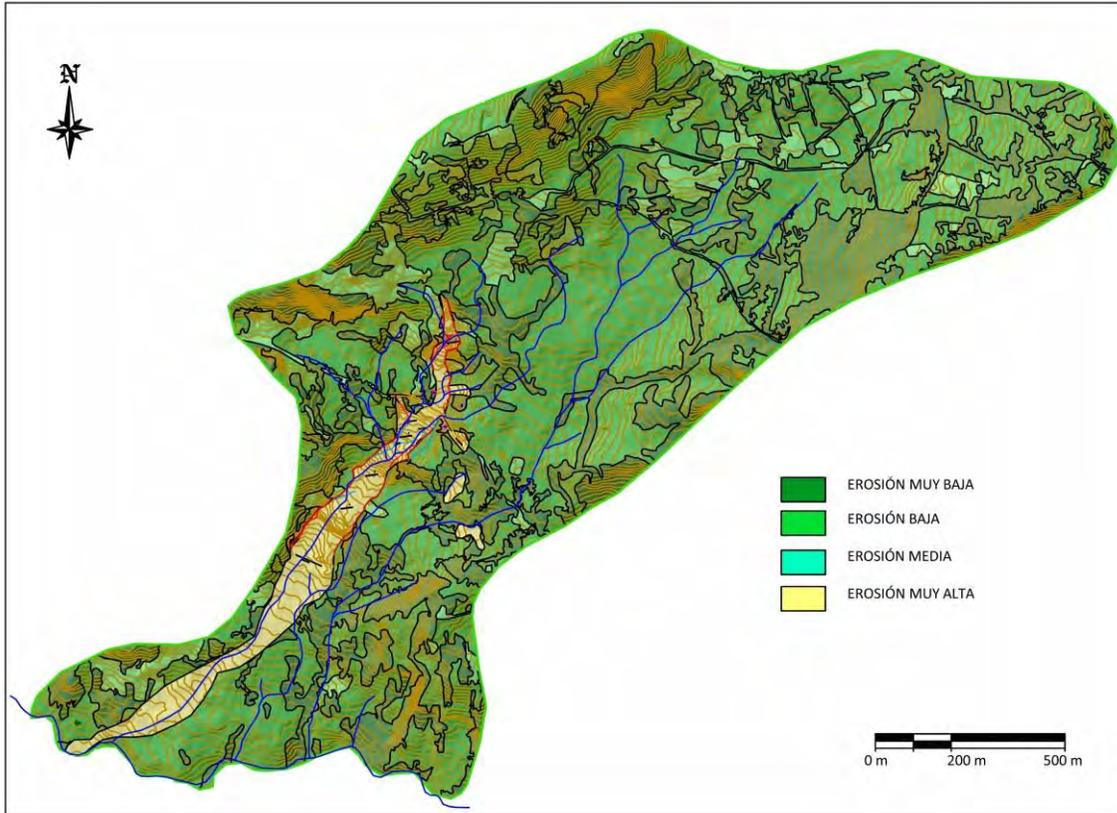
El mapa de erosión fue realizado con el procesamiento digital de imágenes mediante una clasificación supervisada, resultado de un agrupamiento en la distribución de los píxeles hechos en una clasificación resultado de la mayor o menor cobertura vegetal presente en el área.

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 17).

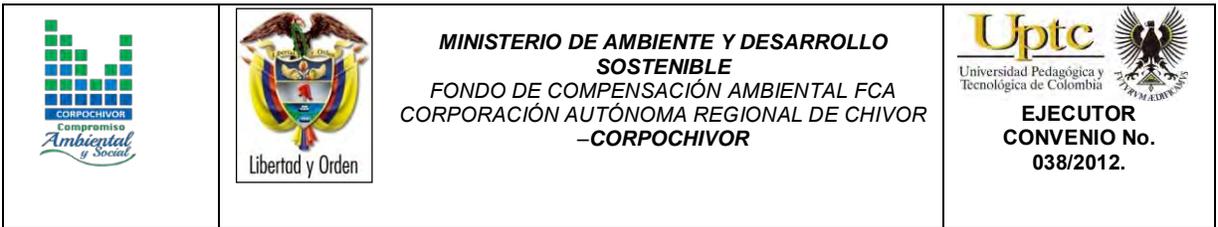
Figura 17. Imagen del Mapa erosión.



Fuente: Resultado del estudio.

4.6. 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.



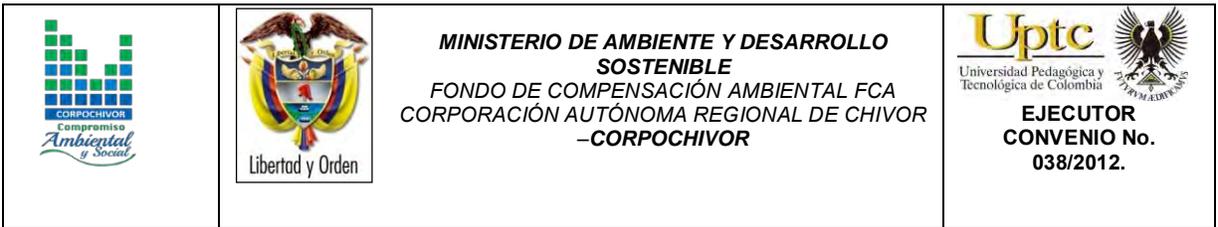
El grupo más numeroso de individuos de los ecosistemas terrestres son los insectos representado por unas 900.000 especies. Dentro de los animales el segundo grupo más significativo serían las aves, con aproximadamente 8500 especies y en tercer lugar los mamíferos con unas 4100 especies. Dentro del mundo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

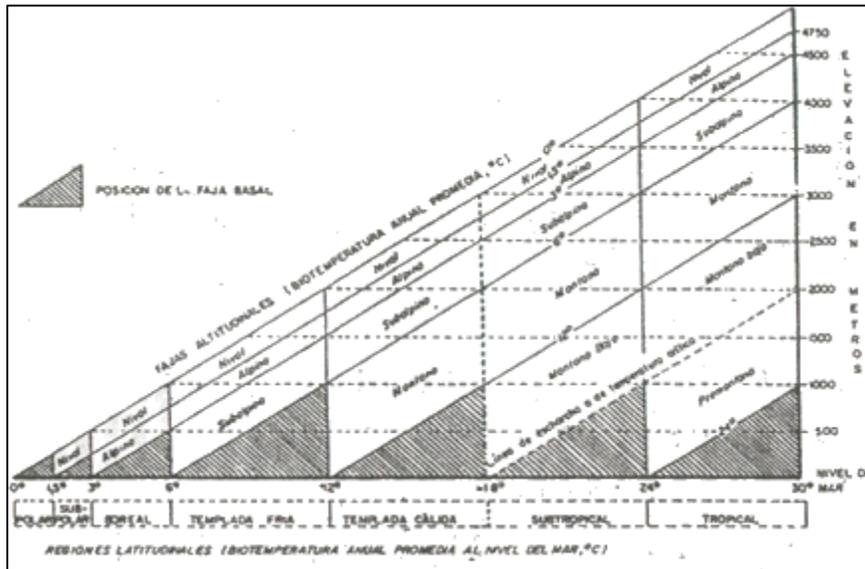
4.6.1. Descripción regional

4.6.1.1. Vegetación

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

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

Figura 18. Posiciones aproximadas de las Líneas guía de las regiones latitudinales y las fajas altitudinales del sistema mundial de zonas de vida de Holdridge, (basado en una tasa de cambio de .6°C por, cada 1000m).



Fuente: Holdridge, L., 1987.

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

4.6.1.1.1. Bosque seco montano bajo

Esta zona de vida está localizada en la parte NW del municipio cuenta con una temperatura entre los 12^a C a 16^a C.

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

4.6.1.1.2. Bosque húmedo montano

Está localizada al sector NE del municipio, cuenta con una temperatura entre los 11 y 12^a C, precipitaciones entre los 900- 1000 mm / anuales y se ubica en alturas mayores a los 3000 msnm.

4.6.1.1.3. Bosque húmedo montano bajo

Esta zona de vida se localiza en la parte más central del municipio , cuenta con una temperatura promedio entre los 10^a C a los 12^a C, precipitaciones entre los 1000 – 1400 mm/ anuales . Se ubica entre los 2300 – 3000 msnm.

4.6.1.1.4. Bosque muy húmedo montano

Esta zona de vida se ubica en la parte oriental del municipio, cuenta con temperaturas promedio entre los 9^a C - 12^a C, precipitaciones entre los 1000 – 1500 mm / anuales y se ubica entre los 3000 – 3400 msnm.

4.6.1.2. Subpáramo antrópico intervenido

Esta unidad estructural de vegetación se caracteriza principalmente por presentar parches o manchas discontinuas de vegetación prístina especialmente de Frailejones (*Espeletia* sp), bromeliáceas y algunos arbustos, alternando con pastizales y pajonales de *calammagrostis effusa* y *festucca* sp que indican la invasión antrópica a través de senderos y algunas áreas exentas de humedad que son pobladas por ganadería extensiva y cultivos de papa (*solanum tuberosum*).

4.6.1.3. Bosque secundario y rastrojo

Esta unidad de vegetación, se caracteriza porque presenta un alto grado de intervención, y por tanto se encuentra en distintas partes del Municipio,

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

generalmente ubicado en riberas de quebradas y bordeando áreas que antes fueron de vegetación nativa. Representa un estado de sucesión posterior a la dominancia arbórea regular del Bosque Primario y por tanto, aún contiene en algunos parches, especies que antes fueron dominantes en otras formaciones vegetales, hoy como individuos aislados y testigos de la gradual invasión de la frontera agrícola y pecuaria.

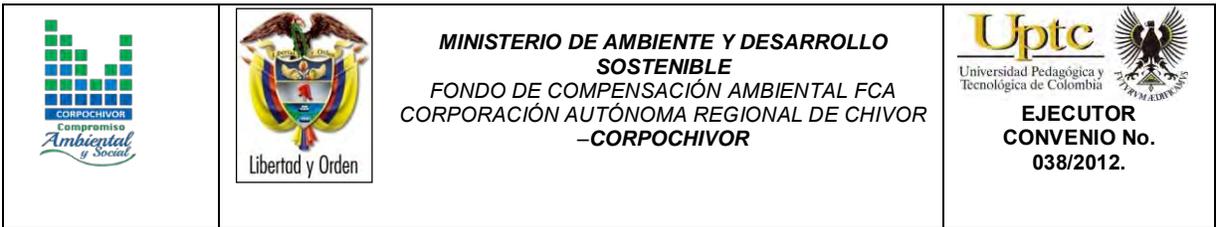
4.6.1.4. Bosque introducido

En razón al alto porcentaje de población arbórea con especies introducidas en el Municipio de Boyacá, es necesario considerar como unidad de vegetación, la constituida por especies que, aunque no son propias de éstos ecosistemas, constituyen hoy un significado porcentaje de la cobertura total del área rural, llegando a ocupar incluso áreas catalogadas como estratégicas para el suministro hídrico y la conservación de la alta montaña.

Esta unidad de vegetación se caracteriza por presentar un absoluto dominio de *Eucalyptus* sp, seguido generalmente por la presencia de *Pinus* sp y *Leucaena* sp como especies secundarias.

4.6.2. Cobertura y uso de suelo para el área de influencia del estudio

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



aceptada por la Unión Europea. Hoy en día se aplica sobre la totalidad del territorio europeo a través del proyecto CLC2000.

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

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

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

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

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

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

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

La 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.

4.6.3. Estudio de la flora.

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

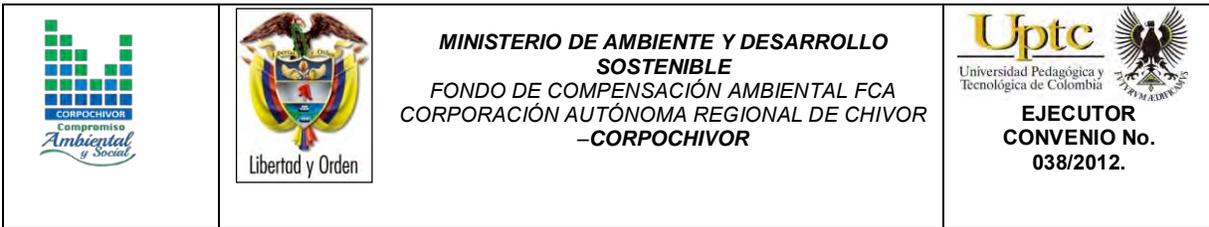
- Identificar, sectorizar y describir las zonas de vida o formaciones vegetales.
- Identificación, sectorización y descripción de los diferentes tipos de cobertura vegetal existente.
- Identificación de especies endémicas, amenazadas o en peligro de extinción.

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

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

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

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



- Localización de las diferentes unidades de cobertura vegetal y uso actual del suelo, que incluya su identificación respecto a actividades pecuarias, agrícolas, agropecuarias, forestales, agrosistemas, eriales, zonas protectoras, etc.

- Descripción fisionómica de las diferentes coberturas vegetales, perfil y estructura de estratos (arbóreo; arbustivo: herbáceo; epígeo; entre otros).

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

4.6.4. Identificación y descripción de coberturas.

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

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

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

4.6.4.1. 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 o de cambio del uso del suelo hacia fines comerciales, industriales, de servicios y recreativas del área rural del estudio.

4.6.4.2. Zonas urbanizadas

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

4.6.4.3. Tejido urbano discontinuo

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

Fotografía 1. Tejido urbano discontinuo presente en la zona de estudio



Fuente: Registro fotográfico

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



Fuente: Registro fotográfico.

4.6.4.4. 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.

Fotografía 3. Red vial zona de estudio



Fuente: Registro fotográfico.

4.6.4.5. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados

Es un espacio artificializado con infraestructuras de comunicaciones como carreteras que comunica el municipio de Tibaná con el municipio de Umbita, así como la vía para el ingreso a la institución educativa; se incluye la infraestructura conexas y las instalaciones asociadas tales como: estaciones de servicios, andenes, terraplenes y áreas verdes.

Fotografía 4. Tejido artificializado de nivel 4 red vial.



Fuente: Registro fotográfico.

4.6.4.6. 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.

4.6.4.7. 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.

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

4.6.4.8. Cultivos permanentes arbustivos

Son coberturas permanentes ocupadas principalmente por cultivos de hábito arbustivo como la mora. 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).

4.6.4.9. Cultivos permanentes arbóreos

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

4.6.4.9.1. Pera

Pyrus communis de la familia Rosaceae es un Árbol frondoso, de tamaño medio, pero que aislado puede llegar a los 20m, con ramas erectas, voluminosas, sus hojas son alternas, aovadas o redondeadas, con un largo pedúnculo, con los bordes finamente aserrados. Al principio son pilosas, calveando rápidamente, cogiendo un color verde oscuro, con el envés más claro. Las flores aparecen al mismo tiempo que las hojas, en racimos de 3 a 9 flores, umbeliformes, con pétalos blancos.

Fotografía 5. *Pyrus communis*



Fuente: Registro fotográfico.

4.6.4.9.2. La mora

Rubus ulmifolius de la familia de las Rosáceas es un arbusto sarmentoso de ramas arqueadas y espinosas, hojas compuestas de 3 ó 5 folíolos elípticos y de borde aserrado, dispuestos de forma palmeada. Florece desde el final de la primavera hasta el principio del otoño. Sus flores crecen en racimos compuestos, con 5 sépalos y 5 pétalos blancos o rosados sobre un receptáculo ensanchado, con numerosos estambres. Su fruto es una polidrupa, la popular mora o zarzamora, que es al principio rojiza y finalmente negra brillante cuando madura. La zarza comprende numerosas variedades e híbridos, muy abundantes y extendidos por todo el mundo. Nacen de forma espontánea en bordes de caminos, lindes de bosques abiertos, campos en barbecho, y en otros numerosos lugares

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

que abarca desde los valles hasta las montañas. También se cultiva en Europa como planta curativa y por sus frutos.

