

ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA MITIGACIÓN DEL RIESGO EN EL BARRIO SANTA LUISA DE MARILLAC DEL MUNICIPIO DE CALARCÁ.

CONTRATO DE CONSULTORÍA 004 DE 2025

ALCALDÍA DE CALARCÁ.

MODALIDAD RIESGOS NATURALES



TRM-005-2025

Julio de 2025 (Armenia-Quindío)

Armenia, Julio 31 de 2025.

TRM-005-2025

Señores

ALCALDIA DE CALARCÁ.

Att. JOSE JOAQUIN CAICEDO MORA

Supervisor Contrato Consultoría 004 de 2025

L.C.

Ref: ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA MITIGACIÓN DEL RIESGO EN EL BARRIO SANTA LUISA DE MARILLAC DEL MUNICIPIO DE CALARCÁ. CONTRATO DE CONSULTORIA 004 DE 2025.

Respetado Arquitecto:

Atendiendo los requerimientos establecidos en el contrato de consultoría 004 de 2025 celebrado entre las partes, el cual tiene por objeto ***"ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA MITIGACIÓN DEL RIESGO EN EL BARRIO SANTA LUISA DE MARILLAC DEL MUNICIPIO DE CALARCÁ"***; nos permitimos hacer entrega del Informe de análisis de vulnerabilidad y gestión del riesgo, así como sus nueve (9) mapas que lo complementar, este corresponde al componente de gestión de riesgo del producto 3, enfocado a los fenómenos por deslizamiento y factores erosivos desencadenados por las condiciones topográficas, geomorfológicas, coberturas con factor detonante generado a causa de la precipitación y/o sismos.

Cordialmente,



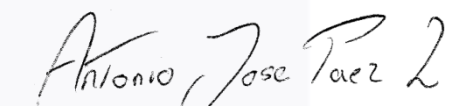
JUAN JOSE PIEDRAHITA FICS.

RP Terram Consultoría y Construcción S.A.S
Ingeniero Civil
M.Sc. Geotecnia
MP. 25202-57736 CND



JULIO CESAR QUINTERO HERRERA

Geologo TP. 3473 CPG
ESPECIALISTA AMBIENTAL



ANTONIO JOSE PAEZ

Ingeniero Ambiental
T.P:66238-410401
Especialista en Sistemas de Información Geográfica.

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

Índice de Revisión	Fecha de Modificación	Observaciones
0	31/07/2025	Para revisión y aprobación

REVISIÓN Y APROBACIÓN

Documento	TRM-005-2025
Título del Documento:	Modelación y zonificación de la amenaza, vulnerabilidad y el riesgo por fenómenos en masa en el barrio santa luisa de marillac ubicado en el área urbana del municipio de Calarcá dpto. Del Quindío.
Fecha:	31 de Julio de 2025

Control Interno

Elaboró	JULIO CESAR QUINTERO HERRERA GEOLOGO TP. 3473 CPG ESPECIALISTA AMBIENTAL ANTONIO JOSE PAEZ INGENIERO AMBIENTAL T.P:66238-410401 ESPECIALISTA EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.
Revisó y Aprobó	JUAN SEBASTIÁN CLAVIJO HERNÁNDEZ INGENIERO CIVIL ESP. GERENCIA DE PROYECTOS M.P. 131037-0586383 QND
Vo.Bo. Director Consultoría	JUAN JOSE PIEDRAHITA RIOS INGENIERO CIVIL M.SC GEOTECNIA. M.P. 25202-57736 CND

SUPERVISIÓN

Revisó	LUCAS RINCON MUÑOZ APOYO A LA SUPERVISIÓN
Aprobó	JOSE JOAQUIN CAICEDO MORA SECRETARIO DE PLANEACIÓN

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	4
1. GENERALIDADES	8
2. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	9
3. CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS	11
3.1. FENOMENOS DE REMOCION EN MASA:	12
3.2. PRESENCIA DE LLENOS	13
3.3. COBERTURA VEGETAL	15
4. DEFINICIÓN DE LOS NIVELES DE AMENAZA:	16
4.1. Amenaza alta	16
4.2. Amenaza media.....	16
4.3. Amenaza baja	16
5. METODOLOGÍA	17
5.1. MÉTODO DE MORA-VAHRSON PARA LA CUANTIFICACIÓN DE LA AMENAZA	17
5.1.1. Método de Mora-Vahrson (modificado)	18
5.2. CUADRO DEL INSUMO PARA LA GENERACIÓN DEL MODELADO	19
5.2.1. Factor morfométrico (Sm)	19
5.2.2. Factor litológico (Si).....	21
5.2.3. Factor Uso actual del suelo	24
5.2.4. Factor de Desencadenante sismos (Ts)	26
5.2.5. Factor detonante Precipitaciones (Tp) Mora – Vahrson (1993)	27
5.3. Grado de amenaza de las unidades geomorfológicas	27
5.4. Validación.....	28
5.5. Limitaciones de la metodología	28
5.6. Nivel de detalle de geología base	28
5.7. Categorización de la cobertura o uso actual del suelo.....	29
5.8. Ingreso de categorías en la base de datos.....	29
5.9. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE AMENAZA	29

5.9.1. Información Base	29
5.10. DETERMINACIÓN DEL GRADO DE AMENAZA PARA DESLIZAMIENTOS	30
5.10.1. Ponderación del factor morfométrico para deslizamientos.	30
5.10.2. Ponderación del factor litológico para deslizamientos.....	31
5.10.3. Ponderación del factor cobertura vegetal para deslizamientos.....	32
5.11. GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD	33
5.12. FACTORES DE DISPARADOR (FD)	34
5.13. Valor de la amenaza para el fenómeno de deslizamientos (HD)	35
6. RESULTADOS DEL ANALISIS DEL MAPA DE AMENAZAS	36
7. VULNERABILIDAD	38
7.1. VARIABLES E INDICADORES CRÍTICOS ANTE DESLIZAMIENTOS PARA LAS VIVIENDAS	39
7.2. VARIABLES E INDICADORES CRÍTICOS ANTE DESLIZAMIENTOS PARA LAS VIAS	39
7.3. VARIABLES E INDICADORES CRÍTICOS ANTE DESLIZAMIENTOS PARA LA ALCANTARILLADO DE LAS VIVIENDAS	39
7.4. VARIABLES E INDICADORES CRÍTICOS ANTE DESLIZAMIENTOS PARA LAS ZONAS DE LA QUEBRADA QUE LIMITA EL PREDIO	40
7.5. METODOLOGÍA CUALITATIVA: MATRIZ DE VARIABLES ANTE DESLIZAMIENTOS PARA LAS VIVIENDAS	40
7.6. METODOLOGÍA CUALITATIVA: MATRIZ DE VARIABLES ANTE DESLIZAMIENTOS PARA LAS VIAS	41
7.7. METODOLOGÍA CUALITATIVA: MATRIZ DE VARIABLES ANTE DESLIZAMIENTOS PARA LA RED DE ALCANTARILLADO	41
7.8. METODOLOGÍA CUALITATIVA: MATRIZ PARA LA ZONA DE LADERA QUE LIMITA CON LA QUEBRADA Y SU SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS	41
7.9. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL MAPA DE VULNERABILIDAD:	42
8. ESCENARIOS DE RIESGO.....	44
8.1. FORMULACIÓN DE ESCENARIOS DE RIESGO ANTE DESLIZAMIENTOS	44
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	48
10. ANEXOS.....	50

TABLA DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1 . BARRIO SANTA LUISADE MARILLAC.....	9
ILUSTRACIÓN 2 CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS.....	11
ILUSTRACIÓN 3 CARACTERISTICA DE LOS SUELOS.....	12
ILUSTRACIÓN 4 PRESENCIA DE LLENOS	14
ILUSTRACIÓN 5 COBERTURA VEGETAL	15
ILUSTRACIÓN 6 CUADRO DEL INSUMO PARA LA GENERACIÓN DEL MODELADO.....	19
ILUSTRACIÓN 7 ANEXO 1	50
ILUSTRACIÓN 8 ANEXO 2	50
ILUSTRACIÓN 9 ANEXO 3	51
ILUSTRACIÓN 10 ANEXO 4	51
ILUSTRACIÓN 11 ANEXO 5	52
ILUSTRACIÓN 12 ANEXO 6	52
ILUSTRACIÓN 13 ANEXO 7	53
ILUSTRACIÓN 14 ANEXO 8	53
ILUSTRACIÓN 15 ANEXO 9	54

INDICE DE TABLAS

TABLA 1 CATEGORIZACIÓN DE PENDIENTE	20
TABLA 2 CATEGORIZACIÓN DE VERTIENTES.....	21
TABLA 3 DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DEL AREA DE ESTUDIO	22
TABLA 4 CATEGORIZACIÓN DEL FACTOR LITOLÓGICO	23
TABLA 5 CALIFICACIÓN DEL FACTOR COBERTURA O USO ACTUAL DEL SUELO.....	24
TABLA 6 CALIFICACIÓN DEL FACTOR SISMICIDAD.....	26
TABLA 7 CATEGORIZACIÓN DEL FACTOR DETONANTE POR SISMOS	27
TABLA 8 CATEGORIZACIÓN DEL FACTOR DETONANTE PRECIPITACIONES	27
TABLA 9 PRODUCTOS FINALES A ENTREGARSE.....	29

