



ESPECIALIZACIÓN EN PREVENCIÓN, REDUCCIÓN Y ATENCIÓN DE DESASTRES

**ANÁLISIS DE LA AMENAZA,
VULNERABILIDAD Y RIESGO POR
MOVIMIENTOS EN MASA EN LA
MICROCUENCA DE LA QUEBRADA
MONSERRATE, EN EL MUNICIPIO SANTA
ROSA DE CABAL - RISARALDA**

MÓNICA ÁLZATE, JUAN D. RAMÍREZ Y VIVIANA SÁNCHEZ



**Universidad[®]
Católica
de Manizales**

VIGILADA MINEDUCACIÓN

*Obra de Iglesia
de la Congregación*



**Hermanas de la Caridad
Dominicas de La Presentación
de la Santísima Virgen**

|

ANÁLISIS DE LA AMENAZA, Y VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA EN LA
MICROCUEENCA DE LA QUEBRADA MONSERRATE, EN EL MUNICIPIO SANTA ROSA DE CABAL –
RISARALDA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Nombre del programa
académico

Asesor

John Makario Londoño

Autores:

Mónica Álzate, Juan D. Ramírez y Viviana Sánchez

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES

FACULTAD DE ARQUITECTURA

ESPECIALIZACIÓN EN PREVENCIÓN, REDUCCIÓN Y ATENCIÓN DE DESASTRES

MANIZALES

2022

Tabla de Contenido

Tabla de Contenido	3
1. Introducción	10
2. Descripción del Problema	11
3. Planteamiento Del Problema	12
4. Justificación	13
5. Objetivos	13
5.1. Objetivo Principal	13
5.2. Objetivos Específicos	13
6. Contexto Geográfico	14
7. Antecedentes	15
8. Marco Normativo	18
8.1. Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres.	18
8.2. Artículo 80, Constitución de Colombia	18
8.3. Ley de Ordenamiento Territorial	18
8.4. Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial	19
8.5. Ley Antitrámites	19
8.6. Adopción Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres	19
8.7. Sector Vivienda, Ciudad y Territorio	20
9. Marco Conceptual	20
9.1. Afectado	22
9.2. Alerta	22
9.3. Amenaza	22
9.4. Amenaza Antrópica	23
9.5. Amenaza Natural	23
9.6. Amenaza Socio-Natural	23
9.7. Avenidas Torrenciales	24
9.8. Análisis de Riesgos	24
9.9. Análisis y Evaluación del Riesgo	24
9.10. Calamidad Pública	25
9.11. Cambio Climático	25
9.12. Concientización/Sensibilización Pública:	25
9.13. Conocimiento del Riesgo	25
9.14. Comunidad	26
9.15. Desarrollo Sostenible	26

9.16.	Desastre	26
9.17.	Emergencia	27
9.18.	Escenario de riesgo	27
9.19.	Evacuación	27
9.20.	Evaluación de Riesgos	27
9.21.	Evento	28
9.22.	Exposición (Elementos Expuestos)	28
9.23.	Gestión del Riesgo	28
9.24.	Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres	28
9.25.	Monitoreo del riesgo	29
9.26.	Movimientos en Masa	29
9.27.	Ordenamiento Territorial	29
9.28.	Plan de Evacuación	30
9.29.	Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica (POMCA)	30
9.30.	Preparación	30
9.31.	Prevención de Riesgo	31
9.32.	Quema	31
9.33.	Resiliencia	31
9.34.	Riesgo Aceptable	31
9.35.	Riesgo de Desastres	32
9.36.	Servicios de Emergencia	32
9.37.	Seguridad Territorial	32
9.38.	Sismo	32
9.39.	Sistemas de Alerta Temprana	33
9.40.	Vulnerabilidad	33
10.	Marco Teórico	34
10.1.	Cálculo Nivel de la Amenaza	35
10.1.1.	Caracterización Histórica de Eventos Amenazantes	36
10.1.2.	Evaluación de la Amenaza por Movimientos en Masa	36
11.	Análisis de la Amenaza por Movimientos en Masa	37
11.1.	Análisis del Cálculo Vulnerabilidad	37
11.2.	Cálculo de los Niveles de Riesgo	39
12.	Metodología	39
12.1.	Revisión Bibliográfica	41
12.2.	Identificación de la amenaza ante movimientos en masa	42
	Pendiente de la Ladera	43
	Rugosidad	44

	Curvatura	44
	Curvatura de Perfil	45
	Curvatura en Planta	45
	Orientación de la Pendiente	46
	Geología	47
	Unidad Geológica Superficiales (UGS)	47
	Geomorfología	48
	Fallas	48
	Índice Geológico de la Roca (GSI)	49
	Calidad del Macizo Rocosó	49
	Cobertura Vegetal	50
	Distancia a Drenajes (distdrena)	51
	Distancia a Vías	51
	Densidad de Movimientos en Masa	51
13.	Resultados	55
13.1.	Caracterización Histórica de Eventos Amenazantes	55
13.2.	Evaluación de la Amenaza por Movimientos en Masa	56
13.3.	Pendiente de la Ladera	57
13.4.	Rugosidad	58
13.5.	Curvatura	60
13.6.	Curvatura de Perfil	61
13.7.	Curvatura en Planta	62
13.8.	Orientación de la Pendiente	63
13.8.	Geología	65
13.8.1.	Stock Diorítico de Santa Rosa (Kds)	65
13.8.2.	Flujos de Lodo Volcánico (Qflv)	65
14.	Unidad Geológica Superficiales (UGS)	67
14.1.	Suelo Residual de Roca Ígnea Intrusiva Stock Gábrico de Santa Rosa (Srii)	67
14.2.	Depósitos de flujos de lodo volcánicos (Stv6)	67
14.3.	Depósitos de ceniza volcánica (Stv1)	68
14.4.	Coluviones (Strc1)	69
14.5.	Rellenos de excavaciones, escombros o botaderos. (Strae)	69
14.6.	Geomorfología	71
14.7.	Fallas	73
14.8.	Índice Geológico de la Roca (GSI)	75
14.9.	Calidad del Macizo Rocosó	77
14.10.	Cobertura Vegetal	78

14.11.	Distancia a Drenajes (distdrena)	80
14.12.	Distancia a Vías	82
14.13.	Densidad de Movimientos en Masa	83
14.14.	Mapa de Susceptibilidad ante Movimientos en Masa	85
14.15.	Análisis de la amenaza por movimientos en masa	86
14.15.1.	Detonante por Precipitaciones Máximas	86
14.15.2.	Detonante Sismo	87
14.16.	Análisis de la Amenaza por Movimientos en Masa	88
14.17.	Vulnerabilidad a los Movimientos en Masa	90
14.17.1.	Elementos Expuestos en la Cuenca	91
14.18.	Análisis de la Vulnerabilidad a Partir del Uso de un Modelo de Índices e	
Indicadores	91	
	Índice de Pérdida o Índice de Exposición (IP).	92
	Índice de Fragilidad (IF).	93
	Fragilidad Física.	93
	Fragilidad Socio-Cultural.	93
	Calidad de Vida (ICV) y la Dimensión Cultural.	93
	Fragilidad Ecosistémica.	94
	Índice de Resiliencia (IR).	96
14.19.	Análisis de la Vulnerabilidad	97
14.20.	Análisis del Riesgo	99
15.	Conclusiones	102
16.	Bibliografía	108

Tabla de Figuras

Figura 1	Mapa de Ubicación	15
Figura 2	Mapa de Amenaza	17
Figura 3	Diagrama Metodológico Zonificación de Amenazas por Movimientos en Masa	41
Figura 4	Ilustración del Procesamiento en la herramienta Line Density	52
Figura 5	Diagrama Metodológico Zonificación de Vulnerabilidad por Movimientos en Masa	53
Figura 6	Diagrama Metodológico Zonificación del Riesgo por Movimientos en Masa	54
Figura 7	Ubicación de Movimientos en Masa Históricos	55
Figura 8	Modelo Digital del Terreno (DEM) Área de la Microcuenca	56

Figura 9 Calificación de la Pendiente de Ladera	57
Figura 10 Izq. Mapa de Pendientes. Der. Mapa de Susceptibilidad por Pendientes	58
Figura 11 Izq. Mapa de Rugosidad. Der. Mapa de Susceptibilidad por Rugosidad	59
Figura 12 Izq. Mapa de Curvatura. Der. Mapa de Susceptibilidad por Curvatura	61
Figura 13 <i>Izq. Mapa de Curvatura de Perfil. Der. Mapa de Susceptibilidad por Curvatura de Perfil</i>	61
Figura 14 <i>Izq. Mapa de Curvatura en Planta. Der. Mapa de Susceptibilidad por Curvatura en Planta</i>	63
Figura 15 Izq. Mapa de Orientación de Ladera. Der. Mapa de Susceptibilidad por Orientación de Ladera	64
Figura 16 <i>Izq. Mapa Geología Local Microcuenca Der. Mapa Calificación Susceptibilidad Geología</i>	66
Figura 17 Izq. Mapa de Unidades Geológicas Superficiales UGS Der. Mapa Clasificación Susceptibilidad Unidades Geológicas Superficiales UGS	71
Figura 18 Izq. Mapa Subunidades Geomorfológicas. Der. Mapa Clasificación Susceptibilidad Subunidades Geomorfológicas.....	73
Figura 19 <i>Mapa Clasificación Susceptibilidad Distancia Lineamiento</i>	74
Figura 20 <i>Mapa Clasificación Susceptibilidad GSI</i>	76
Figura 21 <i>Mapa de Calidad del Macizo Rocoso</i>	78
Figura 22 Izq. Mapa de Coberturas Vegetal Der. Calificación de la Susceptibilidad por Tipo de Cobertura	80
Figura 23 <i>Mapa de Distancia Drenajes</i>	81
Figura 24 <i>Mapa de Distancia Vías</i>	83
Figura 25 <i>Izq. Mapa de Densidad de Movimientos en Masa. Der. Mapa de Susceptibilidad por Densidad de Movimientos en Masa</i>	84
Figura 26 <i>Mapa de Susceptibilidad ante Movimientos en Masa</i>	85
Figura 27 <i>Mapa detonante por Precipitaciones Máximas en 24horas</i>	87
Figura 28 <i>Mapa de Amenaza Sísmica para el Municipio de Santa Rosa de Cabal</i>	88

|

Figura 29 Mapas de Amenaza Relativa por Cada Detonante	90
Figura 30 Mapa de Vulnerabilidad ante Movimientos en Masa.....	98
Figura 31 Mapa de Riesgo ante Movimientos en Masa	99
Figura 32 Análisis por Riesgo Cualitativo	100

Lista de Tablas

Tabla 1 Categorización de la Pendiente de Ladera.....	43
Tabla 2 Categorización de la Rugosidad	44
Tabla 3 Categorización de la Curvatura	45
Tabla 4 Categorización de la Curvatura de Perfil	45
Tabla 5 Categorización de la Curvatura en Planta	46
Tabla 6 Categorización de la Orientación de la Pendiente.....	46
Tabla 7 Categorización del Tipo de Unidad Geológica	47
Tabla 8 Categorización Unidad Geológica Superficiales (UGS)	48
Tabla 9 Clasificación Geomecánica de Calidad del Macizo Rocoso de Protodyakonov	50
Tabla 10 Calificación de la Rugosidad.....	59
Tabla 11 Calificación de la Curvatura	60
Tabla 12 Calificación de la Curvatura de Perfil.....	61
Tabla 13 Calificación de la Curvatura en Planta.....	62
Tabla 14 Calificación de la Orientación de la Pendiente	63
Tabla 15 Calificación de la Susceptibilidad del Tipo de Unidad Geológica	66
Tabla 16 Calificación de la Susceptibilidad para UGS	70
Tabla 17 Calificación de la Susceptibilidad por UGS	72
Tabla 18 Calificación y Categorización Susceptibilidad del Lineamiento.....	74
Tabla 19 Caracterización del Macizo Rocoso en Función de los Bloques, la Trabazón y las Condiciones de las Juntas. Adaptada de Hoek (2006).....	75
Tabla 20 Clasificación de la Susceptibilidad por GSI	76

Tabla 21 Clasificación de la Susceptibilidad por Calidad de la Roca.....	77
Tabla 22 Calificación de la Susceptibilidad del tipo de Cobertura a Movimientos en Masa	79
Tabla 23 Calificación y Categorización de la Distancia Drenajes	81
Tabla 24 Calificación y Categorización de la Distancia Vías.....	82
Tabla 25 Calificación y categorización de la Densidad de Movimientos en Masa	84
Tabla 26 Análisis de la Susceptibilidad ante Movimientos en Masa	85
Tabla 27 Elementos Expuestos en la Cuenca.....	91
Tabla 28 Índice de fragilidad física	93
Tabla 29 Valor Calidad de Vida (ICV) y la Dimensión Cultural.....	94
Tabla 30 Fragilidad de Ecosistemas Estratégicos.....	95
Tabla 31 Índice Final de Fragilidad.....	95
Tabla 32 Indicador de la Falta de Resiliencia económica	96
Tabla 33 Índice de Vulnerabilidad.....	98
Tabla 34 Cálculos Riesgo Cualitativo	100
Tabla 35 Estrategias para Reducir Riesgo de Desastres ante Movimientos en Masa	102

1. Introducción

Los movimientos en masa ocurren en todo el mundo, en todas las condiciones climáticas y en todo tipo de terrenos, produciendo miles de millones de pérdidas monetarias, y causando miles de muertos y heridos cada año. A menudo causan perturbaciones económicas, desplazamiento de la población y efectos negativos sobre el medio ambiente. (Servicio Geológico de los Estados Unidos, 2008)

Según la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), a partir del Mapa Nacional de Amenaza por Movimientos en Masa elaborado por el Servicio Geológico Colombiano y de los resultados del Censo Nacional de Población y Vivienda DANE (2018), se puede indicar que más del 80% de la población se encuentra expuesta a amenaza alta y muy alta por movimientos en masa.

Santa Rosa de Cabal, por su ubicación, características topográficas, geológicas geomorfológicas y demás factores tanto intrínsecos como externos hace que este territorio sea susceptible a generar movimientos en masa. Es así como en el área que comprende la Microcuenca Monserrate se observan un número considerado de movimientos en masa activos y otros pocos inactivos, que demuestra la alta susceptibilidad que presenta a movimientos en masa. Es de resaltar que esta microcuenca se ubica muy cerca al límite urbano del municipio y se proyecta como zona de expansión de la misma; la planeación municipal en la actualidad es deficiente y antigua, razón por la cual no se dimensiona los peligros geológicos y los posibles daños potenciales para las comunidades asentadas actualmente en el territorio y para los desarrollos urbanísticos futuros.

Por esto que se hace necesario generar nuevo conocimiento sobre las condiciones especiales que posee este territorio en cuanto a la amenaza, y vulnerabilidad por movimientos en masa, que ayude y cree conciencia en las autoridades municipales encargadas de la

|

planificación y toma de decisiones encaminado políticas y mandatos que en primera instancia permita adoptar precauciones y medidas simples que garantice la seguridad de la población.

2. Descripción del Problema

A nivel mundial los movimientos en masa han sido un problema que ha afectado de manera grave las zonas de ladera donde la acción de procesos erosivos es común. La susceptibilidad por movimientos en masa no sólo depende de los procesos erosivos sino también de otros factores como la acción de las lluvias que modifican los atributos físicos de los terrenos en general.

Las actividades antrópicas, especialmente las prácticas agrícolas, también son aspectos de suma importancia. Adicionalmente, los movimientos en masa ocasionan afectaciones en la propiedad pública y privada, generando alteraciones en los sistemas de vida productivos; así como, daños y obstrucciones en la infraestructura vial. Pérdidas humanas y económicas generadas por movimientos en masa se presentan cada año en todos los países del mundo, sin embargo, el nivel de impacto varía considerablemente de acuerdo con las condiciones geológicas locales y la vulnerabilidad socio-económica (Alcántara - Ayala, 2002; Harp et al., 2009). Datos presentados por (Sidle y Ochiai, 2006) señalan al continente asiático con el de mayor número de víctimas, donde Nepal sobresale con 186 víctimas mortales por año, en Latinoamérica, Brasil ocupa el primer lugar con un promedio de 88 personas muertas por año. En términos económicos Japón es la nación más afectada por movimientos en masa, con un estimado de pérdidas de 4 mil millones de dólares anuales (Cruden et al. 1989; Schuster, 1996; Schuster y Highland, 2001; Sidle y Ochiai, 2006).

Colombia es un país que ha sido erigido principalmente en la cordillera de los andes, donde la topografía y relieve son bastante irregular y quebrada, lo cual promueve por intervenciones de infraestructura de distinta índole y por la natural disposición del terreno a que los movimientos en masa se manifiesten, siendo una problemática relevante y consecuente a

|

considerar en el desarrollo del país. De acuerdo con datos proporcionados por la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), en los últimos 100 años en Colombia se han registrado más de 11.800 eventos asociados a movimientos en masa. Debido a estos, cerca de 7.590 personas han perdido la vida y aproximadamente 239.740 familias se han visto afectadas.

La microcuenca de la Quebrada Monserrate en el municipio de Santa Rosa de Cabal (Risaralda) se encuentra en un posible lineamiento geológico que fomenta la inestabilidad de los taludes circundantes, además de las fuertes pendientes del sector, más la pluviosidad recurrente del territorio y las intervenciones antrópicas de la zona, que se suman como factores preponderantes para la gestación de movimientos en masa que ponen en un posible riesgo a los habitantes del lugar.

Aunque en la zona se evidencian numerosos movimientos en masa tanto recientes como antiguos, son varios los asentamientos urbanos cercanos y en crecimiento que se observan, pero al no contar con un ordenamiento claro este permite una expansión no controlada, además, no se cuenta con información que permita establecer mecanismos de prevención y reducción ante la ocurrencia de un desastre ni de estudios detallados que permitan evaluar la amenaza o información sobre características físico-sociales de la población allí asentada.

3. Planteamiento Del Problema

¿Cuál es el nivel de amenaza, y vulnerabilidad y riesgo físico – social por movimientos en masa en la microcuenca de la quebrada Monserrate del municipio de Santa Rosa de Cabal?

4. Justificación

Debido a que el municipio de Santa Rosa de Cabal (Risaralda) satisface las condiciones geofísicas descritas previamente, las cuales lo hacen un territorio susceptible a amenazas por movimientos en masa, uno de los aportes principales de este tipo de estudios será el pretender salvaguardar los medios de vida de los habitantes del sector, al proporcionar información técnica en cuanto a riesgo, vulnerabilidad y capacidades. Usualmente los estudios de riesgo por movimientos en masa evalúan la vulnerabilidad con un análisis enfocado a la vulnerabilidad. A través de la generación de nueva información que pueda ser utilizada como herramienta técnica que ayude en la toma de decisiones al momento de gestionar y ordenar el territorio.

5. Objetivos

5.1. Objetivo Principal

- Realizar el análisis de la amenaza, y vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa de la microcuenca de la quebrada Monserrate en el municipio de Santa Rosa de Cabal (Risaralda) usando herramientas SIG y sensores remotos con el fin de hacer una lectura actual del territorio y promover la gestión integral de riesgos y el desarrollo sostenible.

5.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar los diferentes componentes de la amenaza y aplicar una metodología para la evaluación de la amenaza por movimientos en masa usando Sistemas de Información Geográfica (SIG) y sensores remotos en el área.
- Calcular el riesgo por movimientos en masa en la zona de estudio.
- Analizar los resultados encontrados de amenaza y vulnerabilidad para realizar recomendaciones para la reducción de riesgo ante movimientos en masa.

6. Contexto Geográfico

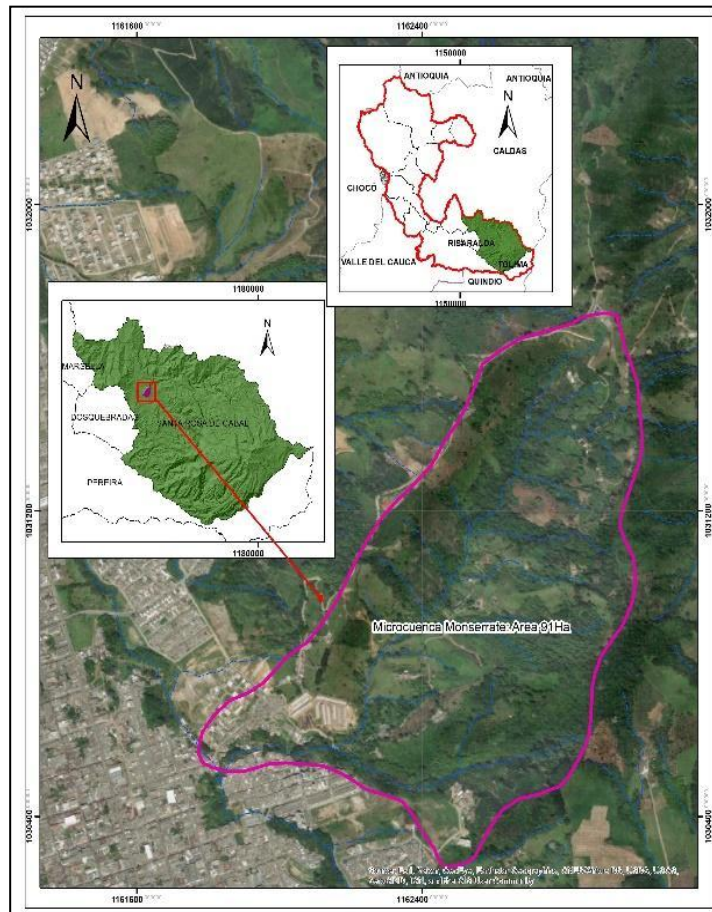
Santa Rosa de Cabal se sitúa en la región andina colombiana, al nororiente del Departamento de Risaralda en las coordenadas 4 grados 52 minutos latitud norte y 75 grados 37 minutos de longitud oeste. Pertenece a la subregión uno (1) conjuntamente con los municipios de Pereira, Dosquebradas y Marsella. Su cabecera municipal se encuentra a 1840 metros sobre el nivel del mar y a una distancia de 15 km de Pereira. El municipio tiene una superficie de 564 km² con un clima templado de montaña, con temperatura promedio de 19°C.