Con fines medicinales se recolectan las raíces, las hojas jóvenes y frutos bien maduros. Las hojas se recogen a mano una por una, justo en el momento de la floración de la planta, que sucede en primavera-verano. Los frutos se recogen en verano-otoño cuando están bien maduros, para consumir en fresco. Las hojas se dejan secar a la sombra en lugar bien aireado; se almacenan resguardadas del polvo y la humedad.

Fotografía 6. *Rubus ulmifolius*



Fuente: Registro fotográfico.

4.6.4.10. 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 árboles con pastos.

Fotografía 7. Cultivos agroforestales



Fuente: Registro fotográfico.

4.6.4.10.1. Calabaza

La cucúrbita pepo es una planta herbácea anual de la familia de las cucurbitáceas, oriunda de Norteamérica, cuyo fruto se emplea como alimento. En la actualidad es también cultivada extensamente en todo el mundo.

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

Es una planta rastrera que puede llegar a los 10 m de longitud, de tallos acanalados y de aspecto áspero y sarmentoso y con hojas pubescentes, lobuladas y acorazonadas. Las grandes flores amarillas son unisexuales; las masculinas tienen los estambres soldados en forma de pilar y en ambos sexos el cáliz está unido a la corola. Los frutos son oblongos y varían mucho en tamaño, dependiendo de la variedad. La cáscara es lisa y dura y también varía en color. Las variedades que se siembran en mayo o junio son de piel verdi-blanca mientras que las sembradas en marzo son de piel oscura.

Como todas las cucurbitáceas, Cucúrbita pepo hibrida con facilidad con otras especies afines; esa es una de las causas de la frecuente confusión entre las mismas, de las cuales algunas (como Cucurbita maxima y Cucurbita moschata) se cultivan también por su fruto. Existen multitud de cultivares de diferentes colores y tamaños; las más grandes llegan a pesar entre 18 a 36 kg.

4.6.4.10.2. Curubo

La Passiflora tarminiana, Passiflora tripartita var. Mollissima de la Familia de las Pasifloráceas (Passifloraceae) es originaria de América y se encuentra distribuida en las zonas frías de los Andes suramericanos. La curuba se produce sobre todo en Colombia, Venezuela, Bolivia, Perú y Nueva Zelanda.

Son enredaderas de tallo cilíndrico pubescente, de hojas obovadas, trilobuladas y aserradas en las márgenes. El fruto es una baya de forma elipsoidal de 7 a 10 cm de largo, de color verde claro cuando se está desarrollando y completamente amarillo al madurar, momento en el cual emite un agradable aroma. La pulpa es firme, carnosa y con pequeñas semillas de color negro. El color de la pulpa es amarillo o anaranjado. La variabilidad genética en esta especie es muy alta, por lo

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

que se encuentra una gran heterogeneidad de plantas y frutas que se diferencian en cuanto a tamaño, forma, color, resistencia sanitaria, rendimiento, etc.

4.6.4.10.3. Tomate de árbol

Cyphomandra betacea Nombre común o vulgar: Árbol de los tomates, Árbol del tomate, Tomate arbóreo del Perú, Tamarillo, Tamarillos, Tomate de árbol, Tomates de árbol de la Familia de las Solanáceas (*Solanaceae*). Originaria de los Andes, ésta especie se encuentra en huertos familiares desde el norte de la Argentina hasta el sureste de México y en las Antillas. Son países productores Colombia, Brasil, Nueva Zelanda, Kenia, Sudáfrica, California (EE.UU.), India, Sri Lanka.

Hojas simples, aovadas o cordadas, por lo general íntegras, pubescentes, de hasta 30 cm de largo. Los frutos son comestibles, pudiendo comerse crudos o guisados. Tiene forma oviforme, su piel es lisa, turgente, brillante y de un cierto sabor amargo.

El color varía del rojo al carmín, aunque también hay variedades de tonos anaranjados a los que se les han alterado sus propiedades siendo más dulces y conteniendo unas semillas más pequeñas y tiernas.

4.6.5. Pastos

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

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

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

4.6.5.1. Pastos limpios

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

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

Fotografía 8. Pastos limpios presente en la zona de estudio



Fuente: Registro fotográfico.

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

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

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

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

Fotografía 9. Pastos limpios presente en la zona de estudio



Fuente: Registro fotográfico.

4.6.6. 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.

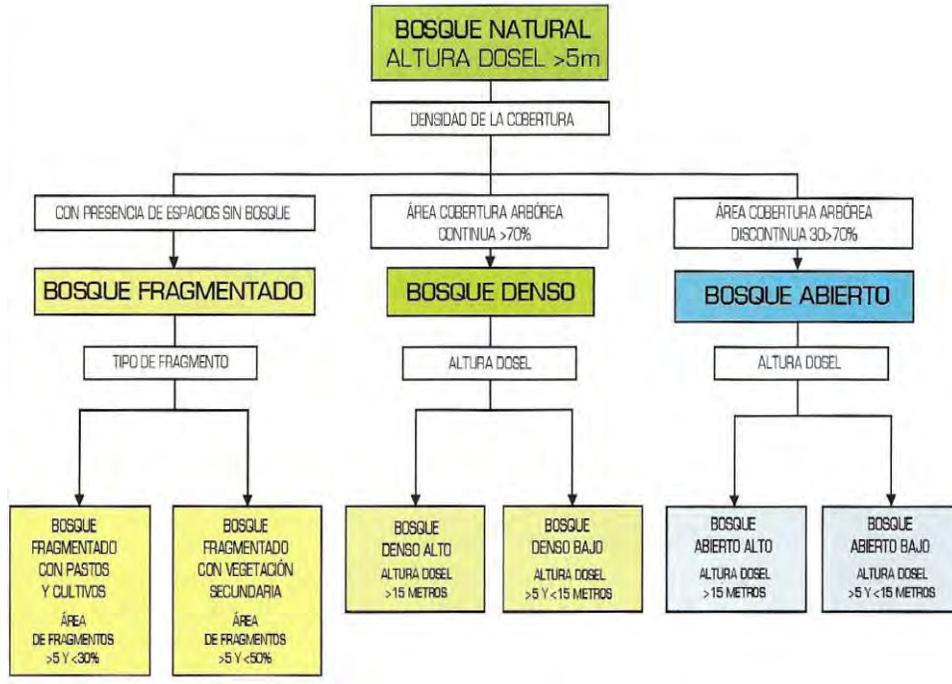
		<p style="text-align: center;">MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE FONDO DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL FCA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR -CORPOCHIVOR</p>	 <p style="text-align: center;">EJECUTOR CONVENIO No. 038/2012.</p>
---	---	---	---

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 19. Criterios para la clasificación de los bosques



Fuente: Corine Land Cover 2010

4.6.6.1. 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.

4.6.6.2. 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.

4.6.6.3. Bosque denso bajo de tierra firme

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

Fotografía 10. Bosque denso bajo de tierra firme



Fuente: Registro fotográfico.

4.6.7. 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

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

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.

4.6.7.1. Myrtaceae

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

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

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

Fotografía 11. Eucaliptos presentes en la zona de estudio



Fuente: Registro fotográfico.

4.6.7.2. 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

verticilos 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 12. Cupressaceae



Fuente: Registro fotográfico.

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

4.6.8. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva

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

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

4.6.9. 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).

4.6.9.1. Arbustal abierto mesofilo

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

Fotografía 13. Arbustal Abierto Mesofilo



Fuente: Registro fotográfico.

4.6.10. Aguas continentales

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

4.6.10.1. Ríos

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

4.6.10.2. Cuerpos de agua artificiales

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

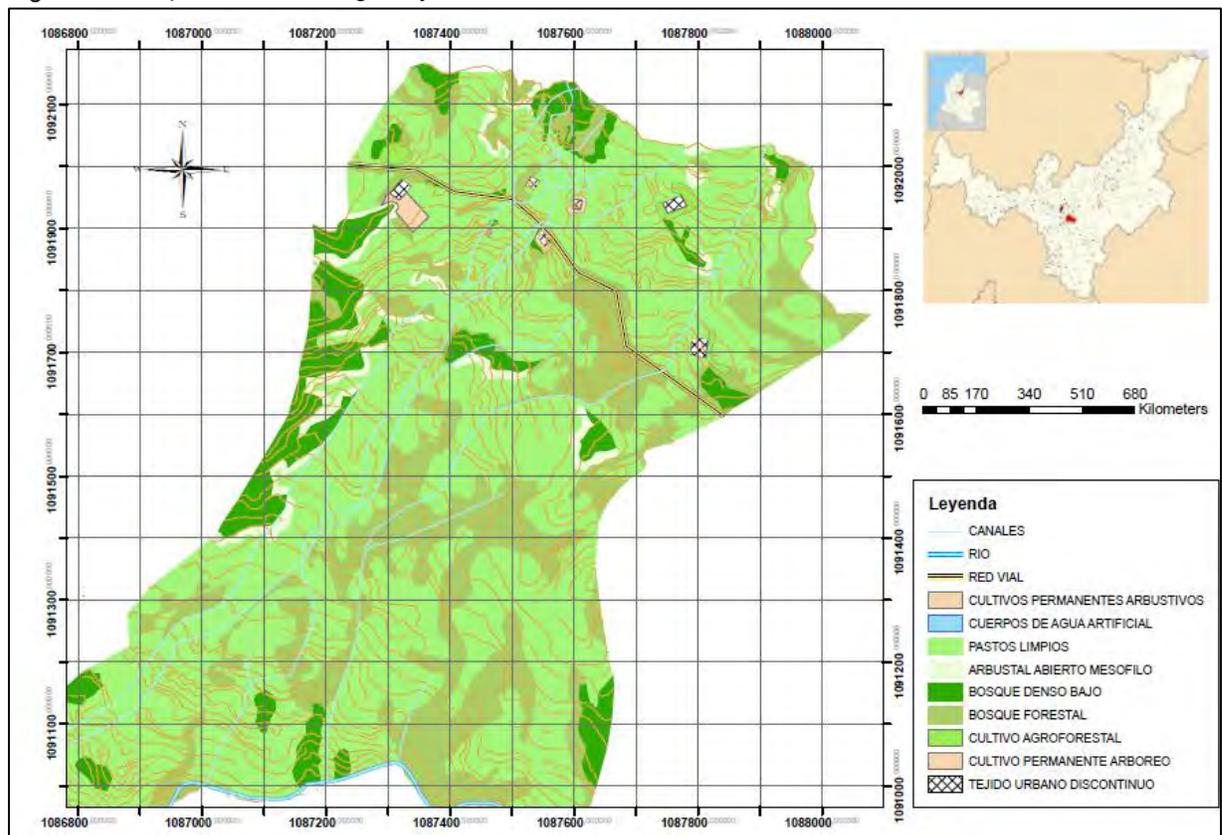
Fotografía 14. Embalse



Fuente: Registro fotográfico.

4.6.11. Áreas y porcentajes de las coberturas en el área de estudio

Figura 20. Mapa cobertura vegetal y uso de suelo



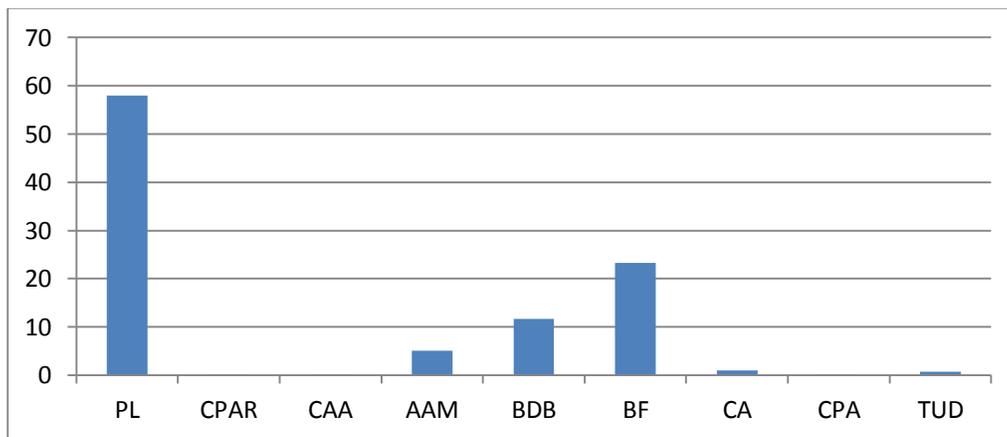
Fuente: Resultado del estudio

Tabla 13. Áreas de coberturas.

TIPO DE COBERTURA	AREA m ²
PASTOS LIMPIOS (PL)	256892
CULTIVOS PERMANENTES ARBUSTIVOS (CPAR)	198
CUERPO DE AGUA ARTIFICIAL (CAA)	58
ARBUSTAL ABIERTO MESOFILO (AAM)	22796
BOSQUE DENSO BAJO (BDB)	51544
BOSQUE FORESTAL (BF)	103410
CULTIVO AGROFORESTAL (CA)	4238
CULTIVO PERMANENTE ARBÓREO (CPA)	570
TEJIDO URBANO DISCONTINUO (TUD)	3561

Fuente: Resultado del estudio

Figura 21. Porcentaje de coberturas



Fuente: Resultado del estudio

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

■ GEOELECTRICAESTUDIO GEOELECTRICO (TOMOGRAFIA ELECTRICA RESISTIVA)

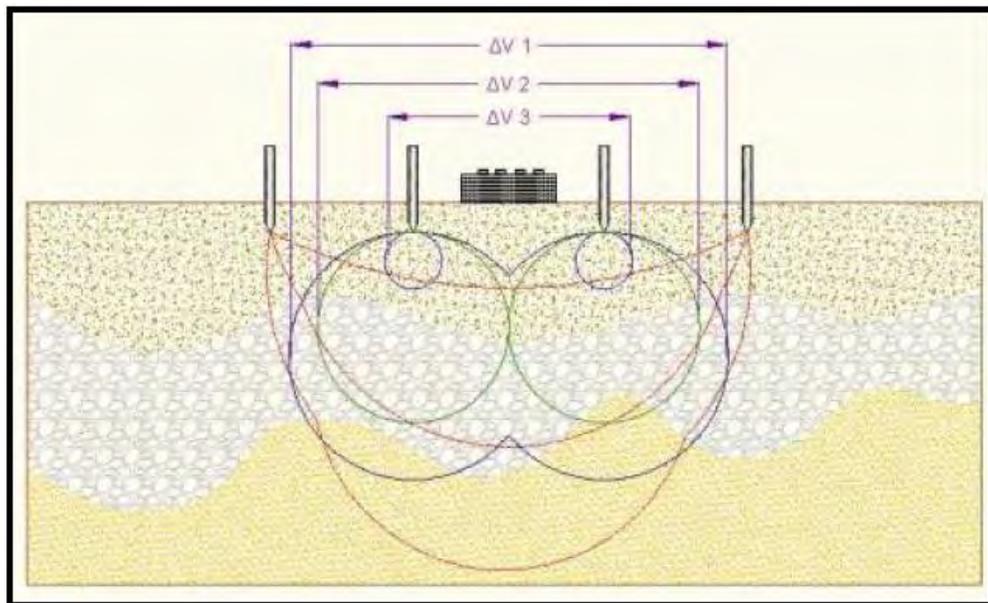
5.1. INTRODUCCION

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 (ΔV) producto de las variaciones en resistencia que resultan de cada tipo de material o estrato de suelo (Figura 22); 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 23). 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

