



INFORME FINAL



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

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

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1 GENERALIDADES	14
1.1. PRESENTACIÓN (JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE)	14
1.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO	14
1.2.1. Objetivo General	14
1.2.2 Metodología	15
1.3. LOCALIZACIÓN.....	16
1.4. PERSONAL	17
1.5. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES REALIZADAS	18
1.5.1. Trabajo de campo	18
1.6. ANÁLISIS DE LABORATORIO.....	19
1.6.1. Trabajos de Oficina.....	19
1.7. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y SUS POSIBLES CAUSAS	20
1.8. ESTADO DE LA INFORMACIÓN	21
2 ASPECTOS CLIMÁTICOS E HIDROLÓGICOS	22
2.1. ANÁLISIS HIDROLÓGICO	23
2.2. BALANCE HÍDRICO.	23
2.2.1. Tipos de recarga	24
2.2.2. Estimación de la escorrentía.....	26
2.2.3. Estimación de la precipitación.	32
2.2.4. Estimación de la evapotranspiración potencial (ETP).....	33
2.2.5. Estimación del Balance Hídrico	35
2.2.6. Metodología	35
2.2.7. RESULTADOS OBTENIDOS	39
2.3 CALCULO DE CAUDAL DE DISEÑO A PARTIR DE LA IDF	44

2.4. MORFOMETRÍA DE LA CUENCA.....	46
3 GEOLOGIA	51
3.1. GEOLOGÍA HISTÓRICA	51
3.2. GEOLOGIA LOCAL.....	52
3.2.1. Formación Labor y Tierna (Kg1).....	52
3.2.2. Formación Guaduas (Ktg).....	52
3.2.3. Depósitos Cuaternarios.....	52
3.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	53
3.3.1. Estructuras Plegadas.....	53
3.3.2. Fallas.....	53
4 GEOMORFOLOGÍA.....	54
4.1. GEOMORFOLOGÍA LOCAL.....	55
4.2. ANÁLISIS FOTOGEOLÓGICO	56
4.3. PROCESOS MORFODINÁMICOS	57
4.3.1. Reptaciones.....	57
4.4. INCLINACIÓN DE LAS PENDIENTES.....	61
4.5. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS.....	62
4.5.1. Geoformas de Origen Denudacional.....	63
4.6. EROSION.....	66
4.6.1. Algunas Formas de Erosión.....	68
4.6.2. Factores externos.....	68
4.6.3. Factores internos.....	69
4.6.4. Morfodinámica - intensidad de erosión	69
4.7. USO ACTUAL Y COBERTURA DEL SUELO.....	71
4.7.2. Cobertura y uso de suelo para el área de influencia del estudio.	75
4.7.3. Estudio de la flora.....	78
4.7.4. Cultivos transitorios.....	84
4.7.5. Cultivos permanentes.....	85

4.7.6.	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	89
4.7.7.	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva.	94
4.7.8.	Áreas y porcentajes de las coberturas en el área de estudio	97
5	ESTUDIO GEOELECTRICO (TOMOGRAFIA ELECTRICA RESISTIVA)	99
5.1.	INTRODUCCIÓN	99
5.2.	OBJETIVO.....	102
5.3.	PRINCIPIO DEL MÉTODO GEOFÍSICO.	102
5.3.1.	Resistividad Aparente:.....	102
5.3.2.	Dispositivos:.....	105
5.4.	METODOLOGÍA.....	106
5.4.1.	TOMOGRAFIA N°1.....	107
5.4.2.	RESULTADOS	112
6	GEOTECNIA	113
6.1.	EXPLORACIÓN DE CAMPO	113
6.1.1.	Sondeos geotécnicos	113
6.2.	CARACTERIZACIÓN DEL SUELO Y SUBSUELO	116
6.2.1.	Trabajos de Laboratorio.....	116
6.2.2.	Resumen de resultados	120
6.3.	CAUSAS DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA.....	122
6.3.1.	Causas Reales	122
6.3.2.	Causas Inmediatas	122
6.4.	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y MODELACIÓN GEOTÉCNICA.....	123
6.4.1.	Modelamiento del comportamiento hidráulico.....	124
6.4.2.	Efecto de la Aceleración Sísmica en el Modelo.....	124
6.4.3.	Análisis estructuralmente controlado	127
6.5.	Análisis estructuralmente no controlado.....	131
7	ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA.....	136

7.1.	DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DE AMENAZAS.....	136
7.2.	RESULTADO DE ANALISIS	138
7.3.	ANALISIS DE AMENAZA.....	139
7.3.1.	Amenaza Alta.....	140
7.3.2.	Amenaza Media.....	142
8	EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO	143
8.1	VULNERABILIDAD	143
8.2.	INVENTARIO DE VIVIENDAS	144
8.3.	ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD	145
8.3.1.	Tipificación de las Estructuras	147
8.4.	CALIFICACIÓN DE LOS DAÑOS	147
8.5.	ÍNDICE DE EXPOSICIÓN (IE)	149
8.6.	INDICE DE RESISTENCIA (IR)	150
8.7.	INTENSIDAD E INDICE DE DAÑO	153
8.8.	EVALUACIÓN Y GENERACIÓN DE ESCENARIOS DE RIESGO.....	155
8.9.	RESULTADOS DE ENCUESTAS	156
8.10.	ANÁLISIS Y GRAFICAS ESTADÍSTICAS DE LAS ENCUESTAS REALIZADAS EN EL MUNICIPIO DE UMBITA, VEREDA CHUZCAL.	156
9	OBRAS RECOMENDADAS	177
10	CONCLUSIONES.....	178
11	RECOMENDACIONES.	179
12	BIBLIOGRAFÍA	181

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tabla general para la determinación de número de curva (CN).....	28
Tabla 2. Escorrentía Municipio Umbita, suelo tipo ML, OL.....	30
Tabla 3. Rangos de temperatura Tibana.....	34
Tabla 4. Valores de Evapotranspiración.....	35
Tabla 5. Calculo de Infiltración, basado en los valores de escorrentía (R) y precipitación (P). Municipio Umbita.....	38
Tabla 6. Estimación del Balance Hídrico.....	40
Fuente: Resultado del estudio.....	42
Tabla 7. Valores de parámetros morfométricos para la microcuenca.....	50
Tabla 8. Clasificación de las pendientes.....	62
Tabla 9. Descripción geomorfológica.....	65
Tabla 10. Áreas de coberturas Vereda Chuscal.....	98
Tabla 11. Resistividades de algunos suelos y rocas.....	104
Tabla 12. Datos de resistividad y materiales.....	110
Tabla 13. Coordenadas de los sondeos realizados.....	114
Tabla 14. Resumen de resultados ensayos de laboratorio.....	121
Tabla 15. Coeficientes de aceleración sísmica para el departamento Boyacá....	126
Tabla 16. Coeficientes de reducción de coeficientes de aceleración sísmica.....	126
Tabla 17. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla planar.....	127
Tabla 18. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.....	128
Tabla 19. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.....	128
Tabla 20. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla planar.....	128
Tabla 21. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.....	129
Tabla 22. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.....	129
Tabla 23. Factores de seguridad para el modelo perfil B-B'.....	132
Tabla 24. Factores de seguridad para el modelo perfil B-B'.....	134
Tabla 25. Factores de seguridad para el modelo perfil C-C'.....	135
Tabla 26. Parámetros físicos y naturales estimados para la Identificación de Zonas Inestables (Deslizamientos).....	137
Tabla 27. Categorización de amenazas por FRM.....	138
Tabla 28. Categorización de amenaza por FRM según NSR-10.....	139
Tabla 29. Criterios de resistencia de la estructura.....	147
Tabla 30. Categorías de los daños.....	147
Tabla 31. Índice de Exposición.....	149

Tabla 32. Factores de Ponderación	153
Tabla 33. Matriz para la determinación intensidad de daño	153
Tabla 34. Determinación índice de daño.....	154
Tabla 35. Matriz para escenarios de riesgo.....	156
Tabla 36. Número de integrantes por familia.....	156

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización geográfica.....	16
--	----

Figura 2. Gráfico de precipitación media multianual.	33
Figura 3. Comportamiento de las Curvas del Balance Hídrico.....	43
Figura 4. Imagen ilustrativa de la microcuenca Umbita.....	49
Figura 5. Ventana extraída del mapa regional	54
Figura 6. Fotografías pertenecientes al vuelo 2804- 13,14	57
Figura 7. Esquema del movimiento, reptación 1	58
Figura 8. Esquema del movimiento, perfil reptación 1.....	59
Figura 9. Esquema del movimiento, reptación 2	59
Figura 10. Esquema del movimiento, perfil reptación 2.....	60
Figura 11. Imagen del Mapa de inclinación de las pendientes.....	61
Figura 12. Imagen del Mapa geomorfológico.....	63
Figura 13. Imagen del Mapa erosión.....	71
Figura 14. Posiciones aproximadas de las Líneas	74
Figura 15. Criterios para la clasificación de los bosques.....	90
Figura 16. Mapa cobertura vegetal y uso de suelo	97
Figura 17. Porcentaje de coberturas.....	98
Figura 18. Principio teórico de operación de las TER's.....	100
Figura 19. Rangos de resistividad para diferentes materiales.....	101
Figura 20. Dispositivo Wenner.	105
Figura 21. Localización de la línea de tomografía.....	108
Figura 22. Perfil 1 tomografía.....	111
Figura 23. Perfil litológico 1	112
Figura 24. Punto de toma de datos.	116
Figura 25. Límites de Atterbeg	117
Figura 26. Orientación de planos en la zona 1	130
Figura 27. Orientación de planos en la zona 2.....	130
Figura 28. Perfil geológico A-A'	131
Figura 29. Modelo de análisis perfil A-A'	132
Figura 30. Perfil geológico B-B'.....	133
Figura 31. Modelo de análisis perfil B-B'	133
Figura 32. Perfil geológico C-C'	134
Figura 33. Modelo de análisis perfil C-C'.....	135
Figura 34. Indicadores de Índice de Vulnerabilidad social	144
Figura 35. Tipología de viviendas	152
Figura 36. Adulta mayor del sector.	162

Figura 37. Distribución de los FS para el escenario actual en la condición extrema del Perfil A. **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 38. Distribución de los FS para el escenario actual en la condición extrema del Perfil B. **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 39. Distribución de los FS para el escenario actual en la condición extrema del Perfil C. **¡Error! Marcador no definido.**



LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1.	Tejido urbano discontinuo presente en la zona de estudio.	81
Fotografía 2.	Tejido urbano discontinuo presente en la zona de estudio.	82
Fotografía 3.	Tejido artificializado de nivel 4 red vial.	82
Fotografía 4.	Tejido artificializado de nivel 4 red vial.	83
Fotografía 5.	Cultivos Solanum tuberosum L.	84
Fotografía 6.	Rubus ulmifolius utilizado como lindero de la institución.	86
Fotografía 7.	Pastos limpios presente en la zona de estudio.	88
Fotografía 8.	Bosque denso bajo de tierra firme.	91
Fotografía 9.	Bosque Ripario Presente En la zona de estudio.	92
Fotografía 10.	Eucaliptos presentes en la zona de estudio.	94
Fotografía 11.	Arbustal Abierto Mesofilo.	95
Fotografía 12.	Embalse.	96
Fotografía 13.	Parte alta del deslizamiento.	109
Fotografía 14.	Parte media del deslizamiento.	110
Fotografía 15.	Prueba in situ, penetrometro de bolsillo.	114
Fotografía 16.	Sondeo realizado en la zona de estudio.	115
Fotografía 17.	Muestra fallada en el ensayo de compresión no confinada.	119
Fotografía 18.	Muestras a las que se les realizo la prueba de corte directo.	120
Fotografía 19.	Zona de deslizamiento.	139
Fotografía 20.	Se observa socavamiento generando alrededor de toda la estructura.	141
Fotografía 21.	Viviendas ubicadas en la parte alta.	142
Fotografía 22.	Colegio Agropecuario los Alpes.	157
Fotografía 23.	Vivienda del sector.	158
Fotografía 24.	Adulto mayor del sector evaluado.	160
Fotografía 25.	Estudiantes el colegio agropecuario.	161
Fotografía 26.	Vivienda afectada del sector.	163
Fotografía 27.	Vivienda afectada del sector.	165
Fotografía 28.	Vivienda con presencia de fisuras.	167
Fotografía 29.	Vivienda con presencia de hundimientos del terreno.	168
Fotografía 30.	Obras de manejo realizadas por el colegio agropecuario.	170
Fotografía 31.	Seguimiento a grietas, colegio agropecuario.	171
Fotografía 32.	Vista parte baja, colegio agropecuario.	172
Fotografía 33.	Cuidado de ganado en el sector.	173

Fotografía 34.	Cuidado de ganado colegio agropecuario.....	174
Fotografía 35.	Vista de parte de construcción nueva del colegio.	175



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

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

LISTAS DE ANEXOS

ANEXO 1 - MAPAS TEMÁTICOS

MAPA 1 GEOLÓGICO

MAPA 2 GEOMORFOLÓGICO

MAPA 3 SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSIÓN

MAPA 4 DE PENDIENTES

MAPA 5 COBERTURA Y USO DEL SUELO

MAPA 6 HIDROGEOLÓGICO

MAPA 7 ZONIFICACIÓN GEOMECÁNICA

MAPA 8 ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA

MAPA 9 VULNERABILIDAD FÍSICA Y SOCIAL

MAPA 10 ZONIFICACIÓN DE RIESGOS POR FRM

ANEXO 2 - ANÁLISIS FOTO INTERPRETACIÓN

ANEXO 3 - RESULTADOS DE LABORATORIO

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 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DE

VULNERABILIDAD FÍSICA

**ANEXO 10 – DISEÑO DE OBRAS DE MITIGACIÓN, PROTECCIÓN Y
RECUPERACIÓN**

INTRODUCCIÓN

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 Chuscal Municipio de Umbita.

1 GENERALIDADES

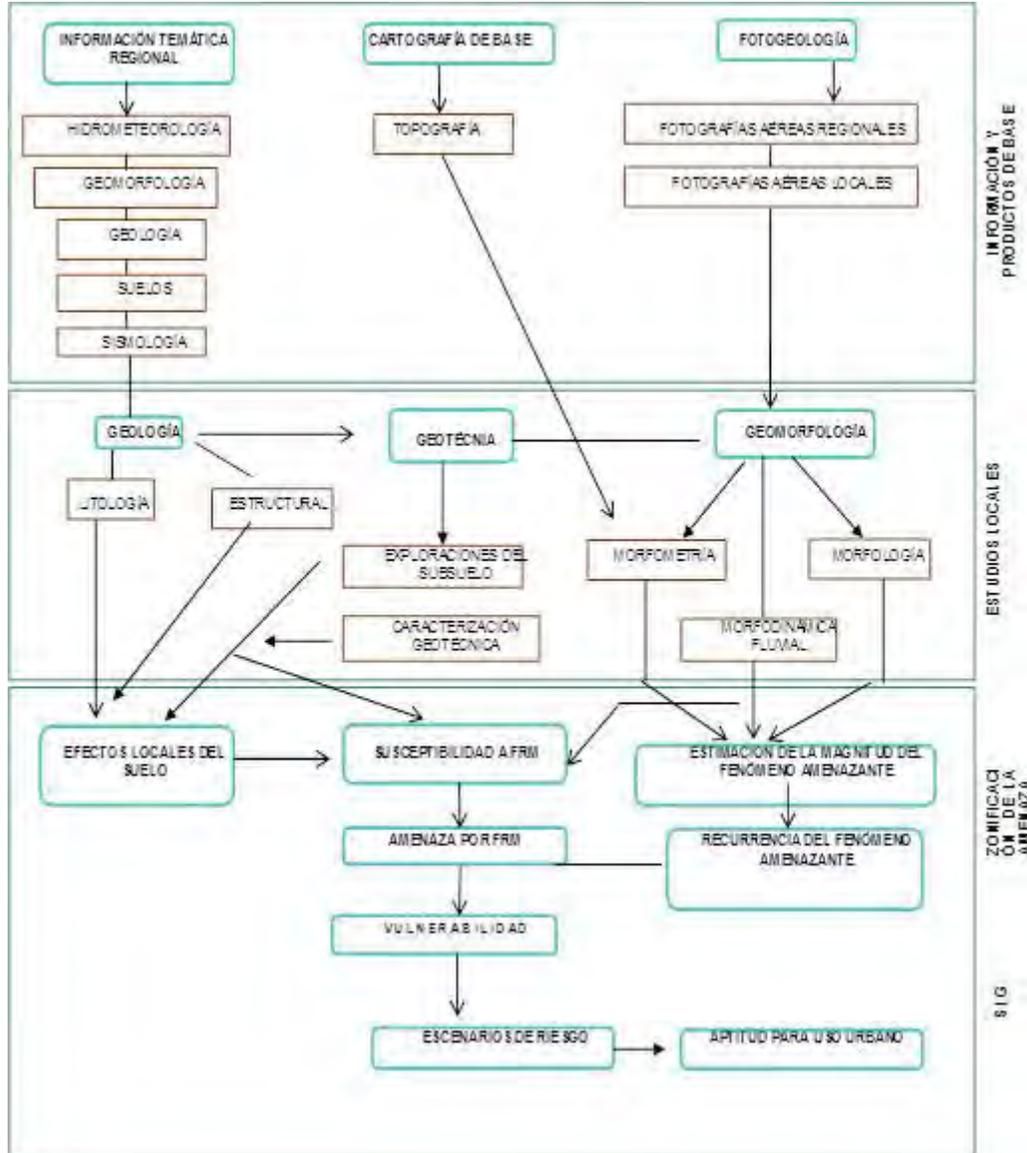
1.1. PRESENTACIÓN (JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE)

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

1.2.2 Metodología



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

1.3. LOCALIZACIÓN.

Figura 1. Localización geográfica.

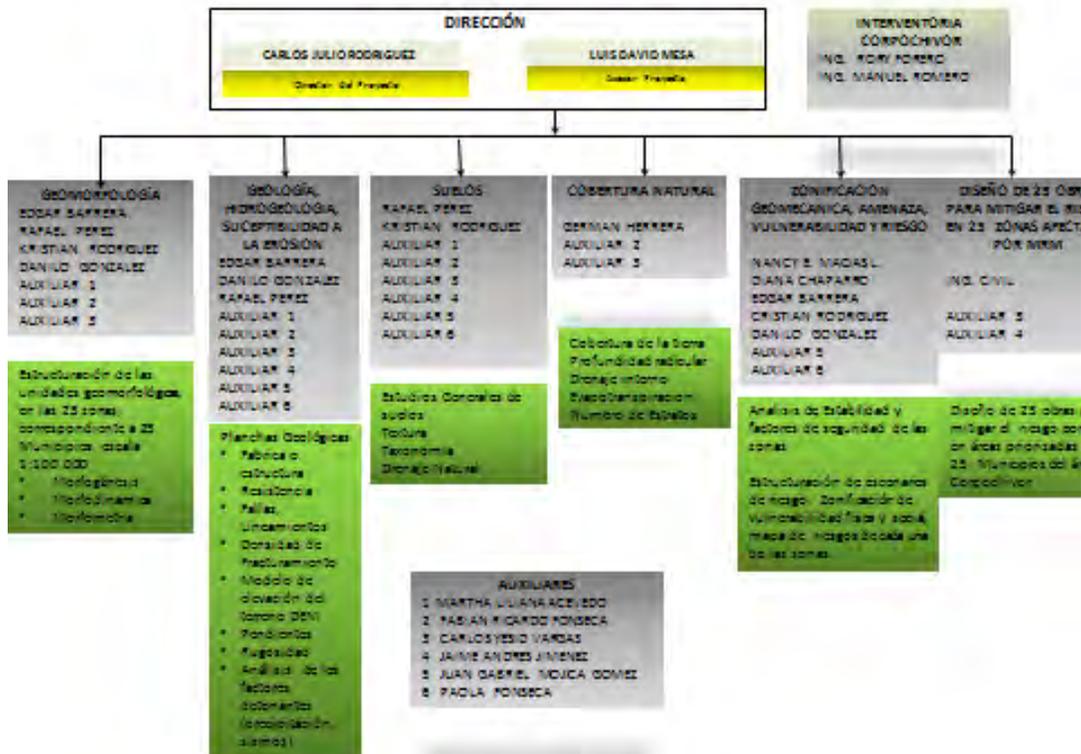


Fuente: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colombia_-_Boyaca_-_Umbita .svg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colombia_-_Boyaca_-_Umbita.svg)

El área de Estudio se encuentra en las coordenadas N 1067224, E 1073358, a una altura de 2265 msnm; en la Provincia de Márquez, en el Municipio de Umbita, en la Vereda Chuscal.

1.4. PERSONAL

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



ORGANIGRAMA

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

1.5. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES REALIZADAS

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

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

1.5.1. Trabajo de campo

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

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

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

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

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. Se averiguó con los habitantes del sector acerca de la manifestación y evolución en el tiempo del fenómeno de remoción en masa (FRM), al igual que su relación con la ocurrencia de lluvias intensas o eventos sísmicos.

1.6. ANÁLISIS DE LABORATORIO.

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

1.6.1. Trabajos de Oficina

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

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

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

1.7. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y SUS POSIBLES CAUSAS

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

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

1.8. ESTADO DE LA INFORMACIÓN

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

La información recopilada tuvo en cuenta aspectos tales como:

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

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.