TABLA 10 PONDERACIÓN DEL FACTOR PENDIENTE (P).....	30
TABLA 11 PONDERACIÓN DEL FACTOR LONGITUD DE VERTIENTE (L,v)	31
TABLA 12 PONDERACIÓN DEL FACTOR MORFOMÉTRICO (Sm).....	31
TABLA 13 PONDERACIÓN DEL FACTOR LITOLÓGICO (Sl)	32
TABLA 14 PONDERACIÓN DEL FACTOR COBERTURA (Sc)	32
TABLA 15 PONDERACIÓN DEL FACTOR SUSCEPTIBILIDAD (SD).....	33
TABLA 16 PONDERACIÓN DEL FACTOR PRECIPITACIÓN (Tp)	34
TABLA 17 PONDERACIÓN DEL FACTOR SISMOS(Tp).....	34
TABLA 18 PONDERACIÓN Y GRADO DE AMENAZA PARA LA OCURRENCIA DE DESLIZAMIENTO (Dz)	35
TABLA 19 VARIABLE E INDICADORES CRÍTICOS ANTE DESLIZAMIENTOS PARA LAS VIVIENDAS.....	39
TABLA 20 VARIABLES E INDICADORES CRÍTICOS ANTE DESLIZAMIENTOS PARA LAS VIAS	39
TABLA 21 VARIABLES E INDICADORES CRÍTICOS ANTE DESLIZAMIENTOS PARA EL ALCANTARILLADO DE LAS VIVIENDAS.....	39
TABLA 22 VARIABLES E INDICADORES CRÍTICOS ANTE DESLIZAMIENTOS PARA LAS ZONAS DE LA QUEBRADA QUE LIMITA EL PREDIO	40
TABLA 23 MATRIZ DE VARIABLES ANTE DESLIZAMIENTOS PARA LAS VIVIENDAS	40
TABLA 24 MATRIZ DE VARIABLES ANTE DESLIZAMIENTOS PARA LAS VIAS	41
TABLA 25 MATRIZ DE VARIABLES ANTE DESLIZAMIENTOS PARA LA RED DE ALCANTARILLADO	41
TABLA 26 MATRIZ PARA LA ZONA DE LADERA QUE LIMITA CON LA QUEBRADA Y SU SUCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS	42
TABLA 27 ZONAS DE RIESGO.....	44
TABLA 28 ZONAS DE RIESGO.....	45

1. GENERALIDADES

La Gestión del riesgo es un tema que compromete el desarrollo y progreso de los pueblos, un pueblo que no planifique su territorio, teniendo como base sus riesgos, está condenado a padecer constantemente de ellos. Y es así, como para conocer los riesgos es necesario determinar en primera instancia la amenaza, aquellos fenómenos que pueden provocar afectación a la cotidianidad de una comunidad y que puede representar daños para su población. La amenaza es la base para conocer la vulnerabilidad; es decir el nivel de afectación o debilidad que presenta la comunidad ante fenómenos adversos y con estos dos componentes (Amenaza + vulnerabilidad obtenemos el riesgo) Llamándose riesgo a la posibilidad de afectación a vidas humanas o a tener pérdidas económicas. Si no conocemos la amenaza y la vulnerabilidad no podemos conocer el Riesgo.

Definir las amenazas, vulnerabilidades y riesgos es importante para conocer y hacer gestión del riesgo, además permite reducir más fácilmente sus efectos para evitar que se conviertan en desastres. Pero no todos los pueblos tienen los mismos riesgos ni las mismas amenazas, si bien es cierto que no existen fórmulas aplicables a todas las situaciones y en todos los lugares y que cada reto en particular exige diferentes respuestas, también es cierto que uno de los mayores factores de vulnerabilidad de nuestras comunidades es el desconocimiento del riesgo.

Por esta razón queremos construir un documento donde se identifica técnicamente los factores antes descritos donde podamos definir fácilmente sus factores de amenaza, vulnerabilidad y riesgo para que los terrenos del Barrio Santa Luisa de Marillac, ubicado en el área urbana del municipio de Calarcá - Quindío cuente con un herramienta o documento eficaz que los oriente en la intervención del riesgo y que permita construir territorio y progreso mitigando y minimizando los riesgos que los afectan.

2. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



Ilustración 1 . Barrio Santa Luisa de Marillac

La ubicación del barrio Santa Luisa de Marillac, en el área urbana del municipio de Calarca, sobre un terreno en forma de meseta limitada con una microcuenca a través de laderas empinadas que se inclinan fuertemente hacia la quebrada.

Sí la amenaza es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente nocivo, dentro de un período específico de tiempo y en un área dada. Entonces esta se nos convierte en un factor determinante en la estabilidad de los terrenos de fuerte pendiente que limitan el barrio en estudio, donde esta fuente hídrica no registra crecidas torrenciales que solo ha afectado áreas de protección ambiental cercanas a la orilla de la quebrada, siendo esta una zona con bajo riesgo torrencial, pero con susceptibilidad a erosionarse, lo que limita el uso futuro y al ser zona de protección ambiental su uso debe ser solo forestal protector. Además, el predio está limitada en su parte sur- occidente con la variante Armenia – Bogotá y en su parte nor-oriental con una zona de pastizales,

Su ubicación topográfica es de vital importancia para el análisis de sus amenazas por movimientos en masa, donde también juega un papel importante las formaciones superficiales, su dinámica geológica, la geomorfología del terreno y el uso de los suelos perimetrales, lo que conlleva a determinar fácilmente factores condicionantes y

desencadenantes de los riesgos que por fenómenos morfodinámicos afectan el predio o área de estudio.

3. CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS



Ilustración 2 características de los suelos

Suelo en su mayor parte con buen perfil de materia orgánica con espesores de hasta un metro, infra yacido por suelo gris amarilloso, de textura arcillosa, muy plásticos.

Basados en el estudio de suelos realizado por el Ingeniero Juan José Piedrahita, identificamos un suelo de origen volcánico, donde sus características físicas con textura arcilloso-limosos, muy compactos, con feldespatos como principal componente, contando además con cuarzo y plagioclasas, son ricos en caolín, muy plásticos y que ayudan a dar estabilidad del área donde se ubican, aun terrenos escarpados, muy resistentes a la erosión, sin embargo dado que su uso actual son lleno de escombros y otras partes monocultivos de plátano y café que se extienden en la parte más norte de la quebrada, aguas arriba, en un área que supera las 4 hectáreas, además los drásticos cambios de vegetación nativa por cultivos llenos de escombros, debilitan la estructura del suelo dejándolo suelto, susceptible a la erosión.

Además, se identifican cicatrices de antiguos evento erosivos en especial deslizamientos superficiales en estas laderas que fácilmente se presenta por este tipo de usos actuales.



Ilustración 3 característica de los suelos

Se identifica la inestabilidad que presentan las laderas, especialmente la zona donde se acumulan las llantas. No se encuentran niveles freáticos superficiales, que debilitaran la estructura del suelo, lo que permite mayor capacidad portante, haciendo que el terreno cuente con mayor resistencia a erosionarse, además de contener elementos y minerales nutritivos para la producción agropecuaria de las laderas de la quebrada, minerales como hierro, calcio, sodio, fósforo, son claves para la estabilidad productiva de sus perfiles más superficiales.

A pesar de que, en general, la zona se trata de un terreno con topografía variable entre muy inclinada en sus límites con la fuente hídrica levemente inclinada en su parte central, es necesario erradicar cualquier posibilidad de la reactivación de deslizamientos y aparición a futuro de focos erosivos que puedan afectarlos, como es este el caso del área de la vertiente empinada en la parte media del barrio, pues sus usos con cultivos limpios y llenos degradan los suelos y los expone a la erosión.

3.1. FENOMENOS DE REMOCION EN MASA:

Todo el análisis de la zona de estudio inicia con el reconocimiento de los factores condicionantes que determinan la aparición de deslizamientos y son aquellos que se identifican por las características intrínsecas del terreno como son la topografía, geomorfología, geología, suelo, uso actual, cobertura vegetal, y presencia de fuentes hídricas, la relación de estas características define la susceptibilidad que presenta la zona de estudio a desestabilizarse.

Hay presencia de cicatrices de antiguos eventos erosivos y depósitos de escombros a punto de desplazarse hacia la quebrada, y que son más marcados en la parte media del barrio, por sus fuertes pendientes donde se mezcla los llenos fácilmente con antiguos deslizamientos y con depósitos aluviales a orillas de la quebrada. Se observa solo erosión superficial como carcavamientos, que son eventos erosivos muy superficiales causado por la acción antrópica en el sector y la sobresaturación del suelo que permite que el terreno quede suelto y fácil de arrastrar.

En todas las laderas colindantes a las viviendas se identifican cúmulos de antiguos depósitos de escombros y residuos sólidos donde se presentan pequeños desgarres en forma de deslizamientos superficiales, no obstante, este tipo de fenómeno erosivo adquiere mayor importancia en tiempos de fuertes lluvias que por la fuerte pendiente del terreno fácilmente se desplazan ladera abajo.

Este estado actual que observan y analizan los técnicos de campo para este estudio, más la zonificación por modelación de la amenaza, la vulnerabilidad y riesgo que se le hace a este terreno permitirá emitir recomendaciones técnicas como alternativa para minimizar, mitigar o en caso más específico erradicar los focos erosivos y favorecer el crecimiento y desarrollo de cobertura en guadua y especies arbóreas nativas de raíces profundas como se observa actualmente.