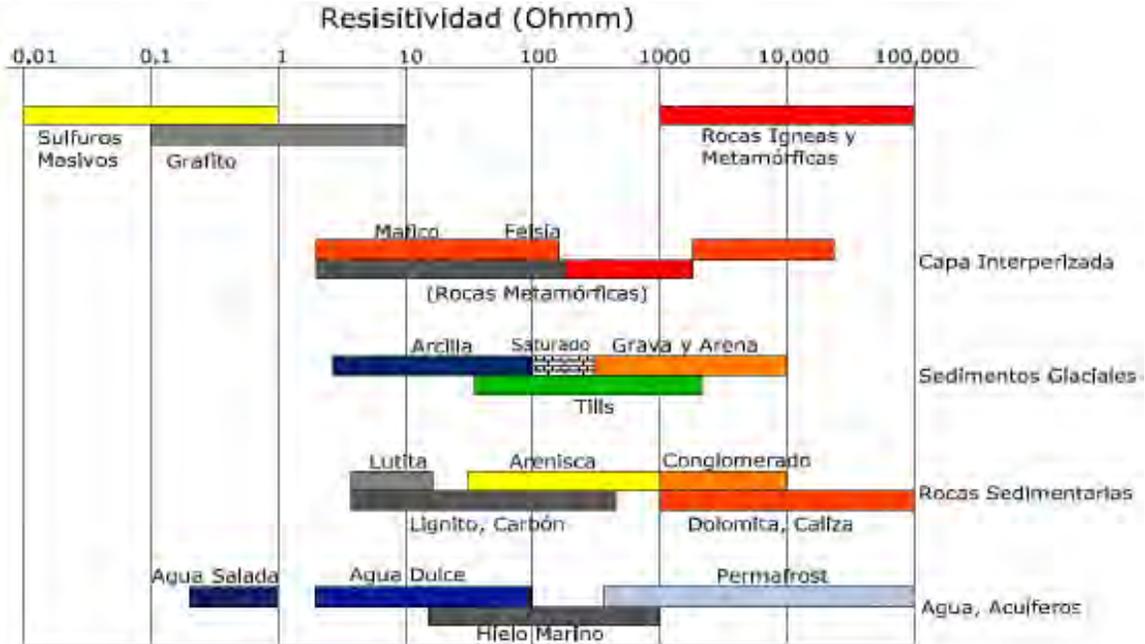
dentro del material de estudio. Durante décadas, los Estudios de Resistividad Eléctrica han sido utilizados en investigaciones sobre hidrogeología, geotecnia y también actualmente en estudios ambientales (Loke 2004).

Figura 22. 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 23. 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.

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

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

5.2. OBJETIVO

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

5.3. PRINCIPIO DEL METODO GEOFISICO.

5.3.1. 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.

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

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

La ecuación matemática que describe esta relación es:

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

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

▪ **Definición.**

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

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

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

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

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

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

5.3.2. Dispositivos:

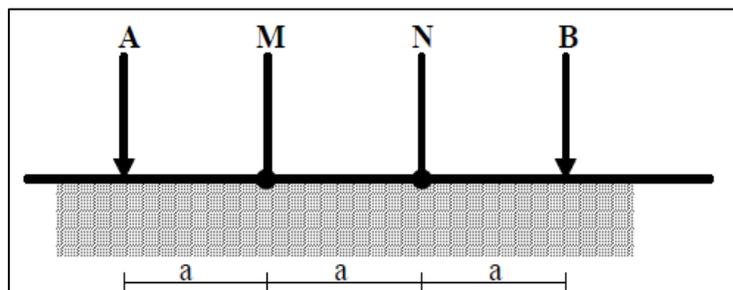
Un dispositivo es un arreglo de electrodos formado con dos pares de electrodos, dos emisores y dos receptores. A través de los electrodos emisores C1C2 se inyecta la corriente continua al terreno midiendo su intensidad con un miliamperímetro en serie, y a través del segundo par se mide la diferencia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

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

- **Dispositivo Wenner.**

Los electrodos se disponen equidistantes sobre una línea en el orden AMNB (Figura 24).

Figura 24. Dispositivo Wenner.



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

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

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

5.4. 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:

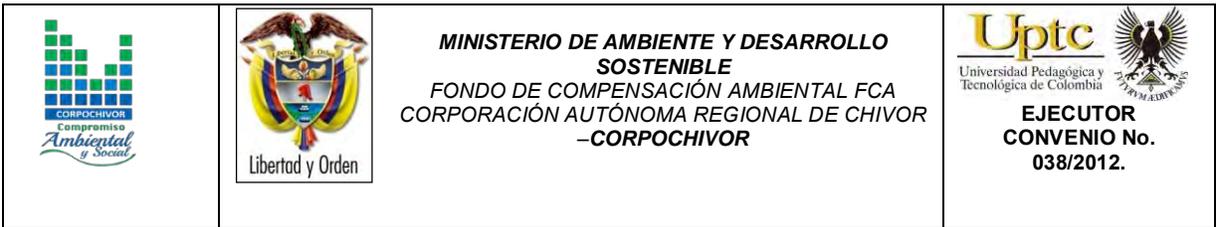
$$d = X_{total} / N^{\circ}electrodos$$

Donde:

d= Distancia entre electrodos

Xtotal= Distancia de la línea extendida

N°electrodos= electrodos a utilizar



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

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

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

5.4.1. TOMOGRAFIA N°1

Localizada en la parte baja del deslizamiento Coordenadas parte inicial X: 1087059, Y: 1092215, parte final X: 1087171, Y: 1092139, orientación N30°W, con una longitud de 144 mts., profundidad obtenida de 25.8 mts., y los electrodos conectados a una distancia de 3.50 mts cada uno.

Figura 25. Localización líneas de tomografía.



Fuente: Resultado del estudio.

Fotografía 15. Parte baja del deslizamiento.



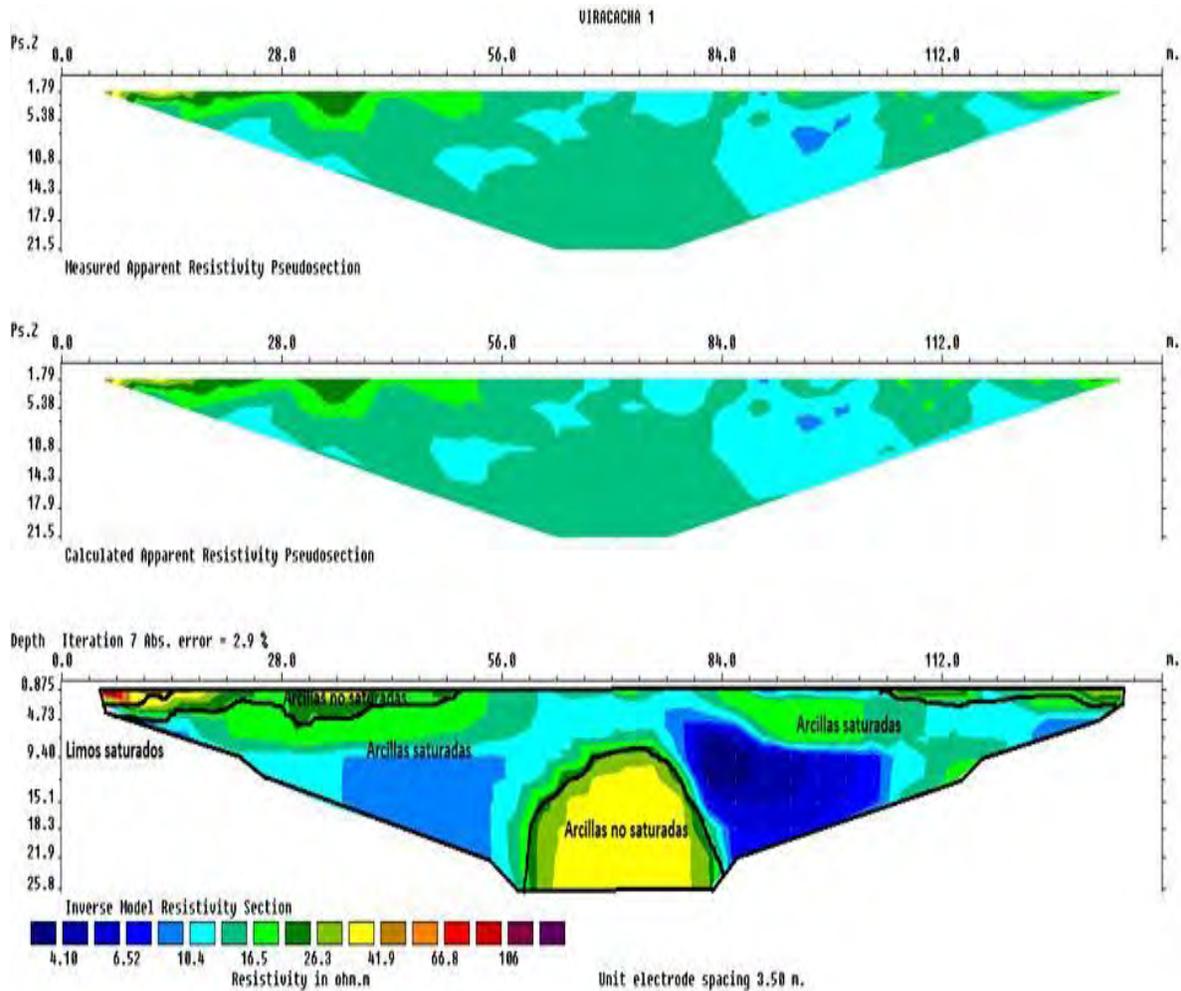
Fuente: Registro fotográfico.

Tabla 15. Datos de resistividad y materiales

MATERIAL	PROFUNDIDAD (m)	RESISTIVIDAD ($\Omega \cdot m$)	INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA
1	0 – 21.9	4.10 - 25	Arcillas saturadas
2	0.875 – 4.73	26.3 – 41.9	Arcillas semisaturadas o no saturadas
3	0 – 4.73.	42 - 106	Limos saturados

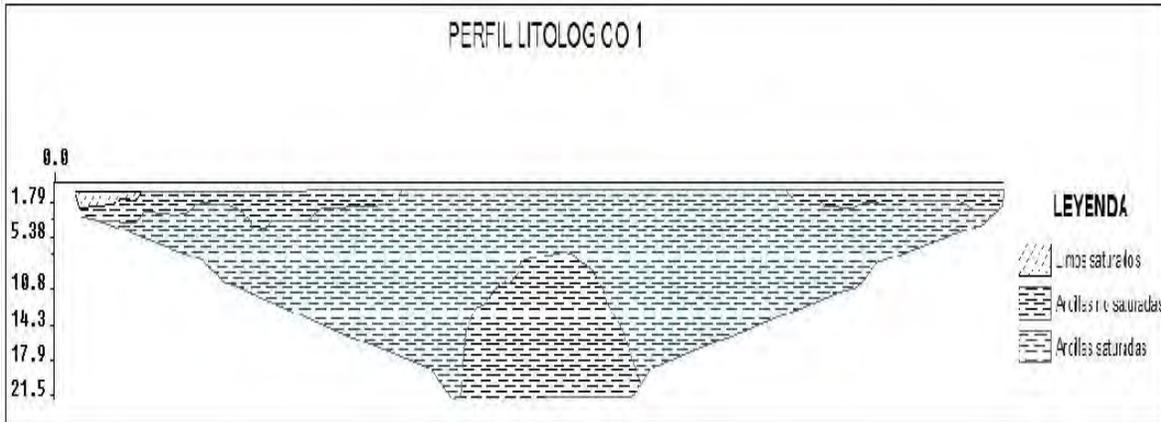
Fuente: Resultado del estudio.

Figura 26. Perfil 1 tomografía.



Fuente: Resultado del estudio.

Figura 27. Perfil litológico 1



Fuente: Resultado del estudio.

5.4.2. TOMOGRAFIA N°2

Localizada en la parte alta del deslizamiento Coordenadas parte inicial X: 1087148, Y: 1092256, parte final X: 1087211, Y: 1092200, orientación N40°W, con una longitud de 92 mts, profundidad obtenida de 16.6 mts, y los electrodos conectados a una distancia de 2.25 mts cada uno.

Fotografía 16. Parte alta del deslizamiento.



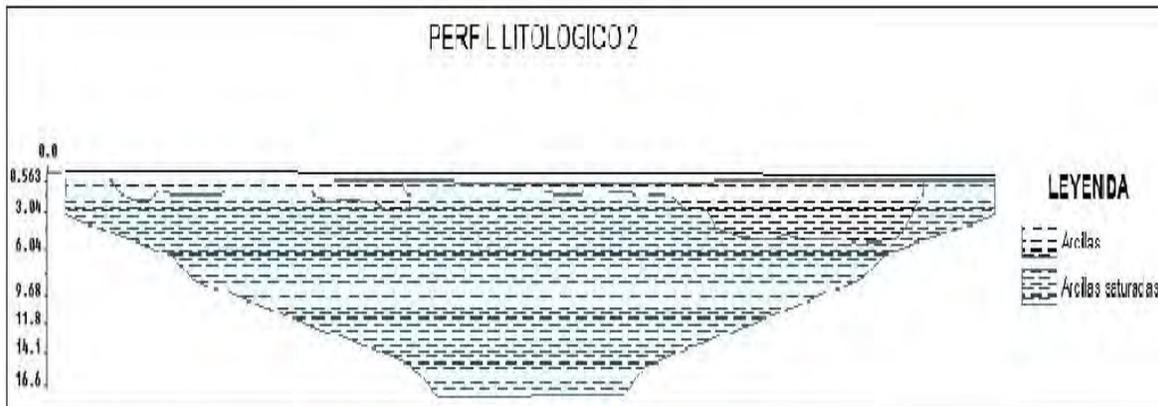
Fuente: Registro fotográfico.

Tabla 16. Datos de resistividad y materiales

MATERIAL	PROFUNDIDAD (m)	RESISTIVIDAD ($\Omega \cdot m$)	INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA
1	0.6 – 16.6	8.82 – 22.7	Arcillas saturadas
2	0.563 – 6.04	23 – 46.1	Arcillas semisaturadas o no saturadas

Fuente: Resultado del estudio.

Figura 29. Perfil litológico 2



Fuente: Resultado del estudio.

5.4.3. RESULTADOS

Con ayuda del software Res2DINX64, se relacionaron datos de las respectivas resistividades de los materiales del área obtenidas por el equipo, resultando así el modelamiento del talud, 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 $8.82 - 22.7 \Omega \cdot m$, arcillas semisaturadas o no saturadas con resistividades que van desde $23 - 42 \Omega \cdot m$, y finalmente limos saturados con resistividades que oscilan entre $42 - 106 \Omega \cdot m$, ver Figura 26 y Figura 28.

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

■ 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 Galindos, municipio de Viracachá, sucedidos desde hace unos años, y que han evolucionado hasta afectar considerablemente viviendas presentes en la zona.

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

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

6.1. EXPLORACIÓN DE CAMPO

6.2. Sondeos geotécnicos

6.2.1. Exploración directa del sub suelo.

La exploración directa del sub suelo consiste en la realización una apique y una trinchera, De estos se tomaron muestras alteradas e inalteradas para realizar los ensayos pertinentes para caracterizar los materiales presentes en esta zona. Además se realizaron sondeos a profundidades de que van hasta los 10 metros de y sus ubicaciones se relacionan en la siguiente Tabla 17; de estos se realizaron los también ensayos de propiedades índices y propiedades mecánicas.