2 ASPECTOS CLIMÁTICOS E HIDROLÓGICOS

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

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

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

El control climático está afectado principalmente por el factor altitud, común en la región tropical. La altitud a la que se encuentra, hace que se presente piso térmico frío montano bajo. Ocasionalmente corresponde a temperaturas entre los 10 y 15.5°C pero que ocasionalmente, pueden llegar a variar entre 4.5° en horas de la noche y 20.2°C en el medio día.

Se pueden definir dos periodos secos y dos lluviosos con precipitaciones promedio entre 700 y 900 mm anuales.

La presencia de vientos alisios que provienen de la región amazónica con características húmedas, penetran en los meses de Julio y Agosto haciendo que estos meses sean lluviosos.

2.1. ANÁLISIS HIDROLÓGICO

El análisis hidrológico tiene como punto de partida la delimitación de subcuencas de tal manera que se determinen los parámetros morfométricos correspondientes, para posteriormente establecer la relación directa con datos pertenecientes al balance hídrico dentro del contexto mensual multianual. De esta forma es posible establecer aspectos básicos indicativos y preliminares para determinar las áreas de mayor interés respecto a la relación de infiltración y evapotranspiración.

2.2. BALANCE HÍDRICO.

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

La información obtenida puede ser utilizada para evaluar los recursos hídricos del área de trabajo (calidad, cantidad y distribución en tiempo y espacio), además de

la capacidad para el suministro y satisfacción de la demanda; así mismo se pueden proyectar y diseñar proyectos relacionados con el agua, planificar buenas estrategias de gestión del recurso hídrico; de la misma forma es de gran importancia que exista una actualización de las redes de datos en las estaciones en la zona de trabajo que permitan tomar los datos reales del comportamiento de las diferentes variables que se utilizan para la estimación del balance hídrico.

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

2.2.1. Tipos de recarga

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

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

1. Recarga directa o recarga difusa, proveniente del agua lluvia.
2. Recarga concentrada o indirecta, producto de cauces permanentes, estacionales y efímeros.

3. Flujos laterales, procedentes de otros acuíferos
4. Retorno de riegos, excesos de riegos o las pérdidas en los canales de distribución
5. Recarga Urbana, producto de fugas de redes de desabastecimiento y redes de alcantarillado.

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

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

- **Medidas directas:** La recarga se mide directamente mediante la construcción de lisímetros. Un lisímetro es un bloque de suelo dotado de dispositivos que permiten medir el flujo que drena hasta el acuífero.
- **Balance hídrico:** Se determinan los flujos de entrada y de salida de un sistema, y la recarga al acuífero constituye el residuo de la ecuación de balance; hacen parte de este grupo los balances de humedad del suelo, de agua en canales, el método de fluctuaciones del nivel freático y el que iguala la descarga a la recarga.
- **Trazadores:** Su principal uso es determinar fuentes de recarga y zonas de descarga aunque se utilizan para cuantificar la recarga a través de un balance de masa del trazador.

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

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

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

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

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

Dónde:

S= (25400/CN)-254

P= Precipitación

CN= Número de curva (tablas)

Q= Escorrentía

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

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

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

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



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



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

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

Dónde:

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

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

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

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

Tabla 2. Escorrentía Municipio Umbita, suelo tipo ML, OL

P	R(SML)	R(SOL)	SML	SOL
35,6333333	2,46452044	5,24470826	310,444444	130,848485
38,825	1,88455839	5,5344354	CN	CN
48,7166667	0,6019288	6,20921656	45	66
79,25	0,8989583	6,04872007		
64,5	0,01858192	6,53197707		
46,9166667	0,77960712	6,11290038		
50,6666667	0,43631259	6,29982818		
33	3,00745246	4,98196956		
49,5	0,5320704	6,24733898		
97,5	3,62563726	4,69264878		
74,25	0,45843173	6,28767969		
92,5	2,71327741	5,12331723		
81,9166667	1,19035373	5,89376261		
81,2916667	1,11860999	5,93168614		
91,4583333	2,53834317	5,20850425		
97,9	3,70372593	4,65683842		
78,4833333	0,82235565	6,08986491		
87,8	1,96653372	5,49290961		
76,425	0,63280907	6,19241055		
69,4666667	0,17126432	6,44652517		
89,7333333	2,26039758	5,34560456		



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



73,075	0,37549211	6,33330698
94,325	3,0324652	4,97006096
94,5583333	3,07443021	4,95011988
95,2916667	3,20801212	4,88696459
85,5333333	1,64618228	5,65627032
83,4716667	1,37789535	5,79532952
90,9666667	2,45762286	5,2480987
81,7666667	1,17294418	5,90295159
76,2916667	0,62134799	6,19864476
107,325	5,7532123	3,77456575
119,666667	9,00815312	2,59061054
85,425	1,63153327	5,66381017
76,2916667	0,62134799	6,19864476
52,5066667	0,30518615	6,37214324
85,5666667	1,65070191	5,6539453
78,3333333	0,80774701	6,09773092
85,4583333	1,63603418	5,6614929
99,3416667	3,99131591	4,5263653
81,6416667	1,1585283	5,91056709
99,65	4,05406479	4,49819144
74,25	0,45843173	6,28767969
101,683333	4,47870238	4,31027907
86,7666667	1,81722571	5,56868597
99,8916667	4,10355035	4,47604671
71,675	0,28713985	6,3821354
88,0583333	2,00470927	5,473636
87,3916667	1,90688269	5,52310788
95,8583333	3,31298478	4,83767679
80,8833333	1,07287187	5,95594085
99,3	3,98286973	4,53016559
85,0166667	1,57686502	5,69200195
90,5916667	2,39685795	5,27802444
75,8666667	0,58548473	6,21817735
97,1083333	3,54989776	4,72753885
130,566667	12,375115	1,62566549
99,375	3,99807857	4,52332386

Fuente: Resultado del estudio

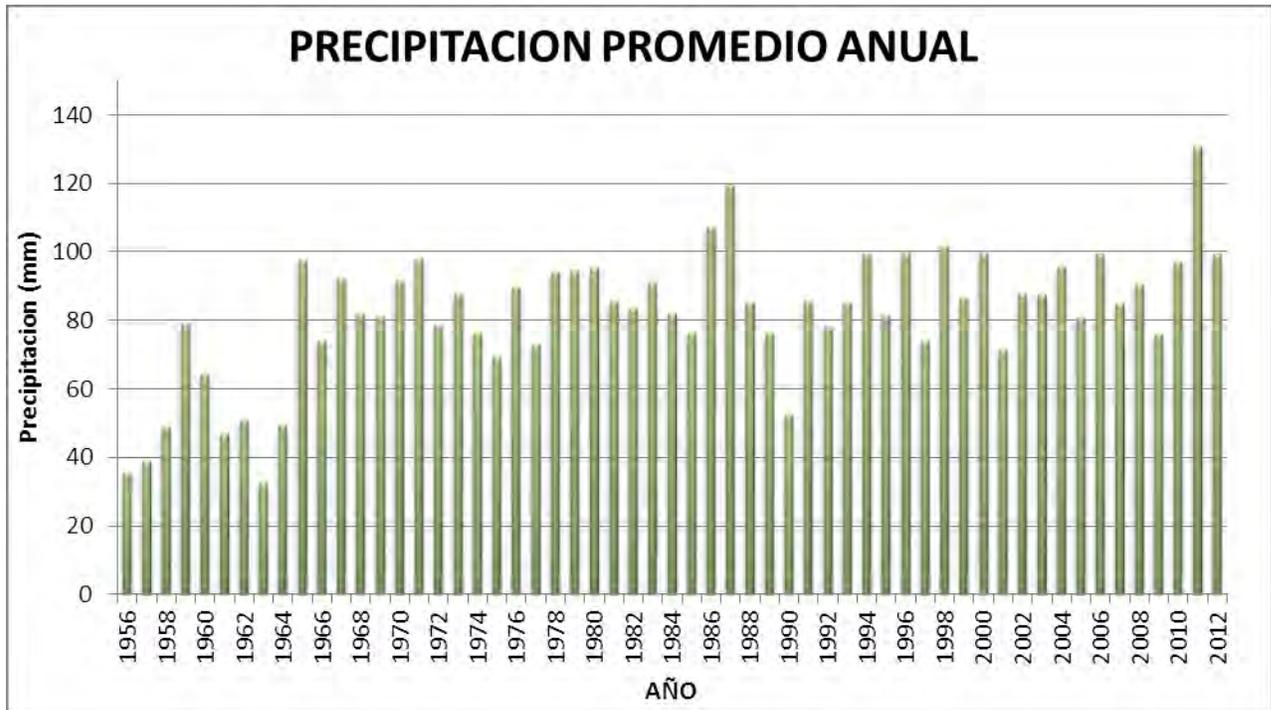
ELABORACIÓN DE ESTUDIO DE RIESGO (AMENAZA Y VULNERABILIDAD) Y DISEÑO DE OBRAS DE ESTABILIZACIÓN EN LA VEREDA CHUSCAL, MUNICIPIO DE UMBITA, JURISDICCIÓN DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR (CORPOCHIVOR).

2.2.3. 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 interpolaron los datos de las estaciones próximas al área de estudio 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.

Figura 2. Gráfico de precipitación media multianual.



Fuente: Resultado del estudio

2.2.4. Estimación de la evapotranspiración potencial (ETP)

2.2.4.1. 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 (%)

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

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

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 3. Rangos de temperatura Tibana

	Temperatura (°C)
Periodo 1	12
Periodo 2	14.4
Periodo 3	16.5

Fuente: Resultado del estudio

El valor de la humedad relativa (HR) se toma del POT del municipio Umbita, que corresponde al valor del 66 %. De donde obtenemos:

Tabla 4. Valores de Evapotranspiración

ETP1	ETP2	ETP3
2,026577145	2,85525254	3,60458309

Fuente: Resultado del estudio

2.2.5. Estimación del Balance Hídrico

La estimación del balance hídrico para la zona de estudio se realizó partiendo de los resultados del cálculo de precipitación, escorrentía y evapotranspiración media mensual multianual. Para poder calcular los valores de recarga potencial para las cuencas de los ríos Teatinos, Jenesano, esta recarga se estimó por medio del balance hídrico con base en los valores promedios mensuales de precipitación, evapotranspiración potencial y escorrentía calculada por el método de número de curva de escorrentía, el cual utiliza los parámetros de cobertura vegetal, Índice de infiltración del suelo, condición hidrogeológica.

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

2.2.6. 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 5. Calculo de Infiltración, basado en los valores de escorrentía (R) y precipitación (P).
Municipio Umbita

P	R(SML)	R(SOL)	I	I	I
35,6333333	2,46452044	5,24470826	31,1422357	30,3135603	26,7840419
38,825	1,88455839	5,5344354	34,9138645	34,0851891	29,6859815
48,7166667	0,6019288	6,20921656	46,0881608	45,2594854	38,902867
79,25	0,8989583	6,04872007	76,3244646	75,4957892	69,5966968
64,5	0,01858192	6,53197707	62,4548409	61,6261655	54,3634398
46,9166667	0,77960712	6,11290038	44,1104824	43,281807	37,1991832
50,6666667	0,43631259	6,29982818	48,203777	47,3751016	40,7622554
33	3,00745246	4,98196956	27,9659704	27,137295	24,4134474
49,5	0,5320704	6,24733898	46,9413525	46,1126771	39,6480779
97,5	3,62563726	4,69264878	91,8477856	91,0191102	89,2027681
74,25	0,45843173	6,28767969	71,7649911	70,9363157	64,3577372
92,5	2,71327741	5,12331723	87,7601454	86,93147	83,7720997
81,9166667	1,19035373	5,89376261	78,6997358	77,8710604	72,418321
81,2916667	1,11860999	5,93168614	78,1464796	77,3178042	71,7553975
91,4583333	2,53834317	5,20850425	86,893413	86,0647376	82,645246
97,9	3,70372593	4,65683842	92,1696969	91,3410215	89,6385785
78,4833333	0,82235565	6,08986491	75,6344005	74,8057251	68,7888853
87,8	1,96653372	5,49290961	83,8068891	82,9782137	78,7025073
76,425	0,63280907	6,19241055	73,7656138	72,9369384	66,6280064
69,4666667	0,17126432	6,44652517	67,2688252	66,4401498	59,4155584
89,7333333	2,26039758	5,34560456	85,4463586	84,6176832	80,7831456
73,075	0,37549211	6,33330698	70,6729307	69,8442554	63,1371099
94,325	3,0324652	4,97006096	89,2659577	88,4372823	85,7503559
94,5583333	3,07443021	4,95011988	89,4573259	88,6286505	86,0036303
95,2916667	3,20801212	4,88696459	90,0570774	89,228402	86,800119
85,5333333	1,64618228	5,65627032	81,8605739	81,0318985	76,2724799
83,4716667	1,37789535	5,79532952	80,0671942	79,2385188	74,0717541
90,9666667	2,45762286	5,2480987	86,4824667	85,6537913	82,1139849
81,7666667	1,17294418	5,90295159	78,5671454	77,73847	72,259132
76,2916667	0,62134799	6,19864476	73,6437416	72,8150662	66,4884388
107,325	5,7532123	3,77456575	99,5452106	98,7165352	99,9458512

119,666667	9,00815312	2,59061054	108,631937	107,803261	113,471473
85,425	1,63153327	5,66381017	81,7668896	80,9382142	76,1566067
76,2916667	0,62134799	6,19864476	73,6437416	72,8150662	66,4884388
52,5066667	0,30518615	6,37214324	50,1749034	49,346228	42,5299404
85,5666667	1,65070191	5,6539453	81,8893876	81,0607122	76,3081383
78,3333333	0,80774701	6,09773092	75,4990091	74,6703337	68,6310193
85,4583333	1,63603418	5,6614929	81,795722	80,9670466	76,1922573
99,3416667	3,99131591	4,5263653	93,3237736	92,4950983	91,2107183
81,6416667	1,1585283	5,91056709	78,4565613	77,6278859	72,1265165
99,65	4,05406479	4,49819144	93,5693581	92,7406827	91,5472255
74,25	0,45843173	6,28767969	71,7649911	70,9363157	64,3577372
101,683333	4,47870238	4,31027907	95,1780535	94,3493781	93,7684708
86,7666667	1,81722571	5,56868597	82,9228638	82,0941885	77,5933976
99,8916667	4,10355035	4,47604671	93,7615392	92,9328638	91,8110369
71,675	0,28713985	6,3821354	69,361283	68,5326076	61,6882815
88,0583333	2,00470927	5,473636	84,0270469	83,1983715	78,9801142
87,3916667	1,90688269	5,52310788	83,4582069	82,6295315	78,2639757
95,8583333	3,31298478	4,83767679	90,5187714	89,690096	87,4160734
80,8833333	1,07287187	5,95594085	77,7838843	76,9552089	71,3228094
99,3	3,98286973	4,53016559	93,2905531	92,4618777	91,1652513
85,0166667	1,57686502	5,69200195	81,4132245	80,5845491	75,7200817
90,5916667	2,39685795	5,27802444	86,1682316	85,3395562	81,7090592
75,8666667	0,58548473	6,21817735	73,2546048	72,4259294	66,0439063
97,1083333	3,54989776	4,72753885	91,5318584	90,703183	88,7762114
130,566667	12,375115	1,62566549	116,164975	115,336299	125,336418
99,375	3,99807857	4,52332386	93,3503443	92,5216689	91,2470931

Fuente: Resultado del estudio

2.2.7. RESULTADOS OBTENIDOS

Los valores obtenidos dentro del balance hídrico se encuentran resumidos en la 0 y expresados esquemáticamente en la Tabla 6.

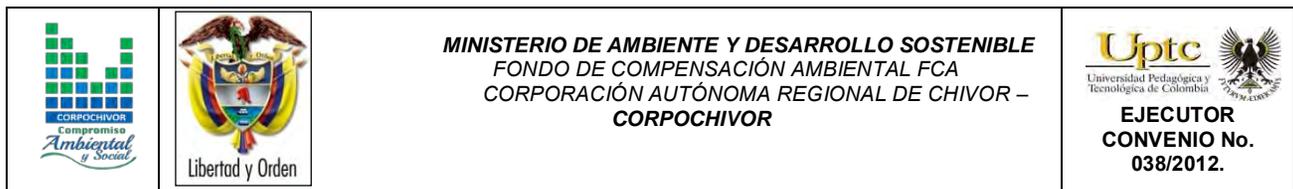
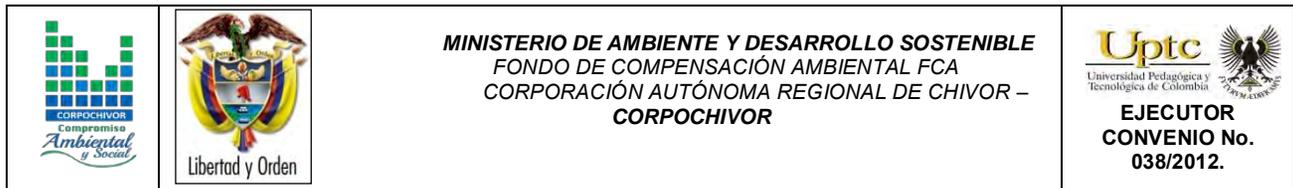


Tabla 6. Estimación del Balance Hídrico

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	1,88455839	0,6019288	0,8989583	0,01858192	0,77960712	0,43631259	3,00745246	0,5320704	3,62563726	0,45843173
EVAPOTRANSPIRACION	2,02657715	2,02657715	2,02657715	2,02657715	2,02657715	2,02657715	2,02657715	2,02657715	2,02657715	2,02657715
DELTA	31,7221978	36,1964941	45,7911313	77,2048409	61,6938157	44,453777	45,6326371	30,4413525	43,8477856	95,0149911
ALMACENAMIENTO	31,7221978	36,1964941	45,7911313	77,2048409	61,6938157	44,453777	45,6326371	30,4413525	43,8477856	95,0149911
DEFICIT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECARGA	31,7221978	36,1964941	45,7911313	77,2048409	61,6938157	44,453777	45,6326371	30,4413525	43,8477856	95,0149911

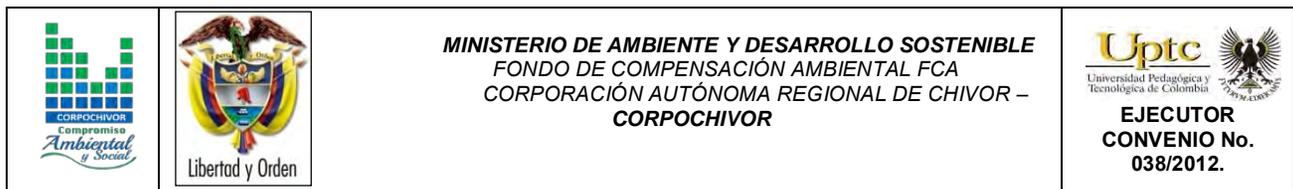
1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978
74,25	92,5	81,9166667	81,2916667	91,4583333	97,9	78,4833333	87,8	76,425	69,4666667	89,7333333	73,075
2,71327741	1,19035373	1,11860999	2,53834317	3,70372593	0,82235565	1,96653372	0,63280907	0,17126432	2,26039758	0,37549211	3,0324652
2,02657715	2,02657715	2,02657715	2,85525254	2,85525254	2,85525254	2,85525254	2,85525254	2,85525254	2,85525254	2,85525254	2,85525254
69,5101454	89,2830691	78,7714796	75,898071	84,8993548	94,2223918	73,661547	84,3119384	73,3984831	64,3510166	86,5025887	67,1872823
69,5101454	89,2830691	78,7714796	75,898071	84,8993548	94,2223918	73,661547	84,3119384	73,3984831	64,3510166	86,5025887	67,1872823
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
69,5101454	89,2830691	78,7714796	75,898071	84,8993548	94,2223918	73,661547	84,3119384	73,3984831	64,3510166	86,5025887	67,1872823



1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
94,325	94,5583333	95,2916667	85,5333333	83,4716667	90,9666667	81,7666667	76,2916667	107,325	119,666667	85,425	76,2916667
4,95011988	4,88696459	5,65627032	5,2480987	5,90295159	6,19864476	3,77456575	2,59061054	5,66381017	6,19864476	6,37214324	5,6539453
2,85525254	2,85525254	2,85525254	2,85525254	2,85525254	2,85525254	2,85525254	2,85525254	2,85525254	2,85525254	2,85525254	3,60458309
86,5196276	86,8161162	86,7801438	77,4299821	74,7134626	81,9127694	75,1368484	70,8458036	98,8059373	110,61277	76,1976042	67,0331383
86,5196276	86,8161162	86,7801438	77,4299821	74,7134626	81,9127694	75,1368484	70,8458036	98,8059373	110,61277	76,1976042	67,0331383
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
86,5196276	86,8161162	86,7801438	77,4299821	74,7134626	81,9127694	75,1368484	70,8458036	98,8059373	110,61277	76,1976042	67,0331383