Figura 1

A Santa Rosa la riegan los ríos Campoalegre, Otún, San Eugenio, San José, San Juan, Campo Alegrito, Barbo y San Ramón, además de numerosas corrientes menores. La Microcuenca Monserrate hace parte de estas corrientes menores, dentro sectorización Hídrica realizada por CARDER se encuentra en la subcuenca hidrográfica del Río San Eugenio y dentro de la franja hidrográfica San Eugenio Cuenca Alta Media. El municipio pertenece a la región llamada eje cafetero y su economía gira alrededor del café; aunque en los últimos años ha aumentado la actividad turística.

Figura 1

Mapa de Ubicación



7. Antecedentes

El municipio de Santa Rosa de Cabal presenta frecuentemente eventos por movimientos en masa, a principios de este año, ante la primera temporada invernal en el municipio fue declarada la calamidad pública con el objetivo de gestionar recursos para adelantar obras de mitigación y brindar atención humanitaria a las familias damnificadas esto ante el riesgo de ocurrencia de deslizamientos de tierra, debido a la inestabilidad de los terrenos. Los diferentes estudios que se han realizado en la zona se describen a continuación:

En el año 2012 la gobernación de Risaralda realizó el Plan Departamental para la gestión del riesgo de desastres del departamento. En este realizan una identificación de

|

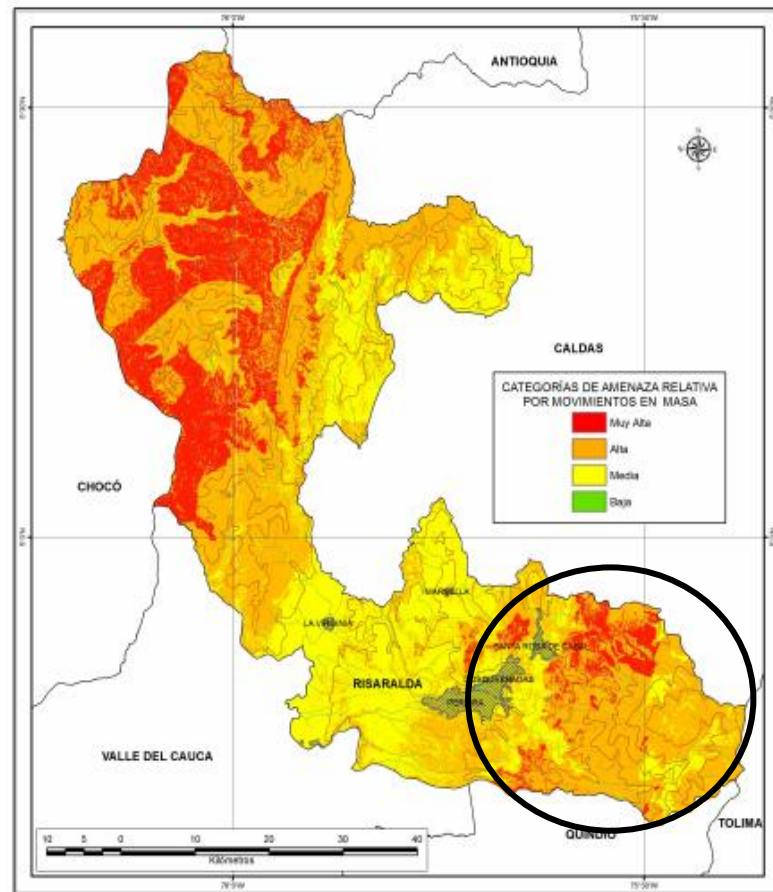
amenazas a partir de registros históricos donde Santa Rosa de Cabal destaca como uno de los municipios más afectados por deslizamientos, en cuanto a la vulnerabilidad aplican la metodología propuesta para el SNPAD en la Guía Metodológica para la Formulación del PLEC -Evaluación Local de la vulnerabilidad, pero no se presentan resultados claros que permitan establecer el grado de vulnerabilidad del municipio.

(Gómez et al., 2013), realizaron el trabajo denominado SIG para determinar la susceptibilidad a movimientos en masa en la cuenca del Río Campoalegre, localizada entre los municipios de Santa Rosa de Cabal en Risaralda y de Chinchiná, Villamaría y Palestina en el departamento de Caldas. En este trabajo realizaron un análisis de la susceptibilidad a partir de un análisis multicriterio de jerarquías de las variables de usos de suelo, geología, fallas, pendientes y precipitaciones, arrojando los valores más altos de susceptibilidad para zonas con pendientes y precipitaciones principalmente hacia la parte que pertenece al municipio de Santa Rosa de Cabal.

En el 2015 se desarrolló la guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:25.000 (Servicio Geológico Colombiano, 2015), donde identificó que aproximadamente un 50% del territorio nacional se encuentra en una categoría de amenaza baja. De manera local los resultados evidencian que Santa Rosa de Cabal se encuentra con 66% de su territorio con amenaza alta por movimientos en masa, concentrada en su gran mayoría el suelo rural.

Figura 2

Mapa de Amenaza



Nota. Mapa de amenaza relativa del departamento de Risaralda. Tomado (Servicio Geológico Colombiano, 2015).

El POMCA Río Campoalegre realizado en el 2020 en su fase diagnóstico realizan un análisis sobre la gestión del riesgo evaluando entre otros el evento amenazante por movimientos en masa, a partir de una caracterización histórica de los eventos, de la evaluación de la susceptibilidad, del análisis de la amenaza y vulnerabilidad por exposición, fragilidad y resiliencia y el análisis de riesgo. Santa Rosa ocupa el 53% del total de la cuenca. En el documento se resalta los sectores que presentan afectaciones por movimientos en masa como Guacas, La María y Monserrate, seguidamente establecen que el municipio presenta niveles de

|

susceptibilidad alta y media. En cuanto a la amenaza también registran para Santa Rosa con casi 50% del territorio bajo amenaza alta y media. Este instrumento de planificación además describe de forma precisa el paso a paso para la descripción y realización de cada etapa de la gestión del riesgo.

8. Marco Normativo

8.1. Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres.

Instrumento sucesor del Marco de Acción de Hyogo (2005-2015) en cual se tomaron acciones para el aumento de la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres. Tras una serie de consultas con varios grupos interesados que dieron inicio en marzo de 2012, ofrece a los Estados miembros en una serie de acciones concretas reiteraron su responsabilidad de abordar la reducción del riesgo de desastres y el aumento de la resiliencia ante los desastres con un transformado sentido de urgencia en el enfoque del desarrollo sostenible y eliminación de la pobreza, y abordar la reducción del riesgo de desastres como el aumento de la resiliencia en las políticas, los planes, los programas y los presupuestos a todos los niveles y de examinar ambas cuestiones en los marcos pertinentes. Referencia el marco. (Conferencia Mundial de las Naciones Unidas sobre la Reducción del Riesgo de Desastres 14 al 18 de marzo de 2015: Marco de Sendai (2015-2030)).

8.2. Artículo 80, Constitución de Colombia

En la cual se define la prevención de Riesgos como concepto de Planificación para garantizar su desarrollo sostenible, y consagra entre otros el derecho a la vida y los derechos colectivos y del ambiente, a gozar de un ambiente sano en donde la comunidad participe en las decisiones que puedan afectar. (Constitución Política de Colombia de 1991, Artículo 80)

8.3. Ley de Ordenamiento Territorial

enmarca la creación e implementación de los Planes de Ordenamiento Territorial y los instrumentos para regular el suelo en función de la organización, desarrollo del territorio.

|

Orientar las acciones públicas y privadas en materia de desarrollo urbano, garantizando que el uso del suelo sea sostenible y asegurar la participación ciudadana. (Ley de Ordenamiento Territorial, Ley 388 de 1997)

8.4. Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial

La finalidad del ordenamiento territorial es promover el aumento de la capacidad de descentralización, planeación, gestión y administración de sus propios intereses para las entidades e instancias de integración territorial, La misma ley establece las atribuciones, los órganos de administración, y los recursos de las regiones y su participación en el manejo de los ingresos provenientes del fondo nacional de regalías. Igualmente definirá los principios para la adopción del estatuto especial de cada región. (Normas orgánicas sobre ordenamiento territorial y se modifican otras disposiciones, Ley 1454 de 2011)

8.5. Ley Antitrámites

Incorporación de la gestión del riesgo en la revisión de los planes de ordenamiento territorial, sólo procederá la revisión de los contenidos de mediano y largo plazo del plan de ordenamiento territorial o la expedición del nuevo plan de ordenamiento territorial cuando se garantice la delimitación y las condiciones y escalas de detalle para la delimitación y zonificación de las áreas de amenaza y de las áreas con condiciones de riesgo además de la determinación de las medidas específicas para su mitigación teniendo en cuenta la denominación de los planes de ordenamiento territorial, zonificación de las áreas de amenaza y la delimitación, la cual deberá incluirse en la cartografía correspondiente. (Decreto 1807 de 2014 Reglamenta el Art. 189 del Decreto 019 de 2012)

8.6. Adopción Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres

Numeral 10 Artículo 3, considera que la gestión del riesgo se despliega de manera continua, mediante procesos secuenciales en tiempos y alcances que se renuevan permanentemente. Dicha gestión continuada estará regida por los principios de gestión pública

|

y debe entenderse a la luz del desarrollo político, histórico y socioeconómico de la sociedad que se beneficia.

Artículo 39, establece que los planes de ordenamiento territorial deberán integrar el análisis del riesgo en el diagnóstico biofísico, económico y socio ambiental y considerar el riesgo de desastres, como un condicionante para el uso y la ocupación del territorio, procurando de esta forma evitar la configuración de nuevas condiciones de riesgo.

Artículo 41, estableció que los organismos de planificación siguiendo las orientaciones y directrices del plan nacional de gestión del riesgo, incluirían las disposiciones y recomendaciones sobre el tema y muy especialmente lo referido a la incorporación del riesgo de desastre como una determinante en los planes de ordenamiento territorial. (Política Nacional del Gestión de Riesgo de desastres, Ley 1523 de 2012)

8.7. Sector Vivienda, Ciudad y Territorio

Libro 2. Parte 2. Título 2. Capítulo 1. Sección 3 “Incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento Territorial”. Se describen varias subsecciones donde se establecen las condiciones técnicas para elaboración de estudios técnicos básicos o detallados para la incorporación de la gestión del riesgo en la planificación territorial, en estos se delimitan y zonifican las áreas de amenaza, de riesgo, pero además se establecen determinaciones encaminadas a establecer restricciones que se verán concretadas a través de la expedición de normas urbanísticas. (Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio, Decreto 1077 de 2015)

9. Marco Conceptual

En los últimos años, el enfoque y marco conceptual que rige el tema de amenazas, vulnerabilidades, riesgos y desastres ha ido evolucionando, desde un enfoque clásicamente de atención a la emergencia, hacia un enfoque de gestión integral de riesgos y desastres.

El enfoque de gestión integral de riesgo promueve el vínculo entre riesgos y desarrollo, como herramienta para aumentar las condiciones de seguridad y dar sostenibilidad de los procesos de desarrollo.

Este enfoque plantea que el problema no son los desastres en sí mismos, sino que el efecto de las condiciones del riesgo existentes en nuestros países. Plantea además que el riesgo es el resultado de un proceso dinámico y continuo que se construye paralelamente a los procesos de desarrollo, como consecuencia de no considerar las limitantes del territorio o no dimensionar los impactos de las acciones (proyectos, políticas, etc.) sobre el territorio.

La gestión de riesgo está dirigida a la transformación de las condiciones de riesgo preexistentes con la finalidad de reducir (de manera progresiva) la ocurrencia de futuros desastres. La existencia de condiciones de riesgo, está determinado por la amenaza de que se presente un fenómeno peligroso de origen natural o humano, y por la existencia de condiciones de vulnerabilidad. Por tanto, es importante caracterizar y dimensionar las amenazas y además identificar, analizar y entender las condiciones de vulnerabilidad, con el fin de eliminar y disminuir la probabilidad de que ocurra un desastre. El Riesgo no manejado o no identificado, no conocido y sobre el cual no se actúa adecuadamente favorece o facilita la ocurrencia de desastres.

La gestión del riesgo es un proceso de decisión y de planificación, sobre la base del conocimiento del riesgo existente, que les permite a los actores sociales analizar su entorno, tomar de manera consciente decisiones y desarrollar propuestas de intervención concertadas tendientes a prevenir, mitigar o reducir los riesgos existentes, y en esta medida, encaminarse hacia un proceso de DESARROLLO SOSTENIBLE garantizado por el aumento de las condiciones de seguridad.

A continuación, se expone el glosario conceptual a fin a este documento, con base en la terminología de la gestión de riesgos de desastres y fenómenos amenazantes elaborado en 2017 por el SNGRD:

9.1. Afectado

Personas afectadas de forma directa o indirectamente por un evento amenazante. Los afectados directamente son quienes presentan lesiones, enfermedades u otros efectos en la salud, quienes fueron evacuados o desplazados, reubicados o quienes han sufrido daños directos en sus medios de sustento y bienes económicos, físicos, sociales, culturales y ambientales. Los afectados indirectamente, son personas quienes han sufrido consecuencias (distintas a los efectos directos) a través del tiempo, debido a la interrupción o cambios con consecuencias psicológicas, sociales y de salud, en la economía, infraestructura indispensable, servicios básicos, comercio y trabajo (Asamblea General de las Naciones Unidas, 2016).

9.2. Alerta

Estado que se declara con anterioridad a la manifestación de un evento peligroso, con base en el monitoreo del comportamiento del respectivo fenómeno, con el fin de que las entidades y la población involucrada activen procedimientos de acción previamente establecidos (Ley 1523 de 2012).

9.3. Amenaza

Peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales (Ley 1523 de 2012).

9.4. Amenaza Antrópica

Peligro latente generado por la actividad humana en la producción, distribución, transporte y consumo de bienes y servicios y en la construcción y uso de infraestructura y edificios. Comprenden una gama amplia de peligros como lo son las distintas formas de contaminación de aguas, aire y suelos, los incendios, las explosiones, los derrames de sustancias tóxicas, los accidentes en los sistemas de transporte, la ruptura de presas de retención de agua, etc. (Lavell, 2007).

9.5. Amenaza Natural

Peligro latente asociado con la posible manifestación de un fenómeno físico cuya génesis se encuentra totalmente en los procesos naturales de transformación y modificación de la tierra y el ambiente- por ejemplo, un terremoto, una erupción volcánica, un tsunami o un huracán y que puede resultar en la muerte o lesiones a seres vivos, daños materiales o interrupción de la actividad social y económica en general. Suelen clasificarse de acuerdo con sus orígenes terrestres, atmosféricos, o biológicos (en la biosfera) permitiendo identificar entre otras, amenazas geológicas, geomorfológicas, climatológicas, hidrometeorológicas, oceánicas y bióticas (Lavell, 2007).

9.6. Amenaza Socio-Natural

Peligro latente asociado con la probable ocurrencia de fenómenos físicos cuya existencia, intensidad o recurrencia se relaciona con procesos de degradación o transformación ambiental y/o de intervención humana en los ecosistemas. Ejemplos de estos pueden encontrarse en inundaciones y deslizamientos resultantes de, o incrementados o influenciados en su intensidad, 39 por procesos de deforestación y deterioro de cuencas; erosión costera por la destrucción de manglares; inundaciones urbanas por falta de adecuados sistemas de drenaje de aguas pluviales. Las amenazas socio-naturales se crean en la intersección del ambiente natural con la acción humana y representan un proceso de conversión de recursos naturales en

|

amenazas. Los cambios en el ambiente y las nuevas amenazas que se generan con el Cambio Climático Global son el ejemplo más extremo de la noción de amenaza socio-natural. Las amenazas socio-naturales mimetizan o asuman las mismas características que diversas amenazas naturales (Lavell, 2007).

9.7. Avenidas Torrenciales

Es un flujo muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados, no plásticos (Índice de plasticidad menor que 5%), que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada (Hunger, et. al. 2001). Es uno de los movimientos en masa más peligrosos debido a sus características de ocurrencia súbita, altas velocidades y grandes distancias de viaje.

9.8. Análisis de Riesgos

Proceso de comprender la naturaleza del riesgo para determinar el nivel de riesgo, es la base para la evaluación de riesgos y las decisiones sobre las medidas de reducción del riesgo y preparación para la respuesta. Incluye la estimación del riesgo (ISO/IEC, 2009).

9.9. Análisis y Evaluación del Riesgo

Implica la consideración de las causas y fuentes del riesgo, sus consecuencias y la probabilidad de que dichas consecuencias puedan ocurrir. Es el modelo mediante el cual se relaciona la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos sociales, económicos y ambientales y sus probabilidades. Se estima el valor de los daños y las pérdidas potenciales, y se compara con criterios de seguridad establecidos, con el propósito de definir tipos de intervención y alcance de la reducción del riesgo y preparación para la respuesta y la recuperación (Ley 1523 de 2012).

9.10. Calamidad Pública

Es el resultado que se desencadena de la manifestación de uno o varios eventos naturales o antropogénicos no intencionales que al encontrar condiciones propicias de vulnerabilidad en las personas, los bienes, la infraestructura, los medios de subsistencia, la prestación de servicios o los recursos ambientales, causa daños o pérdidas humanas, materiales, económicas o ambientales, generando una alteración intensa, grave y extendida en las condiciones normales de funcionamiento de la población, en el respectivo territorio, que exige al municipio, distrito o departamento ejecutar acciones de respuesta a la emergencia, rehabilitación y reconstrucción (Ley 1523 de 2012).

9.11. Cambio Climático

Importante variación estadística en el estado medio del clima o en su variabilidad, que persiste durante un período prolongado (normalmente decenios o incluso más). El cambio climático se puede deber a procesos naturales internos o a cambios del forzamiento externo, o bien a cambios persistentes antropogénicos en la composición de la atmósfera o en el uso de las tierras (Ley 1523 de 2012).

9.12. Concientización/Sensibilización Pública:

El grado de conocimiento común sobre el riesgo de desastres, los factores que conducen a éstos y las acciones que pueden tomarse individual y colectivamente para reducir la exposición y la vulnerabilidad frente a las amenazas (Oficina de las Naciones Unidas para Reducción de Riesgo de Desastres, 2009).

9.13. Conocimiento del Riesgo

Es el proceso de la gestión del riesgo compuesto por la identificación de escenarios de riesgo, el análisis y evaluación del riesgo, el monitoreo y seguimiento del riesgo y sus componentes y la comunicación para promover una mayor conciencia del mismo que alimenta los procesos de reducción del riesgo y de manejo de desastre (Ley 1523 de 2012).

9.14. Comunidad

Grupo de personas que se localiza en un espacio determinado y establecen vínculos espontáneos de solidaridad contruidos en el tiempo. Esta interacción hace posible que se generen elementos de identidad que favorecen la cohesión y el auto reconocimiento del grupo. Los intereses de la comunidad se sobreponen a los intereses particulares para el logro de objetivos comunes. Por su parte, una comunidad vulnerable es aquella que, ante un evento extremo, puede recibir mayor afectación, debido a factores como la localización y a la incapacidad para implementar acciones de prevención y adaptación orientadas a la recuperación de sus medios de subsistencia en el corto plazo (Méndez, sf).

9.15. Desarrollo Sostenible

Desarrollo que satisface las necesidades de la presente generación, promueve el desarrollo económico, la equidad social, la modificación constructiva de los ecosistemas y el mantenimiento de la base de los recursos naturales, sin deteriorar el medio ambiente y sin afectar el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para satisfacer sus propias necesidades (MADS, 2012).

9.16. Desastre

Es el resultado que se desencadena de la manifestación de uno o varios eventos naturales o antropogénicos no intencionales que al encontrar condiciones propicias de vulnerabilidad en las personas, los bienes, la infraestructura, los medios de subsistencia, la prestación de servicios o los recursos ambientales, causa daños o pérdidas humanas, materiales, económicas o ambientales, generando una alteración intensa, grave y extendida en las condiciones normales de funcionamiento de la sociedad, que exige del Estado y del sistema nacional ejecutar acciones de respuesta a la emergencia, rehabilitación y reconstrucción (Ley 1523 de 2012).

9.17. Emergencia

Situación caracterizada por la alteración o interrupción intensa y grave de las condiciones normales de funcionamiento u operación de una comunidad, causada por un evento adverso o por la inminencia del mismo, que obliga a una reacción inmediata y que requiere la respuesta de las instituciones del Estado, los medios de comunicación y de la comunidad en general (Ley 1523 de 2012).

9.18. Escenario de riesgo

Son fragmentos o campos delimitados de las condiciones de riesgo del territorio presentes o futuras, que facilitan tanto la comprensión y priorización de los problemas como la formulación y ejecución de las acciones de intervención requeridas. Un escenario de riesgo se representa por medio de la caracterización y/o análisis de los factores de riesgo, sus causas, la relación entre las causas, los actores causales, el tipo y nivel de daños que se pueden presentar, la identificación de los principales factores que requieren intervención, así como las medidas posibles a aplicar y los actores públicos y privados que deben intervenir en la planeación, ejecución y control de las líneas de acción.

9.19. Evacuación

Traslado temporal de personas y bienes a sitios seguros, antes, durante o después de la ocurrencia de un fenómeno amenazante para protegerlos (a partir de Asamblea General de las Naciones Unidas, 2016).

9.20. Evaluación de Riesgos

Proceso de comparación de los resultados de análisis de riesgos con criterios de riesgo para determinar si el riesgo y/o su magnitud es aceptable, el cual ayuda a la decisión sobre las medidas de reducción del riesgo a implementar (ISO/IEC, 2009).

9.21. Evento

Es un fenómeno - natural, socio-natural o tecnológico - que actúa como el detonante de los efectos adversos sobre las vidas humanas, la salud y/o la infraestructura económica y social y ambiental de un territorio (OSSO y LA RED, 2009).