Tabla 17. Coordenadas de los sondeos realizados

VIRACACHA			
Sondeo	Coordenadas		Profundidad (metros)
	Este	Norte	
Sondeo 1	1,087,151	1,092,247	10.0
Sondeo 2	1,087,113	1,092,165	9.80

Fuente: Resultados del Proyecto.

En los sitios donde se realizaron los sondeos, también se realizaron pruebas in situ como lo es la prueba de penetrometro de bolsillo para obtener la resistencia del suelo en condiciones in situ.

Fotografía 17. Perforación realizada en la zona de estudio



Fuente: Registro Fotográfico del Proyecto.

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

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.

6.3. CARACTERIZACIÓN DEL SUELO Y SUBSUELO

6.3.1. Trabajos de Laboratorio

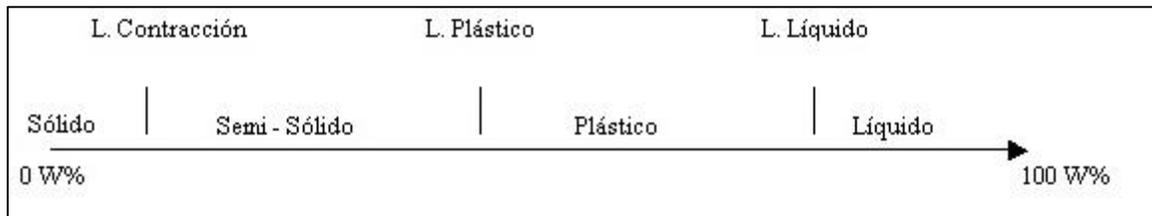
En el laboratorio de Mecánica de Suelos de la UPTC Sede Sogamoso se realizaron pruebas índice (Límites de Atterberg, Granulometría, humedad natural, peso unitario), compresión inconfiada y corte directo. Además de propiedades físicas de las rocas presentes en la zona de estudio, a continuación se realiza 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.

6.3.1.1. Propiedades índices de los suelos.

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

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

Figura 30. Límites de Atterbeg



Fuente: Juárez Badillo y Rico Rodríguez

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

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

- **Granulometría:** Se denomina clasificación granulométrica o granulometría, a la medición y gradación que se lleva a cabo de los granos de una formación sedimentaria, de los materiales sedimentarios, así como de los suelos, con fines

de análisis, tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas, y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica.

6.3.1.2. 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 (ρ)
- Densidad seca de la muestra (ρ_d)
- Densidad saturada de la muestra (ρ_{sat})
- Porcentaje de humedad ($\rho \%$)
- Porcentaje de saturación ($S\%$)
- Porosidad ($n\%$)
- Relación de vacíos (e)
- Peso específico (ρ (KN/m³))
- Peso específico seco (ρ_d (KN/m³))
- Peso específico saturada (ρ_{sat} (KN/m³))

6.3.1.3. 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 18. 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.

Fotografía 19. Muestras a las que se les realizó la prueba de corte directo.



Fuente: Registro Fotográfico

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

6.3.2. 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.

- **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.

6.3.3. 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 arcilloso de baja plasticidad) correspondientes al material de relleno, arcillas limosas, con peso unitario de 1.3 – 2.3 gr/cm³, con limite líquido < 44% e IP entre 9% y 23%.

Los resultados de las propiedades mecánicas reflejan una resistencia a la compresión simple de 0.3 – 1.1 kg/cm², cohesión de 0.1 – 0.5 Kgf/cm², ángulos de fricción 13°. Estos resultados de las propiedades físicas y mecánicas se utilizaron para el análisis de estabilidad. En el anexo 4, se presentan los formatos correspondientes a los ensayos de laboratorio, de los cuales se presenta una tabla resumen (). Y perfil geotécnico.

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

En cuanto a las rocas presentes se obtuvieron pesos específicos de entre los valores de 22 a 23 kN/m³ en las diferentes rocas, con angulos de rozamiento residual de que varían entre 37° y resistencias obtenidas por el ensayo de carga puntual de 51 MPa.

Tabla 18. Resumen de resultados ensayos de laboratorio (Suelos)

UNIVERSIDAD PEDAGOGICA Y TECNOLOGICA DE COLOMBIA																			
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS																			
SECCIONAL SOGAMOSO																			
MEMORIA DE SONDEOS																			
PROYECTO:		ESTUDIO DE RIESGO, AMENAZA Y VULNERABILIDAD VEREDA GALINDOS, SITIO PUERTO GENARO - LA PLACA-MUNICIPIO VIRACACHA																	
PERFORACION:		SONDEOS 1 - 2																	
LOCALIZACION:		VEREDA GALINDOS, SITIO PUERTO GENARO - LA PLACA-MUNICIPIO VIRACACHA- DEPARTAMENTO DE BOYACA																	
FECHA:		JUNIO DE 2013																	
inalterada		[Icono]																	
alterada		[Icono]																	
		RESISTENCIA AL CORTE SUELOS																	
SONDEO / APIQUE N°	MUESTRA N°	TIPO DE MUESTRA	PROF. (m)	COORDENADAS		PROPIEDADES FISICAS SUELOS					CORTE DIRECTO		λ HUMEDO		λ SECO		COMPRESION INCONFINADA		PENETROMETRO
				E	N	Wn (%)	LL	LP	IP	CLASIF (U.S.C.)	P. T. N° 200 %	φ	C	Peso Unitario	Peso Unitario	qu	C	BOLSILLO Kg/cm ²	
S 1	1	[Icono]	0,90	1,087,151	1,092,247	40,05	40,93	17,65	23,28	CL	1,192								
	2-A	[Icono]	1,55	1,087,151	1,092,247	31,34	37,83	24,24	13,59	CL	4,798			1,8508	1,4092	0,5159	0,25795	1	
	2-B	[Icono]	2,00	1,087,151	1,092,247	32,34								1,811	1,3738	0,5639	0,28195	1	
	3	[Icono]	2,50	1,087,151	1,092,247	29,54	32,54	22,54	10,00	CL	7,225			1,9119	1,4931	0,3778	0,1889	0,5	
	4	[Icono]	3,50	1,087,151	1,092,247	34,89	38,46	27,50	10,96	ML-OL	3,71	14,359	0,568	2,0201	1,6272	0,6367	0,31835	1	
	5-A	[Icono]	4,50	1,087,151	1,092,247	29,11	33,49	21,28	12,21	CL	2,589			1,7992	1,3936	0,2984	0,1492	0,5	
	5-B	[Icono]	5,00	1,087,151	1,092,247	29,45								2,0182	1,5591	0,2932	0,1466	0,25	
	6	[Icono]	6,00	1,087,151	1,092,247	24,65	32,52	15,38	17,14	CL	4,626			1,948	1,6197	0,2276	0,1138	0,25	
	7	[Icono]	7,50	1,087,151	1,092,247	28,68	33,34	23,53	9,81	ML-OL	7,822			2,33	1,8972	0,4433	0,22165	0,5	
S2	1	[Icono]	1,10	1,087,113	1,092,165	23,39	44,17	19,61	24,56	CL	2,052								
	2	[Icono]	1,80	1,087,113	1,092,165	21,67	40,88	21,15	19,73	CL	5,961			2,0181	1,6787	0,5826	0,2913	1,5	
	3	[Icono]	2,75	1,087,113	1,092,165	16,20	39,51	27,12	12,39	ML-OL	1,516			2,0709	1,8255	1,1169	0,55845	3	
	4	[Icono]	3,75	1,087,113	1,092,165	26,66	33,08	20,00	13,08	CL	1,2			2,0788	1,7211	0,6208	0,3104	3,5	
	5	[Icono]	4,95	1,087,113	1,092,165	22,51	34,68	20,83	13,85	CL	2,631			2,3353	1,9066	0,5374	0,2687	3,5	

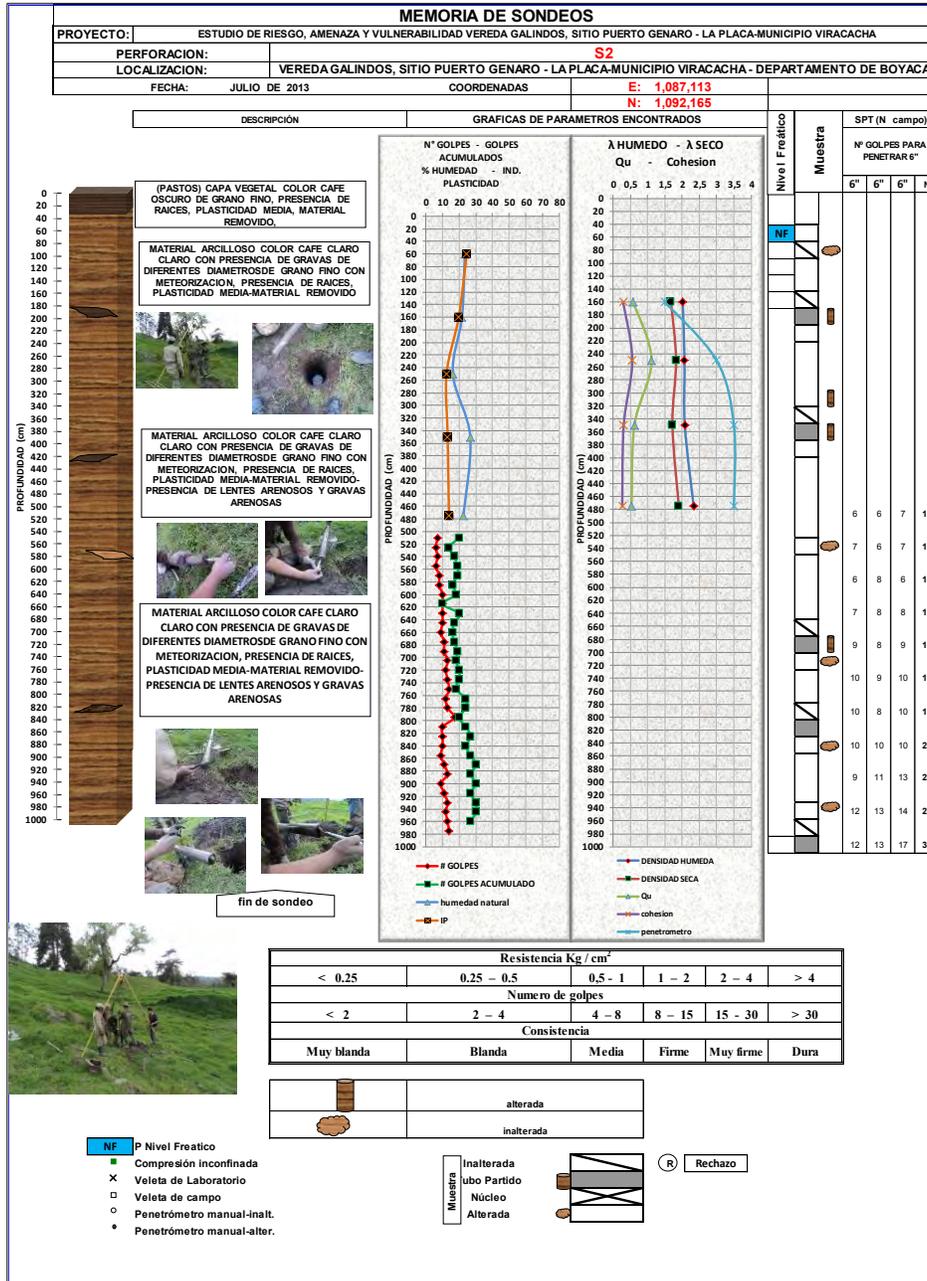
Fuente: Resultados del proyecto.

Tabla 19. Resumen de resultados ensayos de laboratorio (Rocas)

		UNIVERSIDAD PEDAGOGICA Y TECNOLOGICA DE COLOMBIA LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS SECCIONAL SOGAMOSO													
MEMORIA DE ANALISIS DE ROCAS															
PROYECTO:		ESTUDIO DE RIESGO, AMENAZA Y VULNERABILIDAD VEREDA GALINDOS, SITIO PUERTO GENARO - LA PLACA-MUNICIPIO VIRACACHA													
MUESTRAS:		TIPO BLOQUE													
LOCALIZACION:		VEREDA GALINDOS, SITIO PUERTO GENARO - LA PLACA-MUNICIPIO VIRACACHA- DEPARTAMENTO DE BOYACA													
FECHA:		JULIO DE 2013													
		INALTERADA - BLOQUE		PROPIEDADES FISICAS ROCAS							RESISTENCIA AL CORTE ROCAS				
DESCRIPCION	MUESTRA N°	TIPO DE MUESTRA	COORDENADAS		W %	S %	n %	e	y (KN/m²)	yd (KN/m²)	ysat (KN/m²)	CARGA PUNTUAL		TILT	ANGULO
			E	N								MPa	Kgf/cm2	TEST	REPOSO
MARGA	M1		1,0887,114	1,092,203	2,3262	48,1317	11,0991	0,0607	22,8473	22,3177	23,4120	51,708	517,079	44,500	37,754
															

Fuente: Resultados del proyecto.

Figura 31. Perfil geotécnico



Fuente: Registro Fotográfico.



6.4. 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.

6.4.1. Índice de Calidad de la Roca (RQD):

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

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



Donde,

λ : Número de discontinuidades por distancia medida.

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

- 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.

6.4.2. Clasificación Según el RMR:

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

- Resistencia a la compresión uniaxial de la matriz rocosa.
- Grado de fracturación en términos del RQD.



- Espaciado de las discontinuidades.
- Condiciones de las discontinuidades.
- Condiciones de agua subterránea.
- Corrección por la orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación.

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

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

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

Procesando los resultados 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 20) se muestra el resultado de la clasificación por el método RMR para los afloramientos presentes.

Tabla 20. Resumen de Resultados de la Clasificación RMR

Parámetro de clasificación		VIRACACHA	
		Margas	
		Parámetro	Valuación
Resistencia Compresión simple (MPa)		45,00	10
R.Q.D (%)		Buena+	15
Separación de las discontinuidades		Mj	8
Estado de las discontinuidades	Rugosidad - JRC	Muy Rugosa	6
	Abertura	Cerrada	6
	Relleno	Duro	5
	Alteración	Mod. Alt.	3
	Continuidad	1-3 m	3
Agua subterránea		LIG. HÚMEDO	12
VALORACIÓN RMR		68	
VALORACIÓN GSI		63	
VALORACION DE Q´		14,4	
Ajuste	Favorables/Medias	-5	-25
VALOR RMR		63	43
Clase		II Buena	III Media

Fuente: Resultados de la Investigación.

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

Clasificación de macizos propuesta por Hoek y Brown, como un parámetro de condición del macizo rocoso en función de la condición estructural y del estado de las

discontinuidades, para la aplicación del criterio generalizado de Hoek y Brown (2002), con el fin de establecer la envolvente de resistencia del macizo rocoso.

Para su determinación se propone la utilización de la Figura 32.

Figura 32. Guía para la definición del Índice geológico de resistencia (GSI).

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

Fuente: Hoek, 2002

Dada la sencillez de la guía para la determinación del GSI, y en cierta medida su subjetividad se propone para valores de GSI mayores que 25 que este pueda ser establecido a partir del valor de clasificación RMR89, teniendo en cuenta que se



debe tomar el valor RMR sin corrección por orientación de discontinuidades y una valuación de condiciones de agua subterránea igual a 15. De acuerdo a lo anterior el valor de GSI 63 respectivamente como se observa en la (Figura 32)

6.5. CINEMÁTICA DE LOS MOVIMIENTOS

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

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

- Las propiedades mecánicas de los materiales constitutivos del flujo, especialmente la resistencia y compresibilidad.

- La pendiente o canal sobre el cual fluye el suelo.

- El contenido de agua.