Los factores desencadenantes son aquellos que poseen la capacidad de provocar o disparar el evento, para el caso particular de este estudio se analizarán los sismos y la precipitación y de esta manera, al final del trabajo, se definirán zonas con grados de amenaza alta, baja y media.

3.2. PRESENCIA DE LLENOS



Ilustración 4 Presencia de llenos

Llenos con presencia de llantas obstruyendo el cauce de la quebrada, afectan todo el sector generando impacto ambiental negativo, daños en flora y fauna y le han cambiado el direccionamiento a la quebrada.

En el análisis de campo que realiza los profesionales encargados de este estudio se identifican sectores con acumulación de escombros o residuos sólidos, en los suelos de fuerte pendiente más cercanos a las viviendas, afectando también la orilla de esta fuente hídrica en sus puntos de más bajo nivel topográfico.

Las orillas de la quebrada, es un buen sitio para determinar la geología superficial donde se observa la roca madre consistente en roca Sedimentaria que se describirá más adelante en este estudio. Son clastos de roca, embebidas en una matriz lodosa, de textura arcillo arenosa, muy compacta, y difícil de remover de su estado actual. También se observó en sitios más cercanos a la quebrada, antiguos depósitos de roca, tierra y material vegetal en descomposición, que ahora están fijadas en el terreno por la cobertura vegetal protectora que se ha desarrollado a la orilla de la quebrada, cuya acción es amarrar estos coluviones, evitar la erosión de los mimos y regular la escorrentía que viene de la parte alta de la ladera.

3.3. COBERTURA VEGETAL



Ilustración 5 Cobertura vegetal

Zona de estudio a orillas de la quebrada y su zona de protección forestal saturada de cultivos, llantas y sin vegetación protectora o de importancia ambiental.

La acción antrópica en la quebrada en la parte posterior de las viviendas del Barrio ha causado la pérdida de las especies vegetales nativas y han sido remplazadas por monocultivos de café, plátano, escombros y gran cantidad de llantas.

4. DEFINICIÓN DE LOS NIVELES DE AMENAZA:

Los siguientes términos se utilizarán en la redacción del documento técnico resultante de este estudio:

4.1. AMENAZA ALTA

Zona donde existe una probabilidad mayor del 44% de que se presente un fenómeno de remoción en masa en un periodo de 10 años, ya sea por causas naturales o por intervención antrópica no intencional y con evidencia de procesos activos.

4.2. AMENAZA MEDIA

Zona donde existe una probabilidad entre el 12 y 44% de que se presente un fenómeno de remoción en masa en un periodo de 10 años, ya sea por causas naturales o por intervención antrópica no intencional, sin evidencia de procesos activos.

4.3. AMENAZA BAJA

Zona donde existe probabilidad menor del 12% de que se presente un fenómeno de remoción en masa, en un periodo de 10 años por causas naturales o antrópicas no intencional.

5. METODOLOGÍA

La metodología por utilizarse consiste en la ponderación de parámetros condicionantes y desencadenantes para los movimientos en masa a estudiarse, sobre la base de las unidades definidas en el mapa de Capacidad de Uso de las Tierras.

La Información preliminar o secundaria es muy necesaria recopilarla de los datos que maneja la oficina de Planeación municipal de Calarcá, que permite tener una base sustentable para la elaboración del presente estudio, la información secundaria a utilizarse es:

Cartografía base a escala 1:25.000. SIG.

Mapa de uso y cobertura del suelo escala 1: 25.000. SIG-IGAC-CRQ

Mapa geológico de Ingeominas 1999.

Mapa de geomorfología escala 1: 25.000. SIG, ALCALDIA-IGAC-CRQ.

Registro de sismos de la zona a analizarse. SERVICIO GEOLOGICO DE COLOMBIA, OBSERVATORIO SIMOLOGICO DE LA UNIVINDIO.

Registros de precipitaciones o intensidad de lluvias. IDEAM, CRQ, CENICAFE.

5.1. MÉTODO DE MORA-VAHRSON PARA LA CUANTIFICACIÓN DE LA AMENAZA

Existen varios modelos para la evaluación de la amenaza por movimientos en masa, uno de los más utilizados es el propuesto por Mora – Vahrson (1993) desarrollado en Costa Rica. El cual utilizaremos en este estudio.

Este método es de tipo explícito semianalítico y tiene por objeto predecir la amenaza por fenómenos de remoción en masa. En este método se consideran cinco factores que son: el relieve relativo, la litología, la humedad del suelo, la sismicidad y la intensidad de lluvias.

La combinación de los tres primeros (elementos pasivos) se realiza considerando que los fenómenos de remoción en masa ocurren cuando una ladera adquiere un grado de susceptibilidad, debido a la interacción entre la pendiente, la litología y la humedad del suelo. Bajo estas condiciones, los factores desencadenantes, como la sismicidad y las lluvias intensas actúan como elementos detonantes dando lugar a la destrucción de las laderas. De esta forma se considera que el grado o nivel de amenaza es el producto de la susceptibilidad y la acción de los elementos detonantes.

Formula para la zonificación de la amenaza por fenómenos de remoción en masa:

$$H = (Sr * Sh * Sl) * (Ts + Tp) \quad (\text{Fórmula 1})$$

Donde:

H: Grado de amenaza.

Sr: Factor relieve relativo.

Sh: Factor humedad del suelo.

Sl: Factor litología.

Ts: Factor detonante por sismos.

Tp: Factor detonantes por precipitaciones

5.1.1. Método de Mora-Vahrson (modificado)

Para la determinación de la amenaza por movimientos en masa se tomará como base el método de Mora – Vahrson (1993) modificado de acuerdo a la información disponible actualmente para nosotros de.

$$H = (Sm * Sc * Sl) * (Ts + Tp) \quad (\text{Fórmula 2})$$

Donde:

H: Grado de amenaza de las unidades geomorfológicas

Sm: Factor morfométrico

Sc: Factor de cobertura vegetal

Sl: Factor litológico

Ts: Factor detonante por sismos

Tp: Factor detonante por lluvias

Los factores, insumos y responsables de generarlos se muestran en el siguiente cuadro:

5.2. CUADRO DEL INSUMO PARA LA GENERACIÓN DEL MODELADO

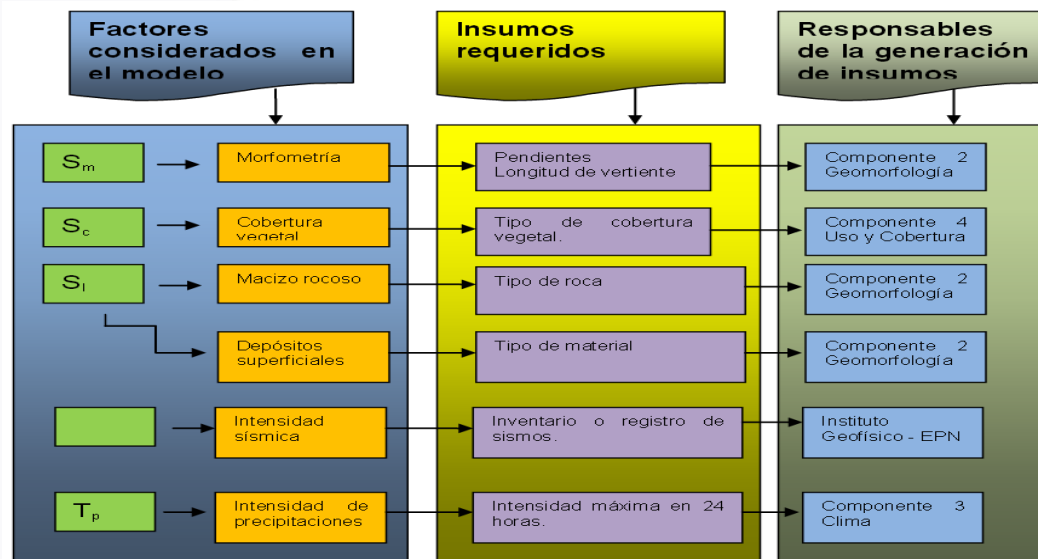


Ilustración 6 Cuadro del insumo para la generación del modelado

Los valores de ponderación para cada parámetro guardan relación con las clases determinadas durante el transcurso del proyecto, en algunos casos se han redefinido las clases para un mejor manejo y optimización de los datos.

Se realiza las operaciones entre factores condicionantes para la ocurrencia de movimientos en masa por tipo de movimiento. Posteriormente se procederá a relacionar los factores dinámicos y desencadenantes para la categorización de la amenaza por movimientos en masa.

5.2.1. Factor morfométrico (S_m)

Este factor constituye las características numéricas de las unidades geomorfológicas, para el caso particular de esta metodología se van a considerar dos factores, la pendiente del terreno y la longitud de las vertientes. Para los fines de este estudio se realizará una nueva categorización de las pendientes y longitudes de vertientes para agruparlas en las siguientes clases:

a. Pendiente: Se refiere al grado de inclinación de las vertientes con relación a la horizontal; está expresado en porcentaje.