9.22. Exposición (Elementos Expuestos)

Se refiere a la presencia de personas, medios de subsistencia, servicios ambientales y recursos económicos y sociales, bienes culturales e infraestructura que por su localización pueden ser afectados por la manifestación de una amenaza (Ley 1523 de 2012).

9.23. Gestión del Riesgo

Es el proceso social de planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones permanentes para el conocimiento del riesgo y promoción de una mayor conciencia del mismo, impedir o evitar que se genere, reducirlo o controlarlo cuando ya existe y para prepararse y manejar las situaciones de desastre, así como para la posterior recuperación, entiéndase: rehabilitación y reconstrucción. Estas acciones tienen el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar y calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible (Ley 1523 de 2012).

9.24. Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres

Marco de Sendai (2015-2030) fue el primer acuerdo principal de la agenda de desarrollo posterior a 2015 y ofrece a los Estados miembros una serie de acciones concretas que se pueden tomar para proteger los beneficios del desarrollo contra el riesgo de desastres. El Marco de Sendai va de la mano con otros acuerdos de la Agenda 2030, tales como el Acuerdo de París sobre el Cambio Climático, la Agenda de Acción de Addis Abeba sobre Financiamiento para el Desarrollo, la Nueva Agenda Urbana y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Este acuerdo fomenta: *La reducción sustancial del riesgo de desastres y de las pérdidas ocasionadas por los desastres, tanto en vidas, medios de subsistencia y salud como*

|

en bienes económicos, físicos, sociales, culturales y ambientales de las personas, las empresas, las comunidades y los países.

9.25. Monitoreo del riesgo

Es el proceso orientado a generar datos e información sobre el comportamiento de los fenómenos amenazantes, la vulnerabilidad y la dinámica de las condiciones de riesgo en el territorio.

9.26. Movimientos en Masa

Todo movimiento ladero abajo, de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad (Cruden, 1991). Algunos movimientos en masa son lentos, a veces imperceptibles y difusos; en tanto que otros pueden desarrollar velocidades altas. Los principales tipos de movimientos en masa comprenden caídas, deslizamientos, reptación, flujos y propagación lateral. Los movimientos en masa son también conocidos como: Derrumbes, alud de tierra, avalanchas, volcamientos, desprendimientos de tierra, corrimientos de tierra, movimiento de tierras, caídas de tierra, reptación, hundimientos de la tierra, rompimiento de montañas, escurrimiento de la tierra, resbalamiento de la tierra, fenómenos de remoción en masa, procesos de remoción en masa. Si bien popularmente en algunos lugares los denominan volcanes y fallas, éstos corresponden a eventos geológicos diferentes. Por otra parte, es necesario aclarar que la erosión es la pérdida de suelo que puede llevar a un proceso desertización que contribuye en la generación de eventos como movimientos en masa o inundaciones, pero no corresponde en sí a un evento amenazante (dentro de la gestión del riesgo de desastres).

9.27. Ordenamiento Territorial

El ordenamiento del territorio municipal y distrital comprende un conjunto de acciones político-administrativas y de planificación física concertadas, emprendidas por los municipios o distritos y áreas metropolitanas, en ejercicio de la función pública que les compete, dentro de

|

los límites fijados por la Constitución y las leyes, en orden a disponer de instrumentos eficientes para orientar el desarrollo del territorio bajo su jurisdicción y regular la utilización, transformación y ocupación del espacio, de acuerdo con las estrategias de desarrollo socioeconómico y en armonía con el medio ambiente y las tradiciones históricas y culturales (Ley 388 de 1997).

9.28. Plan de Evacuación

Corresponde a las acciones de preparación para que la respuesta que permite que las personas que se encuentran en una edificación (vivienda, oficina, institución educativa, establecimiento comercial, entre otras.) puedan realizar una salida ordenada, rápida y segura, con el fin de proteger la vida. (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, 2016-2).

9.29. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica (POMCA)

Instrumento a través del cual se realiza la planeación del uso coordinado del suelo, de las aguas, de la flora y la fauna y el manejo de la cuenca entendido como la ejecución de obras y tratamientos, en la perspectiva de mantener el equilibrio entre el aprovechamiento social y económico de tales recursos y la conservación de la estructura físico biótica de la cuenca y particularmente del recurso hídrico (Decreto 1640 de 2012, Art. 18).

9.30. Preparación

Es el conjunto de acciones principalmente de coordinación, sistemas de alerta, capacitación, equipamiento, centros de reserva y albergues y entrenamiento, con el propósito de optimizar la ejecución de los diferentes servicios básicos de respuesta, como accesibilidad y transporte, telecomunicaciones, evaluación de daños y análisis de necesidades, salud y saneamiento básico, búsqueda y rescate, extinción de incendios y manejo de materiales peligrosos, albergues y alimentación, servicios públicos, seguridad y convivencia, aspectos

financieros y legales, información pública y el manejo general de la respuesta, entre otros (Ley 1523 de 2012).

9.31. Prevención de Riesgo

Medidas y acciones de intervención restrictiva o prospectiva dispuestas con anticipación con el fin de evitar que se genere riesgo. Puede enfocarse a evitar o neutralizar la amenaza o la exposición y la vulnerabilidad ante la misma en forma definitiva para impedir que se genere nuevo riesgo. Los instrumentos esenciales de la prevención son aquellos previstos en la planificación, la inversión pública y el ordenamiento ambiental territorial, que tienen como objetivo reglamentar el uso y la ocupación del suelo de forma segura y sostenible. (Ley 1523 de 2012).

9.32. Quema

fuego generado por el hombre, ya sea en zona urbana o rural, con el propósito de eliminar material vegetal o residuos sólidos no deseados. Las Corporaciones Autónomas Regionales son las únicas entidades que pueden expedir permisos para esta actividad.

9.33. Resiliencia

La capacidad de un sistema, comunidad o sociedad expuestos a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficaz, lo que incluye la preservación y la restauración de sus estructuras y funciones básicas (Oficina de las Naciones Unidas para Reducción de Riesgo de Desastres, 2009).

9.34. Riesgo Aceptable

Posibles consecuencias sociales y económicas que, implícita o explícitamente, una sociedad o un segmento de la misma asume o tolera en forma consciente por considerar innecesaria, inoportuna o imposible una intervención para su reducción dado el contexto económico, social, político, cultural y técnico existente. La noción es de pertinencia formal y

|

técnica en condiciones donde la información existe y cierta racionalización en el proceso de toma de decisiones puede ejercerse, y sirve para determinar las mínimas exigencias o requisitos de seguridad, con fines de protección y planificación, ante posibles fenómenos peligrosos (Lavel, 2007).

9.35. Riesgo de Desastres

Corresponde a los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos físicos peligrosos de origen natural, socio-natural, tecnológico, biosanitario o humano no intencional, en un período de tiempo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos; por consiguiente, el riesgo de desastres se deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad (Ley 1523 de 2012).

9.36. Servicios de Emergencia

El conjunto de agencias especializadas con la responsabilidad y los objetivos específicos de proteger a la población y los bienes en situaciones de emergencia (Oficina de las Naciones Unidas para Reducción de Riesgo de Desastres, 2009).

9.37. Seguridad Territorial

La seguridad territorial se refiere a la sostenibilidad de las relaciones entre la dinámica de la naturaleza y la dinámica de las comunidades en un territorio en particular. Este concepto incluye las nociones de seguridad alimentaria, seguridad jurídica o institucional, seguridad económica, seguridad ecológica y seguridad social (Ley 1523 de 2012).

9.38. Sismo

Sacudida brusca del terreno causada por un proceso de liberación súbita de la energía acumulada en la corteza terrestre, que puede resultar en desplazamiento o deformación de partes de la corteza y en la emisión de ondas elásticas que se propagan por el interior de la tierra. Al llegar a la superficie estas ondas producen la sacudida del terreno, que es la causa

|

del daño y la destrucción. Los sismos son también conocidos como: temblor, terremoto y movimiento telúrico.

9.39. Sistemas de Alerta Temprana

Sistema integrado de vigilancia, previsión y predicción de riesgos, evaluación de riesgos de desastres, comunicación y preparación, sistemas y procesos que permiten a las personas, comunidades, gobiernos, empresas y otros, tomar medidas oportunas para reducir los riesgos de desastres ante la manifestación de un evento amenazante (a partir de Asamblea General de las Naciones Unidas, 2016).

9.40. Vulnerabilidad

Susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos (Ley 1523 de 2012).

El concepto de vulnerabilidad en el contexto de la gestión del riesgo de desastres, es usado para determinar “los diferentes niveles de preparación, resiliencia y capacidades con las que cuenta un individuo ante la ocurrencia de un desastre” (Cannon et al, 2003). Una persona puede ser más o menos vulnerable ante la ocurrencia de eventos críticos externos dependiendo en cómo el individuo administre sus activos tangibles e intangibles, y cómo estos pueden verse afectados ante la ocurrencia de un desastre. La vulnerabilidad social, entonces, va más allá de la afectación de estructuras físicas, e incluye las diferentes características y capacidades de los individuos (UNGRD y IEMP, 2016).

10. Marco Teórico

En los últimos 100 años en Colombia se han registrado 9,650 movimientos en masa, los cuales han arrojado una cifra de 7,124 muertes, 23,848 viviendas destruidas y cerca de 3 millones de personas afectadas, de acuerdo con los registros del Sistema de Inventario de Efectos de Desastres (DESINVENTAR).

En Colombia las pérdidas que se han generado por afectación por movimientos en masa ha sido un tema de gran interés para la comunidad científica en los últimos 30 años. Por lo que ha permitido el desarrollo de nuevas técnicas para la evaluación y zonificación de la susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa, donde cualquier valoración puede resultar incorrecta si no se tiene en cuenta toda información relevante subjetiva con la información medida, la cual se puede hacer de formal o informal.

Cuando se pretende abordar el análisis y la gestionar el riesgo se hace necesario la cuantificación y valoración de este lo as objetivo posible. Con el objeto de formar conexiones de la interrelación que existe entre los factores sociales y naturales de forman el concepto del riesgo. Desde el ámbito científico y técnico existen diferentes divisiones

Los métodos de análisis para determinar la susceptibilidad y amenaza de ocurrencia de movimientos en masa; se dividen en **Métodos Cuantitativos** (estadísticos y determinísticos). Donde los *Métodos Estadísticos*: Se refieren al cálculo de la densidad en los deslizamientos, las unidades geomorfológicas homogéneas o para determinar rasgos de factores determinantes de la estabilidad. **Métodos Determinísticos**: En este el grado de amenaza se expresa con el factor de seguridad de la ladera, en él se elaboran modelos de análisis de estabilidad de taludes con base en la información obtenida y se calculan los factores de seguridad para el deslizamiento. **Métodos Cualitativos** (heurístico, análisis geomorfológico) y Los métodos cualitativos están soportados en el criterio y evaluación de un experto para definir el grado de susceptibilidad. **Métodos Heurísticos**: Estos se basan en el estudio conceptual de los procesos de ocurrencia

|

de los movimientos en masa y requiere del análisis por parte de profesionales expertos con conocimiento y experiencia tanto de la región estudiada como de los procesos, aunque este método permite incorporar en el análisis de una gran cantidad de variables complejas, este depende completamente de la experiencia y conocimiento del experto sobre la ocurrencia de movimientos. Para la elaboración del mapa de amenaza se elaboró a través del análisis heurístico, mediante la fotointerpretación, trabajo de campo y reconocimientos geomorfológicos. El procedimiento es la asignación de valores de peso a los diferentes características y variables para obtener una suma de susceptibilidades a amenaza relativa. Asignación de Valores de Peso en el SIG: En el SIG se utiliza para la combinación cualitativa de mapas. El criterio con el cual se designan los valores, puede variar de polígono en polígono; además el análisis se puede hacer utilizando los valores de peso en cada mapa y cada mapa recibe un diferente peso. El profesional experto decide que mapas y los valores de peso que empleara; la sumatoria de todos los pesos permite obtener una valoración de la amenaza relativa ya que, por este método no se puede determinar la amenaza absoluta.

10.1. Cálculo Nivel de la Amenaza

La evaluación de la amenaza por movimientos en masa se basó en el método heurístico, modificado y ajustado, del propuesto por Ramírez y González (1989). Inicialmente esta metodología, fue adaptada y utilizada por la Oficina Municipal para la Prevención y Atención de Desastres de Pereira – OMPAD para elaborar los mapas de riesgo geotécnico de los inventarios de viviendas localizadas en zonas de alto riesgo, en el año 2001. Una metodología similar fue utilizada en un estudio y diseño de obras de protección y mitigación de riesgo del canal de aducción Nuevo Libaré, realizado para la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Pereira S.A. E. S. P, en el año 2001. Por último, se ajustó la metodología con la desarrollada por el Servicio Geológico Colombiano (SGC, 2013). El cálculo del nivel de la amenaza se estima como un producto en función de los detonantes y una función de

|

susceptibilidad. No existe un estándar internacional para la escala para la zonificación de la amenaza, en este caso se utilizó una clasificación como (baja, media y alta). Entre más categorías se utilicen el mapa de amenaza es más difícil de interpretar. **Amenaza Relativa:** Esta técnica de estudio de la amenaza diferencian las probabilidades de ocurrencia movimientos en masa para las diferentes áreas en el mapa, sin dar valores exactos. Los factores que se deben tener en cuenta en el momento de la zonificación de la amenaza son: La caracterización histórica de eventos amenazantes donde se realiza (inventario de los movimientos en masa y procesos de inestabilidad que han ocurrido), evaluación de la amenaza por movimientos en masa se recopila la información física (geología, geomorfología, estudios de suelos) y Análisis de la amenaza por movimientos en masa, donde a la susceptibilidad ante movimientos en masa se le suman detonantes cuales son los procesos que activan los movimientos en masa los cuales son las lluvias y sismos.

10.1.1. Caracterización Histórica de Eventos Amenazantes

El registro histórico de eventos se obtiene a través de la consulta de diversas fuentes como DESINVENTAR, La Corporación Autónoma Regional del Risaralda CARDER, El SIMMA (Sistema de Información de Movimientos en Masa) del Servicio Geológico Colombiano, además de un reconocimiento por medio de imágenes satelitales de Google Earth ®

10.1.2. Evaluación de la Amenaza por Movimientos en Masa

Para el desarrollo de este punto se determinaron variables condicionantes a evaluar como: modelo de pendiente senoidal, rugosidad, curvatura, curvatura longitudinal, curvatura transversal, orientación de la ladera). También se determinación de variables de acuerdo al evento y a las características de las zonas de estudio; para lo cual se estableció que las variables condicionantes son: pendiente de la ladera, distancia a drenajes, distancia a vías, distancia a fallas y lineamientos, geología, unidades geológicas superficiales (UGS), Calidad macizo rocoso (GSI). geomorfología, densidad de movimientos en masa y cobertura. Donde se

obtiene un mapa de susceptibilidad ante movimientos en masa, y al establecer los niveles o categorías de susceptibilidad se dividieron los valores en rangos iguales, identificando los sectores con baja, media y alta susceptibilidad ante movimientos en masa. A los cuales la suma de factores detonantes como las lluvias y los sismos, para finalmente obtener el mapa de amenaza relativa.

11. Análisis de la Amenaza por Movimientos en Masa

Se suman dos tipos de detonantes: **Detonante por Precipitaciones Máximas:** Este es cuando la precipitación máxima probable es una tormenta hipotética que presenta la máxima altura de precipitación, lo cual es físicamente posible para una determinada duración, sobre un área específica, en una localización geográfica particular, y en cierta época del año. **Detonante por Sismos:** Los movimientos sísmicos pueden activar deslizamientos de tierra debido a un efecto de aumento del esfuerzo cortante, disminución de la resistencia por aumento de presión de poros y deformación, asociados con la onda sísmica; pudiéndose llegar a la falla al cortante y hasta la licuación en el caso de los suelos granulares saturados. Para las variables que influyen en la amenaza evaluada, se les asigna un valor de pesos los condicionantes oscilan entre un valor de 0.1 y 1. Peso (0.1) es para aquellos de menor incidencia directa e individual en la amenaza evaluada, peso de uno (1) los condicionantes de cada variable que influyen fuertemente en la amenaza.

11.1. Análisis del Cálculo Vulnerabilidad

La vulnerabilidad es un macro concepto y, en todas las disciplinas se le entiende como una función inversa de la resiliencia. Sin embargo, debido a que este concepto ha sido abordado desde diferentes disciplinas y su significado varía dependiendo del lente con el que se analice es importante resaltar que existen diferentes tipos de vulnerabilidad (biofísica, cultural, institucional, económica, etc.). La vulnerabilidad física de persona depende de factores relacionados tanto con la amenaza (tipo, tamaño, distribución e intensidad del evento) como

con la capacidad de respuesta y resistencia de los individuos. A causa de la complejidad y dinámica de la naturaleza humana, la vulnerabilidad de las personas cambia en el tiempo e involucra grandes incertidumbres que inciden directamente en el planteamiento de metodologías de evaluación basadas en el conocimiento experto y datos empíricos.

Reconocer las diferentes condiciones de vulnerabilidad y las capacidades con que cuentan las comunidades marcan la diferencia entre la ocurrencia de un fenómeno y la ocurrencia de un desastre (Cannon 2000).

Los principales criterios para evaluar la vulnerabilidad abordan en cuatro pasos básicos:

1. Conocimiento de la susceptibilidad del territorio a la ocurrencia de los eventos de movimientos en masa.
2. Evaluación de la amenaza en las zonas críticas obtenidas a partir de los estudios de susceptibilidad como zonas de susceptibilidad media y alta.
3. Análisis de la vulnerabilidad de los elementos expuestos ante los diferentes eventos amenazantes.
4. Análisis del riesgo producto de la concurrencia de la amenaza y la vulnerabilidad para los diferentes escenarios de la amenaza evaluada.

Para la evaluación de la vulnerabilidad bajo el enfoque de la exposición se seleccionaron el Modelo de Indicadores de Vulnerabilidad (O. D. Cardona et al., 2003; Omar Darío Cardona, 2001), con el fin de no dejar excluidos las dimensiones social, económica y ambiental (Unal, 2013). La vulnerabilidad se relaciona con la susceptibilidad física de los elementos expuestos a ser afectados por la ocurrencia de un evento y con la fragilidad social y la falta de resiliencia de las comunidades para responder ante un desastre o absorber su impacto.

11.2. Cálculo de los Niveles de Riesgo

Es importante subrayar la diferencia entre análisis de riesgo vs. análisis de vulnerabilidad, ya que para el análisis de riesgo resulta fundamental la cuantificación del daño, y poder establecer la probabilidad de su ocurrencia; mientras que el análisis de vulnerabilidad se enfoca en entender por qué y cómo se genera el daño. Calcular el riesgo permitirá orientar futuras toma de decisiones en la gestión de riesgos identificando zonas que pueden ser especialmente problemáticas en caso de un evento, no sólo por el daño físico que pueden presentar, sino también por las características sociales del contexto y la capacidad para la atención de desastres, para implementar medidas de prevención y control es conveniente identificar los niveles de riesgo; analizados desde el punto de vista de las consecuencias resultantes en el caso de la formación o el progreso de los movimientos en masa. Esta caracterización es fundamental para definir la mejor forma de enfrentar un problema.

El tipo de análisis de riesgo que se utilizó fue de forma cualitativa. **Análisis Cualitativo del Riesgo:** Esta es la forma más sencilla de realizar un análisis del riesgo por movimientos en masa, el cual incluye obtener el conocimiento de las amenazas, los elementos en riesgo y sus vulnerabilidades, expresando los resultados en forma cualitativa. Las diferentes variables se pueden clasificar o calificar de tal forma que se expresa el riesgo en una forma prácticamente verbal.

12. Metodología

Implementar el método heurístico para determinar la susceptibilidad y amenaza para movimientos en masa se encuentra soportado bajo el criterio de evaluación del experto para definir el grado de susceptibilidad, la utilización de estos métodos permite incorporar al análisis una gran cantidad de variables complejas, los cuales dependen completamente de la experticia y conocimiento del profesional sobre la ocurrencia de movimientos en masa y del territorio a evaluar.

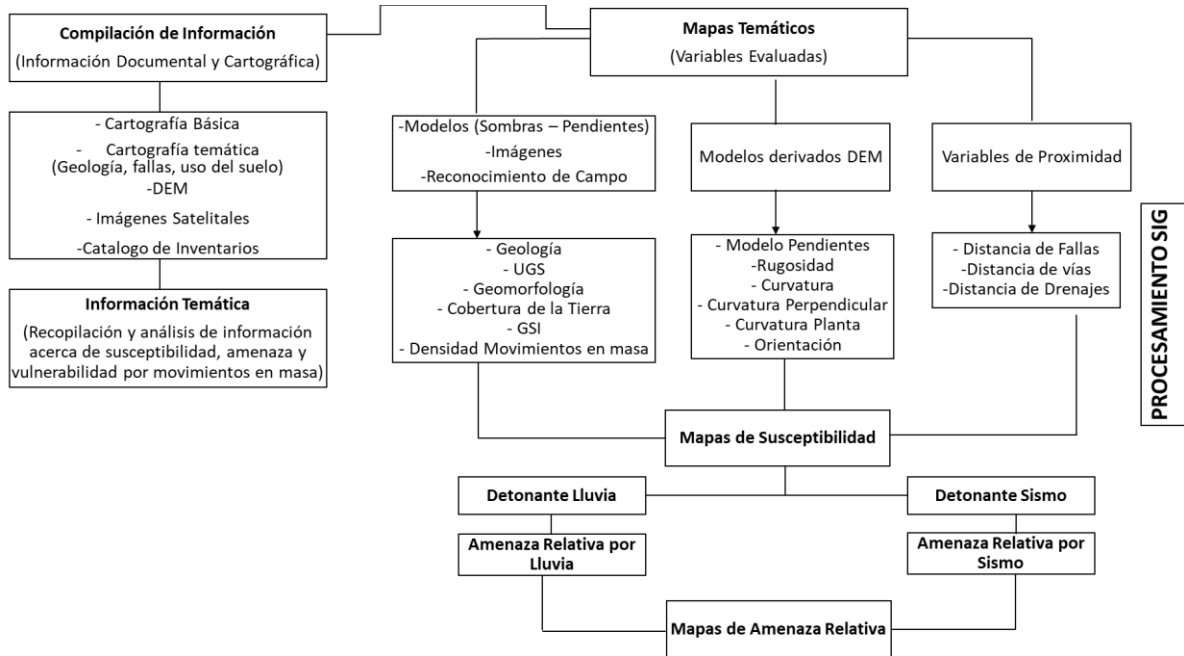
Este método se categoriza y pondera los diferentes factores causantes de la inestabilidad, según la influencia que se puede esperar de éstos en generar movimientos en masa. Con cada uno de estos factores se genera un mapa, que al combinarlo con otro se logra obtener finalmente la zonificación de la inestabilidad.