1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
52,5066667	85,5666667	78,3333333	85,4583333	99,3416667	81,6416667	99,65	74,25	101,683333	86,7666667	99,8916667	71,675
6,09773092	5,6614929	4,5263653	5,91056709	4,49819144	6,28767969	4,31027907	5,56868597	4,47604671	6,3821354	5,473636	5,52310788
3,60458309	3,60458309	3,60458309	3,60458309	3,60458309	3,60458309	3,60458309	3,60458309	3,60458309	3,60458309	3,60458309	3,60458309
42,8043527	76,3005907	70,2023849	75,9431831	91,2388922	71,7494039	91,7351378	65,0767309	93,6027032	76,7799482	90,8134476	62,547309
42,8043527	76,3005907	70,2023849	75,9431831	91,2388922	71,7494039	91,7351378	65,0767309	93,6027032	76,7799482	90,8134476	62,547309
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42,8043527	76,3005907	70,2023849	75,9431831	91,2388922	71,7494039	91,7351378	65,0767309	93,6027032	76,7799482	90,8134476	62,547309

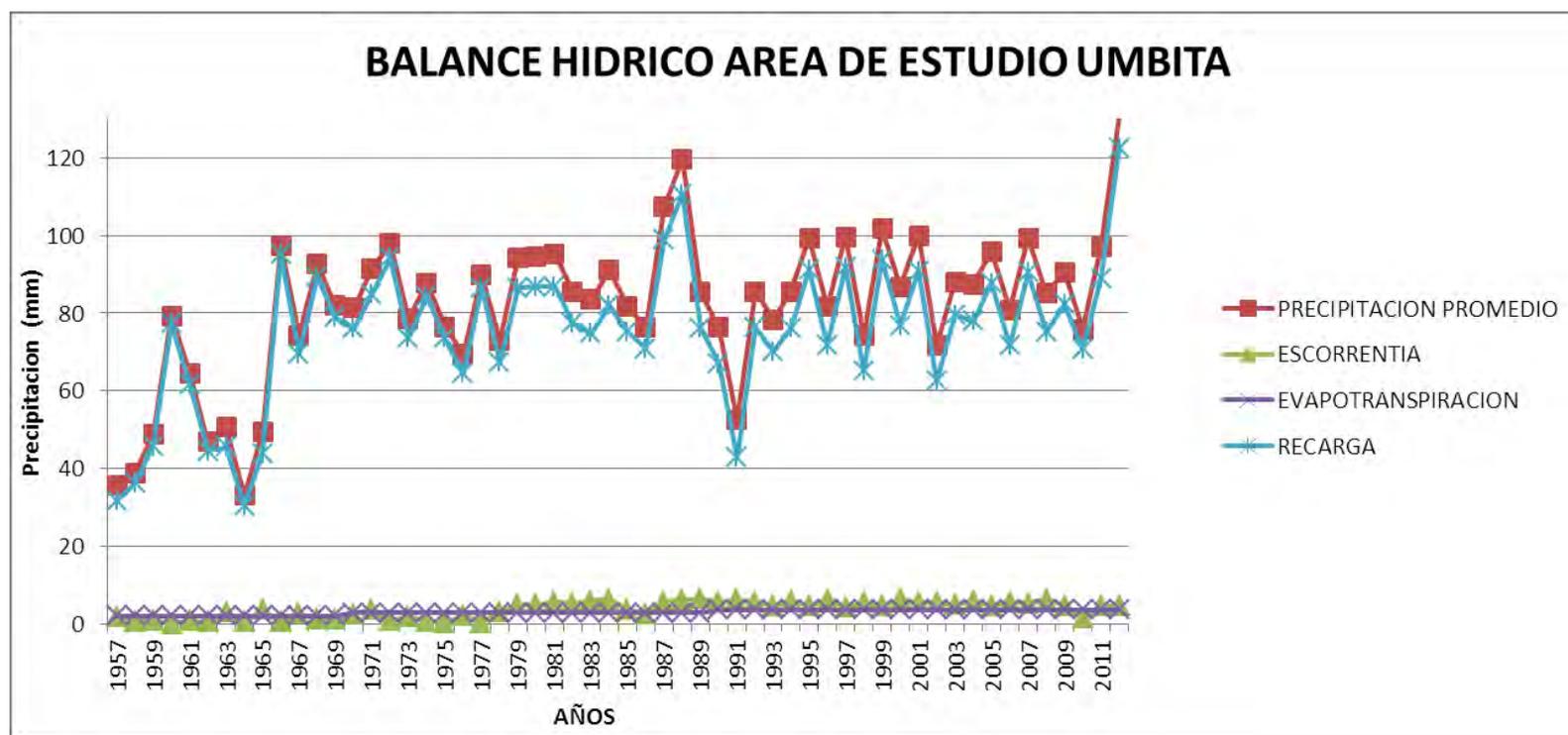
ELABORACIÓN DE ESTUDIO DE RIESGO (AMENAZA Y VULNERABILIDAD) Y DISEÑO DE OBRAS DE ESTABILIZACIÓN EN LA VEREDA CHUSCAL, MUNICIPIO DE UMBITA, JURISDICCIÓN DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR (CORPOCHIVOR).



2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
88,0583333	87,3916667	95,8583333	80,8833333	99,3	85,0166667	90,5916667	75,8666667	97,1083333	130,566667
4,83767679	5,95594085	4,53016559	5,69200195	5,27802444	6,21817735	4,72753885	1,62566549	4,52332386	4,52332386
3,60458309	3,60458309	3,60458309	3,60458309	3,60458309	3,60458309	3,60458309	3,60458309	3,60458309	3,60458309
79,6160734	77,8311428	87,7235846	71,5867483	90,4173925	75,1939063	82,2595448	70,6364181	88,9804264	122,43876
79,6160734	77,8311428	87,7235846	71,5867483	90,4173925	75,1939063	82,2595448	70,6364181	88,9804264	122,43876
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
79,6160734	77,8311428	87,7235846	71,5867483	90,4173925	75,1939063	82,2595448	70,6364181	88,9804264	122,43876

Fuente: Resultado del estudio

Figura 3. Comportamiento de las Curvas del Balance Hídrico



Fuente: Resultado del estudio

2.3 CALCULO DE CAUDAL DE DISEÑO A PARTIR DE LA IDF

Resultados

Ajuste de una serie de datos a la distribución Gumbel

Serie de datos X:

N°	X
1	143,2
2	169,9
3	161,7
4	215,4
5	141,0
6	227,0
7	160,0
8	186,0
9	148,0
10	175,0
11	265,0

Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov:

m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom Lineal
1	141,0	0,0833	0,1275	0,1426
2	143,0	0,1667	0,1452	0,0215

3	148,0	0,2500	0,1940	0,2088	0,0560
4	160,0	0,3333	0,3298	0,3405	0,0036
5	161,0	0,4167	0,3417	0,3519	0,0750
6	169,0	0,5000	0,4371	0,4432	0,0629
7	175,0	0,5833	0,5063	0,5091	0,0770
8	186,0	0,6667	0,6215	0,6194	0,0452
9	215,0	0,7500	0,8311	0,8237	0,0811
10	227,0	0,8333	0,8824	0,8751	0,0490
11	265,0	0,9167	0,9644	0,9600	0,0477

Ajuste con momentos ordinarios:

Como el delta teórico 0,0811, es menor que el delta tabular 0,4101. Los datos se ajustan a la distribución Gumbel, con un nivel de significación del 5%

Parámetros de la distribución Gumbel:

Con momentos ordinarios:

Parámetro de posición (μ)= 163,1865

Parámetro de escala (alfa)= 30,7035

Con momentos lineales:

Parámetro de posición (μ_l)= 162,3918

Parámetro de escala (alfal)= 32,0803

Caudal de diseño:

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 2 años, es 174,44

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 5 años, es 209,24

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 10 años, es 232,28

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 25 años, es 261,39

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 50 años, es 282,99

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 75 años, es 295,54

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 100 años, es 304,43

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 500 años, es 353,97

2.4. MORFOMETRÍA DE LA CUENCA

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

Área de la Cuenca (A)

Perímetro de la cuenca (P)

Coefficiente de compacidad (C).

Coefficiente de redondez (K).

Densidad de drenaje (Dd)

Pendiente media de la corriente (IC)

Área de la Cuenca (A)

- **Área de la Cuenca (A)** El área de la cuenca se obtiene de acuerdo al promedio de las mediciones realizadas con el Planímetro, AutoCad, o cualquier otro método para su medición, está limitada por divisorias de aguas, hasta la desembocadura del río o quebrada y está dada en Km².

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

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

C= 1: Cuenca de forma compacta redonda.

C= 1.20: Cuenca semicompacta semiojal redonda

C= 1.50: Cuenca semicompacta oblonga

C >1: Cuenca semicompacta rectángulo – oblonga

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

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

K = 1: Redonda

K > 1: Semiredonda

K < 1: Irregular

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

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

Dd < 0.5 : Baja

Dd = 0.5 : Media

Dd > 1 : Alta

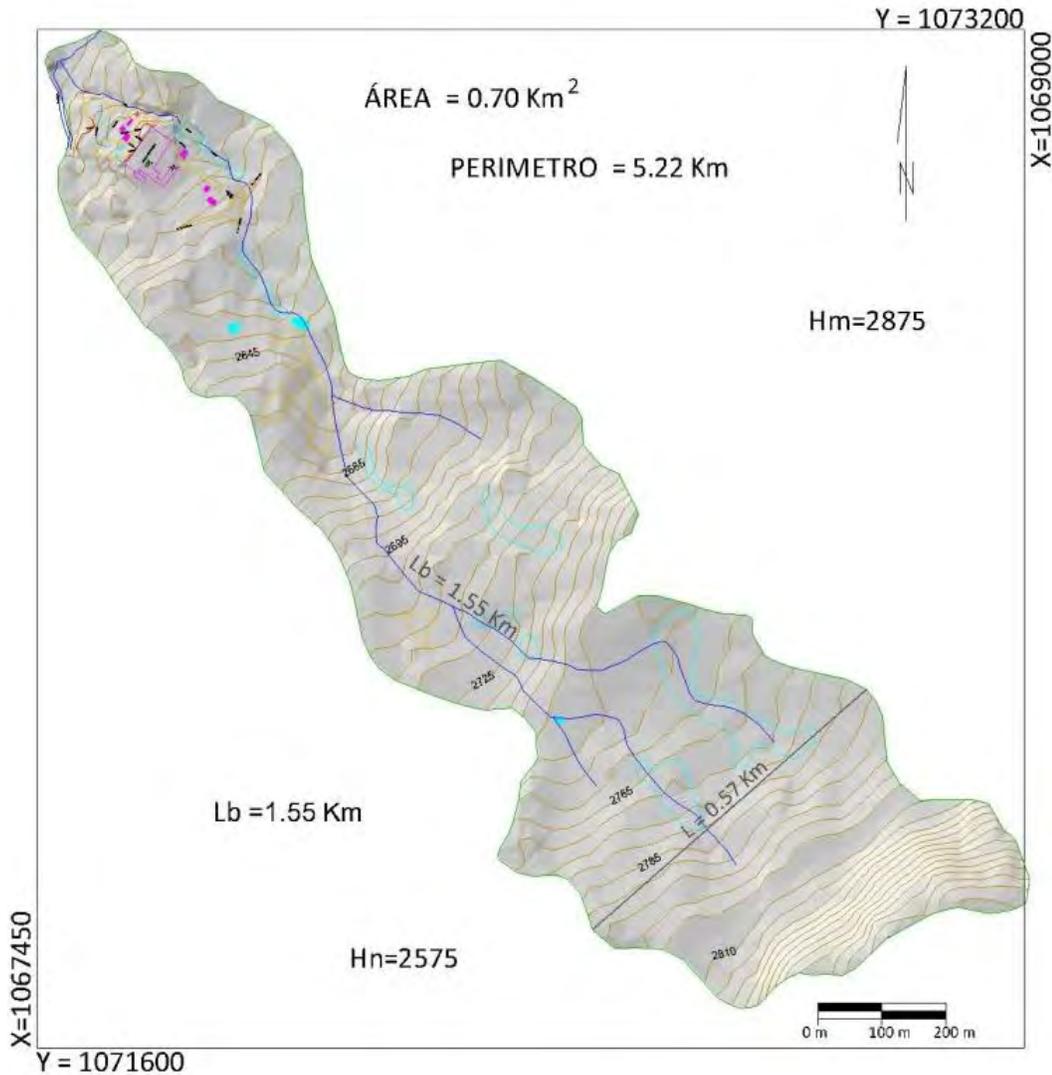
- Tiempo de concentración (TC) Es el tiempo que gasta una gota de agua en recorrer el sitio más lejano de la cuenca a la desembocadura del cauce principal.

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

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

A continuación resumimos en la Tabla 7 el resultado de los cálculos morfométricos a la microcuenca de Umbita analizadas para el presente estudio.

Figura 4. Imagen ilustrativa de la microcuenca Umbita



Fuente: Resultado del estudio.

Tabla 7. 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 (I)	longitud acumulada de todas las corrientes Km (Ld)	longitud acumulada de todas las corrientes Km (Ld)
Rio Garagoa	0,7	5,22	1,55	0,57	12,9	2875
Cota Mínima de la Cuenca(Hn)	Diferencia de Altura Km (Hc)	Razón de Relieve (Rr)	Número de Corrientes(Nc)	Frecuencia de Corrientes (Cauces/Km2)	Pendiente media de Corriente lc % (Ic)	Índice de Alargamiento (Ia)
2575	3	0,19	2	2,85	19,31	2,72
COEFICIENTE DE COMPACIDAD (C). FORMA Y SUSCEPTIBILIDAD		COEFICIENTE DE REDONDEZ (K). FORMA Y SUSCEPTIBILIDAD		DENSIDAD DE DRENAJE (Dd)		TIEMPO DE CONCENTRACIÓN en horas (TC)
0,86	REDONDA	0,86	Redonda	18,37	Densidad Muy Alta	0,07
AMPLITUD DE LA CUENCA (W). TIEMPO DE CONCENTRACIÓN DE ESCORRENTÍA		ELONGACIÓN DE LA CUENCA (RE). FORMA		ÍNDICE DE HOMOGENEIDAD (IH). FORMA		SUSCEPTIBILIDAD
0,45	crítico	0,61	SEMIREDONDA	0,79	Irregular	4

Fuente: Resultado del estudio

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

3 GEOLOGIA

El municipio de Umbita al ubicarse en la Codillera Oriental, rodeado por un sistema de fallas de tipo compresivo y por estar conformado por sedimentos de origen continental y marino, con edades que van desde el cretácico superior hasta el reciente, da origen a condiciones especiales de estructuras localmente algo complicadas, donde las rocas aflorantes (areniscas, lodolitas, arcillolitas, conglomerados, caliza y carbón), pertenecientes a las Formaciones Labor y Tierna (Kg1), Guaduas (Ktg) y Depósitos de Tipo Coluvial Qc.

3.1. GEOLOGÍA HISTÓRICA

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

3.2. GEOLOGIA LOCAL.

3.2.1. Formación Labor y Tierna (Kg1).

Está constituida por areniscas cuarzosas, gris claro a blanco amarillentas, de grano fino, compactas, estratificación delgada a gruesa (en algunos sitios oxidada dando apariencia rojiza), con intercalaciones delgadas de limolitas silíceas y lutitas negras. Su espesor varía de 100 a 120 m. Hubach (1951) le dio una edad Campaniano- Maastrichtiano.

3.2.2. Formación Guaduas (Ktg).

Está constituida por 92 metros de arcillolitas grises oscuras a verdosas, con intercalaciones de areniscas cuarzosas de grano fino; 24 metros de areniscas cuarzosas blancuzcas, de grano fino; 180 metros de arcillolitas grises y limolitas negras con concreciones arenosas de 0,05 a 0,1 metros de diámetro. En la parte media de este conjunto aparece un manto de carbón de 1,5 metros de espesor, lo mismo que intercalaciones de areniscas cuarzosas de grano fino en capas de 0,05 a 1,0 metros de espesor; sobre este conjunto descansan 20 metros de areniscas conglomeráticas y areniscas cuarzosas de grano fino. Su espesor total es de 446 metros. La Formación Guaduas (Ktg) es un clásico depósito de facies paralic, en lagunas y pantanos de gran extensión adyacentes a la línea de costa.

3.2.3. Depósitos Cuaternarios.

Corresponden a la acumulación de materiales poco consolidados, generalmente desordenados, aunque atendiendo al modo de transporte y sedimentación, algunos pueden estar estratificados. En el área de estudio se encuentran depósitos de tipo coluvial.

3.2.3.1. Depósitos Coluviales (Qc).

Este material es producto de la alteración in situ de la misma formación rocosa y posterior transporte por remoción en masa causada por efectos de gravedad ocurrida en épocas glaciales y post glaciales. Compuesto principalmente por fragmentos de diferentes tamaños de areniscas embebidas dentro de una matriz arcillo – limosa o limo – arcillosa.

3.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

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

3.3.1. Estructuras Plegadas.

3.3.1.1. Anticlinal El Rosal.

Estructura local de dirección NE, que afecta las rocas de la Formación Labor y Tierna (Kg1) y del Grupo Guadalupe. Su eje atraviesa las veredas Loma Gorda, Jupal, Rosal y Chuscal, donde está cubierto por un depósito cuaternario.

3.3.2. Fallas.

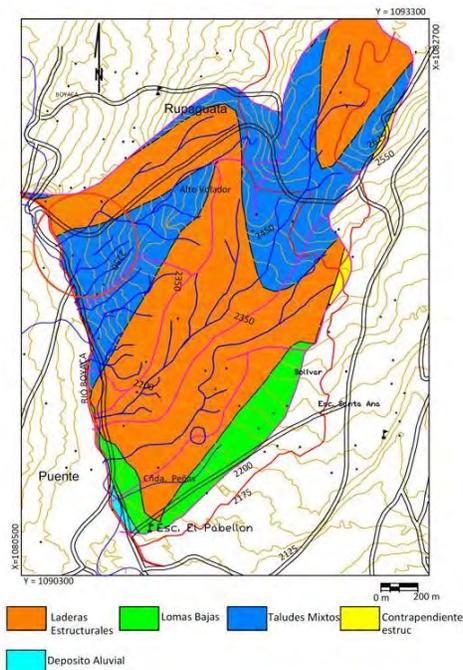
3.3.2.1. Falla de Tibana.

Falla inversa de orden regional con dirección preferentemente N45°E y buzamiento medio de 60° al NW. Su salto vertical aproximadamente es de 200 m, montando las rocas del Grupo Guadalupe (Ksg) sobre las rocas de la Formación Labor y Tierna. Su rumbo es paralelo al de las estructuras de plegamiento principales, por lo cual no trunca a ninguna de ellas.

4 GEOMORFOLOGÍA

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

Figura 5. Ventana extraída del mapa regional de Consultoría para la Homologación y Estructuración de la Información Cartográfica Base



Fuente: CORPOCHIVOR para ser integrada al SIAT.

▪ **Lomas bajas**

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

▪ **Contrapendiente estructural**

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

▪ **Deposito aluvial**

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

4.1. GEOMORFOLOGÍA LOCAL

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

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

Igualmente, se aclaran los criterios utilizados para definir las unidades geomorfológicas. Como resultado final, se elaboró el Plano **¡Error! No se**

ncuentra el origen de la referencia. geomorfológico del área de estudio y las fichas de los Inventarios de los procesos.

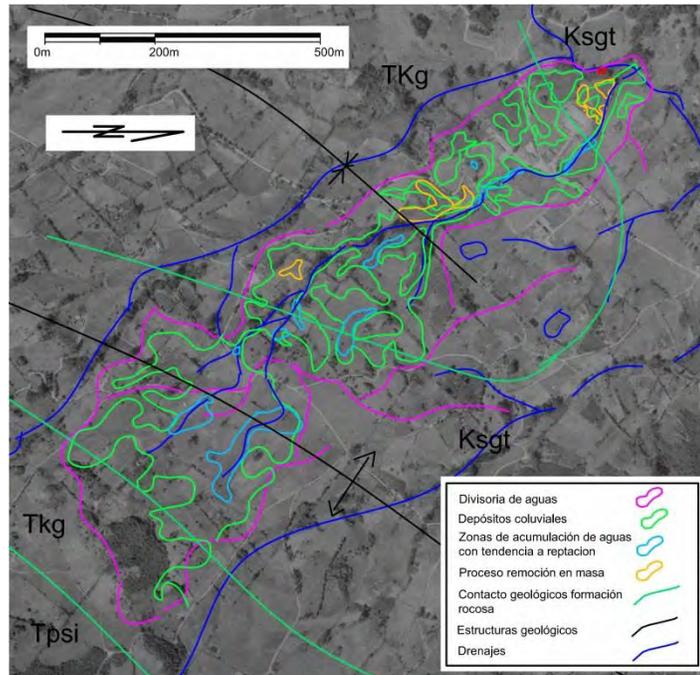
4.2. ANÁLISIS FOTOGEOLÓGICO

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

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

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

Figura 6. Fotografías pertenecientes al vuelo 2804- 13,14 tomadas por el IGAC, durante los años 90.



Fuente: Resultado del estudio.