Tabla 1 Categorización de pendiente

CLASE	RANGO (%)	DESCRIPCIÓN
0 - 3; NA	1	Corresponde a relieves completamente planos, casi planos y ligeramente ondulados. Además de todas las áreas que no son suelo como: centros poblados, ríos, o con características similares a estas al representarlas o cartografiarlas.
3 - 7	2	Corresponde a relieves medianamente ondulados a moderadamente disectadas.
7 - 12	3	Corresponden principalmente a relieves mediana a fuertemente disectadas
12 - 25	4	Corresponden principalmente a relieves fuertemente disectadas.
25 - 50	5	Corresponden principalmente a relieves muy fuertemente disectadas.
50 - 75	6	Corresponden principalmente a relieves escarpados.
75	7	Corresponden principalmente a relieves muy escarpados

Fuente: CLIRSEN. Tabla de atributos del mapa de geomorfología

b. Longitud de vertiente

Corresponde a la distancia inclinada existente entre la parte más alta y la más baja de una forma del relieve medida en metros.

Tabla 2 Categorización de vertientes

Longitud (m)	Calificativo
< a 15	Muy corta
> 15 a 50	Corta
> 50 a 250	Media
> 250 a 500	Larga
> a 500	Muy larga

Fuente: CLIRSEN. Tabla de atributos del mapa de geomorfología

Una vez definidos los valores para estos dos parámetros se tiene una categorización del factor morfométrico de acuerdo con la fórmula 3. En la que se le da mayor peso a la pendiente ya que este parámetro tiene una influencia alta en la probabilidad de ocurrencia de fenómenos de movimientos en masa con relación a la longitud de vertiente, teniendo en cuenta que una pendiente vertical mayor de dos metros se vuelve inestable por naturaleza.

$$Sm = 4P + Lv \quad (\text{Fórmula 3})$$

5.2.2. Factor litológico (Si)

Se refiere a la composición de las formas del relieve en cuanto a su sustrato rocoso (litología) y a las formaciones superficiales. En primera instancia se adquiere la denominación geológica oficial desde la información secundaria y en campo se confirma y describe el tipo de roca. Debe ser lo más específico posible.

Como se hace en el cuadro siguiente de la descripción geológica del área de estudio.

Tabla 3 Descripción geológica del area de estudio

UNIDAD GEOLOGICA	SI MBOLO	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL ROCOSO O DEPOSITO SUPERFICIAL
ALUVION	(Qal)	Asociados a los ríos y corrientes principales se presentan depósitos sedimentarios de materiales sueltos con amplia variación en cuanto a su composición y tamaño de grano, consistentes en arenas, limos y arcillas principalmente, aumentando de tamaño de grano a lo largo de los ríos y quebradas mayores con valles angostos. Algunos de los aluviones más extensos están siendo sometidos a erosión e incluso algunos presentan aluviones confinados entre las caras de erosión.
CENIZAS	(Qpc)	Caracterizadas por su color pardo y su textura limo arcillosa, además de su baja capacidad de retención de aguas, razón por la cual, dadas las condiciones naturales del área, son húmedas. El espesor varía de acuerdo a la paleotopografía existente en el momento de la caída de las cenizas, este varía localmente del orden decimétrico al métrico; habiéndose identificado áreas con espesores de hasta 2.0 m.
LLENOS ANTROPICOS	(Ra)	Esta unidad corresponde a materiales que por lo general incluyen la cubierta orgánica y cenizas volcánicas removidas, las cuales son utilizadas para rellenar áreas onduladas. Esto se hace con el fin de formar zonas planas de mayor extensión para construir sobre ellas.
Roca Sedimentari	(Glas)	Rocas tipo conglomerado matriz soportado, de origen cuaternario, originado por flujos procedentes de la zona de nevados de la Cordillera Central son materiales de depósitos, muy compactos conformados por clastos de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias. Forma el basamento rocoso del barrio Santa Luisa de Marillac.
COLUVIALES	(Qal)	Son producto de la acumulación de depósitos por antiguos fenómenos de remoción en masa que cambiaron la morfología del terreno donde se depositan, dándole una textura pedregosa-arenosa, muy suelto y expuesta a la erosión.

Para la ponderación del factor litológico se tomará en cuenta la categorización realizada por Mora – Vahrson (1993) y se la relacionará con las formaciones geológicas detalladas en estudios realizados por Ingeominas y la CRQ en el municipio de Calarca. Este factor requirió

una valoración profesional para ubicarlo y categorizarlo de la mejor forma posible dentro de las descripciones del cuadro referencial.

Esta valoración subjetiva se debe a que dentro del catálogo de objetos no se tiene clases o rangos para la meteorización y fracturación en los macizos rocosos y de la potencia en los depósitos superficiales.

Tabla 4 Categorización del factor litológico

LITOLOGÍA (MORA-VAHRSON, 1993)	FORMACIONE OLOGICA	SUSCEPTIBILIDAD LITOLOGICA
Asociados a los ríos y corrientes principales se presentan depósitos sedimentarios de materiales sueltos con amplia variación en cuanto a su composición y tamaño de grano, consistentes en arenas, limos y arcillas principalmente, aumentando de tamaño de grano a lo largo de los ríos y quebradas mayores con valles angostos. Algunos de los aluviones más extensos están siendo sometidos a erosión e incluso algunos presentan aluviones confinados entre las caras de erosión.	ALUVION	Alta
Caracterizadas por su color pardo y su textura limo arcillosa, además de su alta capacidad de retención de aguas, razón por la cual, dadas las condiciones naturales del área, son húmedas. El espesor varía de acuerdo a la paleotopografía existente en el momento de la caída de las cenizas, este varía localmente del orden decimétrico al métrico; habiéndose identificado áreas con espesores de hasta 2.0 m.	CENIZAS	Alta a baja
Esta unidad corresponde a materiales que por lo general incluyen la cubierta orgánica y cenizas volcánicas removidas, las cuales son utilizadas para rellenar áreas onduladas. Esto se hace con el fin de formar zonas planas de mayor extensión para construir sobre ellas.	LLENOS ANTRÓPICOS	media
Rocas tipo conglomerado matriz soportado, de origen cuaternario, originado por flujos procedentes de la zona de nevados de la Cordillera Central son materiales de depósitos, muy compactos conformados por clastos de rocas ígneas,	Glasis del Quindio	Baja

metamórficas y sedimentarias. Forma el basamento rocoso del Barrio Santa Luisa de Marillac.		
Son producto de la acumulación de depósitos por antiguos fenómenos de remoción en masa que cambiaron la morfología del terreno donde se depositan, dándole una textura pedregosa-arenosa, muy sueltos y expuestos a la erosión.	Coluviales	alta

5.2.3. Factor Uso actual del suelo

El efecto de la vegetación sobre la estabilidad de los taludes ha sido muy debatido en los últimos años; incluso ha dejado muchas dudas e inquietudes en relación a la cuantificación de los efectos de estabilización de las plantas sobre el suelo; sin embargo la experiencia ha demostrado el efecto positivo de la vegetación, para evitar problemas de erosión, reptación y fallas subsuperficiales (Suárez, 1998).

Rice y Krames (1970) sugirieron que el clima determina el efecto relativo de la vegetación para prevenir deslizamientos en los climas sobre los cuales la precipitación es muy grande, el efecto de la cobertura vegetal sobre la estabilidad es mínimo y en áreas de clima árido la cobertura vegetal puede afectar en forma significativa la ocurrencia de deslizamientos. Dicha ocurrencia a este tipo de movimiento en masa es mayor en áreas cultivadas que en los bosques naturales.

Las características de las raíces dependen de la especie vegetal, la edad, las propiedades del perfil de suelo y el medio ambiente. La profundidad de las raíces generalmente, no supera los cinco metros en árboles grandes, dos metros en los arbustos y 30 centímetros en los pastos (Suárez, 1998). Para fines del modelamiento se han definido cuatro grupos de cobertura vegetal:

Tabla 5 Calificación del factor cobertura o uso actual del suelo

CATEGORÍA	CALIFICATIVO	DESCRIPCIÓN
Cultivos permanentes en las vertientes perimetrales a la zona de estudio y sobre depósitos recientes de las orillas de quebradas y zonas de ocupación en cobertura vegetal protectora.	ALTA COBERTURA	Bosque: Ecosistema arbóreo, primario o secundario, regenerado por sucesión natural, que se caracteriza por la presencia de árboles de diferentes especies nativas, edades y portes variados, con uno o más estratos.

		Cultivos: Comprenden aquellas tierras dedicadas a cultivos agrícolas cuyo ciclo vegetativo es mayor a tres años, y ofrece durante este periodo varias cosechas
Vegetación arbustiva	MEDIA COBERTURA	Vegetación Arbustiva: Áreas con un componente substancial de especies leñosas nativas cuya estructura no cumple con la definición de bosque.
Vegetación herbácea		Vegetación Herbácea: Vegetación dominante en las orillas de la quebrada, constituida por especies herbáceas nativas con un crecimiento espontáneo, que no reciben ningún cuidado, Vegetación desarrollada en abruptos o sobre pantanos.
Cultivos semipermanentes		Cultivos semipermanentes: Comprenden aquellas tierras dedicadas a cultivos agrícolas cuyo ciclo vegetativo dura entre uno y tres años.
Cultivos anuales.		Cultivo Anual: Comprende aquellas tierras dedicadas a cultivos agrícolas, cuyo ciclo vegetativo es estacional, pudiendo ser cosechados una o más veces al año.
Agropecuario mixto		Agropecuario mixto: Comprende las tierras usadas para diferente clase de cultivos donde su uso esta caracterizado por variedad de productos.
Sin cobertura. procesos de erosión. Sitios muy puntuales, pequeños en las vertientes de la quebrada perimetral.	SIN COBERTURA	Áreas con poca o ninguna cobertura vegetal. Incluye, afloramientos rocosos y áreas erosionadas por procesos naturales o de origen antrópico. En este caso depósitos inconsolidados originados por la dinámica fluvial de la quebrada que rodea el terreno.