A lo largo de los años este método ha sido utilizado en diversos estudios para definir la susceptibilidad y la amenaza en varias regiones del país, ejemplo de esto si tiene, en el año 2013 Corantioquia a través convenio con el IGAC realizó la estimación de amenaza por movimientos en masa para la cuenca de los ríos Cauca y Nechí. También fue implementada en el estudio de análisis de amenaza y riesgo por avenidas torrenciales en la microcuenca de los ríos Tatamá y Negro en el municipio de Pueblo Rico en el año 2015.

Para este estudio con el fin de realizar una valoración más cercana a las características del entorno es necesario elaborar un diagnóstico de la vulnerabilidad y capacidades sociales frente al riesgo de movimientos en masa para el sector de la microcuenca Monserrate, para esto elaborar el estudio se realizará las siguientes fases:

Figura 3

Diagrama Metodológico Zonificación de Amenazas por Movimientos en Masa



12.1. Revisión Bibliográfica

En esta etapa se recopiló y se revisó la información acerca de susceptibilidad, amenaza y vulnerabilidad por movimientos en masa. Información documental como información cartográfica.

Algunas de las fuentes de información donde se recopiló fueron: Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER), de esta se obtuvo información temática e información de cartografía base; (curvas de nivel, redes de drenaje, límite municipal, límite de las microcuencas, vías de acceso, suelos, usos y coberturas). La información representada cartográficamente se encuentra referenciada en el Marco Geocéntrico Nacional de Referencia MAGNA SIRGA. Otra fuente de información consultada fue la Base de datos DESINVENTAR,

este inventario histórico de desastres se tomó como registros de información para evento ocurridos dentro de la cuenca.

12.2. Identificación de la amenaza ante movimientos en masa

- 1- Como primer punto para obtener un mapa de amenaza por movimientos en masa vamos a partir de fotointerpretación de las imágenes se logró ajustar el inventario de movimientos en masa. **Caracterización Histórica de Eventos Amenazantes:** El registro histórico de eventos se obtuvo a través de la consulta de diversas fuentes para los años comprendidos entre el 2014 y el 2021, y ajustados a través de la fotointerpretación de imágenes satelitales y considerados como eventos recientes, para elaborar un mapa de ubicación de movimientos en masa históricos.
- 2- Como segundo punto el método busca determinar inicialmente, la susceptibilidad que presentan las diferentes zonas para generar movimientos en masa, basado en parámetros o factores naturales y antrópicos; posteriormente, se involucran los diferentes detonantes, como sismos y precipitaciones, para calcular la amenaza mediante la siguiente ecuación:

$$AM = St ((Pen + Lit + GSI + Cmr + Gem + Dmm + Rug + Cur + CPe + CPI + Fsu + DFa + Dvi + DDr + Uso + Ope) + Ds + Dp)$$

En donde se evalúan diferentes variables:

AM = Amenaza por Movimientos en Masa St: Susceptibilidad Total (Pen:
Pendientes + **Lit:** Litología + **GSI:** Índice geológico de la roca + **Cmr:** Calidad del Macizo
Rocoso + **Gem:** Geomorfología + **Dmm:** Densidad de Movimientos en Masa + **Rug:**
Rugosidad + **Cur:** Curvatura de la pendiente + **CPe:** Curvatura de Perfil + **CPI:**
Curvatura en Planta + **Fsu:** Formaciones Superficiales + **DFa:** Distancia Fallas + **DVi:**
Distancia Vías + **DDr:** Distancia Drenajes + **Uso:** Uso del suelo + **Ope:** Orientación de
la Pendiente)

Donde posteriormente a estas variables se les sumas los detonantes + **Ds**:

Detonante por Sismo + Dp: Detonante por Precipitación

Para finalmente obtener la amenaza relativa por movimiento en masa.

Para la realización de esta fase se realizaron modelos derivados del DEM generados con la herramienta del ArcGIS; El Modelo Digital del Terreno (DEM) es un mapa tipo Ráster en la que el valor de cada pixel corresponde a la altitud sobre el nivel del mar en metros de este. Este factor se convierte en el insumo para obtener las variables que componen las características geométricas de la ladera; además también se obtuvieron modelos que permiten el ajuste de variables como geología y geomorfología; se utilizó un DEM con resolución de 12.5x12.5 m (DEM ALOS-PALSAR).

Algunos de los diferentes modelos en las cuales se pueden evaluar diferentes variables son:

Pendiente de la Ladera

El mapa de pendientes es una variable cuantitativa y continua, derivada del modelo digital de elevación (DEM) de 12 metros. Se determinaron tres rangos en la categoría de la pendiente, con valores o peso clasificados de la siguiente manera

Tabla 1

Categorización de la Pendiente de Ladera

RANGOS (%)	DESCRIPCIÓN	VALOR O PESO
0 - 3	A nivel	0
3 - 7	Ligeramente inclinada	0
7 - 12	Moderadamente inclinada	0
12 - 25	Fuertemente inclinada	0,5
25 - 50	Ligeramente escarpada	0,5
50 - 75	Moderadamente	1

	escarpada	1
< 75	Fuertemente escarpada	

Rugosidad

La rugosidad del terreno se define como una característica relacionada con la irregularidad o accidentalidad del territorio. Corresponde a la desviación del vector normal a la superficie de cada celda permitiendo definir límites de taludes y laderas.

Tabla 2

Categorización de la Rugosidad

RANGOS	VALOR O PESO
0.08 – 0.43	0
0.43 – 0.54	0,5
0.54 – 0.99	1

Curvatura

La curvatura indica el grado de Convexidad/Concavidad de la superficie del terreno en la dirección de la pendiente (longitudinal). Se determina mediante el radio de la curvatura de la celda según un plano vertical. Se define como la tasa de cambio de la pendiente y depende de las derivadas de segundo grado de la altitud.

Esta variable se deriva del DEM de 12.5 m y adquiere un rango de valores según la zona, si el valor es 0 indica que la superficie es plana, valores positivos (+) indican que la superficie es convexa hacia la celda y los valores negativos (-) indican concavidad hacia la celda. Desde un punto de vista aplicado, esta herramienta se puede utilizar para describir las características físicas de una cuenca de drenaje en un esfuerzo por comprender los procesos de erosión y escorrentía.

Se determinaron 3 valores de peso con el fin de agrupar valores y así poder entender mejor la distribución de esta variable en la zona.

Tabla 3

Categorización de la Curvatura

RANGOS	DESCRIPCIÓN	VALOR O PESO
<-0,3	Convexo	0
-0,3 – 0,3	Plano	0,5
>0,3	Cóncavo	1

Curvatura de Perfil

La curvatura de perfil está en la dirección de la pendiente máxima, un valor negativo indica que la superficie es convexa hacia arriba, un perfil positivo indica que la superficie es cóncava hacia arriba y un valor de cero indica que la superficie es plana, esta variable afecta la aceleración y desaceleración del flujo y, por tanto, influye en la erosión y la depositación.

Tabla 4

Categorización de la Curvatura de Perfil

RANGOS	VALOR O PESO
<-0,3	0
-0,3 – 0,3	0,5
>0,3	1

Curvatura en Planta

La curvatura del plano es perpendicular a la dirección de la pendiente máxima e influye en la convergencia y divergencia del flujo, Una curvatura positiva indica que la superficie es

convexa hacia arriba en esa celda. Una curvatura negativa indica que la superficie es cóncava hacia arriba en esa celda. Un valor de 0 indica que la superficie es plana.

Tabla 5

Categorización de la Curvatura en Planta

RANGOS	VALOR O PESO
<-0,3	0
-0,3 – 0,3	0,5
>0,3	1

Orientación de la Pendiente

La herramienta Aspect (ArcGIS 10.1) se implementa para generar mapas de orientación de laderas partiendo del Modelo Digital de Elevación de 12.5 metros (DEM). Los valores de cada celda en el mapa de salida indican la dirección de la brújula en la que la superficie se enfrenta en esa ubicación. Se mide en el sentido de las agujas del reloj en grados desde 0 (hacia el norte) hasta 360 (otra vez hacia el norte), llegando el círculo completo. Las áreas planas que no tienen dirección de pendiente descendente reciben un valor de -1. El valor de cada celda en un conjunto de datos de aspecto indica la dirección a la que se enfrenta la pendiente de la celda.

Tabla 6

Categorización de la Orientación de la Pendiente

RANGOS	DESCRIPCIÓN	VALOR O PESO
0-22,5	Norte	1
22,5 - 67,5	Noreste	0,66
67,5 - 112,5	Este	0,33
112,5 - 157,5	Sureste	0,66
157,5 - 202,5	Sur	1

202,5 - 247,5	Suroeste	0,66
247,5 - 292,5	Oeste	0,33
292,5 - 337,5	Noroeste	0,66
337,5 - 360	Norte	1

Entre las variables condicionantes analizadas se tienen:

Geología

Desde una perspectiva de geología regional, el área de la microcuenca se encuentra cubierta por la geología de la Plancha geológica 224-Pereira (Caballero y Zapata, 1984). En la microcuenca solo se identifican dos unidades geológicas.

Tabla 7

Categorización del Tipo de Unidad Geológica

UNIDAD	LITOLÓGÍA	SIMBOLO	VALOR O PESO
Stock Gabrodiorítico de Santa Rosa	Gabrodiorítico	Kds	0,3
Flujos de Lodo Volcánico	Flujos de Lodo Volcánico	Qflv	0,5

Unidad Geológica Superficiales (UGS)

Se caracterizaron y cartografiaron las unidades geológicas superficiales a escala detallada, según las condiciones físicomecánicas de los suelos en diferentes sitios, Las unidades geológicas superficiales corresponden a un conjunto de materiales que incluyen suelos y rocas, cuya propiedad se conserva por debajo de la superficie hasta algunas decenas de metros. La UGS se utiliza como herramienta para evaluar el comportamiento mecánico de los terrenos ante diferentes usos, como desarrollo de obras de infraestructura, desarrollos mineros y demás usos definidos en los planes de ordenamiento territorial. Estas formas superficiales incluyen rocas con diferentes grados de meteorización, suelo y depósitos inconsolidados según su origen.

Tabla 8

Categorización Unidad Geológica Superficiales (UGS)

ORIGEN	UGS	SÍMBOLO	VALOR O PESO
Volcánico	Depósitos de ceniza y lapilli de composición andesítica	Stv1	0,5
Volcánico	Flujos volcanoclásticos constituidos por piroclastos y epiclastos de composición andesítica	Stv6	0,6
Roca ígnea intrusiva	Gabros bandeados isotrópicos y dioritas	Srii1	0,7
Coluvial	Gabros bandeados isotrópicos y dioritas	Strc1	0,9
Coluvial	Rellenos	Strc1	0,9
Depósitos Antrópicos	Rellenos	Strae	1

Geomorfología

La geomorfología se encarga de la identificación, descripción y análisis de la génesis, clasificación y evolución del paisaje y su relación con las estructuras infrayacentes, y la interpretación de la correlación de los procesos endógenos y exógenos que controlan y moldean el terreno, que generan las geoformas, las cuales son el resultado de los materiales constituyentes, las disposiciones estructurales y los procesos que interactúan según el ambiente morfogenético y el tiempo de duración de la acción de los mencionados procesos.

Fallas

A este se le realiza la valoración según la afectación que generan en condiciones diversas en la calidad de los macizos rocosos y materiales existentes y relacionado con la densidad de fracturamiento. Se determina que a menor distancia a las fallas presentan mayor

|

densidad de fracturamiento, aumentando la susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa.

Índice Geológico de la Roca (GSI)

Este índice permite evaluar de forma cuantitativa la calidad de la masa rocosa para propósitos de ingeniería. Este fue desarrollado por Hoek y Brown en (1997). Donde el GSI es un índice que indica la reducción de la resistencia de un macizo rocoso, con respecto a la roca intacta, en diferentes condiciones geológicas. El GSI se ha actualizado para macizos débiles en varias ocasiones (1998, 2000 y 2001 (Hoek et al., 2002)). El índice de resistencia geológica GSI es una estimación de caracterización de las propiedades geomecánicas de los macizos rocosos, a través de la fácil identificación por evaluación visual de las propiedades geológicas en el campo.

Calidad del Macizo Rocosos

Mediante esta clasificación geomecánica se define la calidad del macizo rocoso, por medio de un parámetro “f”, que es el coeficiente de resistencia. Los objetivos de esta clasificación son primero: Determinar y/o Estimar la calidad del macizo rocoso. Segundo: dividir el macizo rocoso en grupos de conducta análoga y proporcionar una buena base de entendimiento de las características del macizo rocoso. Y finalmente facilitar la planificación y el diseño de estructuras en roca, proporcionando datos cuantitativos necesarios para la solución real de los problemas de ingeniería. Los valores de peso fueron asignados basados en la siguiente (Tabla 9)

Tabla 9

Clasificación Geomecánica de Calidad del Macizo Rocoso de Protodyakonov

CATEGORIA	DESCRIPCION	T
Excepcional	Cuarcita, Basalto y rocas de resistencia excepcional	20
Alta resistencia	Granito, areniscas silíceas y calizas muy competentes	15-20
Resistencia media	Calizas, granito algo alterado y areniscas	8-6
	Areniscas medias y Pizarras	5
	Lutitas, areniscas flojas y conglomerados friables	4
Resistencia baja	Lutitas, esquistos y margas compactas	3
	Calizas, lutitas blandas, margas, areniscas friables, Gravas, bolos cementados	2
	Lutitas fisuradas y rotas, gravas compactas y arcillas preconsolidadas	1.5
Resistencia muy baja	Arcillas y gravas arcillosas	1.0
	Suelos vegetales, turbas y arenas húmedas	0.6
	arenas y gravas finas	0.5
	Limos y loess	0.3

Cobertura Vegetal

La correlación entre la cobertura vegetal y el uso del suelo determinan la estabilidad de un terreno mediante mecanismos hidrológicos, ya que establecen rasgos como la capacidad de infiltración en el suelo y la humedad de este, y mediante mecanismos de resistencia la presencia de raíces o penetrancia de estas y la protección frente a la erosión. La vegetación puede influir de manera beneficiosa o adversa en la estabilidad de las laderas, dependiendo de cómo actúen dichos mecanismos.

la importancia de este parámetro es que es un resultado de la interacción de la dinámica natural geológica, geomorfológica, los suelos, el clima y sistemas de comunidades bióticas, interrumpida por el hombre para su supervivencia y desarrollo. (IDEAM, 2012).

También se evaluaron algunas variables de proximidad con el fin de agregarlas en el análisis, estos escenarios de análisis muestran el efecto de evaluar el impacto y alcance que estos puedan tener.

Distancia a Drenajes (distdrena)

La distancia a drenajes hace referencia a la presencia del sistema de la red de drenajes, a la relación de las áreas próximas de las corrientes, donde se presentan riberas, taludes verticalizados a subverticalizados, altas zonas de humedad, presencia de manantiales, empozamientos, zonas de infiltración, entre otros que pueden contribuir la generación de procesos morfodinámicos por inflación o acumulación de agua.

Distancia a Vías

Es la zona contigua al paso de las vías la cual se ve afectada por la presencia antrópica por la facilidad de acceso que genera, y el área es determinada mediante la obtención de la densidad vial de acuerdo con la influencia que esta presenta para cada pixel, adicionalmente se tiene en cuenta el tipo de vía, asignándole mayor peso a las de más alta categoría y disminuyendo por cada tipo.

Densidad de Movimientos en Masa

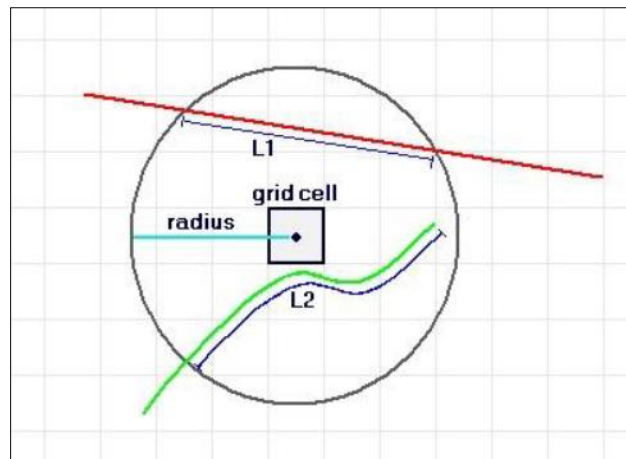
El mapa por movimientos en masa se realizó a través del trabajo de campo y la fotointerpretación. La fotointerpretación de los movimientos en masa activos se realizó básicamente con las imágenes de Google Earth Históricas, para los años entre 2014 y 2021. Posteriormente se obtuvo un mapa de densidad por longitud de la corona en m², para presentar de manera clara los resultados del análisis sobre la distribución espacial de los movimientos en masa, la densidad se obtuvo de la herramienta Spatial Analyst del ArcToolbox de ArcGIS10.1, se selecciona la opción Line Density se ingresa la información requerida, el mapa obtenido fue reclasificado en tres categorías y es relativa al área de estudio.

La herramienta Line Density calcula la densidad de las características lineales en el vecindario de cada celda ráster de salida. La densidad se calcula en unidades de longitud por unidad de área.

Conceptualmente, se dibuja un círculo alrededor de cada centro de celda ráster usando el radio de búsqueda. La longitud de la porción de cada línea que se encuentra dentro del círculo se multiplica por su valor del campo Población. Estas cifras se suman, y el total se divide por el área del círculo. La siguiente figura ilustra este concepto

Figura 4

Ilustración del Procesamiento en la herramienta Line Density



En la figura anterior, se muestra una celda de ráster con su vecindad circular. Las líneas L1 y L2 representan la longitud de la porción de cada línea que cae dentro del círculo. Los valores de campo de población correspondientes son V1 y V2. Así: $Densidad = ((L1 * V1) + (L2 * V2)) / (area_of_circle)$.

La sumatoria de todas estas variables con sus respectivos valores de peso da como resultado el mapa de susceptibilidad para la microcuenca.

Seguido a esto se suman los detonantes (Detonante por Precipitaciones Máximas+ Detonante Sismo), para finalmente obtener el mapa de amenaza relativa.

1- Obtención y Análisis de los Elementos de la Vulnerabilidad:

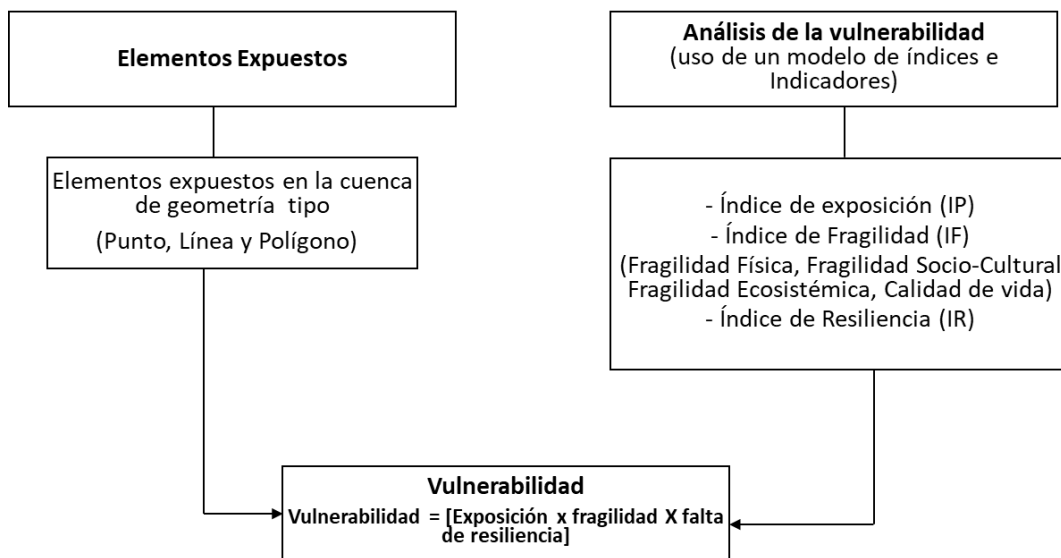
La vulnerabilidad depende principalmente de la exposición del elemento a la amenaza. Por ejemplo, a mayor distancia del deslizamiento, la vulnerabilidad tiende a ser menor. Este

análisis requiere un conocimiento detallado de la densidad de población, infraestructura, actividades económicas y los efectos de un determinado fenómeno sobre estos elementos en riesgo.

para esto se identificará y organizará los elementos expuestos a través de categorías e indicadores de análisis. El análisis de vulnerabilidad es el proceso mediante el cual se determina el nivel de exposición y predisposición de un elemento ante una amenaza siendo este caso los movimientos en masa.

Figura 5

Diagrama Metodológico Zonificación de Vulnerabilidad por Movimientos en Masa



La vulnerabilidad se evaluó a partir de información secundaria obtenida del diagnóstico realizado en el marco del Plan de Ordenación y Manejo de Cuenca Hidrográfica POMCA del río Campoalegre y otros directos al Cauca, realizado en marzo del 2020. Allí se define la vulnerabilidad como el nivel de exposición y predisposición de un elemento o conjunto de elementos a sufrir consecuencias negativas como resultado de la ocurrencia de un fenómeno natural o de origen antrópico no intencional de una magnitud dada (DPAE, 2000). De acuerdo a

los elementos expuestos ante un evento determinado, existen diversos tipos de vulnerabilidad, la física, la social, económica y ambiental.