4.3. PROCESOS MORFODINÁMICOS

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

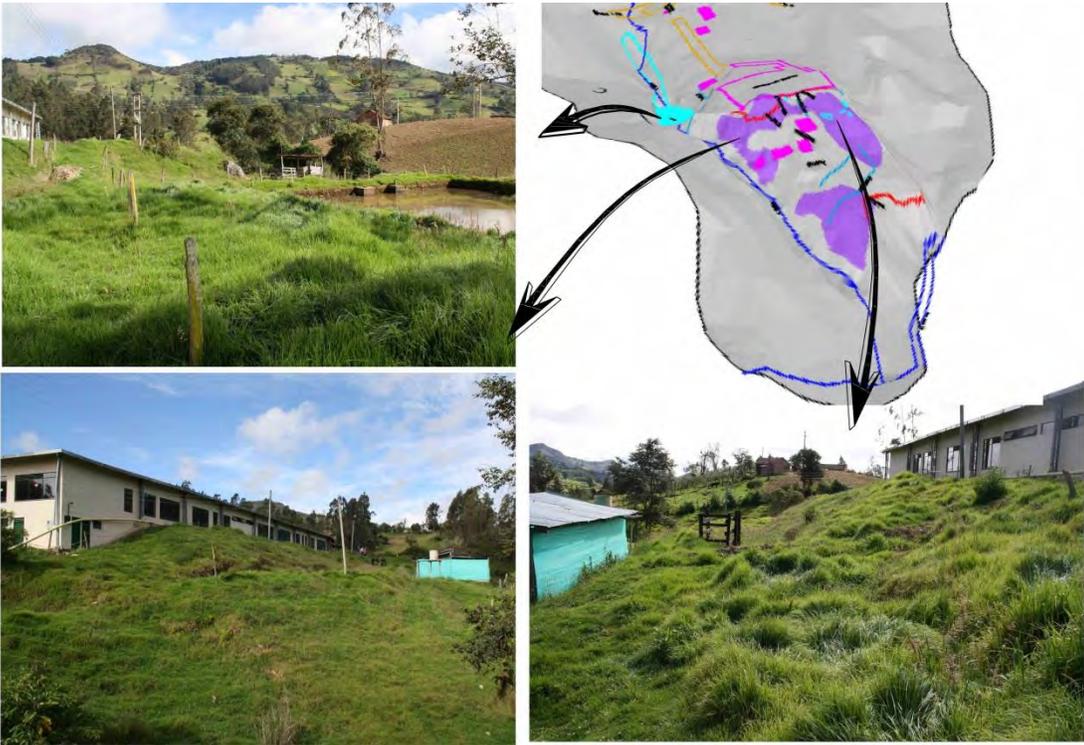
4.3.1. Reptaciones

▪ 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

3871,79 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. Se presenta entre la Formación Guaduas (Ktg) y el Depósito Coluvial (Qc) (Ver Figura 7).

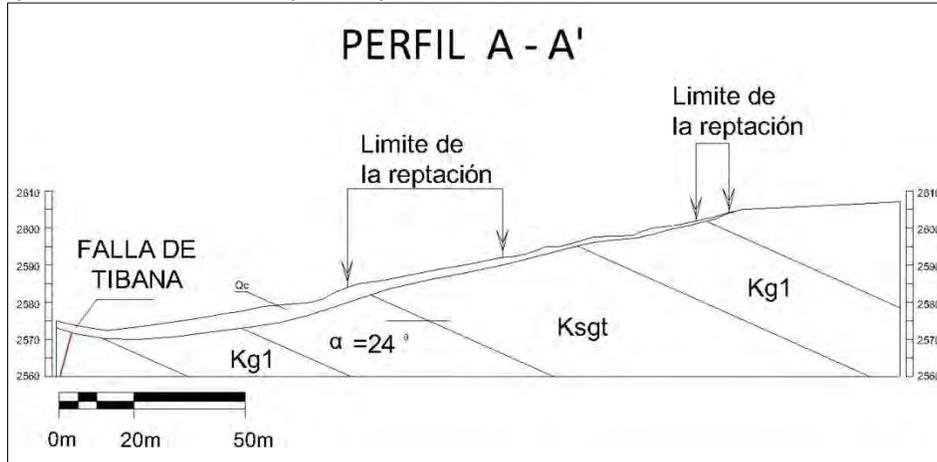
Figura 7. Esquema del movimiento, reptación 1



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 reptación 1

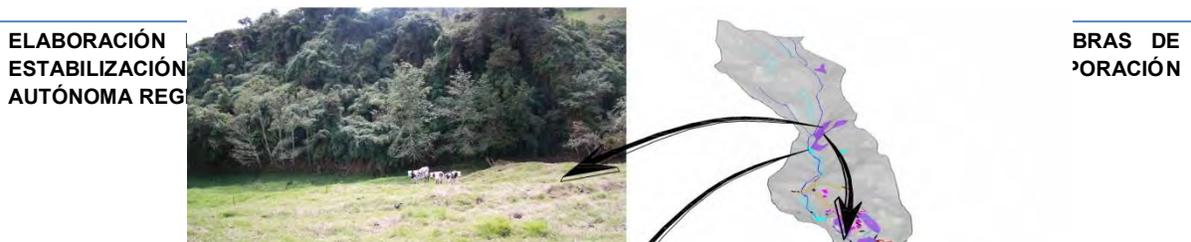


Fuente: Resultado del estudio.

▪ **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 7826,2 m² con distribución creciente.

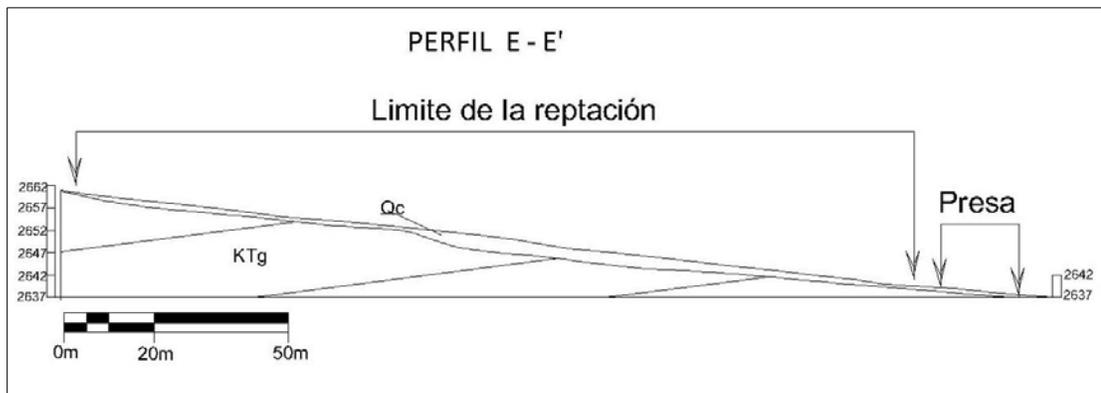
Figura 9. Esquema del movimiento, reptación 2



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 reptación 2

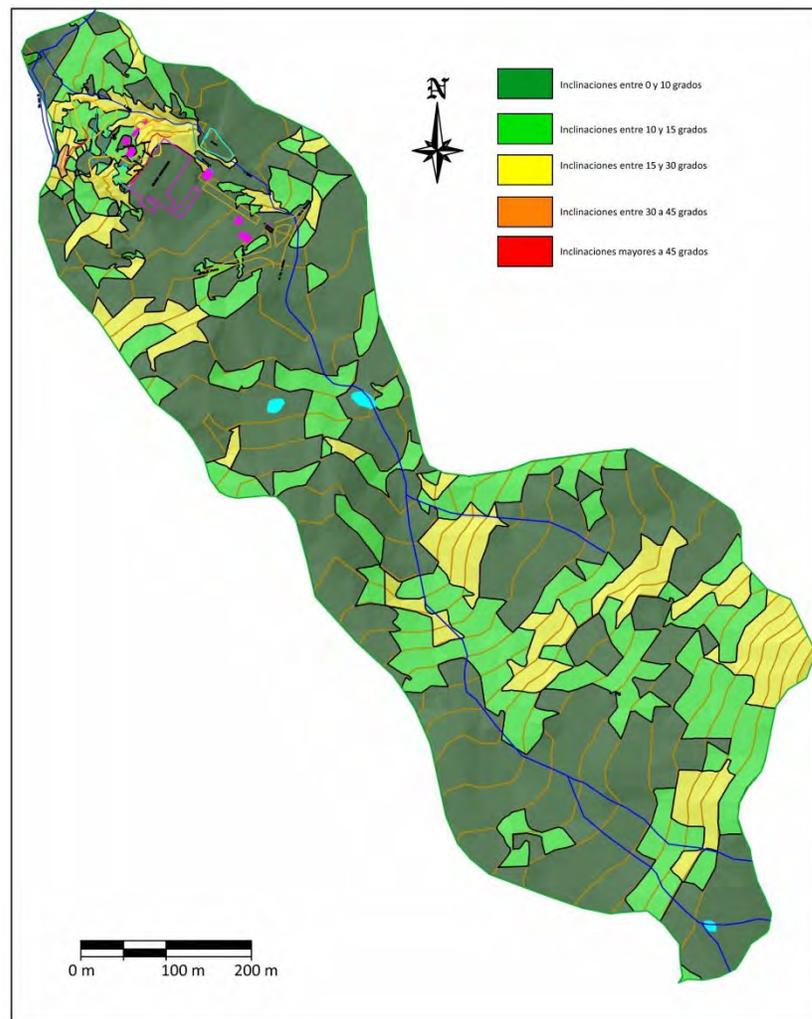


Fuente: Resultado del estudio.

4.4. INCLINACIÓN DE LAS PENDIENTES

A partir de un modelo digital de terreno generado tras la digitalización de curvas de nivel a una escala 1:25.000, se generó el mapa de pendientes con cinco clases para el área de estudio. Los valores de susceptibilidad de este parámetro o variable son presentados en la Figura 11.

Figura 11. Imagen del Mapa de inclinación de las pendientes.



Fuente: Resultado del estudio.

Tabla 8. Clasificación de las pendientes.

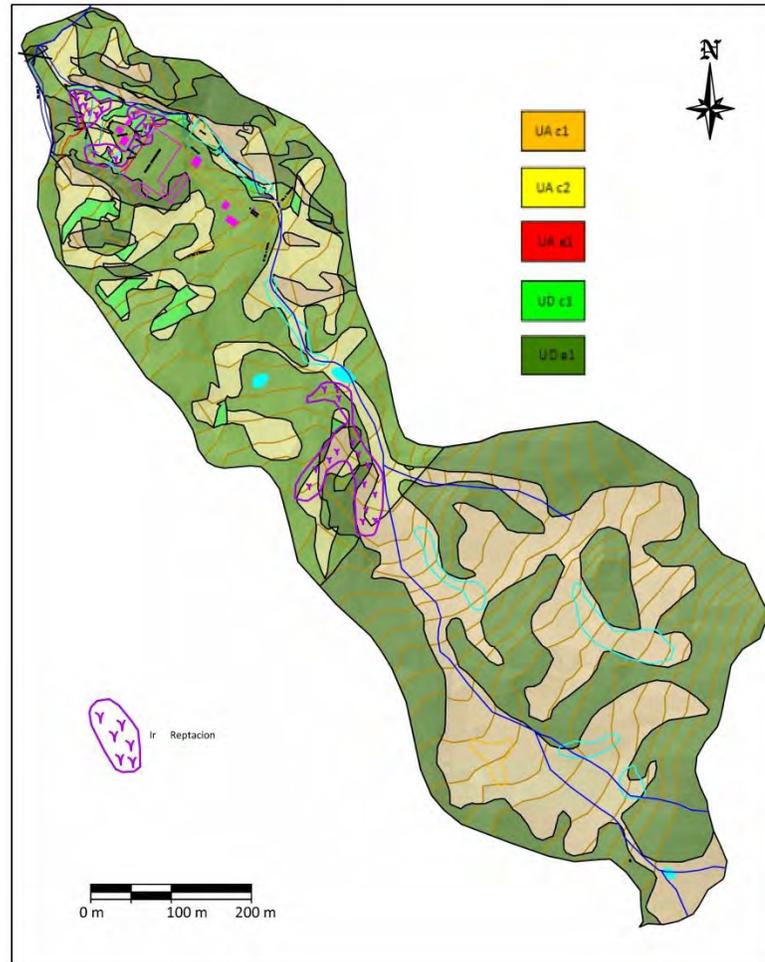
CLASIFICACIÓN DE LAS PENDIENTES	
UNIDAD CARTOGRÁFICA	GRADOS
Suavemente inclinada	0-10
Inclinada	10 15
Abrupta	15-30
Escarpada	30 - 45
Muy Escarpada	> 45

Fuente: Resultado del estudio.

4.5. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

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

Figura 12. Imagen del Mapa geomorfológico.



Fuente: Resultado del estudio.

4.5.1. Geoformas de Origen Denudacional.

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

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

Dicha unidad está compuesta por depósitos coluviales, los cuales yacen sobre estratificaciones en contra a la dirección de las pendientes presenta un área de 16.8 ha, de las cuales el 2.2 % presenta inestabilidad. Siendo susceptible a reptaciones y desprendimientos.

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

Dicha unidad está compuesta por depósitos coluviales, los cuales yacen sobre estratificaciones en contra a la dirección de las pendientes presenta un área de 1.06 ha, de las cuales el 9.4 % presenta inestabilidad.

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

Dicha unidad está compuesta por depósitos coluviales, los cuales yacen sobre estratificaciones en contra a la dirección de las pendientes presenta un área de 15.3 ha, de las cuales el 2.9 % presenta inestabilidad. Siendo la unidad que presenta más afectación, a movimientos de reptación y desprendimientos.

4.5.1.4. Unidad degradacional con inclinaciones entre 0 y 30 grados en ladera en contra pendiente (UD c1)

Dicha unidad está compuesta por formaciones rocosas, cuyas estratificaciones se encuentran en contra a la dirección de las pendientes, presenta un área de 21.7 ha, de las cuales el 2.5 % presenta inestabilidad.

4.5.1.5. 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 15.2 ha, de las cuales el 0.83 % presenta inestabilidad.

A continuación describimos en la Tabla 9, la descripción y análisis de las unidades geomorfológicas

Tabla 9. Descripción geomorfológica.

ORIGEN	ESTRUCTURA	MORFOMETRIA	MORFODINAMICA	SÍMBOLO
Unidad agradacional	ladera en contra pendiente	con inclinaciones entre 0 y 30 grados	Presenta reptaciones y desprendimientos	UA c1
		con inclinaciones mayores a 30 grados		UA c2
	ladera estructural	con inclinaciones entre 0 y 30 grados	Es la unidad que presenta más afectación, presenta reptaciones y desprendimientos.	UA e1
Unidad degradacional	ladera en contra pendiente	con inclinaciones entre 0 y 30 grados		UD c1
	ladera estructural	con inclinaciones entre 0 y 30 grados		UD e1

Fuente: Resultado del estudio.

4.6. EROSION

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

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

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

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

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

La erosión antrópica o acelerada, favorece la aparición de surcos y cárcavas que representan un grado superior del proceso de erosión que se manifiesta en los suelos. Su formación tiene origen en el drenaje superficial y es aumentada por el incremento del tiempo de concentración

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

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

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

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

Este tipo de erosión, se ve propiciada cuando se remueve la cobertura vegetal por el laboreo para los cultivos, la quema de residuos de cosecha, el sobrepastoreo,

deforestación y por la perturbación del suelo al paso de maquinaria pesada en la construcción de vías, obras de infraestructura y minería.

4.6.1. Algunas Formas de Erosión

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

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

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

4.6.2. Factores externos

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

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

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

4.6.3. Factores internos

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

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

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

4.6.4. Morfodinámica - intensidad de erosión

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

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

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

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

El mapa de intensidad de erosión describe unidades de intensidad de erosión así: erosión muy baja, erosión baja, erosión media y erosión muy alta. (Ver Figura 13).

Figura 13. Imagen del Mapa erosión.



Fuente: Resultado del estudio.

4.7. USO ACTUAL Y COBERTURA DEL SUELO

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

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

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

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

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

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

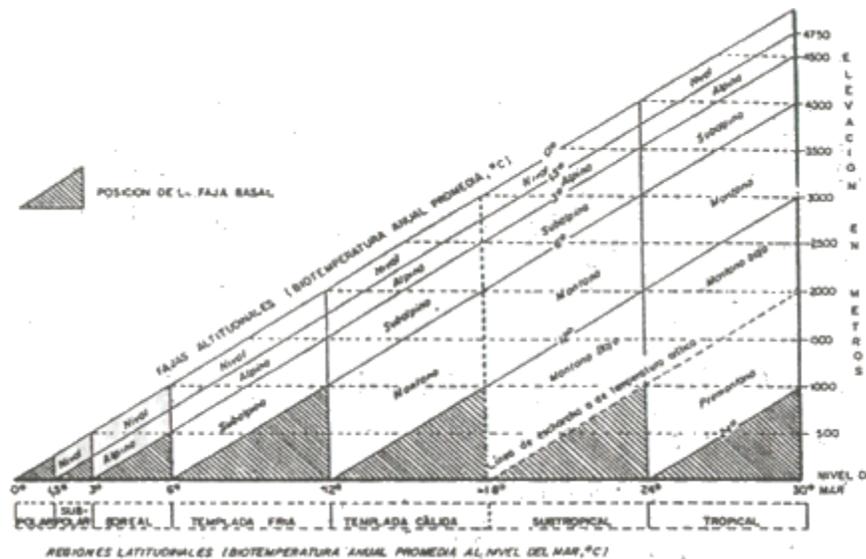
el deterioro físico y químico del suelo, alteración del balance hídrico y la desestabilización de cuencas.

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



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:

4.7.1.1. 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*).

4.7.1.2. 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, 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.

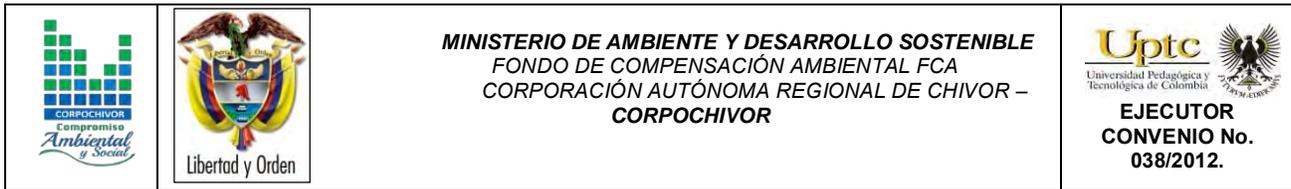
4.7.1.3. Bosque introducido

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.

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

Dentro del programa CORINE (Coordination of information on the environment) promovido por la Comisión de la Comunidad Europea fue desarrollado el proyecto de cobertura de la tierra “CORINE Land Cover” 1990 (CLC90), el cual definió una



metodología específica para realizar el inventario de la cobertura de la tierra. Actualmente, su base de datos constituye un soporte para la toma de decisiones en políticas relacionadas con el medio ambiente y el ordenamiento territorial, aceptada por la Unión Europea. Hoy en día se aplica sobre la totalidad del territorio europeo a través del proyecto CLC2000.

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

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

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

asistida por computador y la generación de una base de datos geográfica, junto con los siguientes procedimientos generales,

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

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

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

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

4.7.3. Estudio de la flora.

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

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

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

- Las unidades cartografiadas se deben describir, teniendo en cuenta su localización, distribución e importancia ecológica y social. El análisis para el área de estudio directo (AED) se estudiara entre otras las siguientes variables:
 - Descripción florística: Con identificación de endemismos, importancia económica y cultural.

 - Diversidad florística

 - Índices de calificación e importancia ecológica.

 - Importancia económica y cultural de algunas especies.

 - Identificación de áreas que por sus características ecológicas deben conservarse en su estado actual, determinando espacialmente las áreas de restricción y conservación.

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

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

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

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

4.7.3.1. Tejidos artificiales.

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

4.7.3.2. 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:

4.7.3.3. 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.

4.7.3.4. 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.

4.7.3.5. 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 3. Tejido artificializado de nivel 4 red vial.



Fuente: Registro fotográfico.

Fotografía 4. Tejido artificializado de nivel 4 red vial.



Fuente: Registro fotográfico.

4.7.3.6. 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.

4.7.4. Cultivos transitorios.

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

4.7.4.1. Tubérculos.

Cobertura compuesta principalmente por cultivos transitorios de diferentes tipos de plantas que poseen tubérculos. Un tubérculo es un tallo subterráneo modificado y engrosado donde se acumulan los nutrientes de reserva para la planta. Esta cobertura en la zona la componen los cultivos de papa arracacha, En la región andina, los cultivos arracacha se presentan por encima de los 2,000 msnm.

4.7.4.2. Papa.

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

Fotografía 5. Cultivos *Solanum tuberosum L.*



Fuente: Registro fotográfico.

4.7.5. Cultivos permanentes.

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

4.7.5.1. 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)

4.7.5.2. 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 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* utilizado como lindero de la institución.



Fuente: Registro fotográfico.

4.7.5.3. Pastos.

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

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

4.7.5.4. Pastos limpios.

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

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

Fotografía 7. Pastos limpios presente en la zona de estudio



Fuente: Registro fotográfico.

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

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

- Composición florística herbácea conformada fundamentalmente por hierbas poco *palatables* o no *palatables* para el ganado, debido a que las apetecidas por los animales fueron comidas por el constante pastoreo.