Infraestructura subnormales en material liviano	Viviendas en material	Establecimiento de un grupo de personas en un área determinada, incluyendo la infraestructura civil que lo complementa.
---	-----------------------	---

Fuente: CLIRSEN. Tabla de atributos de mapa de uso y cobertura

5.2.4. Factor de Desencadenante sismos (Ts)

Se seguirá el criterio de Mora – Vahrson (1993) para la categorización del factor detonante por sismos, en cuantos a sismos:

Tabla 6 Calificación del factor sismicidad

Intensidad Mercalli Modificada	Calificativo	Magnitud Richter (estimada)
III	LEVE	3.5
IV	MUY BAJO	
V	BAJO	
VI	MODERADO	4.3
VII	MEDIO	
VIII	ELEVADO	6.0
IX	FUERTE	
X	BASTANTE FUERTE	7.0
XI	MUY FUERTE	8.0
XII	EXTREMADAMENTE FUERTE	

Fuente: Tomado de Mora-Vahrson, 1993. Magnitud estimada de acuerdo a intensidad. IGEPN

Se debe de reconocer el hecho que dada las características de las fallas que atraviesan el departamento del Quindío la mayor intensidad que se debe de esperar en un terremoto con

epicentro en este departamento es de 6.9 de acuerdo a estudios realizados por el ingeniero Hugo Monsalve y el Geólogo Armando Espinosa.

Considerando los efectos que tiene la magnitud de los sismos en la superficie se deberá seguir la siguiente ponderación para el factor detonante por sismos.

Tabla 7 Categorización del factor detonante por sismos

RANGO	PONDERACIÓN
3,9 - 4,5	0
> 4,5 - 5,5	1
> 5,5 - 6,0	2
> 6,0	3

Fuente: CLIRSEN.2011

5.2.5. Factor detonante Precipitaciones (Tp) Mora – Vahrson (1993)

Considera el factor de Intensidad de Precipitaciones, en este trabajo se modificará el modelo para trabajar con los valores de Precipitaciones medias anuales.

Tabla 8 Categorización del factor detonante precipitaciones

Precipitaciones medias mensual anual (mm), N ≥ 10 años, promedio.	Calificativo	Valor del parámetro Tp
<30	Muy bajo	0
>30 – 60	Bajo	1
>60-80	Mediano	2
>80	Alto	3

Fuente: CLIRSEN .2011

5.3. GRADO DE AMENAZA DE LAS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

Para la determinación del grado de amenaza de las unidades geomorfológicas se tomará en cuenta el resultado de la fórmula 4:

$$H = (S_m * S_c * S_l) * (T_s + T_p) \quad (\text{Fórmula 4})$$

Teniendo en cuenta los máximos valores obtenidos por esta fórmula se categorizará la amenaza de las unidades geomorfológicas en cuatro clases con grados que irán desde nulo a alto. Los cuadros de ponderación de amenaza se mostrarán en la aplicación del modelo de amenaza por movimientos en masa.

Los factores que intervienen para el análisis de la susceptibilidad tienen diferentes ponderaciones de acuerdo con el tipo de movimiento en masa, no así los factores desencadenantes, cuya ponderación será la misma para todo tipo de movimiento.

5.4. VALIDACIÓN

La información obtenida se valida mediante la comparación con el inventario de movimientos en masa realizado en la interpretación y con observaciones de campo. Se usa un muestreo aleatorio para la selección de puntos a visitar, complementado con aquellos lugares donde se hayan identificado movimientos en masa de importancia.

Para los fines pertinentes de este estudio, se analizaron las unidades ambientales y las correspondientes características de sus unidades geomorfológicas que fueron identificadas en el mapa geomorfológico del municipio construido en el documento técnico Ingeominas 1991 y las visitas de campo, además se debe poner atención al mapa de uso de suelos y cobertura vegetal.

5.5. LIMITACIONES DE LA METODOLOGÍA

La metodología propuesta tiene limitantes que pueden modificar los resultados parciales y/o finales, básicamente dependen de la falta de información secundaria disponible, entre los principales se tienen:

5.6. NIVEL DE DETALLE DE GEOLOGÍA BASE

Comúnmente se ha venido desarrollando el estudio geológico base con los mapas de un estudio geológico estructural que Ingeominas realizó en 1991 en estos sectores a escala 1:25.000 y el estudio por reconstrucción pos terremoto, fue elaborado por Ingeominas en el año 2000 y que corresponde a una geología local, además del conocimiento de la geología del municipio que tienen el profesional en geología que hace parte de este grupo de trabajo, y con comprobaciones de campo, para el caso en particular los productos generados por el componente, incluyen únicamente la caracterización del tipo de roca y depósitos

superficiales puntuales que se presentan a una escala 1:10.000 por lo tanto se tiene un nivel de detalle adecuado en la caracterización geológica.

5.7. CATEGORIZACIÓN DE LA COBERTURA O USO ACTUAL DEL SUELO

Este factor es muy dinámico y en muchos casos no constituye un determinante para la ocurrencia de movimientos en masa, se necesita una categorización muy sensible para poder aplicarla al modelo. Si se necesita que el modelo sea aplicable en el tiempo se debe considerar actualizar el mapa de uso de las tierras cada 5 años.

5.8. INGRESO DE CATEGORÍAS EN LA BASE DE DATOS

Esta actividad, consiste en ingresar en el Sistema de Información Geográfica (SIG), las respectivas ponderaciones para cada uno de los factores detonantes y Condicionantes. El producto final será entregado como mapa de amenazas del área de estudio por fenómenos en masa. Finalmente se entregará los productos que se muestran en el siguiente cuadro:

Tabla 9 Productos finales a entregarse

PRODUCTOS
MAPA DE ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA FINAL
MAPA DE ZONIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD
MAPA DE ZONIFICACIÓN DE RIESGOS

5.9. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE AMENAZA

Para la aplicación de la metodología de Mora – Vahrson modificada se discriminó en primera instancia por tipo de movimiento en masa, en donde se estudió los factores de susceptibilidad y de disparo, tratándolos independientemente para luego unirlos en una fórmula final.

Para cada movimiento en masa solo se ponderará los factores de susceptibilidad no así los factores de disparo, cuya ponderación será la misma para cada tipo de movimiento.

5.9.1. Información Base

Para la generación de los mapas de síntesis se utilizó la siguiente información:

1. Cartografía base a escala 1:25.000. Ingeominas y con el SIG se logra trabajar para este documento a escala 1:10.000.
2. Mapa de pendientes construido en por CRQ.
3. Mapa de uso y cobertura del suelo escala 1:25.000. SIG -
4. Mapa de geomorfología escala 1: 25.000. SIG.
5. Mapa de procesos erosivos
6. Mapa y registro de sismos de Calarca Observatorio Sismológico de la Uniquindio
7. Mapa Registros de precipitaciones o intensidad de lluvias. CRQ, IDEAM y –CENICAFE.

5.10. DETERMINACIÓN DEL GRADO DE AMENAZA PARA DESLIZAMIENTOS

En base a la caracterización de los deslizamientos (Suárez, 1998; PMA, 2007) descrita anteriormente, se procedió a determinar las ponderaciones para cada factor condicionante para este tipo de fenómeno según el método de Mora –Vahrson modificado.

5.10.1. Ponderación del factor morfométrico para deslizamientos.

El factor morfométrico tiene un peso importante como condición de susceptibilidad para la ocurrencia de deslizamientos, dentro de este modelo se dio mayor importancia al grado de pendiente que a la longitud de la vertiente, en base a esto, las ponderaciones para la obtención del factor morfométrico se presentan en los siguientes cuadros:

Tabla 10 Ponderación del factor pendiente (P)

RANGOS PORCENTAJE	PONDERACIÓN DESLIZAMIENTOS
0 – 3	0
3 – 7	1
7 - 12	1
12 - 25	2
25 - 50	2
50 - 75	3
➤ 75	4

Fuente: CLIRSEN, 2012

En la base de datos generada se procedió a ponderar la longitud de la vertiente para el caso de deslizamientos según los pesos que se muestran a continuación:

Tabla 11 Ponderación del factor longitud de vertiente (L,v)

LONGITUD DE VERTIENTE (m)	PONDERACIÓN DESLIZAMIENTO
< A 5 A 15	1
> 15 A 25	2
>25 A 250	3
> 250 A 500	4

Fuente: CLIRSEN.2012.

Considerando la fórmula 3, se tiene la combinación de los condicionantes de pendientes y longitud de vertiente, lo que permitirá obtener el campo del factor morfométrico para deslizamientos.

Tabla 12 Ponderación del factor morfométrico (Sm)

RANGO	VALORES OBTENIDOS	PONDERACIÓN DEL FACTOR Sm DESLIZAMIENTOS
0-4	0,1,2,3,4	0
5-7	5,6,7	1
8-10	8,9,10	2
11-13	11,12	3

Fuente: CLIRSEN.2012.

5.10.2. Ponderación del factor litológico para deslizamientos

Se considera la litología como un factor de susceptibilidad importante para la ocurrencia del fenómeno de deslizamiento; de acuerdo con la base de datos de Ingeominas 1991, SIG de la Gobernación del Quindío y la cartografía de la CRQ y estudios técnicos realizados en Calarcá, se obtuvo las siguientes ponderaciones para la zona de estudio.