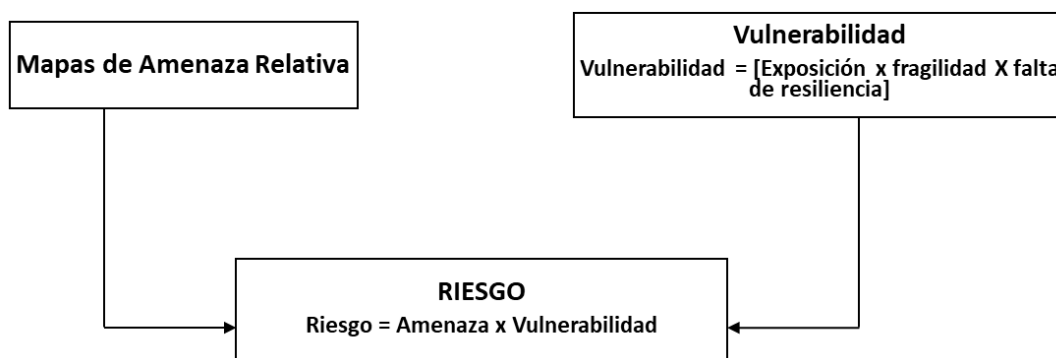
2- Obtención y Análisis del Riesgo y Resultados:

En la Ley 1523 de 2012, se define riesgo de desastres como los daños y pérdidas potenciales que pueden presentarse en un período de tiempo específico y que son determinantes por la vulnerabilidad de los elementos expuestos; por lo que, el riesgo de desastres deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad.

Una vez se tenga la información de campo, mapas e inventarios se procedió a realizar el cálculo del riesgo. Como finalidad de este trabajo se recurrirá a una metodología de cálculo de riesgo con un enfoque integrado, se aplicará una metodología mixta (cualitativa y cuantitativa), por el tipo de datos y análisis con los que se trabajará. Para la presentación de datos y su análisis se vinculará ambos resultados.

Figura 6

Diagrama Metodológico Zonificación del Riesgo por Movimientos en Masa



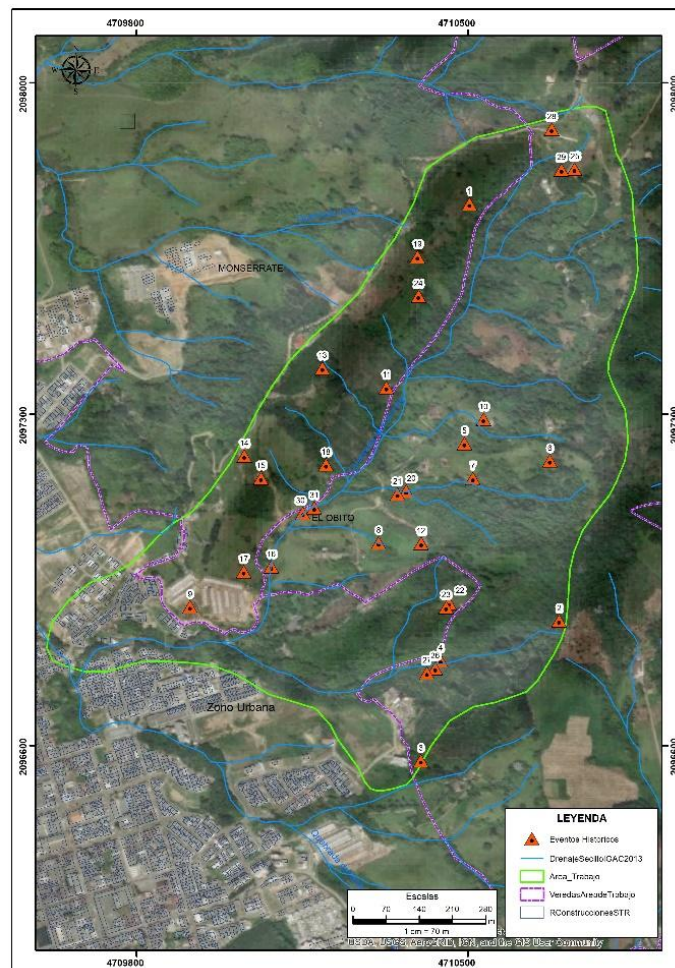
13. Resultados

13.1. Caracterización Histórica de Eventos Amenazantes

Este registro histórico de eventos que fue obtenido a través de diversas fuentes como las bibliográficas allí registrada no arrojó resultados de este tipo de evento en la zona, motivo por el cual se realizó una identificación de movimientos en masa a través de imágenes satelitales disponibles en la plataforma Google Earth, para los años comprendidos entre el 2014 y el 2021, y la identificación eventos recientes, dieron como resultado un total encontrando 31 diferentes tipos de movimientos en masa distribuidos por toda la microcuenca.

Figura 7

Ubicación de Movimientos en Masa Históricos

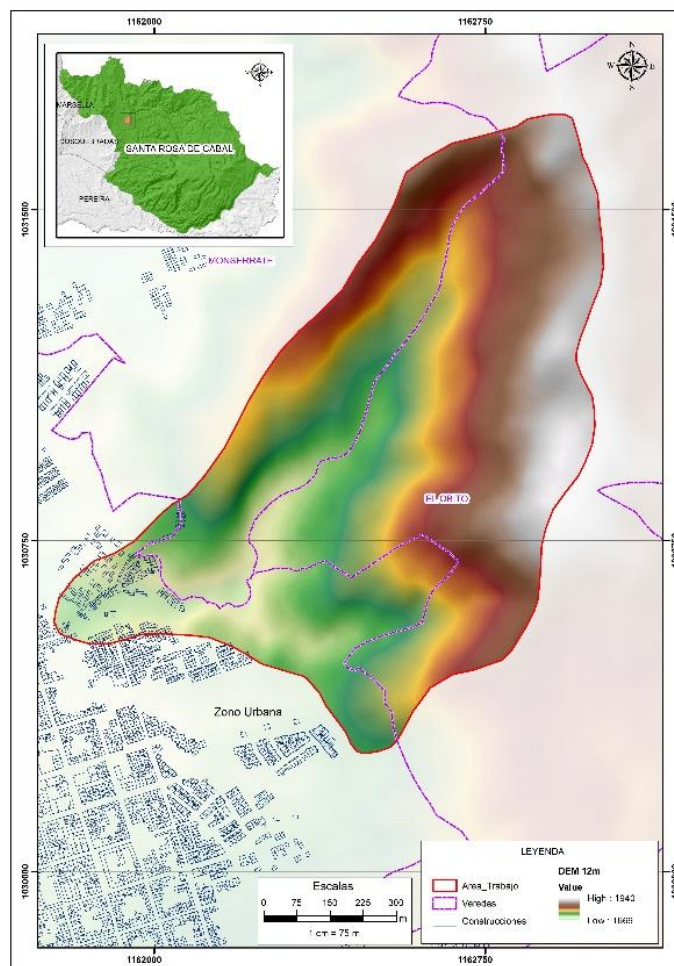


13.2. Evaluación de la Amenaza por Movimientos en Masa

Una vez digitalizada la información de cada mapa temático obtenido del análisis de cada variable, según el tipo de parámetro existente. De acuerdo con la experiencia en este tipo de análisis y con la información obtenida en campo, y la asignación de pesos a los diferentes condicionantes de cada variable. Los mapas se generaron a partir de información secundaria y primaria (levantada en campo), digitalizada y analizada utilizando la herramienta SIG.

Figura 8

Modelo Digital del Terreno (DEM) Área de la Microcuenca



Como resultado de la evaluación de las diferentes variables y al involucrar los diferentes detonantes como sismos y precipitaciones, se calculó la amenaza mediante la siguiente ecuación:

$$AM = St ((Pen + Lit + GSI + Cmr + Gem + Dmm + Rug + Cur + CPe + CPI + Fsu + DFa + Dvi + DDr + Uso + Ope) + Ds + Dp)$$

El mapa resultante de la superposición de los mapas de susceptibilidad temáticos se denominó: Mapa de Amenaza por Movimientos en Masa y se obtuvo mediante ArcMap 10.1 de la siguiente forma: La herramienta utilizada fue ArcToolbox (Analyst Tools – Map Algebra) y matemáticamente la opción sumatoria de pesos por variables con pesos en porcentaje ponderados, lo que permitió conservar los atributos de los mapas temáticos. Los mapas temáticos se mantienen en el formato de ArcGIS Features Class.

13.3. Pendiente de la Ladera

En la zona de estudio los valores de pesos de 1 están asociados a la parte alta de las laderas las cuales son un poco más escarpadas y los valores más bajos se asocian a los valles de las quebradas y a las cimas de las laderas. La pendiente está muy relacionada con la aparición de movimientos en masa dado que es el principal factor geométrico que aparece en los análisis de estabilidad y es una de las principales condiciones para que ocurra un movimiento en masa.

Figura 9

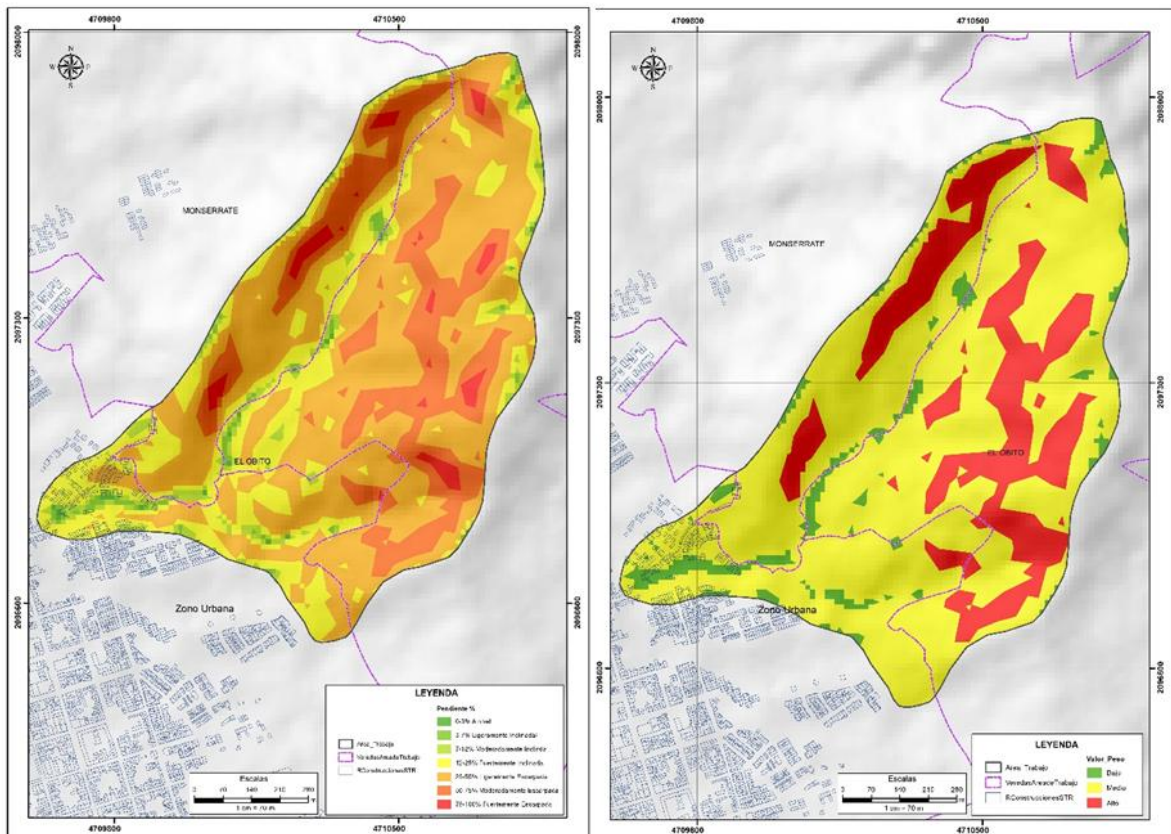
Calificación de la Pendiente de Ladera

RANGOS (%)	DESCRIPCIÓN	VALOR O PESO	REPRESENTACIÓN EN LA CUENCA
0 - 3	A nivel	0	5%
3 - 7	Ligeramente inclinada	0	
7 - 12	Moderadamente inclinada	0	
12 - 25	Fuertemente inclinada	0,5	72%

25 - 50	Ligeramente escarpada	0,5	
50 - 75	Moderadamente escarpada	1	22%
< 75	Fuertemente escarpada	1	

Figura 10

Izq. Mapa de Pendientes. Der. Mapa de Susceptibilidad por Pendientes



13.4. Rugosidad

La rugosidad del terreno tiene un impacto en los deslizamientos pues a mayores cambios de pendiente aumenta su probabilidad de ocurrencia.

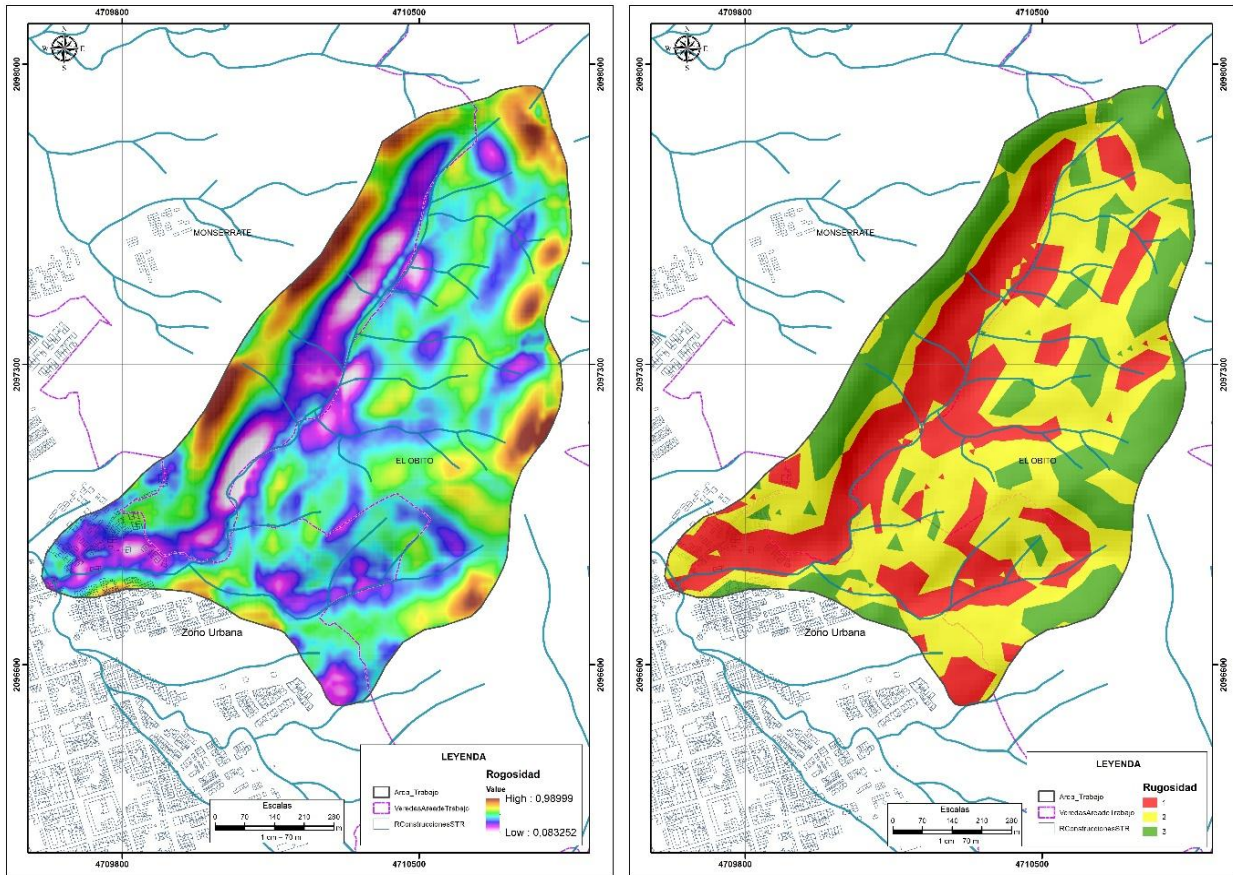
Tabla 10

Calificación de la Rugosidad

RANGOS	VALOR O PESO	PORCENTAJE
0.08 – 0.43	0	31%
0.43 – 0.54	0,5	44%
0.54 – 0.99	1	25%

Figura 11

Izq. Mapa de Rugosidad. Der. Mapa de Susceptibilidad por Rugosidad



13.5. Curvatura

La curvatura para el área de estudio se. El valor de 1 representa la curvatura cóncava, esta forma favorecen una acumulación e infiltración de agua importante, por lo que el terreno se vuelve altamente susceptible a los movimientos en masa. Al realizar el mapa de densidades por movimientos en masa se pudo observar una gran coincidencia de los valores altos de curvatura con coronas de deslizamientos antiguos. Las zonas planas retienen poca cantidad de agua y además poseen poca o nulo grado de pendiente por lo que se le asigna un peso de 0.5, cabe anotar que esta forma está representada por sectores horizontales a casi horizontales (como Terrazas aluviales) y verticales a casi verticales de los gabros. En las zonas convexas el agua corre por escorrentía a favor de la pendiente, el agua lluvia que se alcanza a infiltra es mínima, haciéndolo poco susceptible a movimientos en masa.

Tabla 11

Calificación de la Curvatura

RANGOS	DESCRIPCIÓN	VALOR O PESO	REPRESENTACIÓN EN LA CUENCA
<-0,3	Convexo	0	41%
-0,3 – 0,3	Plano	0,5	34%
>0,3	Cóncavo	1	24%

Figura 12

Izq. Mapa de Curvatura. Der. Mapa de Susceptibilidad por Curvatura

12.6 Curvatura de Perfil

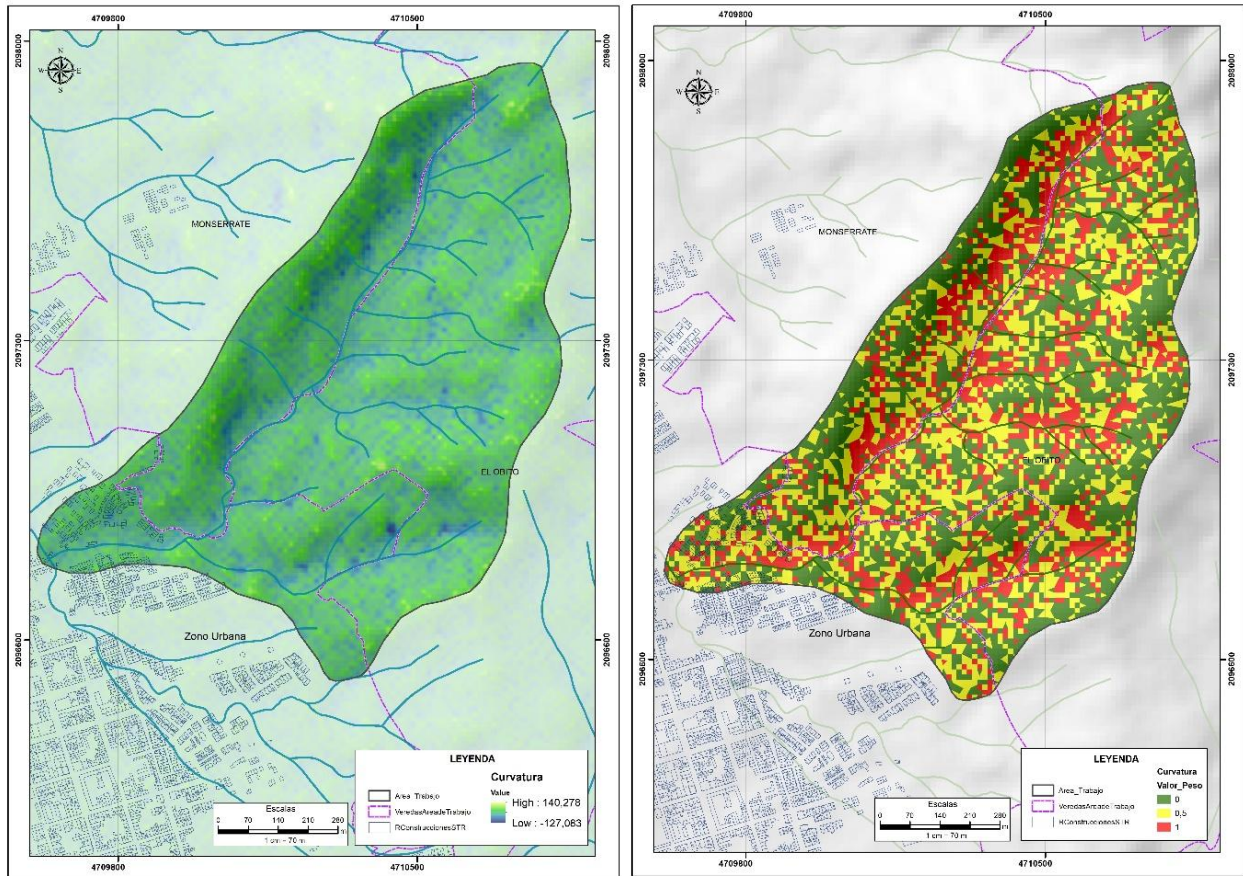


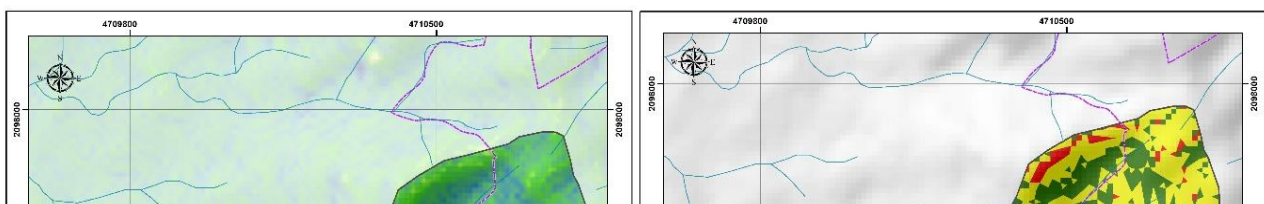
Tabla 12

Calificación de la Curvatura de Perfil

RANGOS	VALOR O PESO	REPRESENTACIÓN EN LA CUENCA
<-0,3	0	35%
-0,3 – 0,3	0,5	62%
>0,3	1	3%

Figura 13

Izq. Mapa de Curvatura de Perfil. Der. Mapa de Susceptibilidad por Curvatura de Perfil