6.6. CAUSAS DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA

6.6.1. Causas Reales

Las causas directas de los fenómenos de remoción en masa corresponden a aquellos factores inherentes a la naturaleza del terreno, que lo hace potencialmente inestable. La ocurrencia generalmente está relacionada con la saturación de los materiales subsuperficiales. Algunos suelos absorben agua muy fácilmente y la saturación conduce a la formación del movimiento, también la susceptibilidad geomorfológica dadas las altas pendientes de algunos sectores, el tipo de material



por tratarse de material coluvial, la condición de los materiales rocosos subyacentes al suelo, que se encuentra muy fracturado como producto del intenso fallamiento presente.

6.6.2. Causas Inmediatas

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

Como detonantes de los eventos se han establecido los siguientes:

- La baja capacidad de capturar agua del material pero no de transmitirla lo cual hace 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.

6.7. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y MODELACIÓN GEOTÉCNICA

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

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

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



6.7.1. Modelamiento del comportamiento hidráulico.

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

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

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

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

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

6.7.2. Efecto de la Aceleración Sísmica en el Modelo.

El Municipio de Viracachá 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 Viracacha los coeficientes de aceleración horizontal (Aa) y vertical (Av) son iguales a 0.16 y 0.08 respectivamente, de acuerdo a la NSR-10, sin embargo la versión vigente del código colombiano sismorresistente, indica que los coeficientes se tomen igual al valor mayor, en este caso 0.20 y 0.25. El coeficiente de reducción de los coeficientes de aceleración para suelos y macizos rocosos con R.Q.D menores a 50%, es igual a 0.8.

Tabla 21. Coeficientes de aceleración sísmica para el departamento Boyacá

N°	Municipio	Código	Aa	Av	Zona de Amenaza Sísmica	Ae	Ad
1	Tunja	15001	0.20	0.20	Intermedia	0.15	0.07
45	Jenesano	15367	0.20	0.25	Alta	0.15	0.07
46	Jericó	15368	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
122	Viracachá	15879	0.20	0.25	Alta	0.16	0.08
123	Zetaquirá	15897	0.20	0.25	Alta	0.16	0.08

Fuente: Título A NSR – 10

Tabla 22. Coeficientes de reducción de coeficientes de aceleración sísmica

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

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



Por tanto el coeficiente de aceleración para análisis pseudoestático resulta:

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

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

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

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

6.7.3. Análisis estructuralmente controlado

Los datos estructurales utilizados para el análisis estructuralmente controlado se levantaron alrededor de la zona afectada, Se realizó 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	
1087560	1091860

Tabla 23. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla planar.

ANÁLISIS CINEMÁTICO						
PLANAR						
Rango	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO			RANGO BUZAMIENTO		
1	339	A	379	20	A	24
2	250	A	290	20	A	67
3	224	A	264	20	A	73

Fuente: Resultados del estudio.

Tabla 24. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.

ANÁLISIS CINEMÁTICO						
CUÑA						
Rango	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO			RANGO BUZAMIENTO		
1	269	A	309	66	A	90
2	307	A	347	21	A	90
3	329	A	9	24	A	90

Fuente: Resultados del estudio.

Tabla 25. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.

ANÁLISIS CINEMÁTICO						
VOLTEO						
Rango	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO			RANGO BUZAMIENTO		
1	149	A	199	65	A	90
2	394	A	444	65	A	90
3	150	A	200	65	A	90

Fuente: Resultados del estudio.

A continuación se representa los datos de la zona 2.

Zona 2	
1087666	1091732

Tabla 26. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla planar.

ANÁLISIS CINEMÁTICO						
PLANAR						
Rango	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO			RANGO BUZAMIENTO		
1	169	A	209	20	A	74
2	269	A	309	20	A	71
3	37	A	77	0	A	10

Fuente: Resultados del estudio.

Tabla 27. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.

ANÁLISIS CINEMÁTICO						
CUÑA						
Rango	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO			RANGO BUZAMIENTO		
1	236	A	276	65	A	90
2	355	A	35	7	A	90
3	80	A	120	7	A	90

Fuente: Resultados del estudio.

Tabla 28. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.

ANÁLISIS CINEMÁTICO						
VOLTEO						
Rango	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO			RANGO BUZAMIENTO		
1	339	A	29	65	A	90
2	207	A	257	65	A	90
3	150	A	200	65	A	90

Fuente: Resultados del estudio.

A continuación se representa los datos de la zona 3.

Zona 3	
1087660	1092020

Tabla 29. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla planar.

ANÁLISIS CINEMÁTICO						
PLANAR						
Rango	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO			RANGO BUZAMIENTO		
1	286	A	326	0	A	20
2	208	A	248	20	A	77
3	275	A	315	20	A	79

Fuente: Resultados del estudio.

Tabla 30. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.

ANÁLISIS CINEMÁTICO						
CUÑA						
Rango	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO			RANGO BUZAMIENTO		
1	293	A	333	14	A	90
2	4	A	44	3	A	90
3	235	A	275	75	A	90

Fuente: Resultados del estudio.

Tabla 31. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.

ANÁLISIS CINEMÁTICO						
VOLTEO						
Rango	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO			RANGO BUZAMIENTO		
1	96	A	146	65	A	90
2	85	A	135	65	A	90
3	150	A	200	65	A	90

Fuente: Resultados del estudio.

A continuación se representa los datos de la zona 4.

Zona 4	
1087660	1092020

Tabla 32. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla planar.

ANÁLISIS CINEMÁTICO						
PLANAR						
Rango	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO			RANGO BUZAMIENTO		
1	169	A	209	20	A	74
2	269	A	309	20	A	71
3	16	A	56	0	A	11

Fuente: Resultados del estudio.

Tabla 33. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.

ANÁLISIS CINEMÁTICO						
CUÑA						
Rango	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO			RANGO BUZAMIENTO		
1	354	A	34	10	A	90
2	79	A	119	4	A	90
3	223	A	263	64	A	90

Fuente: Resultados del estudio.

Tabla 34. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.

ANÁLISIS CINEMÁTICO						
VOLTEO						
Rango	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO			RANGO BUZAMIENTO		
1	339	A	29	65	A	90
2	186	A	236	65	A	90
3	150	A	200	65	A	90

Fuente: Resultados del estudio.

A continuación se representa los datos de la zona 5.

Zona 5	
1087660	1092020

Tabla 35. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla planar.

ANÁLISIS CINEMÁTICO						
PLANAR						
Rango	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO			RANGO BUZAMIENTO		
1	280	A	320	20	A	74
2	40	A	80	20	A	71
3	350	A	30	0	A	11

Fuente: Resultados del estudio.

Tabla 36. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.

ANÁLISIS CINEMÁTICO						
CUÑA						
Rango	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO			RANGO BUZAMIENTO		
1	309	A	349	18	A	90
2	261	A	301	20	A	90
3	325	A	5	85	A	90

Fuente: Resultados del estudio.

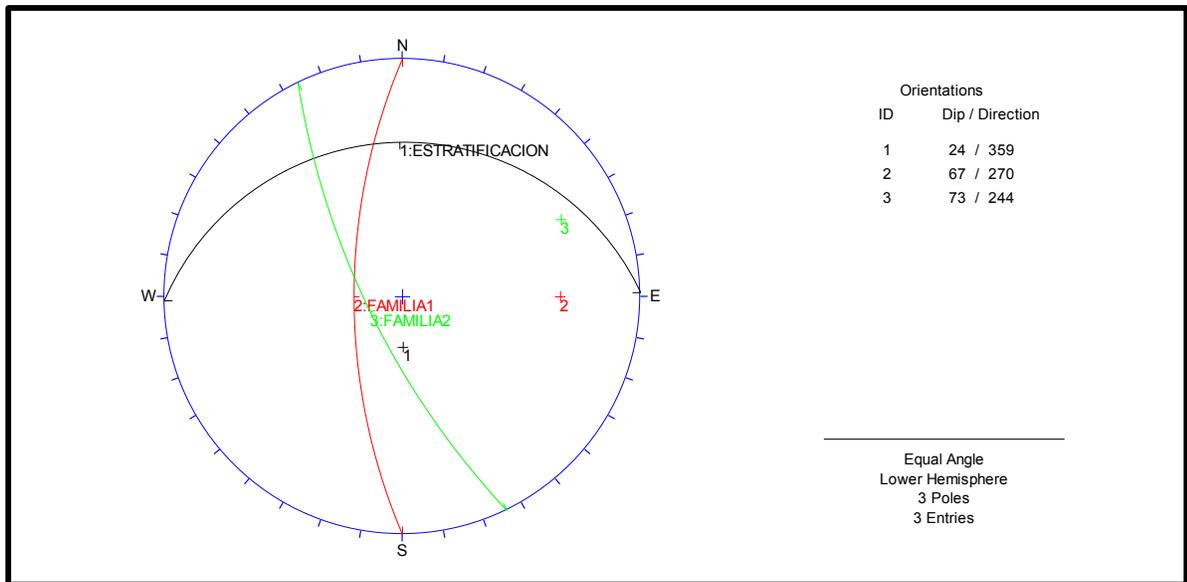
Tabla 37. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.

ANÁLISIS CINEMÁTICO						
VOLTEO						
Rango	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO			RANGO BUZAMIENTO		
1	90	A	140	65	A	90
2	160	A	210	65	A	90
3	150	A	200	65	A	90

Fuente: Resultados del estudio.

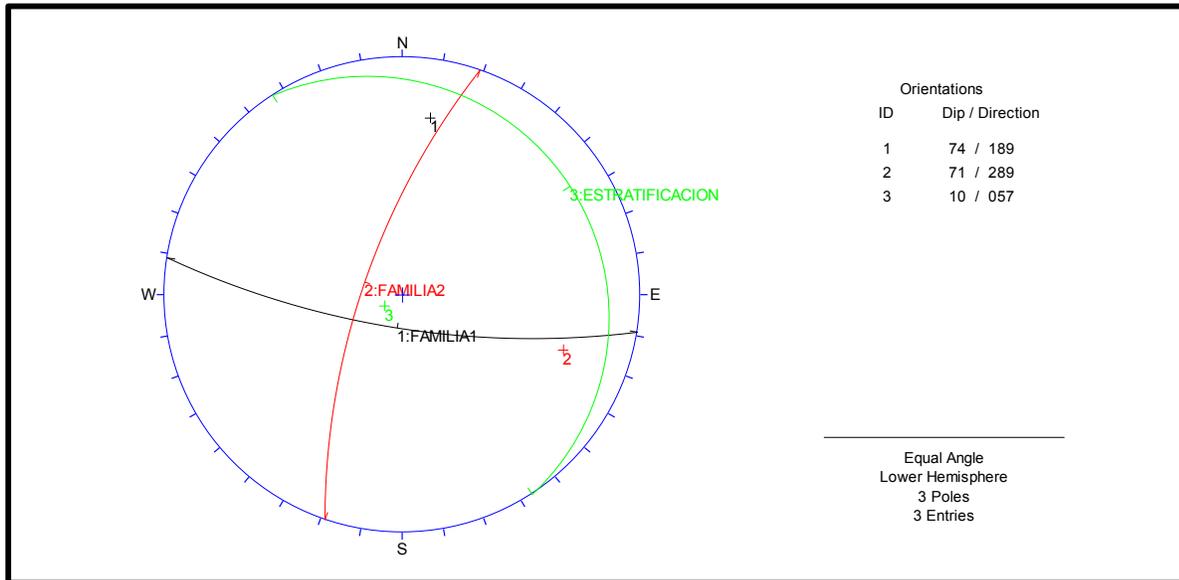
Las Tabla 23, Tabla 24, Tabla 25,.. En adelante reflejan los posibles rangos de dirección de buzamiento de las laderas y la inclinación que deben cumplir para que cada una de las fallas ocurra; estas se obtienen tras analizar cada una de las estructuras presentes en estas zonas las cuales se observan en las siguientes figuras.

Figura 33. Orientación de planos en la zona 1



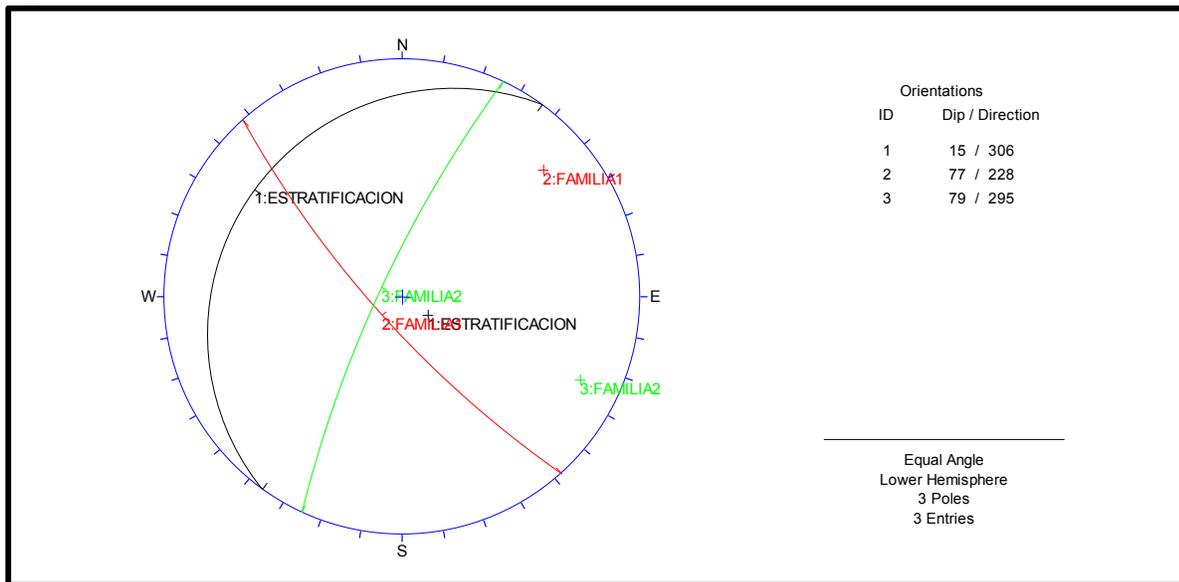
Fuente: Resultados de la Investigación.

Figura 34. Orientación de planos en la zona 2



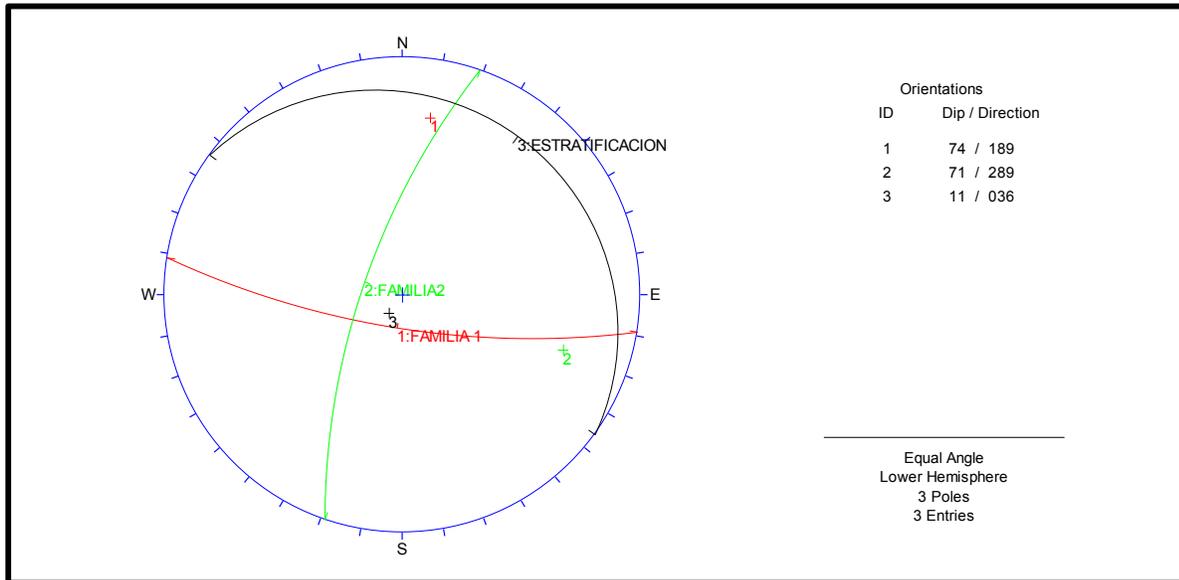
Fuente: Resultados de la investigación.