Tabla 13 Ponderación del factor litológico (SI)

FORMACIÓN GEOLÓGICA	PONDERACIÓN SI DESLIZAMIENTOS
ALUVION	3
CENIZAS	2
LLENOS ANTROPICOS	4
Glacis Del Quindio	1
COLUVIONES	3

Fuente: CLIRSEN.2012

5.10.3. Ponderación del factor cobertura vegetal para deslizamientos

La cobertura vegetal tiene influencia en la estabilidad de taludes, pero muchas veces no actúa como un factor determinante para disminuir la susceptibilidad de zonas propensas a deslizamientos. El factor de cobertura vegetal se caracteriza de acuerdo con las ponderaciones que se muestran a continuación:

Tabla 14 Ponderación del factor cobertura (Sc)

COBERTURA VEGETAL	CALIFICATIVO	PONDERACIÓN Sc DESLIZAMIENTOS
Guaduas y bosques secundarios	Alta Cobertura	1
Rastrojo alto y bajo, maleza en general.	Cobertura media	2
Pasto	Cobertura baja	2
Cultivos Limpios (Aguacate, Café, plátano. Maíz, cítricos, frijol, tomate. Mora, banano, caña de azúcar, yuca,	Alta cobertura	3

arracacha, granadilla, lulo, guayaba.		
Infraestructura (cementerio, zona urbana, centro poblado, complejo, salud, complejo recreacional, centro poblado) - No Aplicable (embalse, cuerpos de agua, ríos dobles, áreas de inundación.	Baja cobertura (antrópica)	4

Fuente: CLIRSEN. 2012

5.11. GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD

Para deslizamientos (SD) Usando el método de Mora – Vahrson modificado, se calcula el grado de susceptibilidad para deslizamientos, utilizando los campos ponderados de cada factor condicionante, mediante la siguiente fórmula:

$$SD = (S_m) * (S_l) * (S_c) \quad (\text{Fórmula 5})$$

Generado el mapa, se analizó de acuerdo con la siguiente tabla para determinar su grado de susceptibilidad.

Tabla 15 Ponderación del factor susceptibilidad (SD)

RANGOS	VALOR OBTENIDO	PONDERACIÓN SD	GRADO SD
0-1	0, 1	0	NULO
2-8	2, 4, 6,8	1	BAJO
9 - 15	9-11-13-15	2	MEDIO
16-36	16, 20, 24, 28,32, 36	3	ALTO

Fuente: CLIRSEN.2012.

5.12. FACTORES DE DISPARADOR (FD)

Para obtener el grado de amenaza, se consideró dos factores de disparo: la precipitación y la sismicidad.

El primer factor de disparo es la precipitación media anual que fue analizado mediante un mapa de isoyetas, elaborado en función de los registros de estaciones meteorológicas de la red del IDEAM y CRQ.

El segundo factor desencadenante es la sismicidad que fue analizado mediante un mapa de la sismicidad del departamento del Quindío generado en base a ubicación y registro de sismos realizada por el observatorio sismológico de la Universidad del Quindío.

Las ponderaciones de los factores de disparo se presentan a continuación:

Tabla 16 Ponderación del factor precipitación (Tp)

RANGOS	VALORES DE PRECIPITACIONES CALARCA	PONDERACIÓN (Tp)
30-60	30, 40, 50, 60	1
>60-80	60, 70, 80	2
> 80	90, 100, 110, 120	3

Fuente: CLIRSEN.2012

Tabla 17 Ponderación del factor sismos(Tp)

RANGOS	MAGNITUD DE SISMOS PARA CALARCÁ	PONDERACIÓN Ts
3,9 – 4,5	4.0 – 4,5	0
>4,5 - 5,5	4,6 – 4,9	1

Fuente: CLIRSEN.2012

La fórmula de los factores detonantes para la ocurrencia de deslizamientos es la siguiente:

$$FC = (Ts + Tp) \quad (\text{Fórmula 6})$$

5.13. VALOR DE LA AMENAZA PARA EL FENÓMENO DE DESLIZAMIENTOS (HD)

Una vez establecidas todas las ponderaciones de susceptibilidad, sismos y precipitación, se generó el mapa de amenazas para deslizamientos. Como fórmula final para la determinación del grado de amenaza para deslizamientos se tiene la siguiente:

$$HD = SD * FC \quad (\text{Fórmula 7})$$

Generado el mapa, se analizó de acuerdo con la siguiente tabla para determinar su grado de amenaza.

Tabla 18 Ponderación y grado de amenaza para la ocurrencia de deslizamiento (Dz)

VALORES OBTENIDOS	PONDERACIÓN DEL PARAMETRO HD	GRADO (dz)
0,1	0	NULO
2, 3	1	BAJO
4, 6	2	MEDIO
9	3	ALTO

Fuente: CLIRSEN .2012.

6. RESULTADOS DEL ANALISIS DEL MAPA DE AMENAZAS

- La zona más expuesta a amenaza por deslizamientos son los sectores Central y nor occidente de estas laderas, pero la calidad de los suelos allí encontrados evitaría los deslizamientos si no existieran gruesas capas de escombros en sus superficies que fácilmente se erosionan por su falta de compactación.
- Los llenos antrópicos se ubican especialmente en la parte más central de la parte posterior de las viviendas, colindante a quebrada, donde se observó llenos antrópicos, cúmulos de llantas y erosión pluvial, en surcos, en cárcavas y deslizamientos superficiales, además de grietas que indican futuros deslizamientos si no se atiende a tiempo la erosión.
- La amenaza por deslizamiento en las orillas de la quebrada es alto dado la poca cobertura vegetal allí observada, los cúmulos de llantas, donde inclusive la fuerte pendiente, es un factor que acelera la escorrentía ladera abajo, sobre un suelo desnudo y esto repercute en las orillas de la quebrada, donde causa desprendimiento de suelos fácilmente.
- Toda la parte norte de estas laderas es actualmente utilizada en cultivos limpios de café y plátano que evidencia efectos erosivos de fuerte impacto en la estabilidad de suelos.
- En el sector central se manifiesta un corte vertical fuertemente pronunciado, casi escarpado que puede debilitar la estructura del suelo y puede crear fácilmente fallas superficiales en el terreno, por esto se hace necesario entender que la norma ambiental y el mismo Plan de Ordenamiento Territorial de Calarcá indica que este tipo de terreno su uso debe ser solo de protección ambiental sin construcción de estructuras, pues acelera la aparición de focos erosivos. En el quiebre de pendiente se debe implementar zanjales de coronación para mitigar el impacto de la escorrentía en estos terrenos de fuerte pendiente.
- La amenaza por deslizamientos en general se puede definir como Alta, sin embargo, la mayoría de lo rojo en el mapa de amenazas que hace parte de este documento obedece a zonas de fuerte pendiente y suelos sueltos que fácilmente se pueden tratar, erradicando la amenaza.
- En este predio los suelos en general son originados en su parte más superficial por ceniza volcánica que dan origen a suelos residuales, de textura arcillo-limosa, hay materia orgánica de hasta un metro de espesor y roca en grado medio de meteorización en las orillas de la quebrada. Todo esto permite indicar como columna estratigráfica la siguiente: en el perfil más superficial suelos residuales, siguen, hacia abajo, capas de

suelos originados por la meteorización de cenizas volcánicas en perfiles de color amarillo hasta grisáceo, luego sigue la roca madre muy meteorizada con un saprolito de color amarillo grisáceo. Esta columna estratigráfica, especialmente su segundo y tercer perfil muestra las bondades de este suelo en su textura, estructura y plasticidad.

7. VULNERABILIDAD

El segundo elemento en la fórmula del riesgo es la vulnerabilidad, tal como se muestra en el flujograma de metodología para la zonificación de riesgo. Si bien es cierto, su valoración corresponde a grupos interdisciplinarios que pueda aportar criterios de evaluación, para los diferentes factores que la componen y los cuales permiten identificar las condiciones sociales que hacen débiles a las poblaciones frente a las amenazas que las pueden afectar. En este trabajo se utilizó una metodología cualitativa valorando las estructuras existentes en el área de estudio.

Un factor determinante en la zonificación de la vulnerabilidad, para el desarrollo de este trabajo, fue la existencia de zonas con elementos expuestos a los deslizamientos como el evento natural de más importancia en nuestro trabajo. Ya que la escala de trabajo fue a nivel municipal, se dieron valores de peso a todas las construcciones, quedando así aquellas zonas sin edificaciones, pero con cultivos con una vulnerabilidad baja.

Para la evaluación de la vulnerabilidad se aplicó una metodología cualitativa que consistió en dar valores de peso al componente estructural localizado en este lote en estudio: viviendas, vías, cultivos, y tubería del acueducto.

La valoración dada a cada componente estructural se estableció teniendo en cuenta la ocupación, las condiciones físicas de sus ocupantes lo cual determina su capacidad de respuesta al momento de la ocurrencia de un evento natural.

La presencia de viviendas, vías y rede de acueducto y alcantarillado permiten definir que si hay estructuras expuestas a cualquier evento que pueda afectar el barrio, además, se determina la vulnerabilidad física de las viviendas que es en si, el tema principal de este estudio.

El terreno presenta una vulnerabilidad alta, teniendo en cuenta varios factores, la distancia de las viviendas con relación al eje de la quebrada y el quiebre de pendiente del talud.

La topografía de la zona ocupada y que se debe de revalidar- La cobertura vegetal predominante en la zona de ladera o de vertiente de quebrada que es mínima.