13.6. Curvatura en Planta

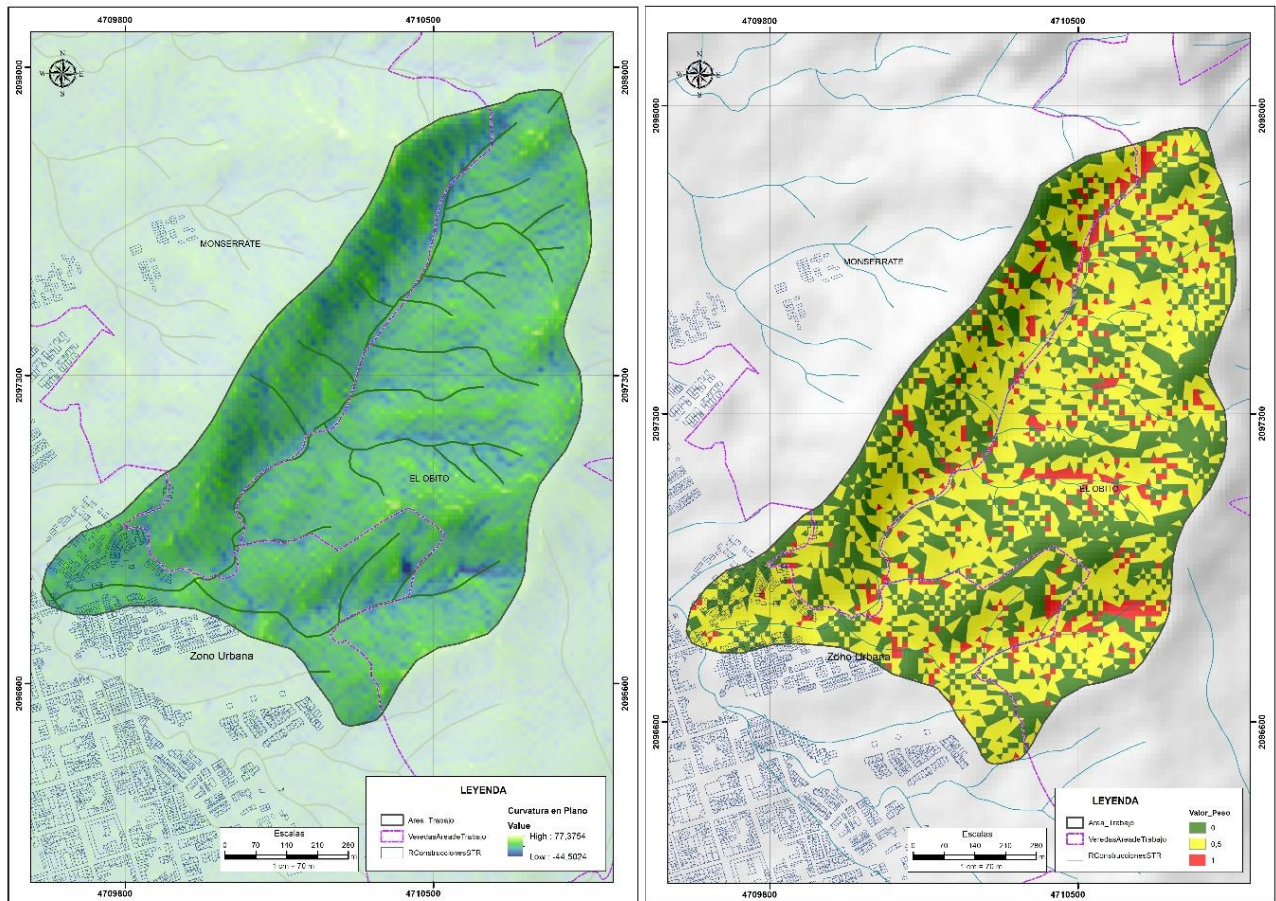
Tabla 13

Calificación de la Curvatura en Planta

RANGOS	VALOR O PESO	REPRESENTACIÓN EN LA CUENCA
<-0,3	0	36
-0,3 – 0,3	0,5	57
>0,3	1	7

Figura 14

Izq. Mapa de Curvatura en Planta. Der. Mapa de Susceptibilidad por Curvatura en Planta



13.7. Orientación de la Pendiente

Tabla 14

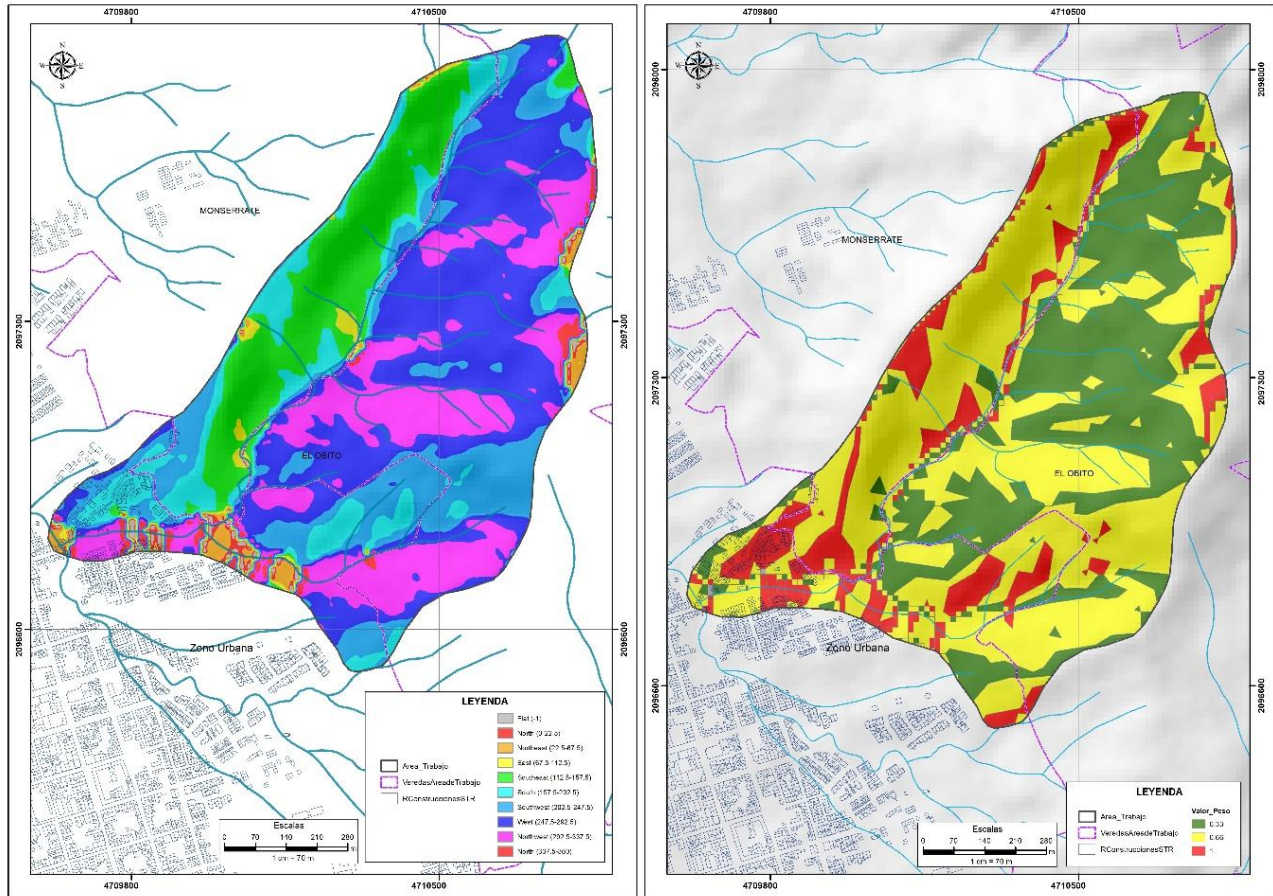
Calificación de la Orientación de la Pendiente

RANGOS	DESCRIPCIÓN	VALOR O PESO	PORCENTAJE
0-22,5	Norte	1	2%
22,5 - 67,5	Noreste	0,66	2%
67,5 - 112,5	Este	0,33	1%
112,5 - 157,5	Sureste	0,66	16%
157,5 - 202,5	Sur	1	11%
202,5 - 247,5	Suroeste	0,66	16%

247,5 - 292,5	Oeste	0,33	32%
292,5 - 337,5	Noroeste	0,66	20%
337,5 - 360	Norte	1	1%

Figura 15

Izq. Mapa de Orientación de Ladera. Der. Mapa de Susceptibilidad por Orientación de



13.8. Geología

13.8.1. Stock Diorítico de Santa Rosa (Kds)

Cuerpo intrusivo, de composición dominante hornblenda, plagioclasa caolinizada y cuarzo en menor proporción, de grano medio a grueso, de color verdoso; masiva con notable bandeamiento apartemente. Pertenecientes a la serie subalcalina con carácter toleíticos, clasificados geoquímicamente como gabros y modalmente como metagabros con un grado de deformación que varía de cataclasita a milonita, por lo cual ha sido agrupado en distintas unidades litológicas de acuerdo a los autores que lo han estudiado; Mosquera (1978) lo denomina Stock gábrico - diorítico de Chinchiná – Santa Rosa y Estrada et al., (2001) lo llaman Anfibolita Saussurítica de Chinchiná. Se altera a arcillas pardas oscuras; este cuerpo se encuentra delimitado por fluido fluviovolcánicos recientes que generan una topografía suave que contrasta con la de las rocas ígneas y metamórficas. La edad por correlación con el gabro de Pueblito, ha sido estimado en 13+-9 millones de años (Cretáceo Inferior).

13.8.2. Flujos de Lodo Volcánico (Qflv)

Depósitos cuaternarios compuestos por flujos de lodo volcánica, estos lados de origen fluvioglaciar están compuestos por rocas piroclásticas, lapilli y fragmentos de rocas volcánicas con ocasionales bloques de rocas metamórficas e intrusivas. Los bloques varían de tamaño entre centímetros (5cm) a metros de composición andesítica, un manto de ceniza volcánica cubre los cuerpos de roca descritos; aunque el espesor no es uniforme se pueden tener espesores entre 50m.

Teniendo como base la geología regional y la cartografía efectuada a escala 1:25.000 del POMCA río Campoalegre, se asignó un peso a cada unidad, tomando como referencia los valores de peso designados para estas unidades en el POMCA; los cuales se establecen dependiendo de la resistencia o susceptibilidad que presenten al proceso de deslizamiento. Para aplicar estos pesos se tienen en cuenta factores como la edad y las propiedades del

material, más no la localización en el terreno ni la pendiente. En la (Tabla 7) se presenta la clasificación asignada a cada una de las clases de acuerdo con sus características (calificación de la susceptibilidad). Donde se le asigna un valor de mayor peso a los flujos de lodo volcánico por su grado de compactación.

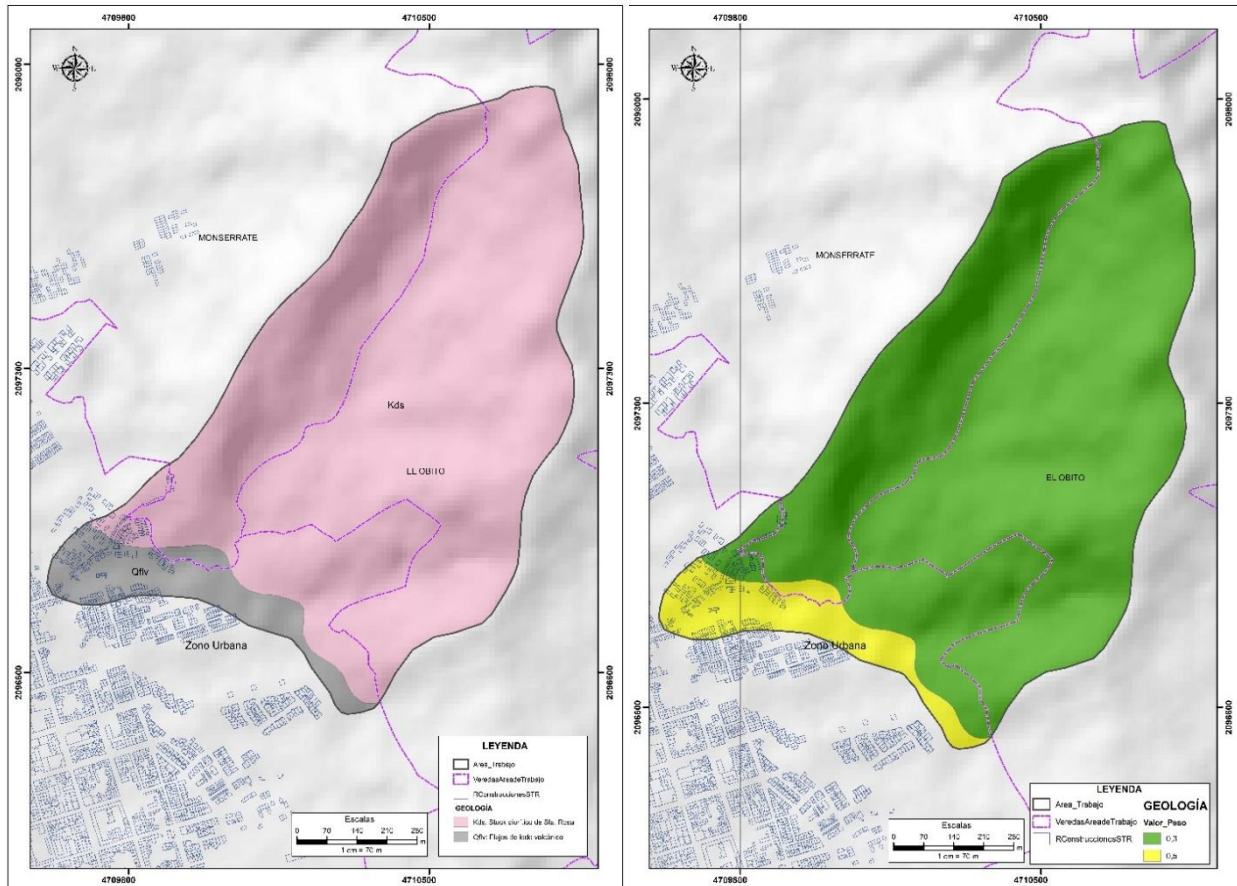
Tabla 15

Calificación de la Susceptibilidad del Tipo de Unidad Geológica

UNIDAD	LITOLOGÍA	SIMBOLO	VALOR O PESO
Stock Gabrodiorítico de Santa Rosa	Gabrodiorítico	Kds	0,3
Flujos de Lodo Volcánico	Flujos de Lodo Volcánico	Qflv	0,5

Figura 16

Izq. Mapa Geología Local Microcuenca Der. Mapa Calificación Susceptibilidad Geología



Fuente: Adaptado y ajustado del Servicio Geológico de Colombia – SGC, 1984

14. Unidad Geológica Superficiales (UGS)

Con base en descripciones de estudios previos, e interpretaciones en el área, por los datos de validación efectuados en campo, se pudo identificar el predominio de suelos un porcentaje de importancia los suelos residuales derivados de rocas básicas tipo gabros con una participación aproximada de (85,00%), seguido de las áreas con presencia de suelos residuales derivados a partir de cenizas volcánicas (10,36%) y depósitos fluviovolcánicos (3,21%) y (0,70%) se encuentra distribuidos UGS existentes en la zona como rellenos antrópicos y coluviones. En la siguiente (Tabla 8) se remiten las calificaciones asignadas para cada UGS determinada.

14.1. Suelo Residual de Roca Ígnea Intrusiva Stock Gábrico de Santa Rosa (Srii)

Según el POMCA río Campoalegre clasifica SUCS de este material corresponde a arenas limosas de alta compresibilidad (SP), (SM) y (MH); con un porcentaje que pasa por el tamiz # 200 de 35.25 %. La densidad húmeda registra promedios de 1,66 gr/cc; índice de plasticidad de 26,75 % y la humedad natural presenta valor de 38.35 %. Los parámetros de resistencia registrados mediante el ensayo de corte directo presentan valores de cohesión de 0,165 Kg/cm² y de ángulo de fricción de 31.79°

14.2. Depósitos de flujos de lodo volcánicos (Stv6)

Según el POMCA río Campoalegre clasifica a los suelos donde se presentan una espesa secuencia de depósitos de flujos de lodo y escombros derivados de la actividad volcánica del eje de la cordillera Central. Estos depósitos están conformados por materiales piroclásticos, principalmente cenizas volcánicas retrabajadas como matriz, y con fragmentos rocosos subangulares a subredondeados de origen ígneo como metamórfico, donde hacia la base dominan los flujos de escombros. El grado de alteración de parte de la secuencia es evidente.

Se consideran materiales más antiguos que el Holoceno y, en gran parte del área de la cuenca de estudio, estos flujos volcánicos son suprayacidos por secuencias de depósitos de cenizas volcánica que en muchas ocasiones ayudan al suavizado de la superficie. Los espesores de esta unidad varían muy poco, así que mantienen un promedio alrededor de los dos metros de altura.

Según los resultados de laboratorio y la clasificación SUCS de este material corresponde a limos de alta compresibilidad (MH); con un porcentaje que pasa por el tamiz # 200 de 76,30 %. La densidad húmeda de 1,66 gr/cc³ y la humedad natural presenta valor de 39,60 %. Los parámetros de resistencia registrados mediante el ensayo de corte directo presentan valores de cohesión de 0,38Kg/cm² y de ángulo de fricción de 27.83°.

14.3. Depósitos de ceniza volcánica (Stv1)

Según el POMCA río Campoalegre clasifica los depósitos de cenizas volcánicas que recubren en general todos los materiales del basamento existente en el área, pero su distribución es restringida principalmente a las zonas de interfluvios, y se pueden observar principalmente sobre las vías a Cantadelicias – Manga Bonita, el Rayo – San Andrés, así como hacia el sector del Bajo Español – El Trébol (Fuente: Informe final San Francisco, 2015).

Los depósitos de cenizas volcánicas en general son inferiores a 10 metros y son de color café. Estos materiales se depositan en capas paralelas a la topografía y su espesor inicial es función de varios factores como la distancia a los centros volcánicos, tipos y energías de las erupciones y dirección de los vientos, sin embargo, en su conservación como suelo, juega un papel importante la morfología del terreno. Su nivel de alteración no permite definir los diversos niveles eruptivos que las conforman. Estos materiales presentan un comportamiento en seco sueltas a ligeramente duras, su adherencia en mojado es plástica y con cristales visibles en la fracción arena de plagioclasas, ferromagnesianos (algunos alterados) y algo de cuarzo en proporción <15% con respecto a la matriz” (Mejía, H. 2009). Este material posee la

|

característica de presentar muy buenas condiciones para construir sobre él, cuando hace parte de terrenos llanos o semillanos, caso distinto es cuando se encuentra formando laderas de alta pendiente y es sometido a: intervenciones antrópicas como deposición de materiales de relleno (suelos provenientes de descapote, basuras, escombros, etc.), a alteración de sus condiciones de humedad o a cortes verticales con alturas que sobrepasan los 4 m., ya que se convierten en un material potencialmente inestable.

Según los resultados de laboratorio y la clasificación SUCS de este material, corresponde a limos de alta compresibilidad (MH); con un porcentaje que pasa por el tamiz # 200 correspondiente al 81.40 % del total. La densidad húmeda registra promedios de 1,43 gr/cc; índice de plasticidad de 32,3% y la humedad natural presenta valor de 63,56 %. Los parámetros de resistencia registrados mediante el ensayo de corte directo presentan valores de cohesión de 0,27 Kg/cm² y de ángulo de fricción de 26,11°.

14.4. Coluviones (Strc1)

Según el POMCA río Campoalegre clasifica a los suelos derivados de coluviones, caracterizados por tener fragmentos de material rocoso angulares, embebidos en una matriz areno-limosa a areno-arcillosa. Presentan un color característico amarillo pardo, textura principalmente limo arenosa, la consistencia de la matriz oscila entre firme y blanda, en términos de densidad relativa corresponde a materiales densos y el rango de espesor es muy variable encontrándose rangos entre 1 a 2 metros, cubriendo una extensión de 135,26 Ha del total de la zona de estudio evaluada.

14.5. Rellenos de excavaciones, escombros o botaderos. (Strae)

Según el POMCA río Campoalegre son depósitos se caracterizan por presentar color principalmente pardo amarillento, texturas que van desde areno gravosas a limo arenosas, consistencia blanda. En termino de densidad se observa en la matriz del material porciones sueltas y densas, se presenta principalmente sobre el casco urbano del municipio de Santa

Rosa y en sus inmediaciones, con rangos de espesor variado que van desde los 2 a los 4 metros, cubriendo una extensión de 38,83 Ha.

Se aprecia que le mayor porcentaje de UGS en la zona de estudio está representado por los depósitos de cenizas (31.47%), seguido de suelo residual proveniente de rocas básicas (basaltos) con una participación del (24.10%) y luego se presentan flujos de lodo volcánico con un porcentaje del (13.68 %). Las UGS con mayor peso son las que contienen mayor matriz, presentan mayor humedad natural y/o parámetros de resistencia menor.