4.7.6. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES

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

4.7.6.1. Bosques

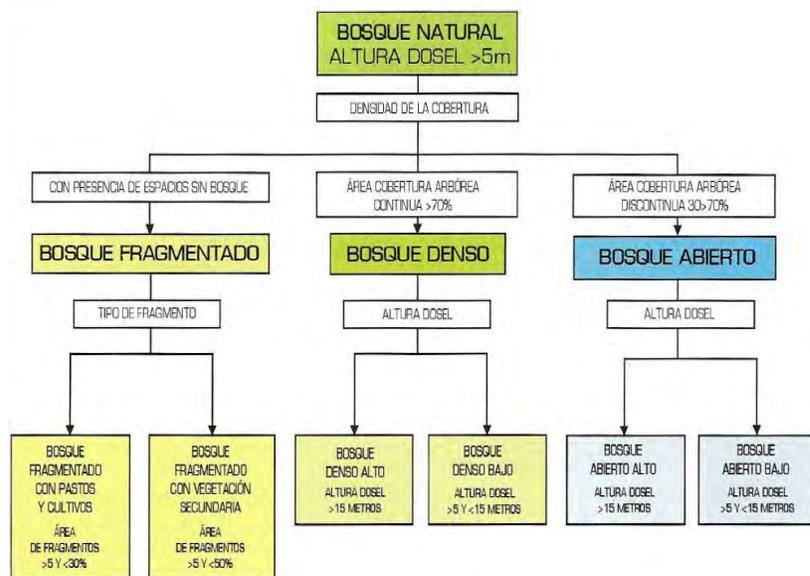
Comprende las áreas naturales o seminaturales, constituidas principalmente por elementos arbóreos de especies nativas o exóticas. Los árboles son plantas leñosas perennes con un solo tronco principal, que tiene una copa más o menos definida.

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

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

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

Figura 15. Criterios para la clasificación de los bosques



Fuente: Corine Land Cover 2010.

4.7.6.2. 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.

4.7.6.3. 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.

4.7.6.4. 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 8. Bosque denso bajo de tierra firme



Fuente: Registro fotográfico.

4.7.6.5. Bosque de galería y ripario.

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

Fotografía 9. Bosque Ripario Presente En la zona de estudio



Fuente: Registro fotográfico.

4.7.6.6. Plantación forestal.

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

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

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

4.7.6.7. 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 10. Eucaliptos presentes en la zona de estudio



Fuente: Registro fotográfico.

4.7.7. 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:

4.7.7.1. Arbustal.

Comprende los territorios cubiertos por vegetación arbustiva desarrollados en forma natural en diferentes densidades y sustratos. Un arbusto es una planta

perenne, con estructura de tallo leñoso, con una altura entre 0,5 y 5 m, fuertemente ramificado en la base y sin una copa definida (FAD, 2001).

4.7.7.2. 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 11. Arbustal Abierto Mesofilo



Fuente: Registro fotográfico.

4.7.7.3. 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.

4.7.7.3.1. 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.

4.7.7.3.2. 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.

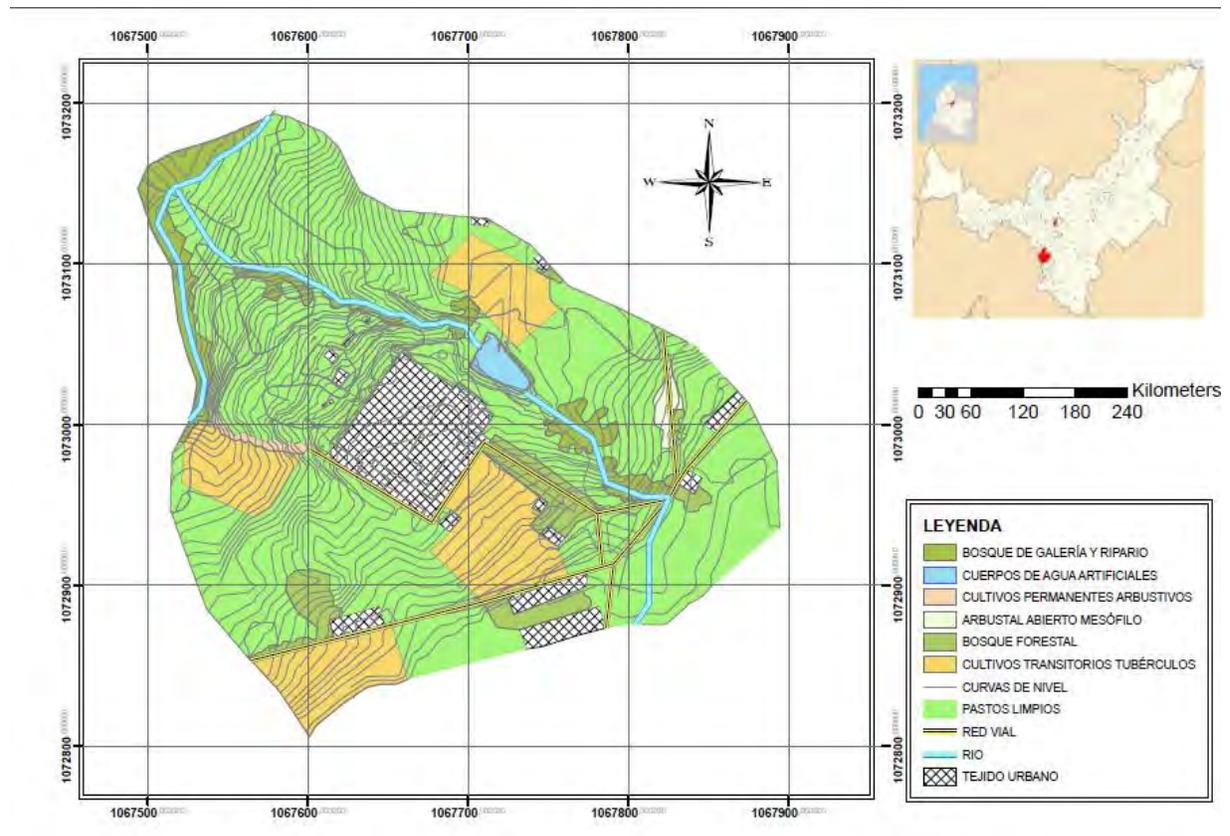
Fotografía 12. Embalse



Fuente: Registro fotográfico

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

Figura 16. Mapa cobertura vegetal y uso de suelo



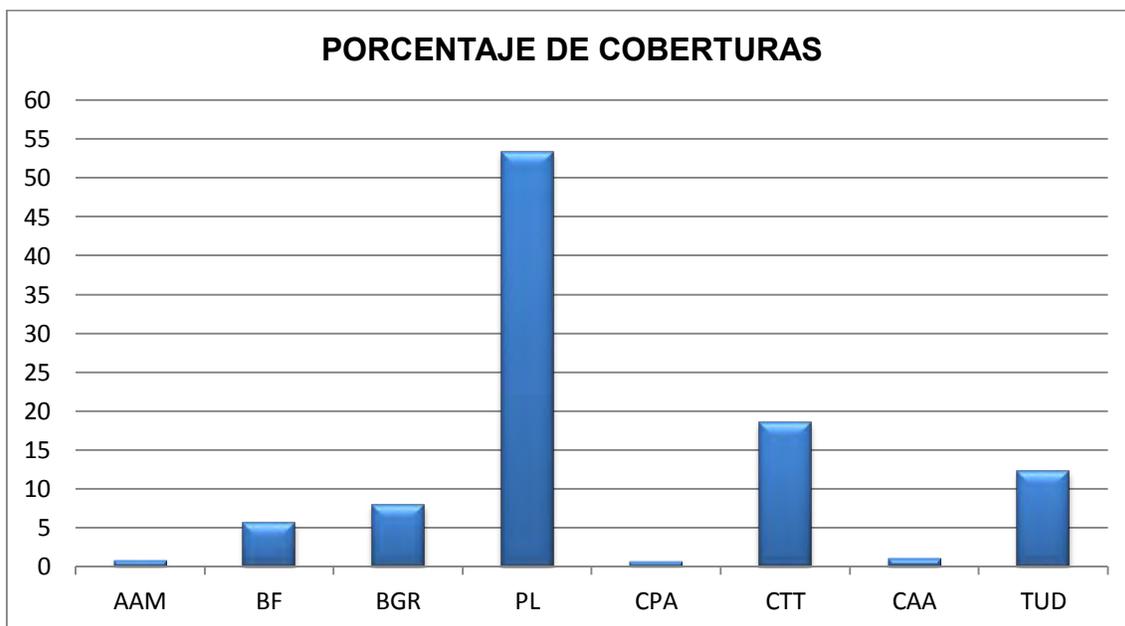
Fuente: Resultado del estudio

Tabla 10. Áreas de coberturas Vereda Chuscal.

TIPO DE COBERTURA	AREA m ²
ARBUSTAL ABIERTO MESOFILO (AAM)	541
BOSQUE FORESTAL (BF)	4114
BOSQUE DE GALERÍA Y RIPARIO (BGR)	5790
PASTOS LIMPIOS (PL)	39073
CULTIVOS PERMANENTES ARBUSTIVOS (CPAR)	399
CULTIVOS TRANSITORIOS TUBÉRCULOS (CTT)	13599
CUERPOS DE AGUA ARTIFICIALES (CAA)	748
TEJIDO URBANO DISCONTINUO (TUD)	8951

Fuente: Resultado del estudio.

Figura 17. Porcentaje de coberturas.



Fuente: Resultado del estudio.

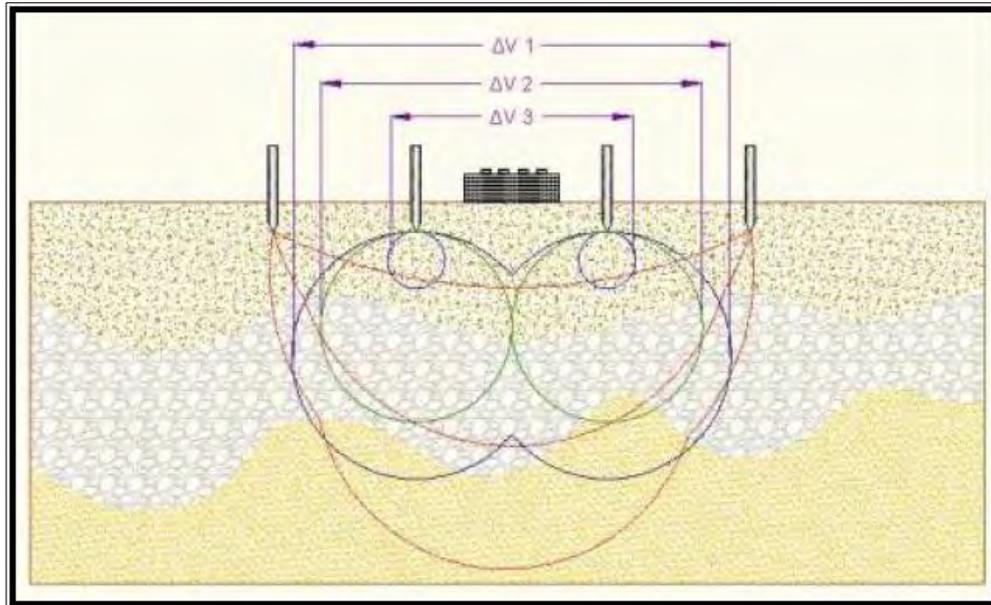
5 ESTUDIO GEOELECTRICO (TOMOGRAFIA ELECTRICA RESISTIVA)

5.1. INTRODUCCIÓN

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.

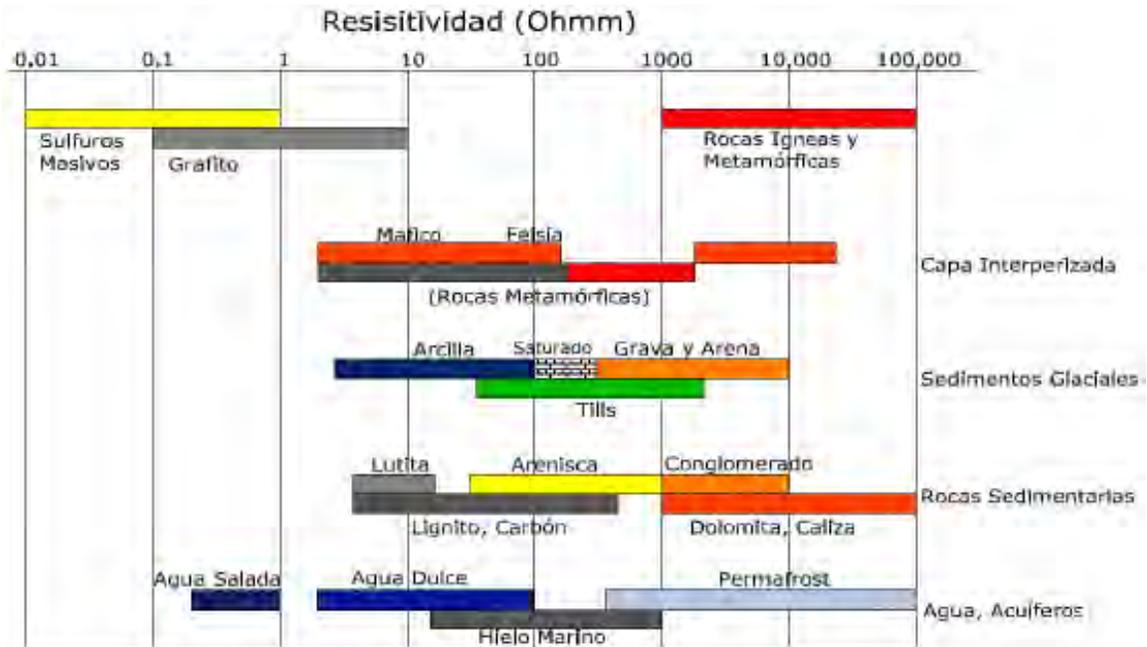
La Tomografía Eléctrica Resistiva es una técnica geofísica para generar secciones o perfiles del subsuelo en base a mediciones de caída de potencial eléctrico. Éste método consiste en inyectar una corriente al interior del suelo, la cual, regresa al voltímetro en forma de una diferencia de potencial (ΔV) producto de las variaciones en resistencia que resultan de cada tipo de material o estrato de suelo (Figura 18); 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 19). 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 18. 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 19. Rangos de resistividad para diferentes materiales.



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

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

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

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

5.2. OBJETIVO

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

5.3. PRINCIPIO DEL MÉTODO GEOFÍSICO.

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.

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 11, 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 11 se encuentra un conjunto de valores típicos de resistividad de geomateriales.

Tabla 11. Resistividades de algunos suelos y rocas.

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

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

5.3.2. Dispositivos:

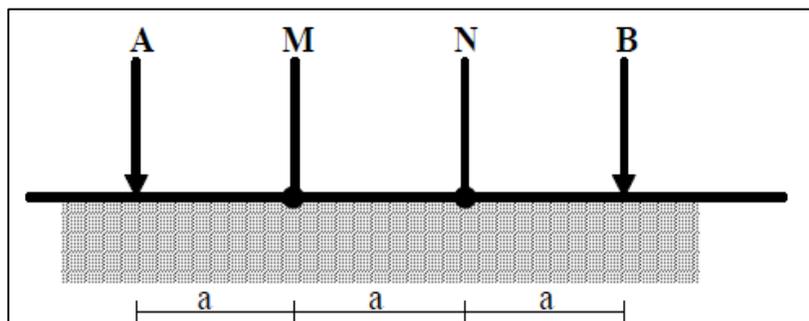
Un dispositivo es un arreglo de electrodos formado con dos pares de electrodos, dos emisores y dos receptores. A través de los electrodos emisores C1C2 se inyecta la corriente continua al terreno midiendo su intensidad con un miliamperímetro en serie, y a través del segundo par se mide la diferencia 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:

5.3.2.1. Dispositivo Wenner.

Los electrodos se disponen equidistantes sobre una línea en el orden AMNB (Figura 20)

Figura 20. Dispositivo Wenner.



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

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

5.4. METODOLOGÍA

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

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

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

Donde:

d= Distancia entre electrodos

Xtotal= Distancia de la línea extendida

N°electrodos= electrodos a utilizar

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

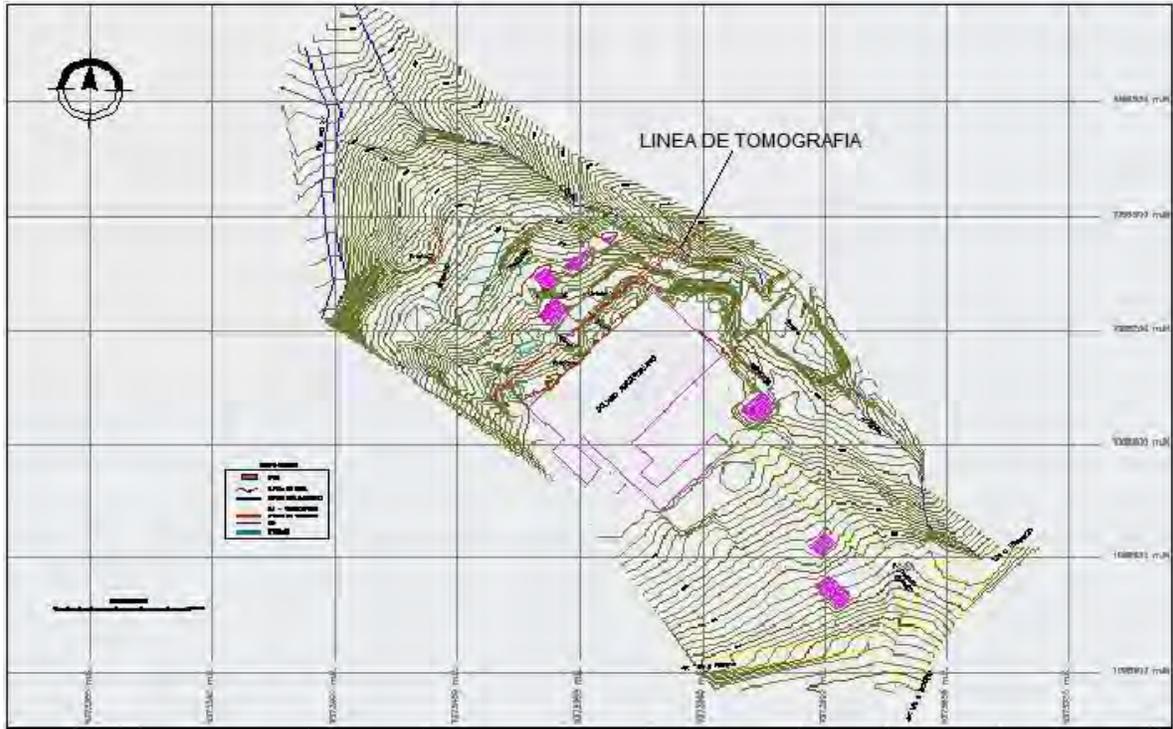
El resultado final de este tipo de estudio es una sección distancia-profundidad con la distribución de la resistividad real del subsuelo, fácilmente comprensible en términos geológicos o geotécnicos. Para obtener estos resultados se procede a insertar los parámetros para el cálculo y la medición de las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

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

5.4.1. TOMOGRAFIA N°1

Localizada en la parte media del deslizamiento Coordenadas parte inicial X: 1057206, Y: 1073330, parte final X: 1067267, Y: 1073440, orientación N46°E, con una longitud de 123 mts., profundidad obtenida de 22.1 mts., y los electrodos conectados a una distancia de 3 mts cada uno.

Figura 21. Localización de la línea de tomografía.



Fuente: Resultado del estudio.

Fotografía 13. Parte alta del deslizamiento.



Fuente: Registro fotográfico.

Fotografía 14. Parte media del deslizamiento



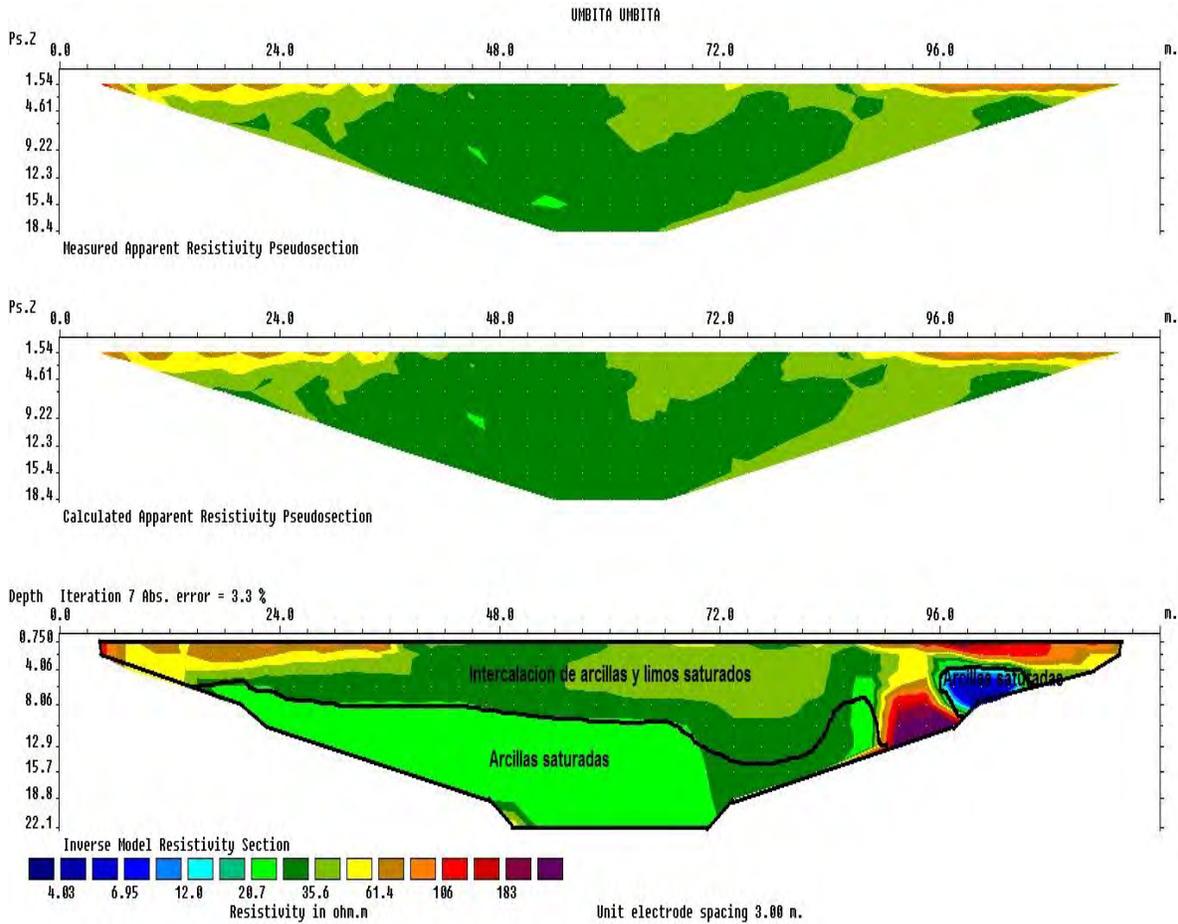
Fuente: Registro fotográfico.