Figura 35. Orientación de planos en la zona 3



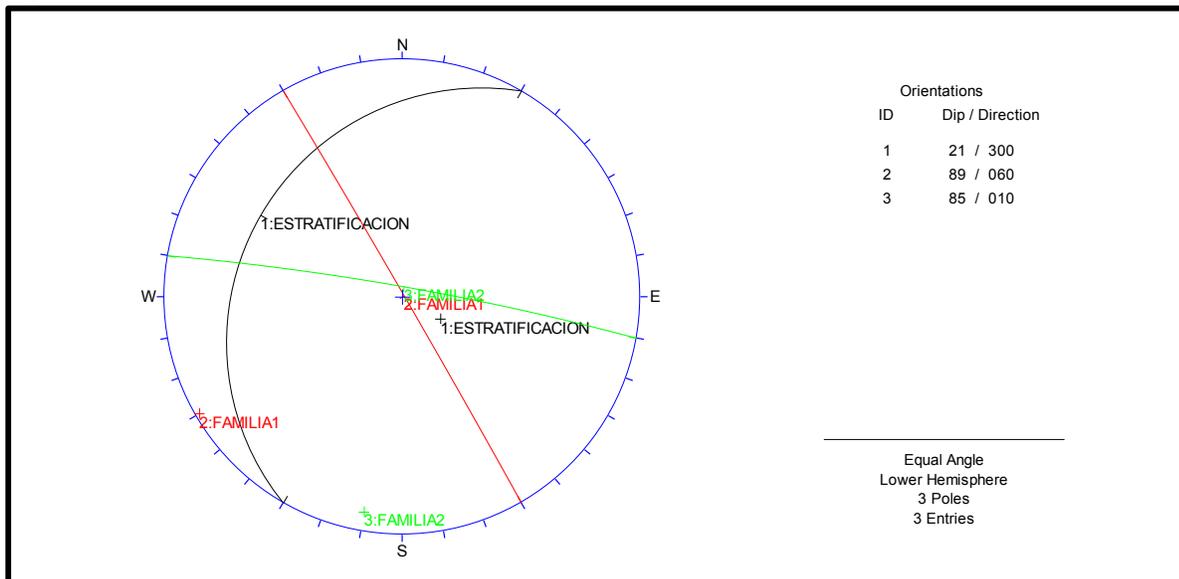
Fuente: Resultados de la investigación.

Figura 36. Orientación de planos en la zona 4



Fuente: Resultados de la investigación.

Figura 37. Orientación de planos en la zona 5



Fuente: Resultados de la investigación.

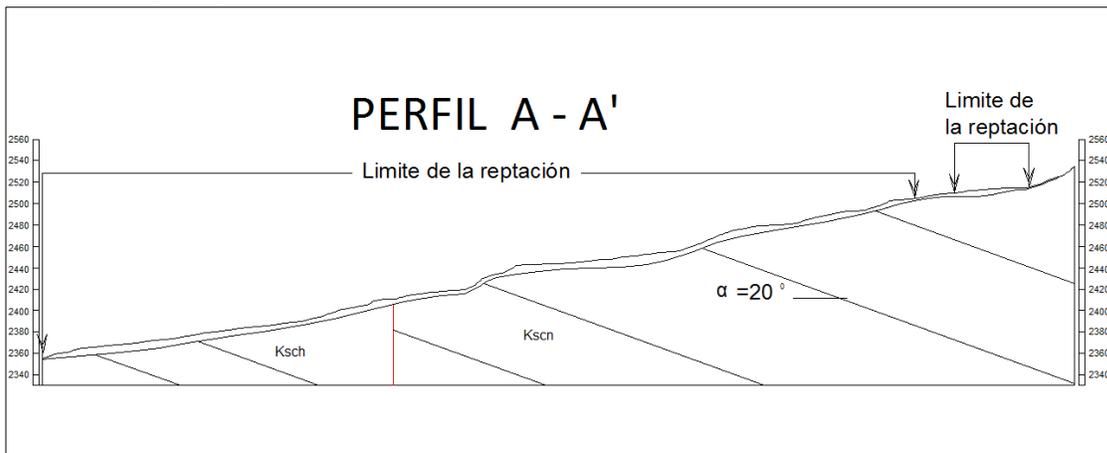
6.7.4. Análisis estructuralmente no controlado

Para el análisis estructuralmente controlado se realizaron diferentes cortes geológicos los cuales se pueden observar en el anexo mapa geológico, estos perfiles fueron analizados y se pudo obtener los factores de seguridad a lo largo del perfil.

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

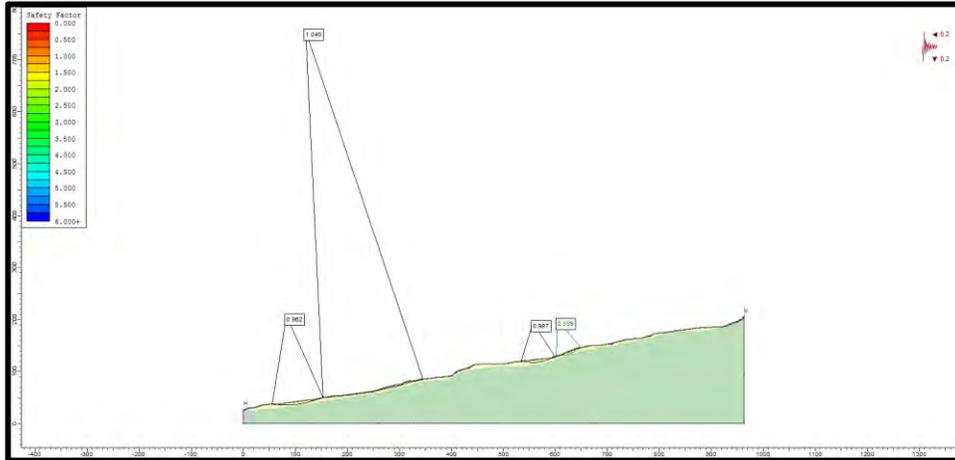
Para este caso se analizaron el perfil A-A', Perfil B-B, y el Perfil C-C', ya que estos son los que comprenden realmente el deslizamiento como tal.

Figura 38. Perfil geológico A-A'



Fuente: Resultados de la Investigación.

Figura 39. Modelo de análisis perfil A-A'



Fuente: Resultados de la Investigación.

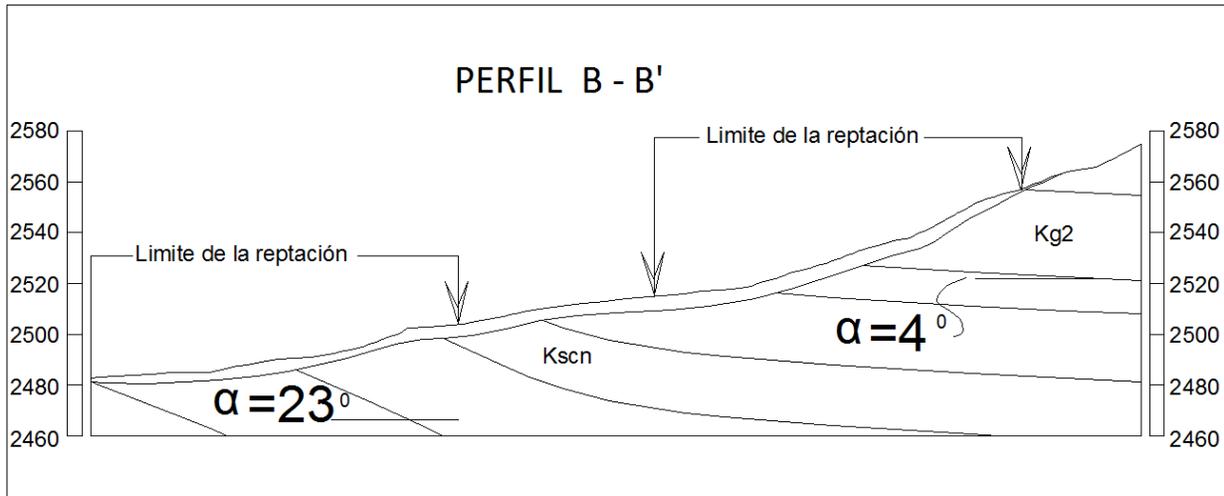
Los resultados de este análisis se relacionan en las siguientes tablas.

Tabla 38. Factores de seguridad para el modelo perfil B-B'

Condición del modelo	Factor de Seguridad			
	Met. Fellenious	Met. Bishop Simplificado	Metodo de Janbu Simple	Metodo de Janbu Corregido
Condición de agua subterránea normal (Ru = 0.1)	1.35	1.35	1.348	1.371
Condición de agua subterránea crítica (Ru = 0.3)	1.175	1.171	1.166	1.186
Condición de agua subterránea media (Ru = 0.5) y sismo (análisis pseudoestático)	0.993	0.988	0.984	1.001

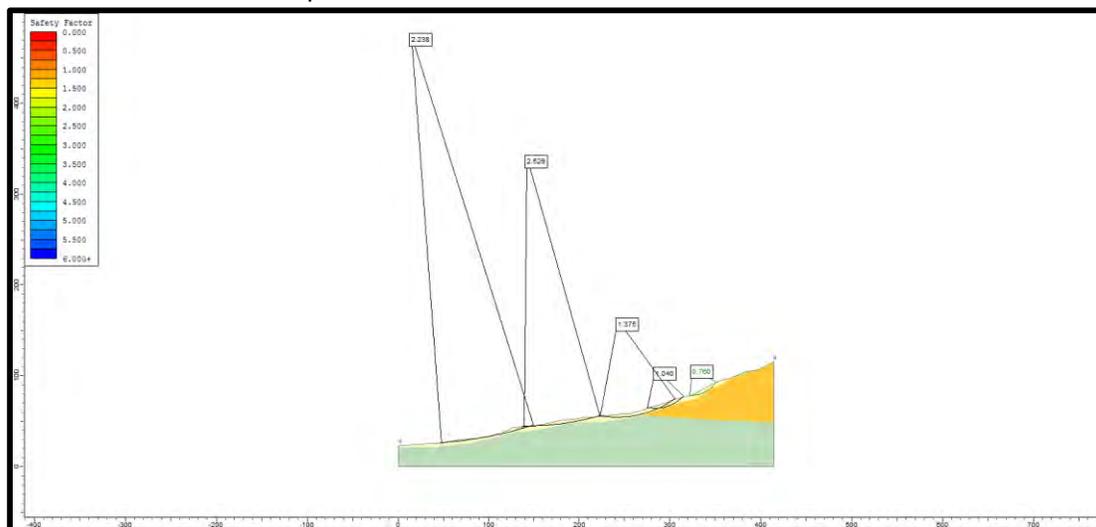
Fuente: Resultados de la Investigación.

Figura 40. Perfil geológico B-B'



Fuente: Resultados de la Investigación.

Figura 41. Modelo de análisis perfil B-B'



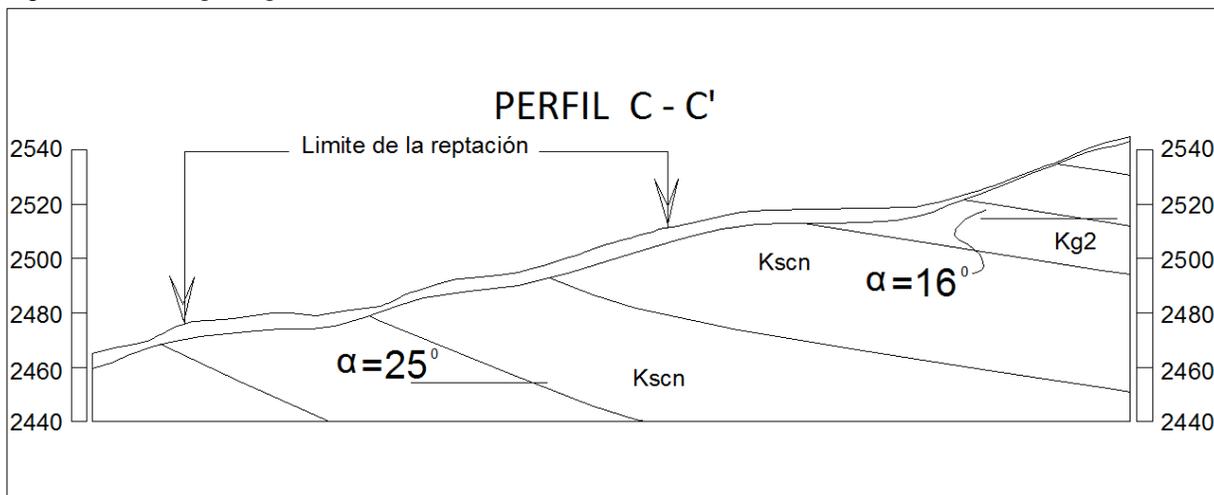
Fuente: Resultados de la Investigación.

Tabla 39. Factores de seguridad para el modelo perfil B-B'

Condición del modelo	Factor de Seguridad			
	Met. Fellenious	Met. Bishop Simplificado	Metodo de Janbu Simple	Metodo de Janbu Corregido
Condición de agua subterránea normal (Ru = 0.1)	1.113	1.123	1.106	1.140
Condición de agua subterránea crítica (Ru = 0.3)	0.961	0.963	0.948	0.977
Condición de agua subterránea media (Ru = 0.5) y sismo (análisis pseudoestático)	0.809	0.802	0.790	0.814

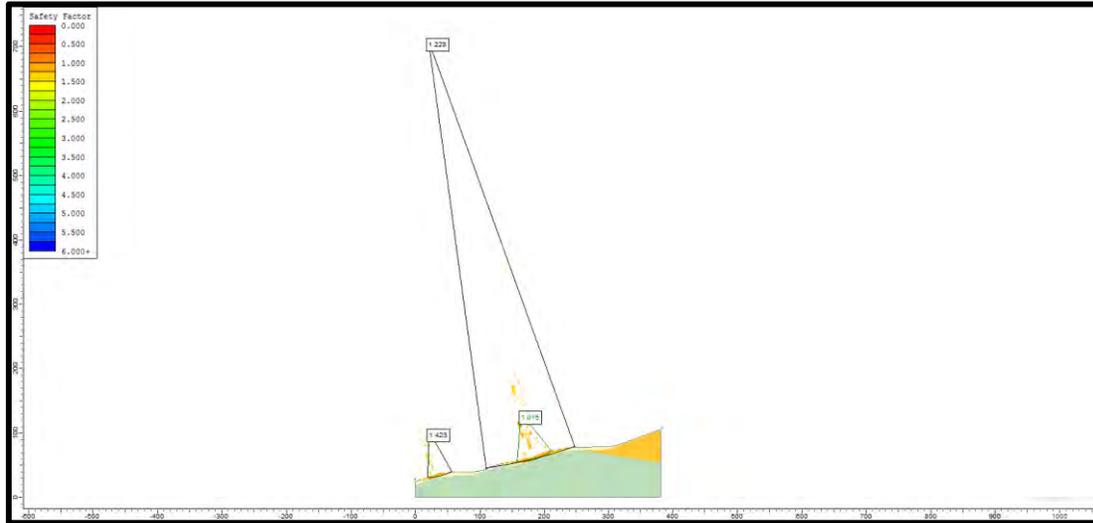
Fuente: Resultados de la Investigación.