El mapa de vulnerabilidad se obtuvo aplicando la información, que relaciona a continuación:

7.1. VARIABLES E INDICADORES CRÍTICOS ANTE DESLIZAMIENTOS PARA LAS VIVIENDAS

Tabla 19 Variable e indicadores críticos ante deslizamientos para las viviendas

VARIABLE	INDICADOR CRITICO
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	Cemento y ladrillo (Material)
ESTADO DE CONSERVACIÓN	Buena
UBICACIÓN RESPETO A ZONAS INESTABLES	si
UBICACIÓN RESPETO A ZONA TORRENCIAL	No

7.2. VARIABLES E INDICADORES CRÍTICOS ANTE DESLIZAMIENTOS PARA LAS VIAS

Tabla 20 variables e indicadores críticos ante deslizamientos para las vías

VARIABLE	INDICADOR CRITICO
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	MATERIILA CONCRETO
ESTADO DE CONSERVACIÓN	Buena
UBICACIÓN RESPETO A ZONAS INESTABLES	NO
UBICACIÓN RESPETO A ZONA TORRENCIAL	NO

7.3. VARIABLES E INDICADORES CRÍTICOS ANTE DESLIZAMIENTOS PARA LA ALCANTARILLADO DE LAS VIVIENDAS

Tabla 21 variables e indicadores críticos ante deslizamientos para el alcantarillado de las viviendas

VARIABLE	INDICADOR CRITICO
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	TUBERIA PVC
ESTADO DE CONSERVACIÓN	BUENO
UBICACIÓN RESPETO A ZONAS INESTABLES	NO

UBICACIÓN RESPECTO A ZONA TORRENCIAL	NO
--------------------------------------	----

7.4. VARIABLES E INDICADORES CRÍTICOS ANTE DESLIZAMIENTOS PARA LAS ZONAS DE LA QUEBRADA QUE LIMITA EL PREDIO

Tabla 22 variables e indicadores críticos ante deslizamientos para las zonas de la quebrada que limita el predio

VARIABLE	INDICADOR CRITICO
MATERIALES EXPUESTOS	SU CUACE
ESTADO DE CONSERVACIÓN	MALA
UBICACIÓN RESPECTO A ZONAS INESTABLES	Si
UBICACIÓN RESPECTO A ZONA TORRENCIAL	SI

Para cada zona de amenaza (peligro) ante deslizamientos, se identificaron las estructuras que tuvieran los indicadores críticos de las variables seleccionadas, vaciando esa información de acuerdo con el siguiente cuadro

7.5. METODOLOGÍA CUALITATIVA: MATRIZ DE VARIABLES ANTE DESLIZAMIENTOS PARA LAS VIVIENDAS

Tabla 23 Matriz de variables ante deslizamientos para las viviendas

ZONAS DE AMENAZA	MATERIALES	ESTADO DE CONSERVACIÓN	UBICACIÓN RESPECTO A LAS ZONAS INESTABLES	UBICACIÓN RESPECTO A ZONA TORRENCIAL	NIVEL DE VULNERABILIDAD Y RIESGO
MUY ALTA					
ALTA					
MEDIA					
BAJA					

7.6. METODOLOGÍA CUALITATIVA: MATRIZ DE VARIABLES ANTE DESLIZAMIENTOS PARA LAS VIAS

Tabla 24 Matriz de variables ante deslizamientos para las vías

ZONAS DE AMENAZA	MATERIALES	ESTADO DE CONSERVACIÓN	UBICACIÓN RESPECTO A ZONAS INESTABLES	UBICACIÓN RESPECTO A ZONAS TORRENCIAL	NIVEL DE VULNERABILIDAD Y RIESGO
MUY ALTA					
ALTA					
MEDIA					
BAJA					

7.7. METODOLOGÍA CUALITATIVA: MATRIZ DE VARIABLES ANTE DESLIZAMIENTOS PARA LA RED DE ALCANTARILLADO

Tabla 25 Matriz de variables ante deslizamientos para la red de alcantarillado

ZONAS DE AMENAZA	MATERIALES	ESTADO DE CONSERVACIÓN	UBICACIÓN RESPECTO A ZONAS INESTABLES	UBICACIÓN RESPECTO A ZONA TORRENCIAL	NIVEL DE VULNERABILIDAD Y RIESGO
MUY ALTA					
ALTA					
MEDIA					
BAJA					

7.8. METODOLOGÍA CUALITATIVA: MATRIZ PARA LA ZONA DE LADERA QUE LIMITA CON LA QUEBRAD Y SU SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS

Tabla 26 matriz para la zona de ladera que limita con la quebrad y su susceptibilidad a deslizamientos

ZONAS DE AMENAZA	MATERIALES	ESTADO DE CONSERVACIÓN	UBICACIÓN RESPECTO A ZONAS INESTABLES	UBICACIÓN RESPECTO A ZONA TORRENCIAL	NIVEL DE VULNERABILIDAD Y RIESGO
MUY ALTA					
ALTA					
MEDIA					
BAJA					

7.9. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL MAPA DE VULNERABILIDAD:

(Ver Mapa de Vulnerabilidad anexo a este documento)

1. La conformación geomorfológica del barrio con topografía agreste en la parte posterior de las viviendas aumenta la vulnerabilidad de las estructuras habitacionales ocupadas por sus propietarios., obligando a que las laderas sean intervenidas para mitigar su impacto con acciones como: perfilados, siembra de cobertura vegetal que amarre el terreno, evite la erosión y regule la escorrentía y la infiltración.

2. La zona de color rojo y naranja en la parte media de la ladera indican, no solo su uso limitado a protección forestal, por ser zona de protección ambiental, sino también una alta vulnerabilidad para cualquier infraestructura que allí se construya.

3. Las zonas de alta a muy alta vulnerabilidad identificadas por color naranja y rojo indican que debe de hacerse labores que disminuyan ese nivel de vulnerabilidad, como el retiro de material de escombros, retiro de las llantas, recuperación del cauce natural de la quebrad y hacer un análisis técnico para identificar que las viviendas tengan sus cimientos sólidos en suelos estables.

4. Las zonas de color verde y amarillo que indican vulnerabilidad baja y media ante deslizamientos, son sectores muy estables, planos a levemente inclinados y son los suelos muy frágiles ante la acción antrópica así que a partir de estos, se debe iniciar labores de estabilización de los suelos degradados.

5. La presencia de viviendas, vías y rede de acueducto y alcantarillado permiten definir que si hay estructuras expuestas a cualquier evento por fenómenos de remoción en masa que puedan afectar el barrio.

6. El terreno presenta una vulnerabilidad alta para las viviendas, teniendo en cuenta varios factores, la distancia de las viviendas al eje medio de la quebrada y su construcción sobre el quiebre de pendiente del talud.

7. La cercanía de la zona ocupada por las viviendas hacia la ladera no era la recomendable al momento de su construcción.

8. La cobertura vegetal predominante en la zona de ladera no cumple con la capacidad de amarre del terreno por ser incipiente y que solo son malezas y rastrojo bajo.

9. Al ser la vulnerabilidad el nivel de exposición de las viviendas; se puede concluir que la posibilidad de que una casa de estas sea afectada por un deslizamiento es alta.

10. Como se puede observar en el mapa de vulnerabilidad, los lotes o viviendas con más alta vulnerabilidad son las que están más a la parte media de la ladera, dado que es allí donde la amenaza es más alta por la presencia de terrenos con topografía más escarpada.

8. ESCENARIOS DE RIESGO

El Riesgo está definido como la resultante de la interacción la amenaza con la Vulnerabilidad:

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad}$$

La formulación de escenarios de riesgo comprende la estimación de pérdidas y daños que podría sufrir una comunidad ante la ocurrencia de algún desastre asociado a los principales peligros identificados. Para efectos de la estimación de los escenarios de riesgo se ha tomado en cuenta la matriz que INDECI4 tiene para tal fin, utilizando las amenazas ocurrentes en el área de este estudio. En la medida que tanto las amenazas como las condiciones de vulnerabilidad presentan variaciones en el territorio, es posible determinar una distribución espacial del riesgo, con la finalidad de determinar y priorizar acciones, intervenciones y proyectos de manera específica, orientados a disminuir los niveles de vulnerabilidad y riesgo. Del análisis desarrollado de la asociación de niveles de amenaza Muy Alta con zonas de Vulnerabilidad Muy Alta, se identifican Zonas de Riesgo Muy Alto. Conforme disminuyen los niveles de Peligro y Vulnerabilidad, disminuye el Nivel de Riesgo y por lo tanto el nivel de pérdidas esperadas.

8.1. FORMULACIÓN DE ESCENARIOS DE RIESGO ANTE DESLIZAMIENTOS

Para la formulación de escenarios de riesgo se siguieron los pasos siguientes:

Paso 1: • En base a la matriz de Zonificación de Riesgos, se obtiene la Matriz para definir los niveles de riesgo ante deslizamientos, la cual se aplica a cada sector afectado por la amenaza y la vulnerabilidad (mediante el SIG), con el fin de identificar los sectores de riesgo de esta área de estudio.