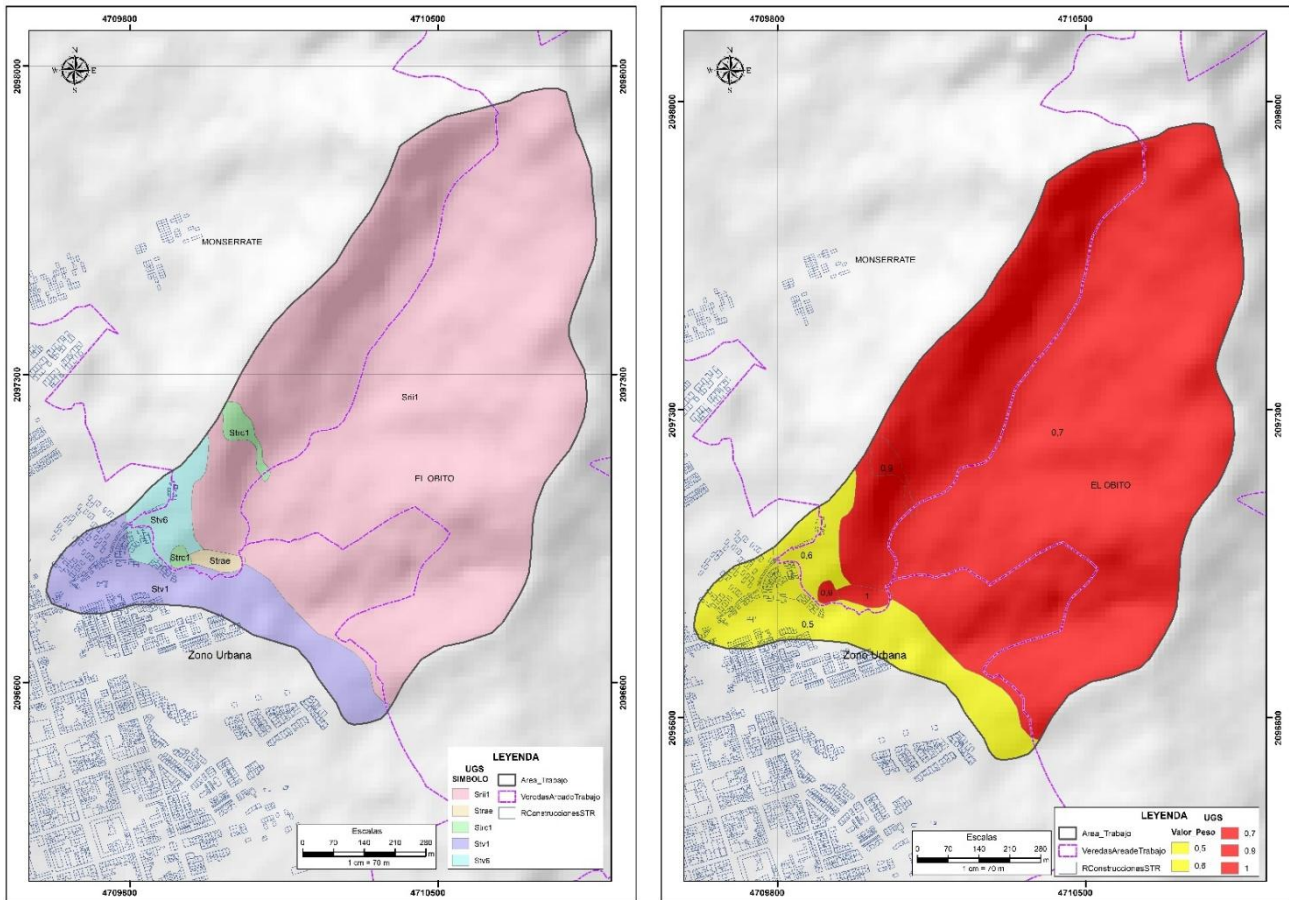
Tabla 16

Calificación de la Susceptibilidad para UGS

ORIGEN	UGS	PROCESO FORMACIÓN	GRANULOMETRIA	ESPESOR (m)	SÍMBOLO	VALOR O PESO
Volcánico	Depósitos de ceniza y lapilli de composición andesítica	Transportado	Lodoarenoso	6	Stv1	0,5
Volcánico	Flujos volcanoclásticos constituidos por piroclastos y epiclastos de composición andesítica	Transportado	Lodos, arena, grava y bloques de roca	1,2	Stv6	0,6
Roca ígnea intrusiva	Gabros bandeados isotrópicos y dioritas	Residual	Matriz de grano fino	3,3	Srii1	0,7
Coluvial	Gabros bandeados isotrópicos y dioritas	Residual	Matriz de grano fino	3,3	Strc1	0,9
Coluvial	Rellenos	Residual	Limos, arena, grava, bloques de roca y escombros	3,3	Strc1	0,9
Depósitos Antrópicos	Rellenos	Depósitos Antrópicos (Suelos removidos y escombros)	Limos, arena, grava, bloques de roca y escombros	3	Strae	1

Figura 17

Izq. Mapa de Unidades Geológicas Superficiales UGS Der. Mapa Clasificación



Fuente: Adaptado y ajustado POMCA río Campoalegre-2019

14.6. Geomorfología

La microcuenca se divide en dos ambientes morfogenéticos principalmente el Ambiente denudacional (d), donde se dan procesos por erosivos hídrica, y pluviales sobre las laderas denudadas

Sobre rocas ígneas intrusivos. Estos procesos erosivos deformacionales de carácter hídrico y de tipo fluvial y pluvial dan paso a procesos de meteorización, erosión y remoción en masa sobre geformas preexistentes, controlado por pendientes moderadas a altas. El Ambiente volcánico (v): corresponde a Laderas volcánicas con más de 13 km de ancho y más de 22 km de longitud en dirección al Occidente, se asocia a otros cuerpos de origen intrusivo

asociado al gabro de Santa Rosa y basaltos toleíticos de la formación barroso, constituyendo para este ambiente un 15%.

La calificación por susceptibilidad a las subunidades geomorfológica teniendo en cuenta los procesos de formación de las estas y su implicación en potenciales procesos de inestabilidad.

En la (Tabla 9) se presenta la calificación basada en la valoración de los parámetros morfométricos por unidad para la susceptibilidad por tipo de subunidad geomorfológica. Donde la unidad con mayores pendientes se clasifica con mayor peso, siendo la unidad más susceptible a presentar movimientos en masa.

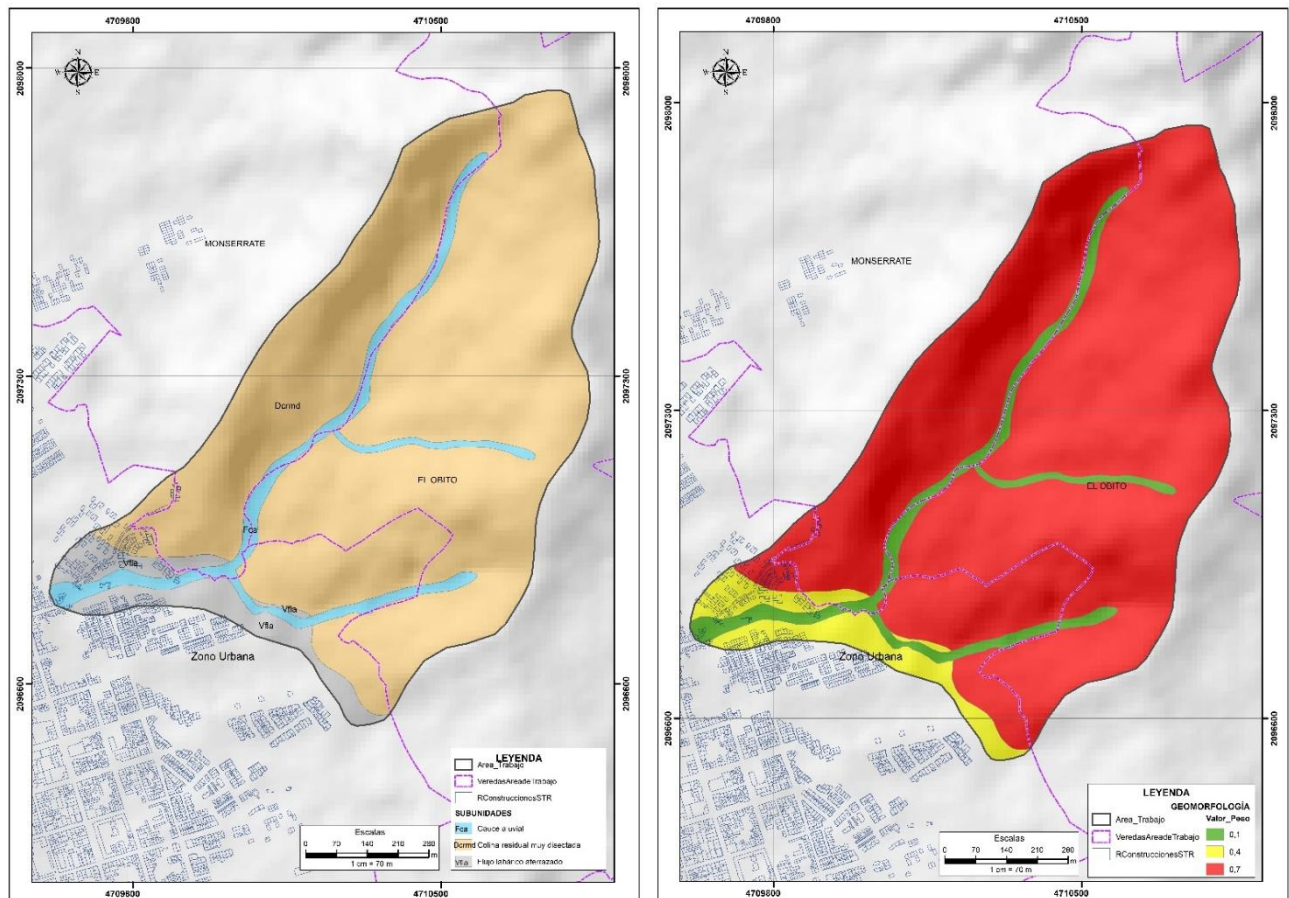
Tabla 17

Calificación de la Susceptibilidad por UGS

SUBUNIDADES GEOMORFOLOGICAS		SIMBOLO	VALOR O PESO
Cauce aluvial		Fca	0,1
Flujo lahárico aterrazado		Vfla	0,4
Colina residual muy disectada	Dcrmd		0,7

Figura 18

Izq. Mapa Subunidades Geomorfológicas. Der. Mapa Clasificación Susceptibilidad



Fuente: Adaptado y ajustado POMCA río Campoalegre-2019

14.7. Fallas

Según (Carvajal y Zapata, 1984) indican que en el área de la plancha 224-Pereira presenta lineamientos paralelos al trazo de la Falla de Toro, que quizás pueden ser pertenecientes al Sistemas de Fallas del Cauca sin ser definidas; estos lineamientos son identificados por fotointerpretación.

Corresponde al área de la microcuenca de estudio dentro de esta no se encuentra ningún tipo de falla o lineamiento, contiguo a esta se identifica un lineamiento no definido cubierto el cual está definido en la plancha 224-Pereira. Es de mencionar que la falla más cercana a la cuenca se encuentra por fuera de esta, según el mapa de la plancha 224-Pereria

es clasificada como un lineamiento cubierto y no se encuentra definido, por esto solo se toma un buffer de 500m de influencia. Por lo anterior se realiza la siguiente clasificación.

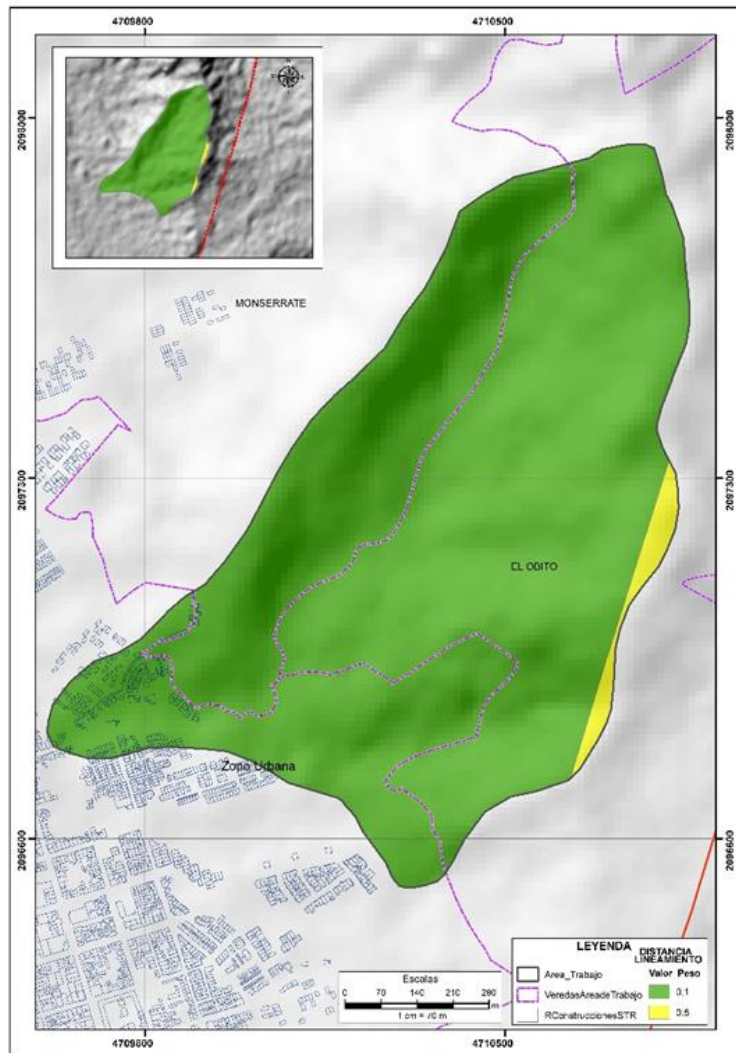
Tabla 18

Calificación y Categorización Susceptibilidad del Lineamiento.

DISTANCIA LINEAMIENTO (Grosor del buffer en m)	CATEGORÍA	VALOR O PESO
300->500	Baja	0,1
100-300	Media	0,5
0-100	Alta	1

Figura 19

Mapa Clasificación Susceptibilidad Distancia Lineamiento



14.8. Índice Geológico de la Roca (GSI)

Para determinar el valor del GSI se correlacionan las siguientes (Tabla 11) donde se ingresan una valoración horizontal: referente al tamaño y entramamiento de bloques, composición y estructura; y la valoración vertical es referente a las condiciones de las discontinuidades, se converge posteriormente en el valor del GSI dispuesto en las líneas diagonales.

Tabla 19

Caracterización del Macizo Rocoso en Función de los Bloques, la Trabazón y las Condiciones de las Juntas. Adaptada de Hoek (2006)







INDICE DE ESFUERZO GEOLOGICO PARA ROCAS UNIDAS (HOEK & MARINOS, 2000)		CONDICIONES DE SUPERFICIE				
Desde la litología, estructura y condiciones de superficie de las discontinuidades, se estima el valor promedio del GSI. No intentar ser muy preciso. Un rango de 33 a 37 es mas real que tomar un GSI de 35. Note que la tabla no aplica a fallas controladas estructuralmente. Donde planos estructurales debiles estan presentes en una direccion desfavorable con respecto a la excavacion, estos dominaran el comportamiento del macizo rocoso. Las zonas de falla son propensas a la alteracion como resultado de cambios de humedad que puede reducirse cuando el agua esta presente. Cuando trabajamos en roca regular o mala calidad cambian las condiciones por el cambio de humedad. La presion del agua es tratada por analisis de esfuerzos efectivos.		MUY BUENA	BUENA	REGULAR	POBRE	MUY POBRE
		Superficie muy rugosa, no meteorizadas, frescas	Superficies rugosas, ligeramente meteorizadas, manchadas con hierro	Superficies lisas, moderadamente meteorizadas y alteradas	Superficie con espajos de falla, alto grado de meteorizacion y rellenos compactos.	Superficie con espajos de falla, alto grado de meteorizacion y rellenos de arcillas suaves.
ESTRUCTURA		DECRECE LA CALIDAD DE LA SUPERFICIE →				
 INTACTA O MASIVA Rocas intactas o masivas in-situ, rocas con discontinuidades amplias y espaciadas		90			N/A	N/A
 FRACTURADA Macizo rocos con bloques enclavados, bloques cubicos formados tres intersecciones de sistemas de dicontinuidades		80	70			
 MUY FRACTURADA Macizo perturbado con bloques entrabados y angulares formados por la interseccion de 4 o mas sistemas			60	50		
 FRACTURADA/PERTURBADA/SORDIDA Macizo plegado formado por bloques angulares productos de la interseccion de varios sistemas de discontinuidades. Persistencia de los planos de estratificacion				40	30	
 DISGREGADO Pobremente enclavado, macizo altamente fracturado con mezcla de fragmentos angulares y redondeados					20	
 LAMINADA/FOLIADA Se carece de bloques debido al debil material en los planos de esquistocidad y cizalla		N/A	N/A			10
		← DECRECE EL ENCLAVAMIENTO DE LOS BLOQUES				

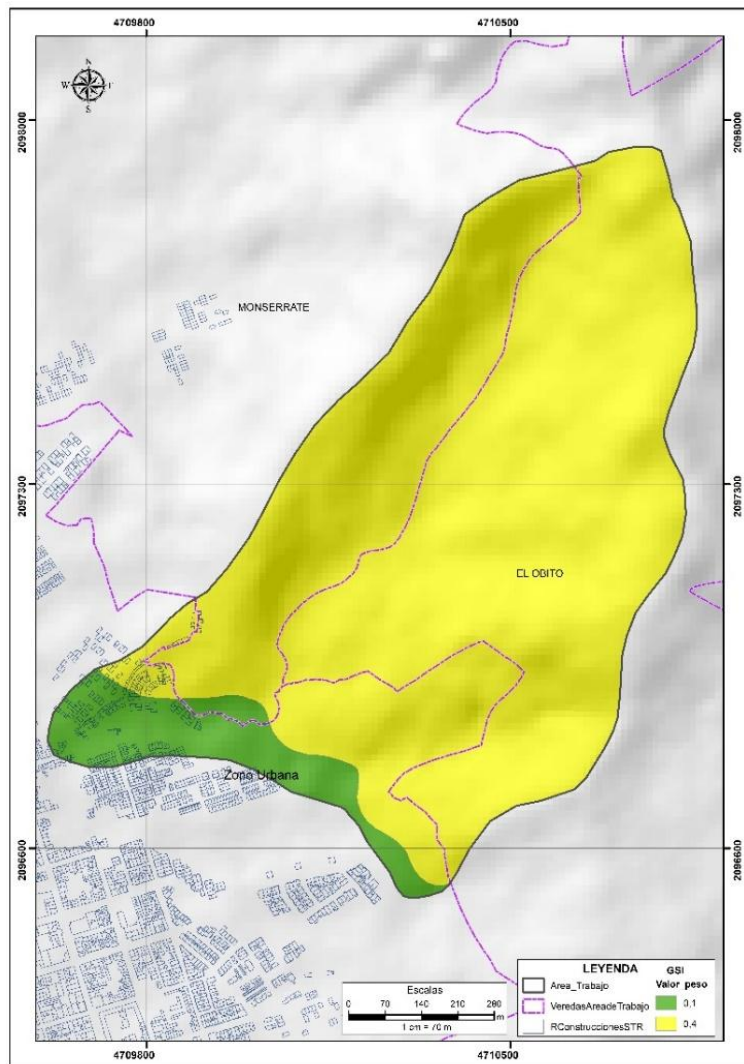
Tabla 20

Clasificación de la Susceptibilidad por GSI

LITOLOGÍA	SÍMBOLO	GSI	VALOR O PESO
Stock Gabrodiorítico de Santa Rosa	Kds	65	0,4
Flujos de Lodo Volcánico	Qflv	N/A	0,1

Figura 20

Mapa Clasificación Susceptibilidad GSI



14.9. Calidad del Macizo Rocoso

El valor del índice **GSI** define la calidad del macizo rocoso como: Roca fracturada en bloques regulares (**BR**), muy bien entrelazado, consistiendo en bloques formados por tres familias de discontinuidades y la condición de las discontinuidades es Regular (**R**), superficies lisas, moderadamente meteorizadas o alteradas. Que está en el rango del **GSI** determinado por observaciones de campo. Para el índice GSI el macizo rocoso está en el rango de (Tabla 22)

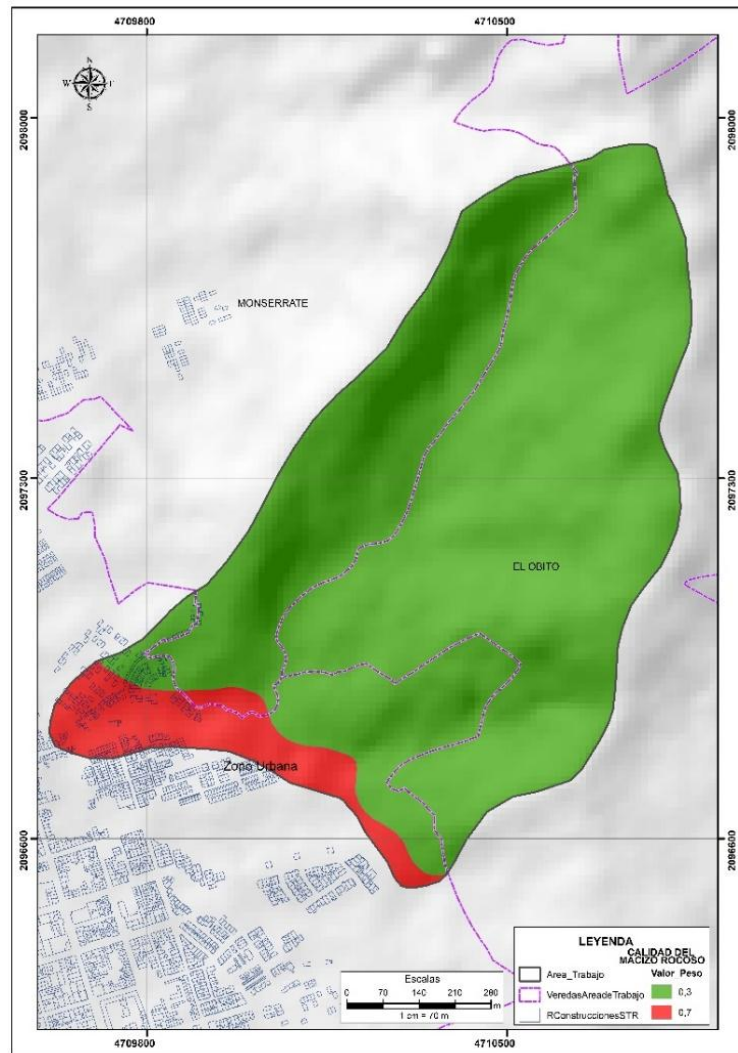
Tabla 21

Clasificación de la Susceptibilidad por Calidad de la Roca

LITOLÓGÍA	SIMBOLO	"f"	VALOR O PESO
Stock Gabrodiorítico de Santa Rosa	Kds	8-6	0,3
Flujos de Lodo Volcánico	Qflv	2	0,7

Figura 21

Mapa de Calidad del Macizo Rocoso



14.10. Cobertura Vegetal

Basados y modificados en la clasificación realizada en el POMCA río Campoalegre, se realizó una reinterpretación de la cobertura vegetal de la zona. Donde las áreas verdes, cultivos, al igual que los patios en tierra, favorecen la infiltración de agua a la ladera generando la saturación del suelo, y puede convertirse en un factor desencadenante de deslizamientos. La

siguiente (Tabla 23) muestra el peso asignado a cada tipo de cobertura de acuerdo con su influencia en la susceptibilidad a procesos de remoción en masa.