Figura 42. Perfil geológico C-C'



Fuente: Resultados de la Investigación.

Figura 43. Modelo de análisis perfil C-C'



Fuente: Resultados de la Investigación.

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

Tabla 40. Factores de seguridad para el modelo perfil C-C'

Condición del modelo	Factor de Seguridad			
	Met. Fellenious	Met. Bishop Simplificado	Metodo de Janbu Simple	Metodo de Janbu Corregido
Condición de agua subterránea normal ($R_u = 0.1$)	1.35	1.35	1.348	1.371
Condición de agua subterránea crítica ($R_u = 0.3$)	1.175	1.171	1.166	1.186
Condición de agua subterránea media ($R_u = 0.5$) y sismo (análisis pseudoestático)	0.993	0.988	0.984	1.001

Fuente: Resultados de la Investigación.



■ ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA

1.9. 7.1. DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DE AMENAZAS

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

- **Amenaza:** es la probabilidad de ocurrencia de un evento potencialmente dañino, caracterizado por una cierta intensidad, dentro de un periodo dado y en un área determinada.

- **Vulnerabilidad:** es el sistema de condiciones y procesos resultado de los factores físicos, sociales, económicos, culturales y ambientales, que aumentan o disminuyen la susceptibilidad de una comunidad o infraestructura al impacto de las amenazas.

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

Existen amenazas por inundación, erosión hídrica y fenómenos de remoción en masa, las cuales es importante identificar y caracterizar, para tomar medidas de

mitigación que permitan la disminución de la vulnerabilidad y la complementación de los planes de emergencia para cada sector. Tabla 41

Tabla 41. Parámetros físicos y naturales estimados para la Identificación de Zonas Inestables (Deslizamientos)¹

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

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

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

Fuente: Resultados de la Investigación.

7.1.1. Resultado de análisis

Para la clasificación de la amenaza de la zona se utilizaron como criterios de categorización los presentados en la Tabla 42, teniendo en cuenta los parámetros de la Metodología de Leone.

Tabla 42. Categorización de amenazas por FRM

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

Fuente: Resultados de la Investigación.

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 43.

Tabla 43. Categorización de amenaza por frm SEGÚN NSR-10

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

Fuente: Resultados de la Investigación.

7.2. ANALISIS DE AMENAZA

Fotografía 20. Panorámica de la zona afectada



Fuente: Registro fotográfico.

Se observa un proceso complejo, generando una serie de discontinuidades, que han constituido grandes desprendimientos y terracetas, acelerando el movimiento, los materiales fluyen fácilmente por la diferencia de pendiente, abarcando una



gran extensión de terreno, ayudado por la naturaleza arcillosa de los materiales que constituyen el sector, con presencia de nacimientos de agua que unidos a las actividades antrópicas como pastoreo y mal uso de la tierra incrementan estos movimientos. Este movimiento presenta reactivaciones en época invernal como consecuencia de la saturación que se genera en el material inestable. Este movimiento, ya ha afectado algunas de las viviendas que se encuentran dentro de la zona del movimiento, e igualmente han modificado de manera considerable las condiciones morfológicas, afectando a los pobladores en el uso de los predios para actividades agrícolas y pecuarias.

En este estudio, ante la manifestación de inestabilidad del terreno, la amenaza se ha obtenido directamente de la valoración de los efectos notables en el sector, los cuales se evidencian en geoformas, movimientos del terreno, hundimientos, trazas de superficies de falla, presencia de grietas, presencia de escarpes, agrietamiento de las construcciones existentes en toda la zona que se encuentra afectada.

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

7.2.1. Amenaza Media.

Corresponde a toda la zona delimitada topográficamente, dentro de la cual se encuentran ubicadas 2 viviendas, e igualmente la vía veredal que atraviesa la parte media del deslizamiento

Fotografía 21. Se observa vía vereda La Placa - Galindos



Fuente: Registro fotográfico.

7.2.2. Amenaza Baja.

Está constituida por las zonas aledañas al deslizamiento, paralelo al río Cuyasia, en límite con el Municipio de Ciénega

Fotografía 22. Proceso de reptamiento hacia la parte baja



Fuente: Registro fotográfico.

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.



EVALUACIÓN Y ANALISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO

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

8.1. 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



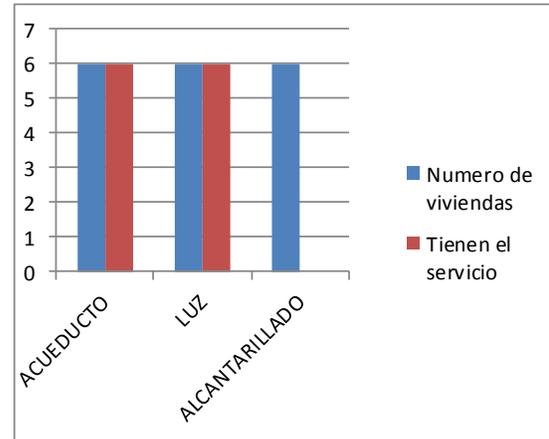
análisis es apenas cualitativo y se basa en la información de los formularios como: el nivel de ingresos, la percepción del peligro, las recomendaciones para medidas urgentes, la cobertura de los servicios públicos y el índice de carencia de la vivienda.

8.1.1. 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 44). 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 44. Indicadores de Índice de Vulnerabilidad social

	ACUEDUCTO	LUZ	ALCANTARILLADO
Numero de viviendas	6	6	6
Tienen el servicio	6	6	0
No tienen el servicio	2	0	2
% carencia	33	0	100
Promedio	44.33		
Indice de servicios	0,443		



TIPO DE VIVIENDA	SISTEMA ESTRUCTURAL	No. DE VIVIENDAS	%
ADECUADO	MUROS PORTANTES	6	0
	PORTICO	0	0
	PORTICO CON TABIQUES	3	0
	ENTRAMADO	0	0
	TABIQUES	0	0
INADECUADO	SISTEMA MIXTO	3	100
	DE RECUPERACION	0	0
		6	100

Fuente: Resultados de la Investigación.

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

En el sector, se encuentran 6 viviendas dentro de la zona de influencia del movimiento.

8.2. 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 vías, construcciones, infraestructura, población, cultivos entre otros.

8.2.1. 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 44.

Tabla 44. Criterios de resistencia de la estructura

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

Fuente: Resultados de la Investigación.

8.3. CALIFICACION 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 45.

Tabla 45. Categorías de los daños

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

Fuente: Resultados de la Investigación.

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:

RN: Resistencia Movilizada

IR: Índice de Resistencia

IE: Índice de Exposición

8.3.1. 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 el desplazamiento de material pudiera provocar, el valor de este 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 46. 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: Resultados de la Investigación.

8.3.2. 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 45 se muestra el tipo de cubierta, estructura de techo, estructura del piso y sistema estructural.

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

Recuperación y palafitos. Incluye viviendas construidas con sistemas muy precarios en madera y sin un correcto sistema de transmisión de cargas al suelo de cimentación; en materiales como cartón, lata y madera; sin sistemas de



cimentación, con techos en Zinc, madera, lata, cartón y mixtos; la calidad se considera baja.

Prefabricados. Son viviendas modulares en concreto, de media a baja calidad constructiva sobre placas delgadas del mismo material; la estructura del techo es en madera y su cubierta en teja de asbesto – cemento.

Vivienda en mampostería: Contempla todas las viviendas de uno a tres pisos, cuyos muros son en mampostería con diferentes tipos de elementos de amarre estructural, donde ellos hacen las veces de unidades de soporte. Con calidad constructiva que oscila desde alta hasta regular, la cubierta generalmente es de asbesto cemento, teja de zinc o de barro.

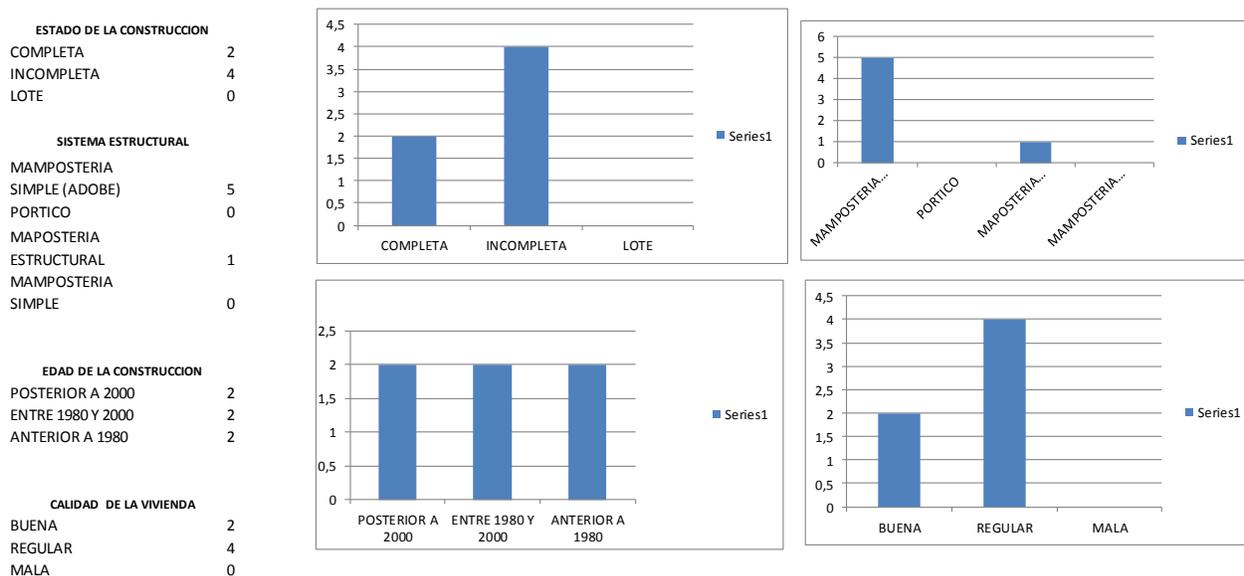
Vivienda hasta dos niveles: de buena calidad de construcción, con estructura. Estas unidades involucran sistemas aporricados con placas de entrepisos cuyos materiales de cubierta pueden ir desde la teja de asbesto - cemento hasta concreto.

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

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

- **Tipo de Cubierta:** Se considera arbitrariamente que esta puede aportar un 20% de la resistencia de la vivienda ante un evento de deslizamiento o flujo de lodos. En el área de estudio predominan las cubiertas en teja de barro y Zinc (Figura 45).
- **Estructura de la cubierta.** El material de la estructura del techo fue incluido como elemento aportante de un 20% de la resistencia total de la vivienda.
- **Sistema Estructural:** Otra de las variables involucradas es el tipo de sistema estructural de la vivienda, siendo este el elemento considerado con mayor aporte a la resistencia que podría ofrecer la vivienda 60%. La Figura 45 muestra la composición de las viviendas por sistema estructural según los datos obtenidos en la encuesta, las viviendas no cuentan con sistema estructural.

Figura 45. Tipología de viviendas



Fuente: Resultados de la Investigación.

La Tabla 47 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:

$$IR = 0.2 * C + 0.2 * T + 0.6 * SE \text{ Donde:}$$

IR = Índice de Resistencia

C = Valor asignado para cada tipo de cubierta

T = Valor asignado para tipo de Estructura de techo

SE = Valor asignado para tipo de Sistema Estructural

Tabla 47. Factores de Ponderación

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

Fuente: Resultados de la Investigación.

8.3.3. 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 48). 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 48.

Tabla 48. Matriz para la determinación intensidad de daño

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

SC = SUPERFICIE DE CONTACTO
SE = SUPERFICIE EXPUESTA

Fuente: Resultados de la Investigación

Tabla 49. 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 de la Investigación.

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

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

Donde,

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

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

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

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

8.4. EVALUACION Y GENERACION DE ESCENARIOS DE RIESGO

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

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

Tabla 50. 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: Resultados de la Investigación.

8.4.1. 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 seis viviendas en el área de influencia del movimiento. Las viviendas del sector fueron censadas.

Tabla 51. Número de integrantes por familia

FAMILIA		No. INTEGRANTES
EULOGIO	CEPEDA	3
RODRIGUEZ		
DORIS VARGAS		3
WILLIAM VARGAS		1

Fuente: Resultados de la Investigación.

Fotografía 23. Desplazamiento del material.



Fuente: Registro fotográfico.



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

8.5. ANÁLISIS Y GRAFICAS ESTADÍSTICAS DE LAS ENCUESTAS REALIZADAS EN EL MUNICIPIO DE VIRACACHA, VEREDA GALINDOS.

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

Fotografía 24. Parte baja del área evaluada.



Fuente: Registro fotográfico.



▪ **PREGUNTA 1.**

¿Tipo de sector Urbano o rural?

El sector evaluado pertenece a un sector rural del municipio de Viracacha en la vereda Pirguata, en donde se presenta un movimiento en masa progresivo desde hace aproximadamente diez (10) años, lo que ha afectado tanto la productividad de los suelos como el factor de habitabilidad de la zona.

▪ **PREGUNTA 2.**

¿La vivienda es propia o arrendada?

En el área de influencia del deslizamiento se encuentran habitando tres (3) familias de las cuales solo una es propietaria de la vivienda y las otras dos viven en arriendo desde hace algunos años, ya que los propietarios de las mismas se trasladaron a vivir a la ciudad de Bogotá dejando sus fincas a su cargo.

▪ **PREGUNTA 3.**

¿Servicios con que cuenta la vivienda?

Dos (2) de las viviendas evaluadas cuentan con servicios de agua y luz y una (1) cuenta con solo servicio de luz, ya que le agua para consumo es traída por manguera de un pozo cercano.

▪ **PREGUNTA 4.**

¿La vivienda cuenta con servicio de acueducto?

Todas las viviendas cuentan con servicio de acueducto veredal, sin embargo el servicio para una (1) de ellas no es óptimo por lo que tiene que sustraer agua de un pozo cercano.

▪ **PREGUNTA 5.**

¿La vivienda cuenta con servicio de alcantarillado?

Las familias que habitan la zona de influencia del deslizamiento manifiestan que no cuentan con servicio de alcantarillado, por lo que las aguas servidas son vertidas a los terrenos en la mayoría de los casos sin ningún tipo de canalización que permita que estas fluyan de manera controlada. Todas las viviendas cuentan con pozo séptico a los cuales también hace mucho no se les ha hecho mantenimiento según lo manifestado por los habitantes del sector.

Fotografía 25. Unidad sanitaria de vivienda evaluada.



Fuente: Registro fotográfico.



▪ **PREGUNTA 6.**

¿Se encuentra afiliado a seguridad social?

Las familias visitadas se encuentran cubiertas en salud por el régimen subsidiado, lo que les permite tener al alcance los servicios básicos en salud, sin embargo no existe una cultura de salud que les permita aprovechar al máximo estos servicios a los que tienen acceso.

▪ **PREGUNTA 7.**

¿Dentro del núcleo familiar existen personas con alguna discapacidad?

En cuanto a discapacidad se halla un hombre de 66 años de edad, que presenta dificultades para moverse, el cual vive solo y no cuenta con red de apoyo familiar, ni con ayudas sociales que le permitan mejorar sus condiciones de salud y por ende de calidad de vida.