Tabla 27 Zonas de riesgo

ZONAS DE RIESGO POR FENOMENOS EN MASA PARA EL BARRIO SANTA LUISA DE MARILLAC, ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE CALARCA				
				ÁREA LIBRES
MUY ALTO	ALTO	MEDIO	BAJO	

	MUY ALTO	ZONAS DE RIESGO MUY ALTO	ZONAS DE RIESGO MUY ALTO	ZONAS DE RIESGO ALTO	ZONAS DE RIESGO ALTO	
	ALTO	ZONAS DE RIESGO MUY ALTO	ZONA DE RIESGO ALTO	ZONAS DE RIESGO MEDIO	ZONAS DE RIESGO MEDIO	
	MEDIO	ZONAS DE RIESGO ALTO	ZONAS DE RIESGO MEDIO	ZONAS DE RIESGO MEDIO	ZONAS DE RIESGO BAJO	
	BAJO	ZONAS DE RIESGO ALTO	ZONAS DE RIESGO MEDIO	ZONAS DE RIESGO BAJO	ZONAS DE RIESGO BAJO	

Tabla 28 Zonas de riesgo

AS	PELIGRO	VULNERABILIDAD	RIESGO
MUY ALTO	Sectores amenazados por deslizamientos con alto poder erosivo. Suelos con alta probabilidad de ocurrencia de licuación generalizada o suelos colapsables en grandes proporciones.	Zonas con viviendas construidas con materiales precarios, con problemas constructivos, ocupando sectores de alto riesgo por los deslizamientos y con problemas de estabilidad, vetustez, vías y cultivos ubicados en zonas inestables.	Sectores críticos donde se deben priorizar obras, acciones y medidas de mitigación ante desastres. De ser posible, reubicar a la población afectada a sectores más estables dentro de la cuenca. Posibilidades de colapso de todo tipo de construcciones ante la ocurrencia de un fenómeno intenso

ALTO	Sectores donde se esperan altas aceleraciones sísmicas por sus características geotécnicas. Sectores que son vulnerables a deslizamientos. Ocurrencia parcial de la licuación y suelos de fuerte pendiente.	Zonas con viviendas de materiales precarios, con problemas constructivos, tubería de acueducto y alcantarillado con problemas de estabilidad, vetustez, vías y cultivos ubicados en zonas inestables.	Sectores críticos donde se deben priorizar obras, acciones y medidas de mitigación ante desastres. Colapso de edificaciones en mal estado y/o con materiales inadecuados para soportar los efectos de los fenómenos naturales.
MEDIO	Suelos de calidad intermedia, con aceleraciones sísmicas moderadas. Deslizamientos recurrentes.	Zonas con predominancia de viviendas de materiales nobles, en regular y buen estado de construcción.	Suelos aptos para cultivos. Es deseable implementar medidas de mitigación o erradicar estructuras ante deslizamientos, reforzar estructuras existentes Daños considerables en viviendas en mal estado.

	BAJO	Terrenos planos o con poca pendiente, roca o suelo compacto y seco con alta capacidad portante. Terrenos estables, compuesto por suelos pocos deleznales. No amenazados por actividad volcánica o fenómenos morfodinamicos	Zonas con viviendas de materiales nobles, en buen estado de construcción. Población con un ingreso económico medio y alto, cultura de prevención en desarrollo, con cobertura de servicios básicos, con buen nivel de accesibilidad para atención de emergencias	Suelos aptos para uso urbano de alta densidad y para localización de equipamientos urbanos de importancia, tales como hospitales, grandes centros educativos, bomberos, cuarteles de policía, etc. Daños menores en las edificaciones
--	------	--	--	---

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. La problemática que afecta El barrio Santa Luisa de Marillac tiene su origen en la dinámica topografía, es decir, el terreno es plano en su mayoría de área pero al acercarse al borde de la ladera, en la vertiente de la quebrada aumente la inclinación de sus suelos creando laderas largas y empinadas que generan riesgo por deslizamiento, haciéndose necesario mitigar factores generadores, pues en el momento existen, y se pueden acelerar o aparecer nuevos focos erosivos, por lo que es necesario iniciar procesos de mitigación de riesgos con obras de infraestructura y/o bioingeniería.
2. A la orilla de la quebrada pasa la colectora de las aguas negras del sector, obras recientes de vital importancia para la recuperación ambiental del sitio, sin embargo, los cúmulos de llantas alteran el cauce original de la quebrada y pueden causar daños en dichas recamaras y ductor.
3. La problemática erosiva que se observa en la parte media de estas laderas tiene sus raíces en la comunidad que cambiaron la morfología del terreno para hacer, sin ningún concepto técnico muros de contención con llantas las cuales se desprendieron y aceleraron la aparición de focos erosivos que en este momento afecta principalmente las viviendas colindantes a este sitio. Además, la mayoría del escurrimiento superficial de los techos del barrio se direcciona en forma concentrada hacia este sector, acelerando la formación de deslizamientos.
4. Se debe de manejar la fuerte pendiente, recoger las aguas lluvias, revegetalizar y reforestar con especies nativas, además de construir zanjas de coronación, perfilar y construir muros de contención muy puntuales y obras de bioingeniería como trinchos, técnicamente bien contruidos, para los puntos más críticos que se ubican en la parte central de estas laderas.
5. La protección de la comunidad habitante obliga según los resultados de este estudio a priorizar la intervención de las zonas cercanas al punto de quiebre del talud con obras de contención en concreto y de bioingeniería o material vegetal vivo, donde se observe que los sectores de fuerte pendiente son muy susceptibles a la erosión.
6. El modelo de evaluación de la amenaza aplicado al barrio por deslizamientos presenta cuatro niveles de amenaza: bajo, medio, alto y muy alto. Sin embargo, el área de estudio se puede dividir de manera general en dos grados de amenaza que son los predominantes; alto en la parte central baja, de las laderas y un grado de amenaza muy alta en la parte alta y media de este mismo sitio.

7. El color verde, por amenazas, es poco evidente en la mayor parte del mapa, haciéndose visible hacia sectores norte y sur del caserío. Lo que indica que la pendiente y uso inadecuado de estos terrenos han acelerado la amenaza por deslizamiento en el sector.

8. En el barrio la problemática no es tanto de la acción de factores naturales originando focos erosivos, es la acción antrópica transformando la morfología y debilitando la estabilidad de la ladera. Las viviendas son un generador de riesgo por su ubicación en el quiebre de pendiente de la ladera, por las ampliaciones que han realizado hacia la ladera sin importar sus efectos, por su intervención tan negativa hacia la ladera y orilla de la quebrada, donde arrasaron con guaduales y árboles nativos que hacían de este sector un corredor biológico, lo que indica que todos sus recursos naturales han sido afectados negativamente por acción de sus habitantes.

9. La vegetación nativa presente en estas zonas de ladera es mínima, pues ha sido talada, es su mayor parte para la intervención con llantas y la implementación de cultivos limpios de café y plátano, sin embargo, se deben erradicar estos usos y acelerar la siembra de guadua en toda la franja de fuerte pendiente de la ladera y además sembrar especies arbóreas nativos, tipo arbustos como casco de buey, mata-ratón, Guayacán Nogal, etc. teniendo en cuenta que estas laderas forman parte del área de protección forestal de la quebrada.

10. A veces el desconocimiento se mezcla con el desinterés y es así como los habitantes de este barrio creen que al intervenir la ladera acumulando en ellas escombros y llantas además de erradicar cobertura vegetal y perfilar sus terrenos se está haciendo un buen manejo de sus suelos, de allí que sea necesario realizar capacitaciones de concientización sobre factores de riesgo y la influencia de la acción antrópica en la degradación de los suelos.

11. Se debe demoler las ampliaciones de las viviendas que pasan la quiebra de pendiente de la ladera y aplicar la norma ambiental en cuanto a la zona de retiro que debe ser mínimo de 30 metros a ambos lados desde el eje de la quebrada.

10. ANEXOS

Como complemento a este informe, se incluyen los siguientes anexos:



Ilustración 7 Anexo 1

Se identifica la presión que ejerce la comunidad sobre la ladera y sobre el poco gradual que aún persiste.



Ilustración 8 Anexo 2

Obsérvese la zona en la parte media de la ladera con total degradación de sus suelos por llantas, escombros y tala de árboles.



Ilustración 9 Anexo 3

Se identifica la tala de cobertura nativa y guadua a fin de sembrar cultivos limpios que solo degradan estos suelos de fuerte pendiente donde pueden seguir causando fenómenos de remoción en masa.



Ilustración 10 Anexo 4

Se identifica la pendiente de la ladera, la mala ubicación de las viviendas en el borde del talud y la deforestación a que ha sido sometida la microcuenca.



Ilustración 11 Anexo 5

El cauce de la quebrada esta obstruida por llantas y saturada de escombros creando un ambiente propicio para la socavación de orilla y el debilitamiento de la estructura de los taludes del sector.



Ilustración 12 Anexo 6

Obras de bioingeniería a orillas de la quebrada, como trinchos, totalmente degradados y dejando los suelos a nuevos eventos erosivos



Ilustración 13 Anexo 7

Se identifica los cúmulos de llantas que generan presión a la ladera y ponen en riesgo la ampliación de la vivienda observada. Estos elementos deben ser erradicados de la zona.



Ilustración 14 Anexo 8

Llantas, plásticos y otros elementos introducidos a la microcuenca afectan el equilibrio entre escorrentía e infiltración y aceleran la aparición de deslizamientos.



Ilustración 15 Anexo 9

Los cimientos expuestos al borde de la ladera indican el alto riesgo por deslizamiento a las que están expuestas las viviendas, según nuestro análisis; pero que a veces se hace tan evidente como en este caso.