Tabla 12. Datos de resistividad y materiales

MATERIAL	PROFUNDIDAD (m)	RESISTIVIDAD ($\Omega \cdot m$)	INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA
1	0 – 10	4.03 – 20.7	Arcillas saturadas
2	4 – 22	21 - 183	Intercalación de arcillas y limos saturados

Fuente: Resultado del estudio.

Figura 22. Perfil 1 tomografía.



Fuente: Resultado del estudio.

Figura 23. Perfil litológico 1



Fuente: Resultado del estudio.

5.4.2. RESULTADOS

Con ayuda del software Res2DINVX64, se relacionaron datos de las respectivas resistividades de los materiales del área obtenidas por el equipo, resultando así el modelamiento del talud, donde se observan que el área está conformada por dos unidades Geoelectricas bien definidas, donde encontramos niveles de arcillas saturadas con rangos de resistividades que oscilan entre $4.03 - 20.7 \Omega \cdot m$ y otro material que está compuesto por intercalaciones de limos y arcillas semisaturadas o saturadas con resistividades que van desde $21 - 183 \Omega \cdot m$, ver Figura 22, Figura 23.

6 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 el Chuscal, municipio de Umbita, 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

6.1.1. Sondeos geotécnicos

6.1.1.1. Exploración directa del sub suelo.

La exploración directa del sub suelo consiste en la realización una apique y una trinchera, de estos se tomaron muestras alteradas e inalteradas para realizar los ensayos pertinentes para caracterizar los materiales presentes en esta zona. Además se realizaron sondeos a profundidades de que van de 0 a 10 metros de y sus ubicaciones se relacionan en la siguiente Tabla 13; de estos se realizaron también los ensayos de propiedades índices y propiedades mecánicas.

Tabla 13. Coordenadas de los sondeos realizados

Umbita			
Sondeo	Coordenadas		Profundidad (metros)
	Este	Norte	
Sondeo 1	1,073,358	1,067,224	10

Fuente: Resultados del estudio.

Fotografía 15. Prueba in situ, penetrometro de bolsillo



Fuente: Registro fotográfico.

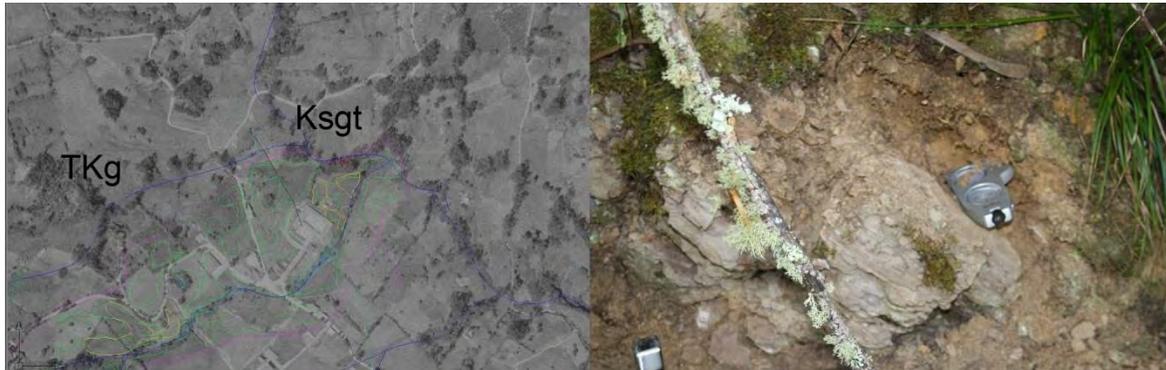
Fotografía 16. Sondeo realizado en la zona de estudio.



Fuente: Registro fotográfico.

También se caracterizó las rocas aledañas al deslizamiento y se realizó la toma de muestras tamaño puño para realizar la caracterización de sus propiedades físicas y algunos pequeños bloques para realizar ensayos en laboratorio como tilt test y cargas por punta con el fin de conocer su resistencia, a la vez se realizó el mapeo en estos puntos donde se hizo el levantamiento de discontinuidades en los puntos donde se pudo observar la roca aflorante.

Figura 24. Punto de toma de datos.



Fuente: resultados del proyecto.

6.2. CARACTERIZACIÓN DEL SUELO Y SUBSUELO

6.2.1. Trabajos de Laboratorio

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

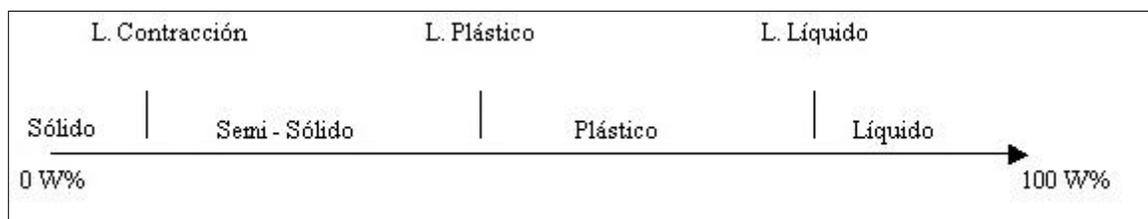
6.2.1.1. Propiedades índices de los suelos

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

(plasticidad), es decir, la propiedad que presenta los suelos hasta cierto límite sin romperse.

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

Figura 25. 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.

6.2.1.2. Propiedades índices de las rocas

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

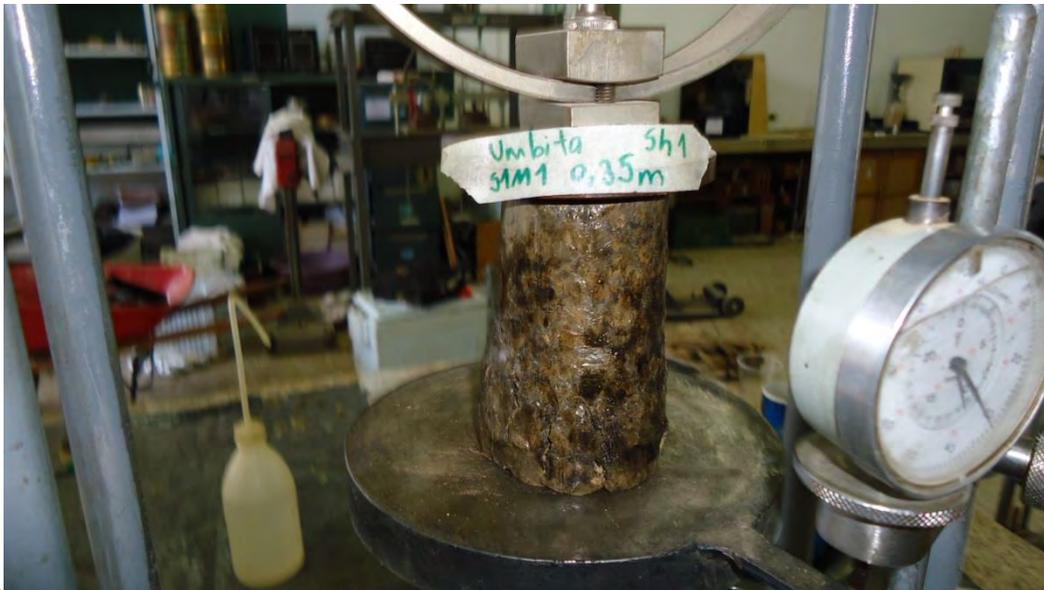
Se establecieron propiedades físicas tales como:

- Densidad total de la muestra (ρ)
- Densidad seca de la muestra (ρ_d)
- Densidad saturada de la muestra (ρ_{sat})
- Porcentaje de humedad (ω %)
- Porcentaje de saturación (S%)
- Porosidad (n%)
- Relación de vacíos (e)
- Peso específico (γ (KN/m³))
- Peso específico seco (γ_d (KN/m³))
- Peso específico saturada (γ_{sat} (KN/m³))

4.1.1.1. 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 17. 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 18. Muestras a las que se les realizó la prueba de corte directo.



Fuente: Registro fotográfico.

6.2.2. Resumen de resultados

En general los ensayos realizados reflejan la particularidad de materiales finos en el subsuelo según la Carta de Clasificación de Casagrande, los suelos fueron clasificados dentro del grupo CL (arcillas de baja plasticidad), con peso unitario de 1.3 – 2.0 gr/cm³, con limite líquido < 45% e IP entre 8% y 22%.

Los resultados de las propiedades mecánicas reflejan una resistencia a la compresión simple de 0.4 – 1.2 kg/cm², cohesión de 0.2 – 0.6 Kgf/cm², ángulos de fricción de 7°. Estos resultados de las propiedades físicas y mecánicas se utilizaron para el análisis de estabilidad. En el anexo 4, se presentan los formatos correspondientes a los ensayos de laboratorio, de los cuales se presenta una tabla resumen (Tabla 14).

Tabla 14. Resumen de resultados ensayos de laboratorio

UNIVERSIDAD PEDAGOGICA Y TECNOLOGICA DE COLOMBIA																				
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS																				
SECCIONAL SOGAMOSO																				
MEMORIA DE SONDEOS																				
PROYECTO:		ESTUDIO DE RIESGO, AMENAZA Y VULNERABILIDAD VEREDA CHUSCAL MUNICIPIO DE UMBITA																		
PERFORACION:		S1																		
LOCALIZACION:		VEREDA CHUSCAL MUNICIPIO DE UMBITA- DEPARTAMENTO DE BOYACA																		
FECHA:		MAYO DE 2013																		
inalterada																				
alterada																				
										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	1A		0,35	1,073,358	1,067,224	14,57	31,99	23,40	8,59	ML-OL	6,778			1,9766	1,622	1,3621	0,68105	2		
	1B		0,70	1,073,358	1,067,224									2,0231	1,6705	1,7018	0,8509	2,5		
	2		0,80	1,073,358	1,067,224	12,63	32,07	25,00	7,07	ML-OL	6,551			1,8295	1,4599	0,5046	0,2523	2,5		
	3		1,20	1,073,358	1,067,224	16,90	36,35	13,89	22,46	CL	3,67			1,9346	1,5727	0,9457	0,47285	2		
	4		1,50	1,073,358	1,067,224	28,20								1,9034	1,4699	0,855	0,4275	1,5		
	5		2,50	1,073,358	1,067,224	28,21	45,21	22,22	22,99	CL	3,003	7,294	0,731	1,9705	1,5527	1,0259	0,51295	2		
	6		3,50	1,073,358	1,067,224	19,04	15,31	14,29	1,02	CL	2,227			1,8278	1,3655	0,5188	0,2594	1,5		
	7		4,50	1,073,358	1,067,224	34,06	NL	NP		CL	3,23			1,9067	1,4205	0,4159	0,20795	2		
8		6,25	1,073,358	1,067,224	20,87	32,33	17,24	15,09	CL	5,681			1,7269	1,3312	1,2849	0,64245	1,5			

Fuente: resultados del proyecto.

6.3. CAUSAS DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA

6.3.1. 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.

6.3.2. Causas Inmediatas

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

Como detonantes de los eventos se han establecido los siguientes:

- La baja capacidad de capturar agua del material pero no de trasmitirla lo cual hacer que se generen grandes presiones las cuales generan la fuerza indicada para el desplazamiento del movimiento.
- El agua proveniente de las precipitaciones, que aunque no son frecuentes, han ocurrido en épocas que están asociadas a los mayores movimientos ocurridos.

- La baja resistencia al corte o de fricción del material en el cual se produce la superficie de falla.
- El mal uso de suelo, la ocupación de drenajes naturales para regadío de cultivos, tala y pastoreo.
- Los eventos sísmicos con alguna influencia en la zona se constituyen también en factores detonantes.
- Existen otros factores detonantes de menor importancia que pueden mencionarse, como las vibraciones y sobrecargas provenientes del tránsito vehicular, las sobrecargas asociadas a los botaderos y el mal uso del suelo.

6.4. 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.

6.4.1. Modelamiento del comportamiento hidráulico.

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

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

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

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

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

6.4.2. Efecto de la Aceleración Sísmica en el Modelo.

El Municipio de Umbita se encuentra en una zona de Amenaza Sísmica Alta, de acuerdo a la Norma Colombiana Sismorresistente, por tanto el efecto sísmico es un aspecto relevante en la estabilidad de taludes. El efecto sísmico fue

considerado con la aplicación de un análisis Pseudoestático a partir de la siguiente expresión:

$$\sum F = m * a$$

Donde,

F: Fuerzas.

m: Masa de la dovela.

a: aceleración.

La aceleración aplicada a cada masa, corresponde a un porcentaje de la aceleración de la gravedad, el cual se define de acuerdo a los coeficientes de aceleración horizontal y vertical propuestos en la norma sismorresistente y a un coeficiente de reducción del coeficiente de aceleración, de acuerdo a las características del terreno. Para el Municipio de Umbita los coeficientes de aceleración horizontal (Aa) y vertical (Ad) son iguales a 0.15 y 0.06 respectivamente, de acuerdo a la NSR-10, sin embargo la versión vigente del código colombiano sismorresistente, indica que los coeficientes se tomen igual al valor mayor, en este caso 0.20 y 0.25. 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 15).

Tabla 15. Coeficientes de aceleración sísmica para el departamento Boyacá

Nº	Municipio	Código	Aa	Av	Zona de Amenaza Sísmica	Ae	Ad
1	Tunja	15001	0.20	0.20	Intermedia	0.15	0.07
119	Úmbita	15842	0.20	0.25	Alta	0.15	0.06
120	Ventaquemada	15861	0.20	0.20	Intermedia	0.11	0.05
121	Villa de Leyva	15407	0.20	0.20	Intermedia	0.09	0.05
122	Viracachá	15879	0.20	0.25	Alta	0.16	0.08
123	Zetaquirá	15897	0.20	0.25	Alta	0.16	0.08

Fuente: Titulo A NSR – 10

Tabla 16. 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 Titulo H NSR – 2010.

Por tanto el coeficiente de aceleración para análisis pseudoestático resulta:

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

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

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

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

6.4.3. 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	
E: 1067479	N: 1073136

Tabla 17. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla planar.

ANÁLISIS CINEMÁTICO						
PLANAR						
Rango	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO			RANGO BUZAMIENTO		
1	169	A	209	20	A	40
2	259	A	299	20	A	90
3	355	A	35	20	A	70

Fuente: Resultados del estudio.

Tabla 18. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.

ANÁLISIS CINEMÁTICO						
CUÑA						
Rango	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO			RANGO BUZAMIENTO		
1	168	A	208	41	A	90
2	346	A	26	70	A	90
3	82	A	122	103	A	90

Fuente: Resultados del estudio.

Tabla 19. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.

ANÁLISIS CINEMÁTICO						
VOLTEO						
Rango	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO			RANGO BUZAMIENTO		
1	339	A	29	65	A	90
2	165	A	215	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	
E: 1067079	N: 1072872

Tabla 20. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla planar.

ANÁLISIS CINEMÁTICO						
PLANAR						
Rango	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO			RANGO BUZAMIENTO		
1	179	A	219	20	A	85
2	120	A	160	20	A	35
3	100	A	140	20	A	49

Fuente: Resultados del estudio.

Tabla 21. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.

ANÁLISIS CINEMÁTICO						
CUÑA						
Rango	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO			RANGO BUZAMIENTO		
1	163	A	203	26	A	90
2	91	A	131	31	A	90
3	95	A	135	48	A	90

Fuente: Resultados del estudio.

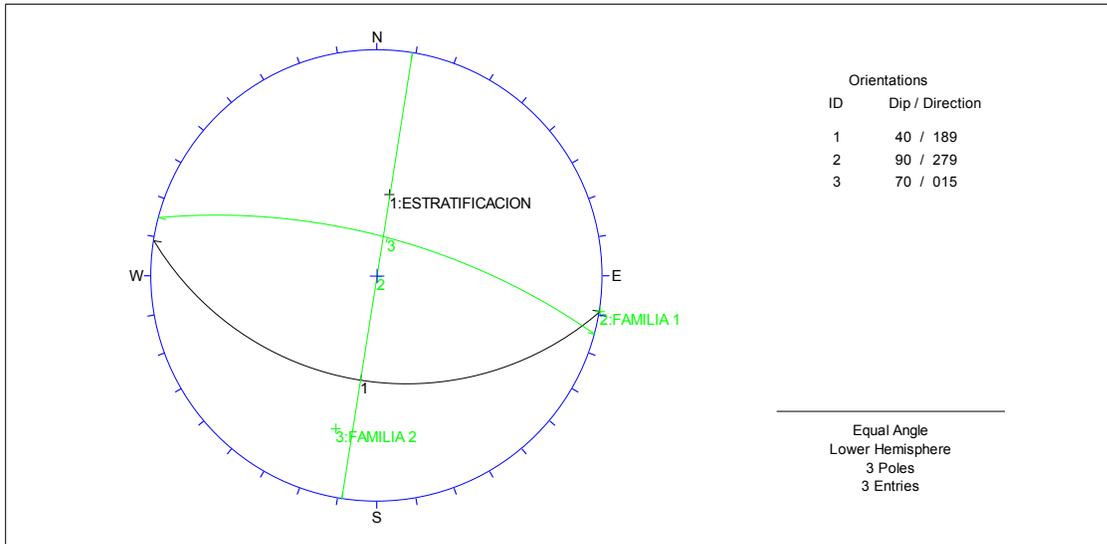
Tabla 22. Resultado análisis estructuralmente estructurado falla cuña.

ANÁLISIS CINEMÁTICO						
VOLTEO						
Rango	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO			RANGO BUZAMIENTO		
1	349	A	39	65	A	90
2	270	A	320	65	A	90
3	150	A	200	65	A	90

Fuente: Resultados del estudio.

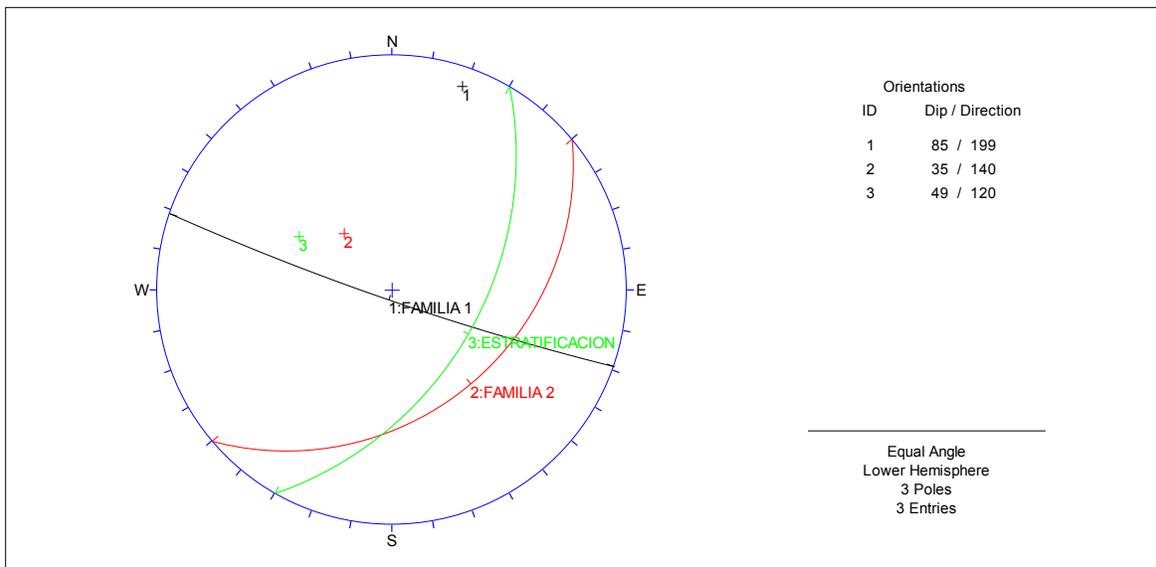
Las Tabla 17, Tabla 18, Tabla 19, Tabla 20, Tabla 21, Tabla 22, reflejan los posibles rangos de dirección de buzamiento de las laderas y la inclinación que deben cumplir para que cada una de las fallas ocurra; estas se obtienen tras analizar cada una de las estructuras presentes en estas zonas las cuales se observan en las siguientes figuras.