▪ **PREGUNTA 8.**

¿Habitan niños(as) en la vivienda?

En cuanto a la presencia de menores de edad en la zona de influencia del movimiento se hallan solo tres (3) menores de 12, 11 y 8 años de edad, pertenecientes a un mismo núcleo familiar, los cuales habitan una vivienda en la parte media del deslizamiento a la orilla de la vía que conduce del municipio de Viracacha al municipio de Cienega, la cual presenta serias afectaciones a su estructura representando un riesgo alto para esta familia, a la cual en ocasiones anteriores por parte de la oficina de planeación se le recomendó el desalojo de la misma, lo cual se reitera con la presente vivista realizada.

Fotografía 26. Niños en vivienda de zona evaluada.



Fuente: Registro fotográfico.

▪ **PREGUNTA 9.**

¿Qué ocupación tienen los niños que habitan las viviendas?

En el núcleo familiar en donde se evidenció la presencia de menores, manifestaron que estos se encuentran escolarizados siendo esta su principal actividad cotidiana.

▪ **PREGUNTA 10.**

¿Dentro del núcleo familiar se encuentran adultos mayores?

En la zona habitan dos adultos mayores en diferentes viviendas, uno de 66 años con discapacidad que habita solo y otra de 80 años de edad la cual si cuenta con familia extensa para su cuidado.

▪ **PREGUNTA 11.**

¿A qué estrato pertenece su vivienda?

Todas las viviendas pertenecen al estrato uno según lo manifestado por las personas que las habitan.

Fotografía 27. Vivienda en riesgo.



Fuente: Registro fotográfico.

▪ **PREGUNTA 12.**

Tipo de vivienda.

Todas las viviendas habitadas y visitadas son de tipo unifamiliar y la mayoría de ellas se encuentran en mal estado.

▪ **PREGUNTA 13.**

Área aproximada de las viviendas.

Dos (2) de las viviendas visitadas tiene un área construida menor a 50 Mtrs cuadrados y solo una (1) es de más de 100 Mtrs Cuadrados.

▪ **PREGUNTA 14.**

¿Cuántos pisos tiene la vivienda?

Todas las viviendas visitadas y pertenecientes al área de influencia del deslizamiento cuentan con una sola planta de construcción, conservando las características típicas de las casa de tipo rural.

Fotografía 28. Vivienda en riesgo.



Fuente: Registro fotográfico.

▪ **PREGUNTA 15.**

¿Qué edad tiene la construcción?

No se evidencia la presencia de viviendas nuevas en el sector visitado, de las tres viviendas una tiene alrededor de 15 años de construida, otra tiene un promedio de 20 años de construida y otra tiene más de 21 años de construida, tampoco se evidencia la presencia de mejoras a las mismas, primero por falta de recursos y segundo por la zona de riesgo sobre la que se encuentran.

▪ **PREGUNTA 16.**

La armazón de la vivienda es:

Todas las viviendas que aún se encuentran habitadas en la zona están construidas en ladrillo predominantemente, ya que algunas aun tienen algunos muros en adobe.

▪ **PREGUNTA 17.**

La cubierta de la vivienda es de:

Todas las viviendas presentan coberturas en teja eternit predominantemente, ya que algunas también presentan partes cubiertas con teja de zinc, lo que no permite la uniformidad en las construcciones.

Fotografía 29. Vivienda en donde habitan menores de edad.



Fuente: Registro fotográfico.

▪ **PREGUNTA 18.**

Los muros de la vivienda son en:

Los muros predominantes en las construcciones son los de material de ladrillo, siendo esta parte de las viviendas la que más presenta averías por fracturamiento o agrietamiento, lo que evidencia una afectación seria en su estructura.

Fotografía 30. Vivienda parte alta del deslizamiento



Fuente: Registro fotográfico.

▪ **PREGUNTA 19.**

El acabado de los pisos es de:

Las viviendas más antigua presenta pisos en tierra pisada y las construcciones más nuevas presentan pisos en baldosa común, las cuales también en menor grado presentan afectaciones por agrietamientos progresivos.



▪ **PREGUNTA 20.**

El estado de la construcción es:

La vivienda más antigua presenta un grado de afectación malo, pues su deterioro es avanzado y aún más con la presencia de una persona adulta mayor con problemas de discapacidad, las otras dos viviendas presentan un estado de afectación regular o aceptable, pero por su ubicación dentro de área evaluada se recomienda en lo posible su reubicación.

▪ **PREGUNTA 21.**

La construcción anteriormente ha sufrido daño por:

Los daños que han venido sufriendo las viviendas estructuralmente, se deben según las personas que las habitan al movimiento progresivo del terreno sobre el cual se hallan construidas.

▪ **PREGUNTA 22.**

El daño sufrido por la vivienda fue:

Dos de las viviendas han sufrido daños moderados y una un daño fuerte a causa del movimiento del terreno, esto debido a que ninguna entidad se había apropiado de este problema, permitiendo su avance sin ningún tipo de estrategias de manejo ni ambiental ni social, según lo manifiestan los habitantes de la zona.



▪ **PREGUNTA 23.**

La parte de la construcción más afectada fue:

Las zonas más afectadas de las viviendas son los muros seguidos por los pisos en donde se presentan fisuras en crecimiento progresivo más aun en épocas de invierno cuando más se presentan filtraciones en las mismas.

▪ **PREGUNTA 24.**

La vivienda cuenta con bases:

Las dos (2) viviendas más nuevas cuentan con bases y la vivienda mas antigua no, sin embargo esto ha sido un factor de seguridad para las mismas, ya que todas presentan afectaciones en sus estructuras.

▪ **PREGUNTA 25.**

Causa de Inestabilidad del suelo:

Los habitantes de las viviendas visitadas coinciden en que la inestabilidad del suelo es causada por el movimiento en masa que se presenta hace ya varios años en la zona y se agudiza por la falta de cultura ambiental de sus habitantes los cuales vierten las aguas servidas a los potreros indiscriminadamente, además se han talado árboles para abrir paso a las zonas de pastoreo de ganado.

Fotografía 31. Hundimiento de terreno parte baja del deslizamiento.



Fuente: Registro fotográfico.

▪ **PREGUNTA 26.**

Ingresos económicos de la familia:

Las familias que habitan la zona son netamente campesinas, que viven de sus jornales, por lo que sus ingresos son escasos, pues dos (2) de las familias viven con menos de la mitad de un salario mínimo mensual, y solo una (1) cuenta con aproximadamente un salario mínimo mensual para su subsistencia.

▪ **PREGUNTA 27.**

¿Cuenta con familia extensa que pueda brindarle apoyo?

Dos (2) familias cuentan con red de apoyo familiar en la zona y un adulto mayor que vive solo no cuenta con esta red de apoyo, por lo que es importante intervenir para

no vulnerar su derecho a una vida digna y protegida en donde se suplan sus necesidades básicas.

▪ **PREGUNTA 28.**

¿Qué acciones ha implementado para mitigar el riesgo?

Ninguno de los dueños de las viviendas ha realizado ningún tipo de acción para contrarrestar los efectos del movimiento en masa sobre sus terrenos, especialmente por desconocimiento de las acciones que ellos pudieran hacer para minimizar estos efectos.

▪ **PREGUNTA 29.**

¿Está capacitado para afrontar una situación de riesgo inminente?

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

Fotografía 32. Movimiento de terreno, parte media del deslizamiento.



Fuente: Registro fotográfico.



▪ **PREGUNTA 30.**

¿Cuál sería su actuación frente a un evento catastrófico?

Dos familias manifiestan que en caso de presentarse un evento catastrófico su reacción sería salir corriendo y para el caso del adulto mayor manifiesta que no sabría que hacer pues le preocupa su dificultad para movilizarse rápidamente.

▪ **PREGUNTA 31.**

¿Cuánto tiempo hace que se presentó el deslizamiento?

Dos (2) de las familias manifestaron que el deslizamiento se ha venido presentando hace aproximadamente 10 años y solo una persona adulta manifiesta que lleva más de 10 años, afectando esta parte de la vereda.

▪ **PREGUNTA 32.**

¿Conocía esta situación cuando comenzó a vivir aquí?

La mayoría de las personas encuestadas llevan mucho tiempo viviendo en esta zona y manifiestan que anteriormente esta era estable y no tenía los problemas de movimiento de tierra que tiene hace algunos años.

▪ **PREGUNTA 33.**

Esta situación ha producido en su familia:

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

▪ **PREGUNTA 34.**

¿Depende económicamente de este predio?

Dos (2) de las familias manifiestan que dependen económicamente de los terrenos que habitan, pues es allí en donde construyeron su vivienda y tienen la posibilidad de cuidar los animales que les producen el dinero para su sustento diario, por parte del adulto mayor esta vivienda es su única posesión.

Fotografía 33. Vista desde la parte alta del movimiento.



Fuente: Registro fotográfico.

▪ **PREGUNTA 35.**

¿Qué uso tiene o tenía el predio?

El uso de los predios es básicamente para vivienda y pastoreo de animales a pequeña escala, pues los cultivos son escasos en la zona de influencia del deslizamiento.

Fotografía 34. Vista de la parte baja del movimiento.



Fuente: Registro fotográfico.

▪ **PREGUNTA 36.**

¿Sabe si su municipio brinda alguna capacitación en prevención de riesgos?

Ninguna persona habitante de las viviendas manifestó tener conocimiento de que su municipio adelante jornadas de capacitación en prevención de riesgos.

▪ **PREGUNTA 37.**

Si tuviera que reubicarse en otro lugar le gustaría en:



Ninguna de las familias visitadas le gustaría tener que reubicarse en otro lugar diferente a la vereda que han habitado toda su vida, por lo que procurarían establecerse dentro de la misma en un terreno más estable.

▪ **PREGUNTA 38.**

¿Ha tenido visita del consejo municipal de gestión del riesgo?

Solo una familia manifiesta que en una ocasión la oficina de planeación los visito y les manifestó la necesidad de que pudieran trasladarse a un lugar más seguro, especialmente antes de que comenzara la época de lluvias nuevamente, las demás familias manifiestan no haber recibido ninguna visita de ninguna entidad.

▪ **PREGUNTA 39.**

¿Que esperarían de la Alcaldía Municipal?

Una (1) de las familias esperaba que la alcaldía les ayude en cuanto a su reubicación, otra para construcción de vivienda, y otra en cuanto al manejo del riesgo para no perder sus terrenos los cuales son su medio de subsistencia.

▪ **PREGUNTA 40.**

Género:

En la zona de influencia del deslizamiento se encuentran habitando cuatro (4) Hombres y cuatro (4) mujeres, de los cuales tres (3) son menores de edad y uno de los adultos mayores se encuentra en condición de discapacidad.



■ 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.



■ CONCLUSIONES.

- Se clasifica el FRM como deslizamiento compuesto ya que su control estructural muestra como resultando la ruptura en superficies irregulares; se incluye un 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. La zona evaluada representa un riesgo alto para las personas, no solo por las condiciones del terreno sino también por el deterioro de las estructuras de las viviendas.
- La base económica y las redes de apoyo de las familias es muy escasa, lo que obliga a que estas se sometan a convivir con la amenaza latente del movimiento.
- La vegetación es de clima frío muy húmedo, es de porte muy bajo y se encuentra intervenida en gran medida. En algunas zonas se conservan, especialmente los frailejones y pajonales que son especies dominantes.
- El poco acompañamiento que se le ha brindado a la comunidad, se refleja en el desconocimiento de los riesgos y en la falta de conciencia ambiental frente al deslizamiento.
- El nivel de conciencia de peligro que maneja la comunidad depende en gran medida del tipo de características individuales, nivel cultural, ingresos económicos, creencias, el tipo de riesgo al que están expuestos y las políticas



adoptadas por los entes gubernamentales quienes tienen la responsabilidad de velar por su protección integral.

- La zonas más afectadas de las viviendas son los muros seguidos por los pisos en donde se presentan fisuras en crecimiento progresivo más aun en épocas de invierno cuando más se presentan filtraciones en las mismas.



RECOMENDACIONES

- Se recomienda a las entidades competentes tomar las medidas necesarias para prevenir los riesgos físicos, económicos y sociales que afecten a las familias que aun habitan el área de influencia del deslizamiento.
- Se recomienda la construcción de barreras vivas en las zonas de deslizamiento, esto es barreras de árboles de raíz profunda que permitan el confinamiento de las masas de suelo.
- Se debe generar un sistema de captación del agua subsuperficial mediante sistemas de trincheras drenantes. Se recomienda la construcción de una serie de cunetas para la captación de agua de escorrentía. (ver ubicación en Anexo 12).
- Una vez se realice la reparación de las vías afectadas se recomienda implementar sistemas de drenaje que permitan el correcto drenaje de las mismas, mediante filtros o cunetas.
- Se deberán amojonar puntos de la zona del deslizamiento para realizar control semestral de los desplazamientos del mismo.
- La comunidad en particular recomienda que se tomen acciones frente a las filtraciones de agua que se dan desde la parte alta del movimiento y que se le oriente al campesino en como desde su cotidianidad contribuir a la mitigación de los riesgos de deslizamiento.



- Se recomienda que los organismos responsables desarrollen o preparen planes de contingencia adecuados que les permita a la población afrontar el riesgo. Preparándolos actuar ordenadamente, indicando sitios a dónde acudir, rutas de evacuación, entre otras.
- Es necesario invitar a los pobladores de la zona a un cambio de actitud, de comportamiento social, de forma progresiva, que aporte a la minimización de la vulnerabilidad, y a la vez lo involucre activamente en la construcción de condiciones de vida más segura para todos.



■ 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 CORINELand Cover adaptada para Colombia 2010
- Saunders, D.A., Hobbs, R.J. y Margules, C.R. 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. *Conservation Biology* 5: 18-32.
- Foster, B. R., N. C. Hernández, E., E. K. Kakudidi y R. J. Burnham. 1995. Un método de transectos variables para la evaluación rápida de comunidades de plantas en los trópicos. Manuscrito no publicado. Chicago: Environmental and Conservation Programs, Field Museum of Natural History; and Washington, D. C.: Conservation Biology, Conservation International.
- APG II. The Angiosperm Phylogenetic Group. 2003. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. *Botanical Journal of the Linnean Society* 141 (4): 399–436.
- Freire Fierro, A. 2004. Botánica Sistemática Ecuatoriana. Missouri Botanical Garden, FUNDACYT, QCNE, RLB y FUNBOTANICA. Murray Print, St. Louis. 79-91.
- León, J. 1987. Botánica de los cultivos tropicales. Inst. Interamericano de cooperación para la agricultura. 1-445.
- Scagel, R.F.; Bandoni, R.J., Rouse; G.E., Schofield, W.B.; Stein, J.R. & T.M.C., Taylor. 1983. *El Reino Vegetal. Los grupos de plantas y sus relaciones evolutivas.* Ediciones Omega, S.A. Barcelona. 1-659.
- THOMSON, Eugene P. Odum, Gary W. Warret. *Fundamentos de Ecología.* 5ª Edición, 2006.
- Adaptado de Leone (1996)



- Cardona – Arboleda O. (1989). VULNERABILIDAD Y RIESGO POR DESASTRE – TERMINOS DE USO COMUN EN MANEJO DE RIESGO. Primer taller de planificación en manejo de desastres. ONAD – Colombia – Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- Cruden, D. y Varnes D. (1991) Landslides types and processes. Universidad de Alberta.
- INGEOMINAS. Evaluación del Riesgo por Fenómenos de Remoción en Masa. - Guía Metodológica. 2001.
- Leone, F (1999) Concept de Vulnerabilite Appliquea L'évaluation des risques generes par les phenomenes de mouvements de terrain. Tesis de Doctorado, Universidad de Grenoble.