Figura 26. Orientación de planos en la zona 1



Fuente: Resultados de la Investigación.

Figura 27. Orientación de planos en la zona 2



Fuente: Resultados de la investigación.

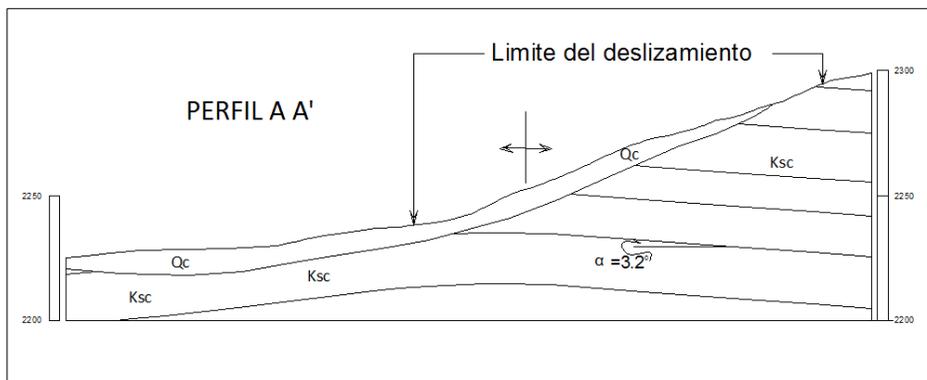
6.5. Análisis estructuralmente controlado

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.

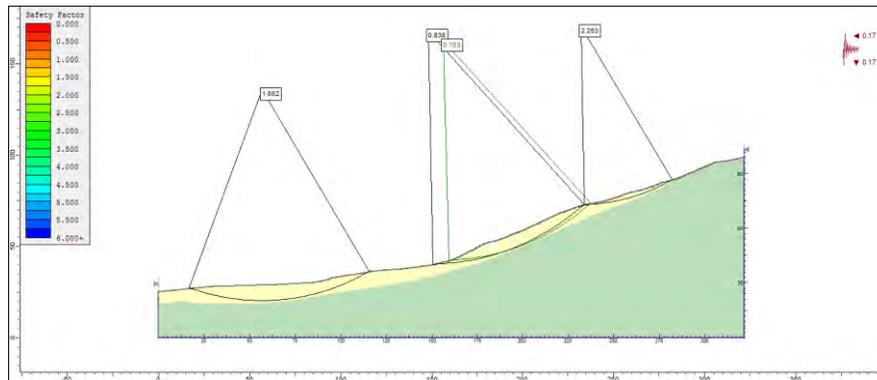
Para este caso se analizaron el perfil A-A', Perfil B-B, y el Perfil C-C', ya que estos son los que comprenden realmente el deslizamiento como tal.

Figura 28. Perfil geológico A-A'



Fuente: Resultados de la Investigación.

Figura 29. Modelo de análisis perfil A-A'



Fuente: Resultados de la Investigación.

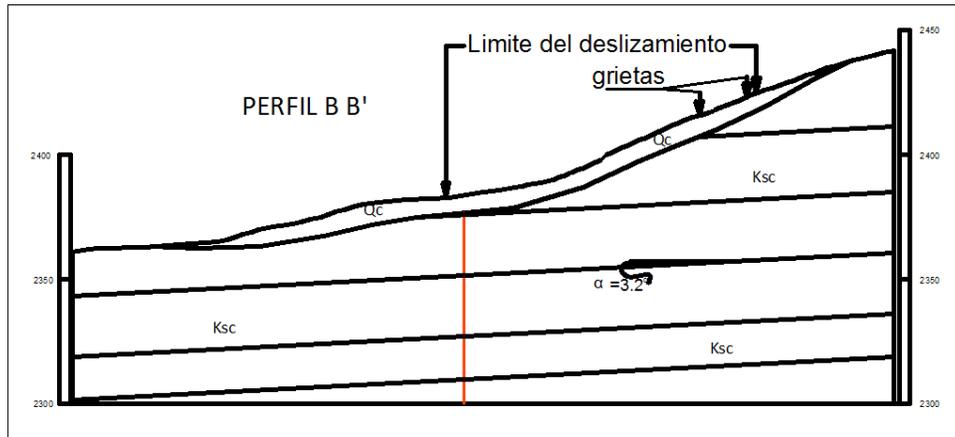
Los resultados de este análisis se relacionan en las siguientes tablas.

Tabla 23. 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

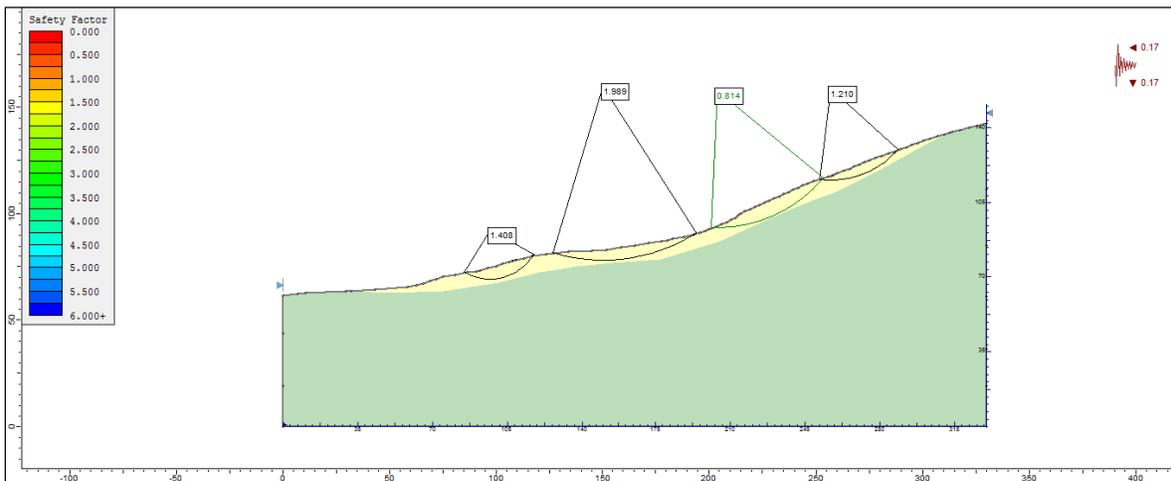
Fuente: Resultados de la Investigación.

Figura 30. Perfil geológico B-B'



Fuente: Resultados de la Investigación.

Figura 31. Modelo de análisis perfil B-B'



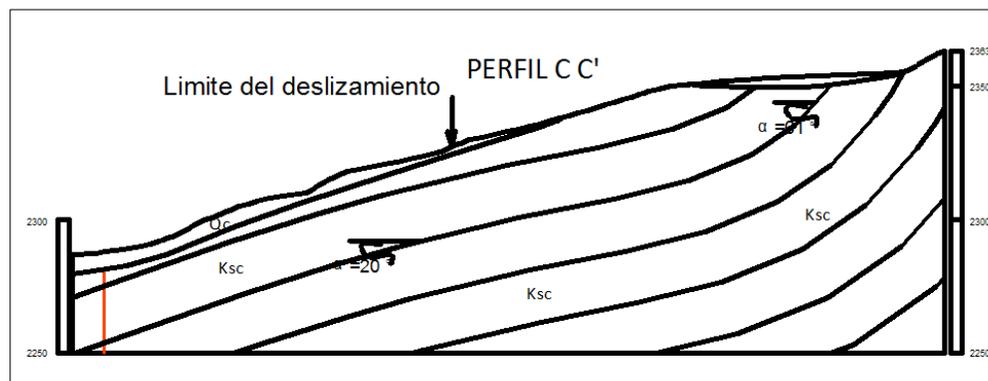
Fuente: Resultados de la Investigación.

Tabla 24. 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

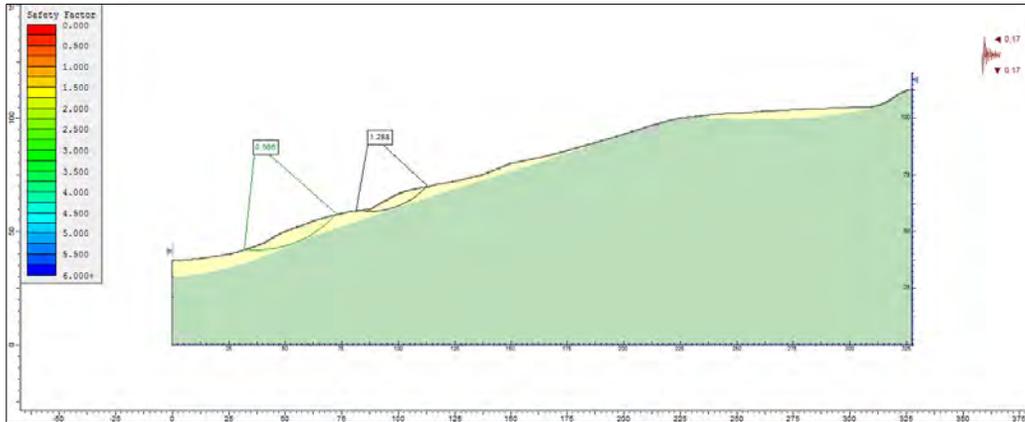
Fuente: Resultados de la Investigación.

Figura 32. Perfil geológico C-C'



Fuente: Resultados de la Investigación.

Figura 33. Modelo de análisis perfil C-C'



Fuente: Resultados de la Investigación.

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

Tabla 25. 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 (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.

7 ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA

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. **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Tabla 26.

Tabla 26. 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 (diacclasadas), estructuras de formas irregulares.	Planos de fracturamiento a favor de la pendiente, estructuras rocosas de formas irregulares, material poco consolidado o deleznable.
Geomorfológicos	Terreno con pequeñas depresiones, relieve ondulado, existencia de escarpes y/o contrapendientes.	Pequeñas depresiones, relieve ondulado, apertura de grietas en el terreno
Hidrogeológicos	Abundancia relativa de agua (zonas de mayor vertimiento hídrico), suelos saturados, régimen cambiante de corrientes hídricas, acumulación o estancamiento de agua en proximidades a zonas inestables, desviación de ríos.	Abundancia relativa de agua y zonas de surgencia hídrica. Suelos con alto porcentaje de humedad o mojados en tiempo continuo.
Vegetales	Existencia de plantas típicas de zonas húmedas, troncos torcidos y/o inclinados, rotura de raíces y raíces tensas, discontinuidades repentinas en la cobertura vegetal.	Existencia de plantas típicas de zonas húmedas, raíces tensas. Árboles tumbados en la parte baja del tronco.

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

Estructurales	Postes inclinados, cables tensores o flojos, casas o construcciones agrietadas o inclinadas, grietas u ondulaciones en los pavimentos o capas de rodadura, cercos desplazados.	
Toponimia	Nombres de lugares que pueden sugerir inestabilidad del terreno como Cerro Agua Blanca, Vereda Volcaneras.	
Históricos	Testimonios o documentos de eventos pasados.	

7.2. RESULTADO DE ANALISIS

Para la clasificación de la amenaza de la zona se utilizaron como criterios de categorización los presentados en la Tabla 27, teniendo en cuenta los parámetros de la Metodología de Leone.

Tabla 27. 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 28.

Tabla 28. 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.

7.3. ANALISIS DE AMENAZA

Fotografía 19. Zona de deslizamiento



Fuente: Registro fotográfico.

Se observa un proceso complejo, generando una serie de discontinuidades, que han constituido desprendimientos y terracetas, acelerando el movimiento, los materiales fluyen fácilmente por la diferencia de pendiente, 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, afecta considerablemente al Colegio Instituto Educativo Técnico Agropecuario de Umbita, ubicado en la Vereda Chuscal, de la región de Icabuco; el proceso de reptamiento genera empuje del material, acelerado por el socavamiento en la parte baja de la zona, generado por el río Icabuco, ocasionando de manera considerable modificación en las condiciones morfológicas, afectando la Estructura del Colegio y a todo el sector en el uso de los predios para actividades agrícolas y pecuarias.

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

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

7.3.1. Amenaza Alta.

Corresponde al sector en donde se encuentran construidas las instalaciones del Colegio, observando que se presentan asentamientos y socavamiento que afecta a la construcción que cuenta con 12 salones, un aula múltiple, restaurante, laboratorios, biblioteca, dormitorios y área administrativa; albergando una comunidad educativa constituida por aproximadamente 250

personas entre alumnos, docentes y administrativos; e igualmente a las viviendas que se encuentran en el sector.

Fotografía 20. Se observa socavamiento generando alrededor de toda la estructura.





Fuente: Registro fotográfico.

7.3.2. Amenaza Media.

Está constituida por las zonas aledañas al deslizamiento, en la parte alta del colegio, en donde se encuentran 6 viviendas.

Fotografía 21. Viviendas ubicadas en la parte alta



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.

8 EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO

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

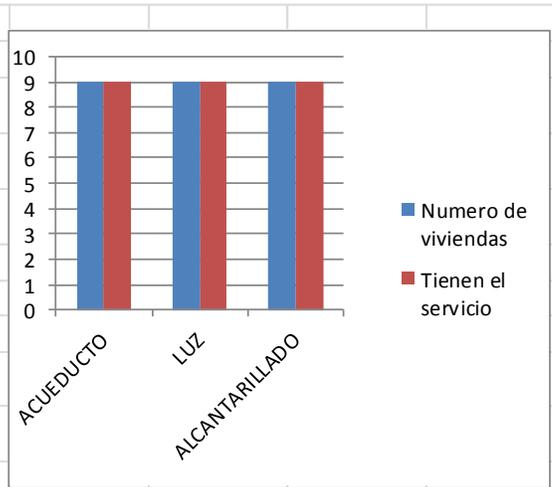
vulnerabilidad social, el análisis es apenas cualitativo y se basa en la información de los formularios como: el nivel de ingresos, la percepción del peligro, las recomendaciones para medidas urgentes, la cobertura de los servicios públicos y el índice de carencia de la vivienda.

8.2. INVENTARIO DE VIVIENDAS

Se realizó dentro del estudio, un inventario de viviendas para la evaluación de la vulnerabilidad que consistió en el diligenciamiento de un formato que contiene las principales características de cada vivienda. La información contemplada en el formato incluye entre otros, datos sobre: área construida, estado actual de la construcción, sistema estructural, uso de la edificación, ingresos familiares y cobertura de servicios (Figura 34). 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 34. Indicadores de Índice de Vulnerabilidad social

	ACUEDUCTO	LUZ	ALCANTARILLADO
Numero de viviendas	9	9	9
Tienen el servicio	9	9	9
No tienen el servicio	0	0	0
% carencia	0	0	0



TIPO DE VIVIENDA	SISTEMA ESTRUCTURAL	No. DE VIVIENDAS	%
ADECUADO	MUROS PORTANTES	9	0
	PORTICO	0	0
	PORTICO CON TABIQUES	3	0
	ENTRAMADO TABIQUES	0	0
INADECUADO	SISTEMA MIXTO	6	100
	DE RECUPERACION	0	0
			100

Fuente: Resultados de la Investigación.

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

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

8.3. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

Se define vulnerabilidad con relación a los siguientes aspectos:

- La **vulnerabilidad estructural** o física describe el grado hasta el cual una estructura es susceptible de ser dañada o alterada en una situación de peligro.
- La **vulnerabilidad social** se definió como la capacidad de respuesta de la población ante la ocurrencia de un evento que ocasione daños, en este sentido se tomaron como componentes de análisis la capacidad económica de los

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

- La **vulnerabilidad humana** es la falta relativa de capacidad de una persona o comunidad para prever un peligro, hacerle frente, resistirlo y recuperarse de su impacto. Entre los factores que incrementan la vulnerabilidad humana a los desastres se encuentra la falta de planificación en el desarrollo o crecimiento de la infraestructura, el crecimiento demográfico, la falta de conocimientos acerca de cómo actuar frente a los efectos de los desastres y la pobreza.

De todos los factores, es probable que la pobreza constituya el origen de la vulnerabilidad de la mayoría de la población en el sector, al impacto de la mayoría de las amenazas o peligros.

La vulnerabilidad es el nivel de pérdida de un conjunto dado de elementos, como resultado de la ocurrencia de un fenómeno. Los elementos que pueden ser afectados dentro de las áreas de ocurrencia de la amenaza; se tienen vías, construcciones, infraestructura, población, cultivos entre otros.

8.3.1. Tipificación de las Estructuras

En forma general la vulnerabilidad es una función tanto de la intensidad del fenómeno como de la resistencia del elemento expuesto. La primera variable ya se tuvo en cuenta en la evaluación de la Amenaza; para la segunda variable (resistencia del elemento expuesto), se tipifican las viviendas teniendo en cuenta los criterios de resistencia de la estructura ver Tabla 29.

Tabla 29. 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.

8.4. CALIFICACIÓN DE LOS DAÑOS

De acuerdo a la Metodología propuesta, para calificar los daños producidos en la zona por los Fenómenos de Remoción en Masa, se sigue con el criterio DRM (Delegation Aux Risques Majeurs), el cual divide los daños en cinco (5) categorías, como se muestra en la Tabla 30.

Tabla 30. 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

8.5. 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 esta factor se tomó como porcentaje de la altura total de la vivienda, que sería cubierto por el material desplazado. H_f = Altura de flujo y H_v : Altura de vivienda.

Tabla 31. 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.

8.6. INDICE DE RESISTENCIA (IR)

En términos generales, la importancia de evaluar la vulnerabilidad, radica en que a mayor resistencia de los elementos, la vulnerabilidad física es menor. Aunque la resistencia de la vivienda como conjunto está determinada por la de sus componentes, en el presente estudio, se estimó un comportamiento integral asociado a la clase de sistema estructural. En la Figura 35 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 entresijos cuyos materiales de cubierta pueden ir desde la teja de asbesto - cemento hasta concreto.

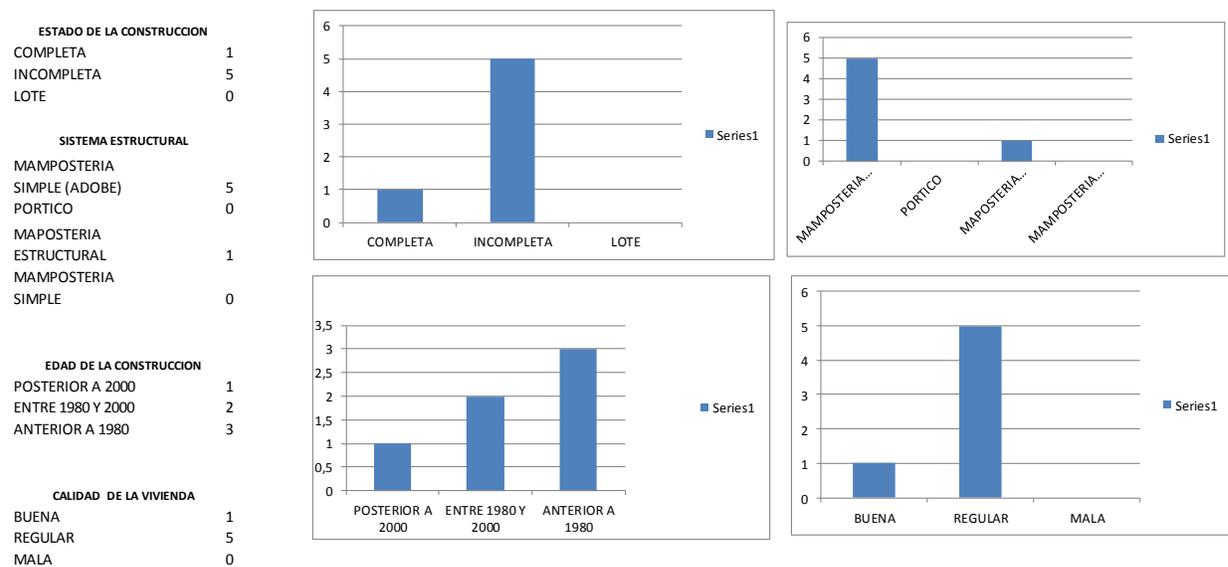
El índice de resistencia utilizado para evaluar la vulnerabilidad, se midió a partir de las componentes del sistema estructural de las viviendas como son: Cubierta, **C**, la estructura del techo, **T**, y el tipo del sistema estructural **SE** y el tipo de material constitutivo de cada componente.

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 35).
- **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 35 muestra la

composición de las viviendas por sistema estructural según los datos obtenidos en la encuesta, las viviendas no cuentan con sistema estructural.

Figura 35. Tipología de viviendas



Fuente: Resultados de la Investigación.

La Tabla 32 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 32. Factores de Ponderación

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

Fuente: Resultados de la Investigación.

8.7. INTENSIDAD E INDICE DE DAÑO

Los perjuicios que se producirían sobre las unidades, están condicionados por dos variables: La variable exposición y la variable resistencia; la primera involucra el tipo de evento (Deslizamiento, flujo), la localización de las viviendas frente al mismo y la sollicitación que el proceso ejerza sobre los componentes; el segundo involucra la calidad, propiedades y atributos de las viviendas, las cuales dependen del tipo de tipología. Estas variables se incluyen en la matriz de Intensidad de Daño (InD). (Ver Tabla 33). 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 33.

Tabla 33. Matriz para la determinación intensidad de daño

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

SC = SUPERFICIE DE CONTACTO
SE = SUPERFICIE EXPUESTA

Fuente: Resultados de la Investigación.

Tabla 34. 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.

8.8. EVALUACIÓN Y GENERACIÓN DE ESCENARIOS DE RIESGO

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

La formulación de escenarios de riesgo comprende la estimación de pérdidas y daños que se puede sufrir ante la ocurrencia de un evento asociado a los riesgos identificados, para lo cual se tomó como Escenario de Riesgo ante deslizamiento generado por el incremento de la precipitación en la zona, trabajando con la Matriz de Zonificación de Riesgo (Cardona). (Ver Mapa de Riesgos). (Ver Tabla 35)

Tabla 35. Matriz para escenarios de riesgo

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

Fuente: Resultados de la Investigación.

8.9. RESULTADOS DE ENCUESTAS

En el proyecto se elaboraron encuestas para evaluar la vulnerabilidad social en las viviendas encontradas en el sector. La encuesta incluía preguntas relacionadas con las características generales de las viviendas.

Dentro de los elementos expuestos se encuentran tres viviendas en el área de influencia del movimiento. Las viviendas del sector fueron censadas.

Tabla 36. Número de integrantes por familia

FAMILIA	No. INTEGRANTES
PABLO HUERTAS	4
PEDRO GARCIA	5
HUMBERTO GIL	3
DAGOBERTO OSPINA	3

Fuente: Resultados de la Investigación.

8.10. ANÁLISIS Y GRAFICAS ESTADÍSTICAS DE LAS ENCUESTAS REALIZADAS EN EL MUNICIPIO DE UMBITA, VEREDA CHUZCAL.

La caracterización de la población se realizó mediante el diseño y aplicación de una encuesta a las familias que habitan la zona de influencia del deslizamiento,

buscando información primaria que permitiera conocer la percepción de la comunidad frente al riesgo y su capacidad de respuesta frente al mismo.

Fotografía 22. Colegio Agropecuario los Alpes.



Fuente: Registro fotográfico.

▪ PREGUNTA 1.

¿Tipo de sector Urbano o rural?

El sector evaluado pertenece a un sector rural del municipio de Umbita en la vereda Chuzcal, sector Icabuco en donde se presenta un movimiento en masa progresivo desde hace aproximadamente un (1) año, afectando principalmente la institución técnica agropecuaria los Alpes, la cual presenta socavamientos y fisuras en su estructura, de igual forma ha afectado a los pobladores cercanos a dicha institución.

▪ **PREGUNTA 2.**

¿La vivienda es propia o arrendada?

En el área de influencia del deslizamiento se encuentran habitando siete (7) familias de las cuales seis (6) son habitadas por sus propietarios y solo una vive en arriendo, también se encuentra ubicada la institución educativa anteriormente mencionada la cual es propiedad del estado.

▪ **PREGUNTA 3.**

¿Servicios con que cuenta la vivienda?

Todas las viviendas evaluadas junto con la institución educativa cuentan con servicios de agua y luz, servicios que son prestados de forma regular y sin presentar falencias según lo manifiestan los habitantes del sector, solo la institución educativa cuenta con línea telefónica fija.

Fotografía 23. Vivienda del sector.



Fuente: Registro fotográfico.

▪ **PREGUNTA 4.**

¿La vivienda cuenta con servicio de acueducto?

Todas las viviendas, junto con la institución educativa cuentan con servicio de acueducto, el cual no presenta falencias en el servicio a la comunidad.

▪ **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 el manejo de las aguas servidas se ha convertido en un factor detonante de los movimientos del terreno, sin embargo en la institución educativa dichas aguas se canalizan hacia un pozo séptico, pero aún falta por canalizar las aguas servidas provenientes del restaurante escolar, las cuales dan a una zanja que recorre la finca hasta el borde del río Icabuco.

▪ **PREGUNTA 6.**

¿Se encuentra afiliado a seguridad social?

Cuatro (4) familias visitadas se encuentran cubiertas en salud por el régimen subsidiado, tres más se encuentran afiliadas al régimen contributivo y solo una manifiesta no estar afiliada a ningún tipo de seguridad social. Para el caso de la institución educativa los estudiantes están cubiertos por el seguro estudiantil.

Fotografía 24. Adulto mayor del sector evaluado.



Fuente: Registro fotográfico.

▪ **PREGUNTA 7.**

¿Dentro del núcleo familiar existen personas con alguna discapacidad?

En cuanto a discapacidad en la zona evaluada no se evidencio la presencia de ningún caso de discapacidad ni en las viviendas ni en la institución educativa, siendo este un factor positivo a la hora de enfrentar un riesgo de desastre por movimiento en masa.

▪ **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 cuatro (4) menores que viven dentro de la zona de influencia del deslizamiento, además de tomar sus clases académicas en la institución educativa que se encuentra en riesgo, en la cual diariamente asisten

219 alumnos de grado 0° a grado 11°, una población bastante grande que requiere de acciones prontas y pertinentes para el manejo del riesgo, para prevenir posibles lesiones a su integridad.

Fotografía 25. Estudiantes el colegio agropecuario.



Fuente: Registro fotográfico.

▪ PREGUNTA 9.

¿Qué ocupación tienen los niños que habitan las viviendas?

Los cuatro menores hallados en la zona pertenecen a tres familias las cuales manifiestan que ellos se encuentran escolarizados, siendo esta su principal actividad cotidiana.

▪ **PREGUNTA 10.**

¿Dentro del núcleo familiar se encuentran adultos mayores?

En la zona habitan seis (6) adultos mayores en diferentes viviendas, de los cuales tres viven solos, pues sus familias los visitan solo de forma esporádica, los otros tres si cuenta con familia extensa con la cual conviven y les ayudan en sus necesidades básicas.

Figura 36. Adulta mayor del sector.



Fuente: Registro fotográfico.

▪ **PREGUNTA 11.**

¿A qué estrato pertenece su vivienda?

Cinco (5) de las viviendas visitadas pertenecen al estrato uno (1), dos al estrato dos (2) al que también pertenece la institución educativa (1).

▪ **PREGUNTA 12.**

Tipo de vivienda

Seis (6) de las viviendas visitadas son de tipo unifamiliar, una (1) es una vivienda multifamiliar y otra (1) es una construcción de carácter institucional.

▪ **PREGUNTA 13.**

Área aproximada de las viviendas.

Cuatro (4) de las viviendas visitadas cuenta con menos de cincuenta Mtrs cuadrados y cuatro (4) mas corresponden a aun área mayor a los 100 Mtrs cuadrados dentro de este rango se encuentra la institución educativa, la cual es bastante amplia, ya que ha venido teniendo algunas reformas en su estructura con el paso del tiempo con el fin de suplir las necesidades de sus estudiantes.

Fotografía 26. Vivienda afectada del sector.



Fuente: Registro fotográfico.

▪ **PREGUNTA 14.**

¿Cuántos pisos tiene la vivienda?

La mayoría de las viviendas evaluadas cuentan con un solo piso de construcción, de igual forma la institución educativa también cuenta con solo un piso de construcción, solo se hayo una vivienda de dos plantas dentro del área de influencia del deslizamiento.

▪ **PREGUNTA 15.**

¿Qué edad tiene la construcción?

Las edades de construcción de las viviendas son muy diversas en el sector evaluado, pues hay una vivienda de menos de cinco años de construida, una de menos de 10 años de construida, una de menos de 15 años de construida, una de menos de 20 años de construida y tres de más de 21 años de construidas, dentro de este último se cuenta la institución educativa la cual cuenta con más de 50 años de construida su parte antigua.

▪ **PREGUNTA 16.**

La armazón de la vivienda es:

En cuanto al tipo de armazón de las viviendas se evidencia la presencia de casi todos los tipos de materiales, ya que existe una (1) vivienda construida en madera, una (1) vivienda prefabricada, cuatro (4) viviendas en ladrillo y dos (2) en bloque, una vivienda y la institución educativa del sector.

▪ **PREGUNTA 17.**

La cubierta de la vivienda es de:

Predominan las cubiertas en eternit, pues cinco (5) viviendas tienen este tipo de material, incluida la institución educativa y solo tres (3) cuentan con cubierta en Zinc o teja metálica.

▪ **PREGUNTA 18.**

Los muros de la vivienda son en:

Cuatro (4) viviendas presentan muros en ladrillo, dos (2) muros en bloque, una (1) muros en prefabricado y una (1) en madera.

Fotografía 27. Vivienda afectada del sector.



Fuente: Registro fotográfico.

▪ **PREGUNTA 19.**

El acabado de los pisos es de:

Cinco (5) viviendas presentan piso en cemento, dos (2) presentan pisos en baldosa común y una (1) en tierra pisada, la institución educativa presente tanto pisos en baldosa como en cemento.

▪ **PREGUNTA 20.**

El estado de la construcción es:

Una (1) de las viviendas presenta un estado de construcción malo, cuatro (4) viviendas presentan estado de su construcción regular, dentro de la que se ubica la institución educativa y solo tres (3) encuentran el estado de su construcción bueno sin mayores afectaciones por el movimiento del terrenos.

▪ **PREGUNTA 21.**

La construcción anteriormente ha sufrido daño por:

Cuatro (4) construcciones dentro de las cuales está la institución educativa manifiestan que se han presentado daños por el deslizamiento del terreno, viéndose afectadas sus estructuras, cuatro (4) construcciones mas manifiestan que sus viviendas presentan también daños por otros motivos ajenos al movimiento del terreno, como por ejemplo la humedad por las filtraciones de agua.

Fotografía 28. Vivienda con presencia de fisuras.



Fuente: Registro fotográfico.

▪ **PREGUNTA 22.**

El daño sufrido por la vivienda fue:

Cinco (5) viviendas presentan daños en sus estructuras ligereros, lo que quiere decir con afectaciones mínimas, dos (2) con daños moderado pues los daños han afectados las estructuras de las construcciones, dentro de este rango se encuentra la institución educativa y solo una (1) vivienda presenta un daño severo que requiere de medidas urgentes, pues la vivienda es habitada por una mujer de 59 años de edad, la cual vive sola.

▪ **PREGUNTA 23.**

La parte de la construcción más afectada fue:

La parte más afectada en las viviendas son los muros (3 viviendas), seguidos por los pisos (3 viviendas), la institución educativa presenta un alto porcentaje de

afectación en esta área, solo dos viviendas manifiestan tener afectaciones en sus construcciones en otros lugares.

▪ **PREGUNTA 24.**

La vivienda cuenta con bases:

Cinco (5) de las viviendas visitadas manifiestan tener bases y tres (3) manifiestan no contar con ellas. La institución educativa cuenta con bases en la parte de la construcción nueva, pero en la parte antigua no.

Fotografía 29. Vivienda con presencia de hundimientos del terreno.



Fuente: Registro fotográfico.

▪ **PREGUNTA 25.**

Causa de Inestabilidad del suelo:

Cuatro de las familias visitadas manifiestan que el suelo sobre el cual esta edificada su vivienda no es inestable, cuatro más manifiestan que si es inestable a causa del deslizamiento, dentro de estas se encuentra la institución educativa quien es la más afectada por el movimiento del terreno en la zona.

▪ **PREGUNTA 26.**

Ingresos económicos de la familia:

Tres (3) de las familias visitadas cuentan con ingresos superiores a un SMMLV, dentro de este rango se encuentra la institución educativa, tres (3) familias más manifiestan contar con aproximadamente un SMMLV y solo dos (2) cuentan con la mitad de un SMMLV para su sustento diario.

▪ **PREGUNTA 27.**

¿Cuenta con familia extensa que pueda brindarle apoyo?

La mayoría de las familias visitadas dentro del área de influencia del deslizamiento cuentan con red de familia extensa de apoyo, solo una familia manifiesta no tener familia con quien contar en caso de una emergencia o situación de riesgo.

▪ **PREGUNTA 28.**

¿Qué acciones ha implementado para mitigar el riesgo?

Cuatro de las familias no han realizado ningún tipo de acción para el manejo del riesgo, y cuatro más han desarrollado acciones personales para contrarrestar algunas de las afectaciones que les ha causado el movimiento del terreno. Por ejemplo la institución educativa, realiza manejo adecuado tanto de residuos sólidos como orgánicos y cuenta con un comité de riesgos y desastres, los cuales han realizado simulacros de evacuación con toda la comunidad estudiantil.

Fotografía 30. Obras de manejo realizadas por el colegio agropecuario.



Fuente: Registro fotográfico.

▪ **PREGUNTA 29.**

¿Está capacitado para afrontar una situación de riesgo inminente?

Cinco (5) familias manifiestan que nunca han asistido a una capacitación de prevención de riesgo de desastre y tres (3) más manifiestan contar con este tipo de entrenamiento para afrontar una riesgo inminente.

Fotografía 31. Seguimiento a grietas, colegio agropecuario.



Fuente: Registro fotográfico.

▪ **PREGUNTA 30.**

¿Cuál sería su actuación frente a un evento catastrófico?

Cinco de las familias encuestadas manifiestan que su reacción sería salir corriendo, la institución educativa manifiesta que buscaría los sitios más seguros para enviar a sus estudiantes y dos familias más manifiestan que no sabrían que hacer especialmente porque son personas adultas mayores que viven solas y no cuentan con familia extensa en el lugar.

▪ **PREGUNTA 31.**

¿Cuánto tiempo hace que se presentó el deslizamiento?

Seis (6) familias manifiestan que el deslizamiento lleva menos de tres (3) años de estarse presentando en la zona y dos (2) familias manifiestan que este se viene presentando hace más de tres años.

Fotografía 32. Vista parte baja, colegio agropecuario.



Fuente: Registro fotográfico.

▪ **PREGUNTA 32.**

¿Conocía esta situación cuando comenzó a vivir aquí?

Solo dos (2) familias manifiestan que si conocían esta situación al comenzar a vivir aquí, ya que no llevan mucho tiempo de habitar la zona, seis (6) familias que han habitado el sector por más tiempo manifiestan que desconocían que este tipo de fenómenos se pudieran dar en este lugar.

▪ **PREGUNTA 33.**

Esta situación ha producido en su familia:

Para cuatro (4) de las familias que habitan la zona esta situación les genera temor, por las afectaciones a sus viviendas y terrenos, dos (2) más manifiestan que esta situación les ha producido otro tipo de reacciones y las otras dos (2) manifiestan

que han padecido todas las anteriores, dentro de las que se encuentra la población de estudiantes, docentes y administrativos de la institución educativa.

▪ **PREGUNTA 34.**

¿Depende económicamente de este predio?

Seis (6) de las familias visitadas manifiestan que dependen económicamente del predio que habitan, en donde también se ubica la comunidad educativa del colegio, solo dos (2) familias manifiestan no depender económicamente del terreno que ocupan.

Fotografía 33. Cuidado de ganado en el sector.



Fuente: Registro fotográfico.

▪ **PREGUNTA 35.**

¿Qué uso tiene o tenía el predio?

Dos (2) predios tiene uso agrícola, uno (1) tiene uso comercial, dos (2) uso para pastoreo, dos (2) uso de vivienda y uno (1) otro uso de tipo institucional.

▪ **PREGUNTA 36.**

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

Cinco (5) familias manifiestan que si saben que el municipio brinda este tipo de capacitación, dentro de los que ese encuentra la institución educativa, quienes manifiestan que han recibido apoyo en cuanto a capacitación en riesgos por parte de la ESE del municipio, solo tres (3) familias manifiestan no saber que el municipio realice este tipo de capacitaciones.

Fotografía 34. Cuidado de ganado colegio agropecuario.



Fuente: Registro fotográfico.

▪ **PREGUNTA 37.**

Si tuviera que reubicarse en otro lugar le gustaría en:

La mayoría de las personas afectadas por el movimiento en masa, manifiestan que si tuvieran que reubicarse en otros lugares lo harían en la misma vereda en sitios más estables, solo una familia le gustaría reubicarse en otra vereda.

▪ **PREGUNTA 38.**

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

Cinco (5) familias manifiestan si haber tenido la visita por parte de la alcaldía municipal y la oficina de planeación dentro de los que se encuentra la institución educativa, solo tres (3) familias manifiestan no haber recibido este tipo de visitas por parte de la administración municipal.

Fotografía 35. Vista de parte de construcción nueva del colegio.



Fuente: Registro fotográfico.

▪ **PREGUNTA 39.**

¿Que esperarían de la Alcaldía Municipal?

Seis (6) familias esperarían apoyo en cuanto al manejo adecuado del riesgo, y solo dos esperarían que se les ayudara a reubicarse en un sitio más seguro.

▪ **PREGUNTA 40. Género:**

En cuanto a la población que habita cercana a la zona de influencia del deslizamiento se encontraron ocho (8) mujeres y ocho (8) hombres, para un total de dieciséis (16) personas, de las cuales seis son adultos mayores y cuatro son menores de edad.

En cuanto a la población existente en el colegio agropecuario, corresponde a:

POBLACION COLEGIO AGROPECUARIO			
TIPO DE POBLACION	NUMERO	HOMBRES	MUJERES
Alumnos	219	114	105
Docentes	11	5	6
Directivos	2	2	0
Total:	232	121	111

9 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.

10 CONCLUSIONES.

- 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.
- El FRM analizado corresponde a un movimiento lento del terreno en donde no se distingue una superficie de falla. La reptación es de tipo estacional asociada a cambios climáticos, o de humedad del terreno, el proceso es activo remontante, presenta un área aproximada de 3871,79 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. Se presenta entre la Formación Guaduas (Ktg) y el Depósito Coluvial (Qc) .
- Con ayuda del software Res2DIN VX64, se relacionaron datos de las respectivas resistividades de los materiales del área obtenidas por el equipo, resultando así el modelamiento del talud, donde se observan que el área está conformada por dos unidades Geoelectricas bien definidas, donde encontramos niveles de arcillas saturadas con rangos de resistividades que oscilan entre 4.03 – 20.7 \square *m y otro material que está compuesto por intercalaciones de limos y arcillas semisaturadas o saturadas con resistividades que van desde 21 – 183 \square *m.

11 RECOMENDACIONES.

- Debido a la importancia del colegio se recomienda hacer inspección de las estructura del mismo con una frecuencia no mayor a dos meses, con el fin de identificar fisuras o daños en la estructura que ponga en riesgo a la misma o sus ocupantes.
- Se recomienda realizar un trabajo de impermeabilización del embalse con el fin de impedir flujos de agua y saturación del suelo de fundación del colegio de forma que pueda generar problemas en la estructura.
- Se debe generar un sistema de captación de las aguas de riego de los cultivos presentes en la zona con el fin de mantener un nivel de humedad bajo en el terreno.
- Se deberá construir una serie de trincheras drenantes en el área de estudio con el fin de captar y abatir el nivel freático en el área de estudio.
- Debido a los asentamientos y deformaciones que sufrió la estructura del colegio, se deberá reforzar la cimentación de la misma mediante la construcción de pilotes preexcavados, en concreto, los cuales deberán penetrar el estrato rocoso por lo menos en dos veces el diámetro del pilote.

- En la parte baja del talud donde se encuentra la implantación del colegio, se deberá construir un gavión de dos niveles (2m de altura) para minimizar los desplazamientos horizontales de la estructura del colegio.
- Se recomienda realizar un inventario de grietas y fisuras de la estructura periódicamente.
- Se deberán instalar piezómetros en las cercanías del embalse para hacer seguimiento del nivel freático y detectar posibles fugas o infiltraciones de agua provenientes del embalse.

12 BIBLIOGRAFÍA

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

Metodología Corinel and Cover adaptada para Colombia 2010 Saunders, D.A., Hobbs, R.J. y Margules, C.R. 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. *Conservation Biology* 5: 18-32.

Foster, B. R., N. C. Hernández, E., E. K. Kakudidi y R. J. Burnham. 1995. Un método de transectos variables para la evaluación rápida de comunidades de plantas en los trópicos. Manuscrito no publicado. Chicago: Environmental and Conservation Programs, Field Museum of Natural History; and Washington, D. C.: Conservation Biology, Conservation International.

APG II. The Angiosperm Phylogenetic Group. 2003. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. *Botanical Journal of the Linnean Society* 141 (4): 399–436.

Freire Fierro, A. 2004. Botánica Sistemática Ecuatoriana. Missouri Botanical Garden, FUNDACYT, QCNE, RLB y FUNBOTANICA. Murray Print, St. Louis. 79-91.

León, J. 1987. Botánica de los cultivos tropicales. Inst. Interamericano de cooperación para la agricultura. 1-445.

Scagel, R.F.; Bandoni, R.J., Rouse; G.E., Schofield, W.B.; Stein, J.R. & T.M.C., Taylor.1983. El Reino Vegetal. Los grupos de plantas y sus relaciones evolutivas. Ediciones Omega, S.A. Barcelona. 1-659.

THOMSON, Eugene P. Odum, Gary W. Warret. *Fundamentos de Ecología*. 5ª Edición, 2006.

Adaptado de Leone (1996)

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

Cruden, D. y Varnes D. (1991) Landslides types and processes. Universidad de Alberta.

INGEOMINAS. Evaluación del Riesgo por Fenómenos de Remoción en Masa. - Guía Metodológica. 2001.

Leone, F (1999) Concept de Vulnerabilite Appliquea L'évaluation des risques generes par les phenomenes de mouvements de terrain. Tesis de Doctorado, Universidad de Grenoble.