Tabla 22

Calificación de la Susceptibilidad del tipo de Cobertura a Movimientos en Masa

COBERTURA VEGETAL	CÓDIGO	Valor_Peso
Tejido Urbano Continuo	111	0,1
Bosque de Galería y Ripario	314	0,2
Pastos Limpios	231	0,6
Pastoreo Intensivo	231	0,6
Mosaico de Cultivos, Pastos y Espacios Naturales	243	0,7
Red Vial, Ferroviaria y Terrenos Asociados	122	0,7
Mosaico de Pastos con Espacios Naturales	244	0,7
Café	222	0,8
Tierras Desnudas y Degradadas	333	1

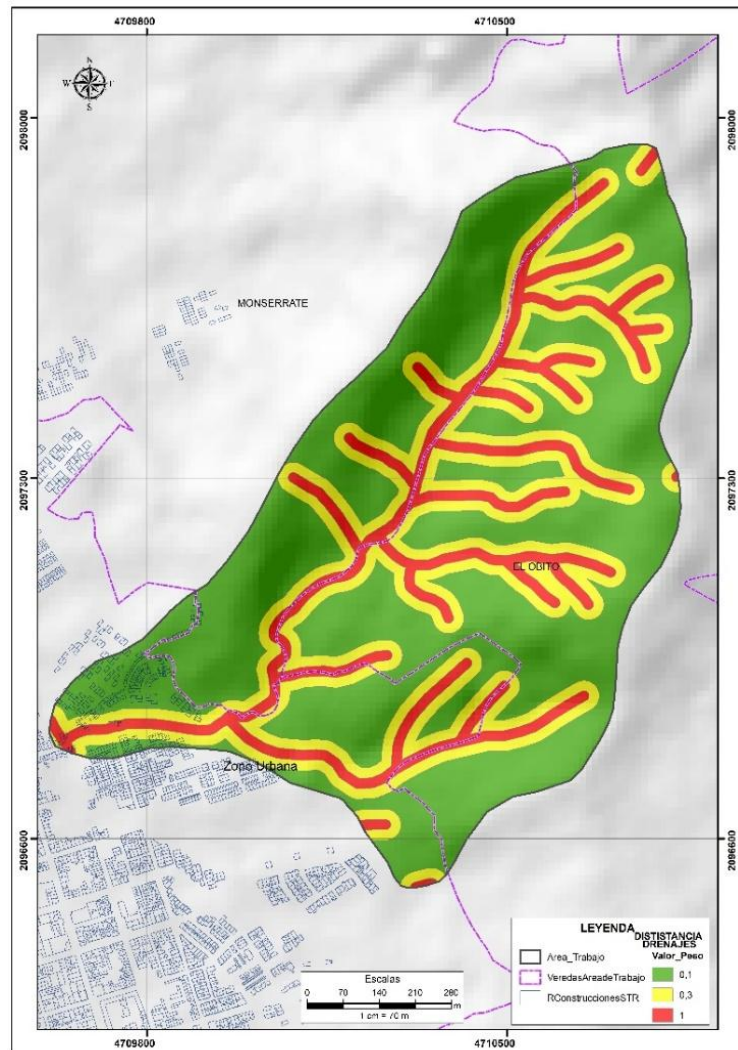
Tabla 23

Calificación y Categorización de la Distancia Drenajes

DISTANCIA A DRENAJE (Grosor del buffer en m)	CATEGORÍA	CALIFICACIÓN
0 – 10	Alta	1
10 - 30	Media	0,3
30 – 50	Baja	0,1

Figura 23

Mapa de Distancia Drenajes



14.12. Distancia a Vías

En el área de la cuenca corresponden a caminos y vías veredales sin pavimentación por lo cual su área de influencia es más restringida. En la siguiente (Tabla 17) se presenta la calificación y categorización de la distancia a vías utilizada.

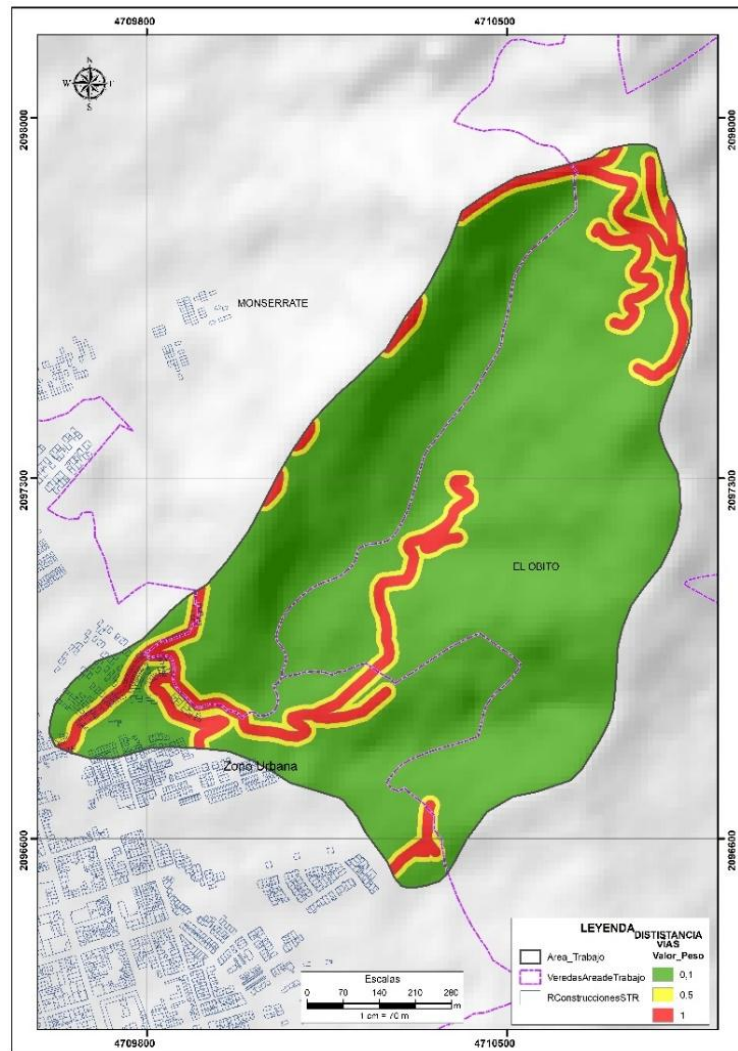
Tabla 24

Calificación y Categorización de la Distancia Vías

DISTANCIA A vías (Grosor del buffer en m)	CATEGORÍA	CALIFICACIÓN
0 – 10	Alta	1
10 - 20	Media	0,5
20 - 50	Baja	0,1

Figura 24

Mapa de Distancia Vías



14.13. Densidad de Movimientos en Masa

A través del trabajo de campo y la fotointerpretación, se realizó este mapa. El trabajo de campo efectuado corresponde a recorridos por los carreteables y en observaciones panorámicas desde sitios estratégicos y la fotointerpretación de los movimientos en masa activos.

La mayor densidad de movimientos en masa se registra hacia la parte central del área de estudio, donde las pendientes presentan rangos altos, hacia la parte baja de la microcuenca y hacia la

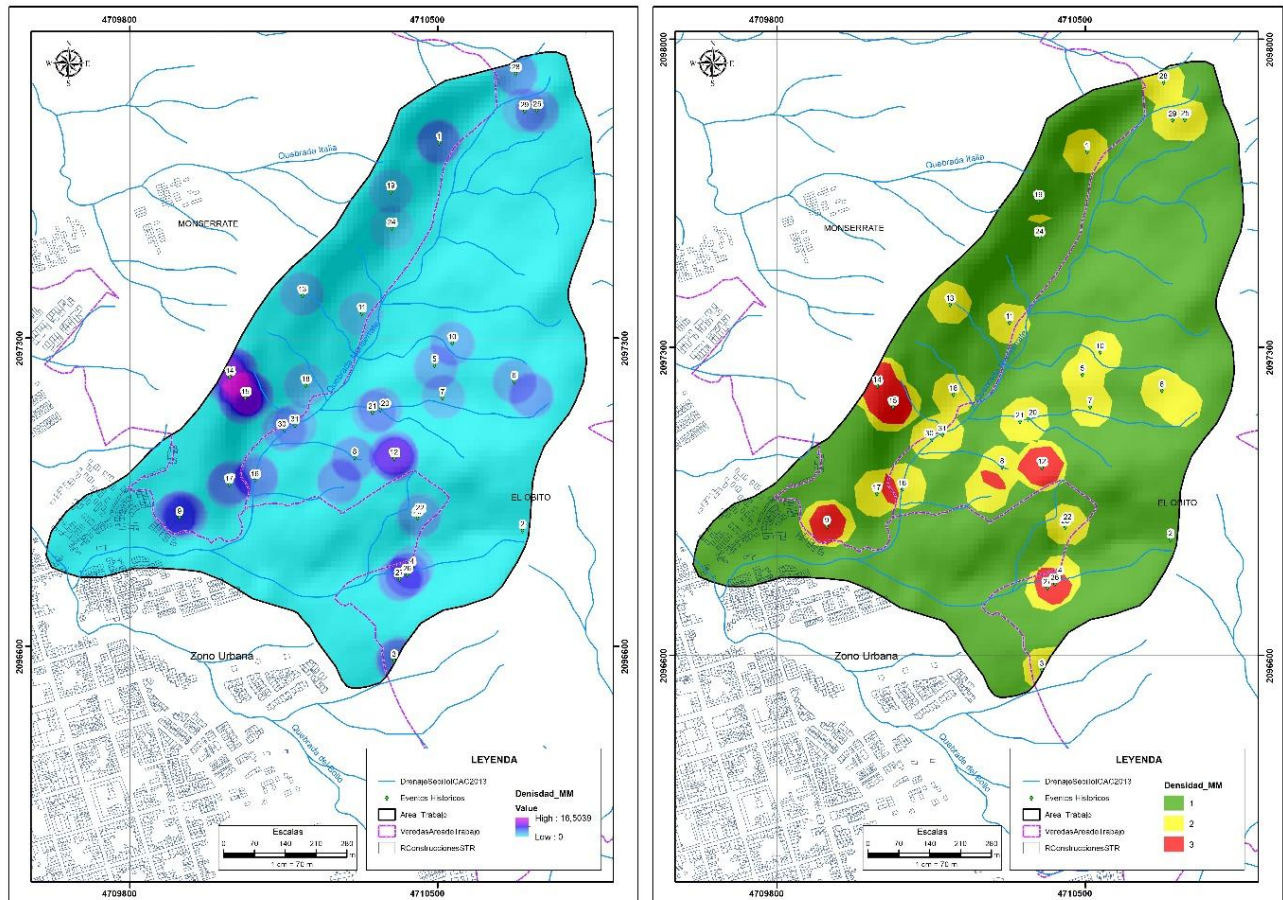
Tabla 25

Calificación y categorización de la Densidad de Movimientos en Masa

RANGOS	VALOR O PESO	PORCENTAJE
0 - 1,2	0	80
1,2 - 6	0,5	13
6 - 16	1	3

Figura 25

Izq. Mapa de Densidad de Movimientos en Masa. Der. Mapa de Susceptibilidad por Densidad



14.14. Mapa de Susceptibilidad ante Movimientos en Masa

Para establecer los niveles o categorías de susceptibilidad se han dividido los valores en rangos iguales, identificando los sectores con baja, media y alta susceptibilidad ante movimientos en masa, las susceptibilidades altas se encuentran ubicadas a lo largo de las laderas principalmente en la zona media del área de estudio, los lugares con susceptibilidad bajo están representadas por las quebradas y por el tejido continuo localizado en la parte suroeste de la microcuenca.

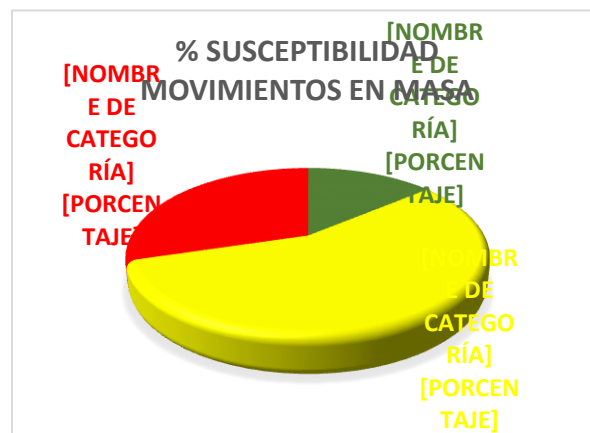
En la siguiente tabla se remite las áreas de susceptibilidad relacionadas con el área de del presente trabajo.

Tabla 26

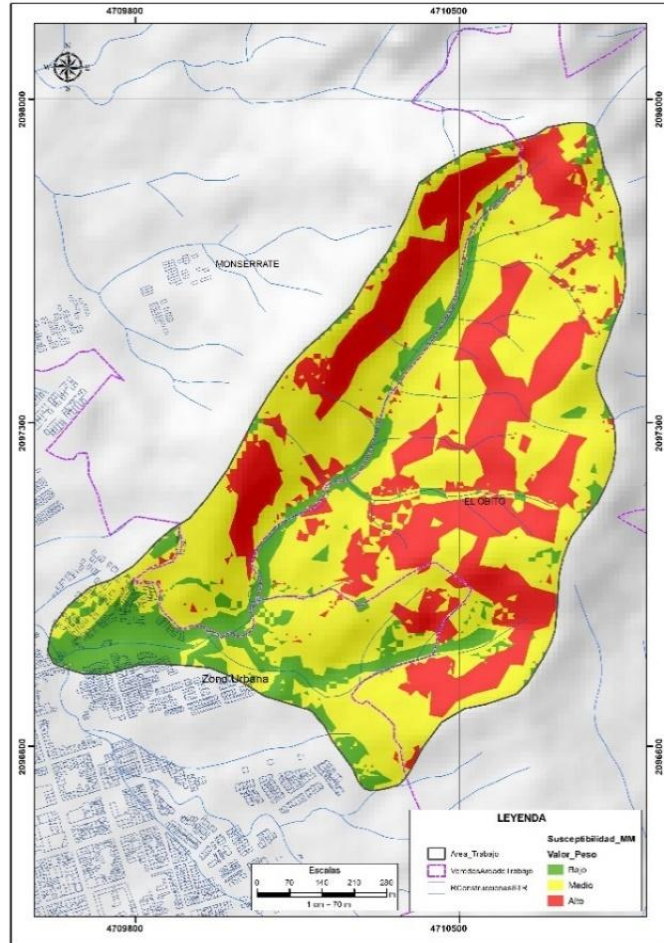
Análisis

	Rango	Susceptibilidad	área (Ha)	%
ante Movimientos en Masa	0,18 - 0,35	Bajo	12,4	14
	0,35 - 0,52	Medio	51,4	56
	0,52 - 0,69	Alto	27,1	30

Figura 26
Susceptibilidad ante



Mapa de
Movimientos en Masa



14.15. Análisis de la amenaza por movimientos en masa

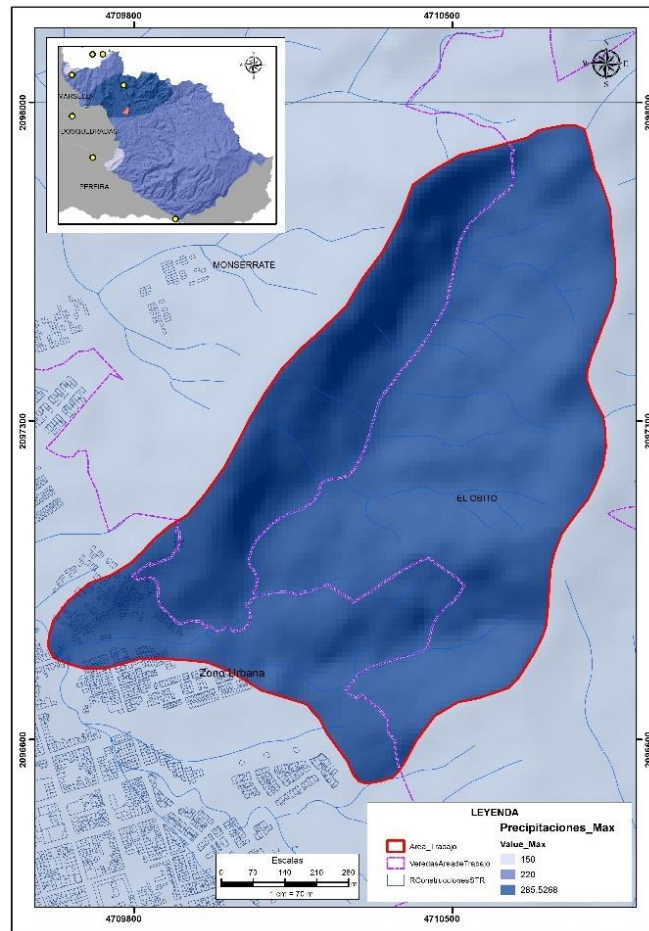
14.15.1. Detonante por Precipitaciones Máximas

La información fue obtenida del trabajo de grado denominado análisis de las precipitaciones máximas como factor detonante para la amenaza por movimientos en masa en el municipio de Santa Rosa de Cabal (álzate 2015), donde partieron de la hipótesis que a mayor lluvia diaria máxima, mayor es la probabilidad que se detone un movimiento en masa, generando una cobertura de lluvia máxima en 24 horas para un periodo de retorno de 100 años, para lo cual se seleccionaron las estaciones meteorológicas que se encuentren dentro de la zona de análisis y vecinas a ésta, con el fin de disminuir la

incertidumbre en el límite de la misma, en total analizaron 28 estaciones pluviométricas obteniendo el siguiente resultado.

Figura 27

Mapa detonante por Precipitaciones Máximas en 24horas



Toda el área de estudio queda representada en un solo rango máximo de precipitaciones con valores de 200mm en 24horas.

14.15.2. Detonante Sismo

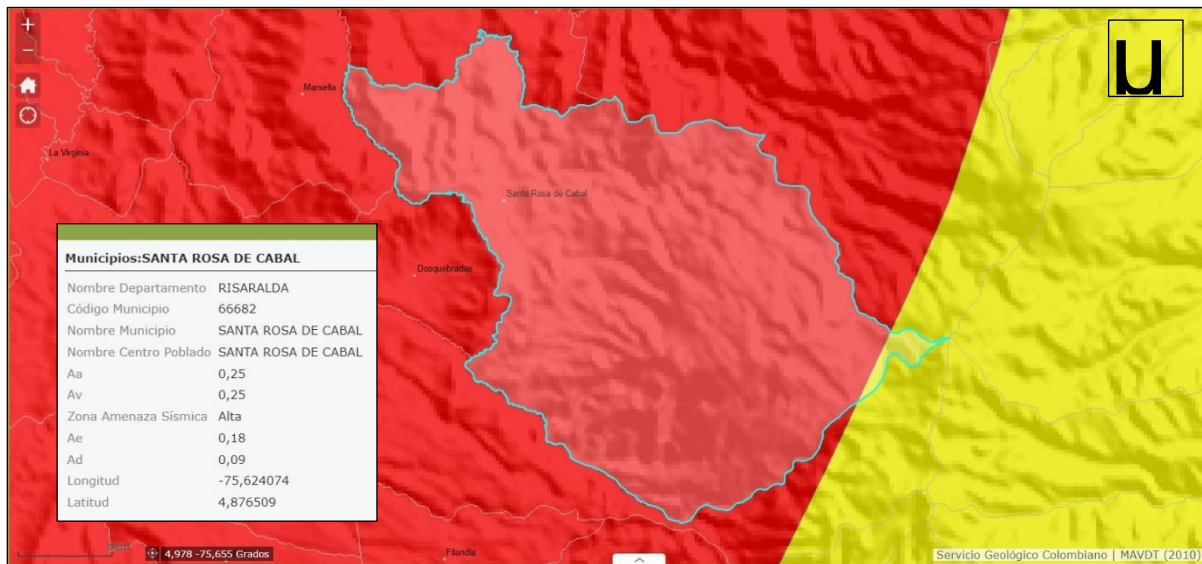
La parte occidental de Colombia está localizada dentro de la zona de convergencia de las placas Caribe, Nazca y Suramérica. Los sismos son fenómenos naturales causados por

movimientos de las Placa tectónicas. Al moverse, se producen ondas de diferentes tipos y de gran poder, las cuales viajan a través de las rocas.

El mapa de amenaza sísmica NSR-10 fue tomado del Servicio Geológico Colombiano realizado en el 2016 donde presenta al 95% del municipio de Santa Rosa de Cabal y gran parte del departamento de Risaralda con una aceleración Sísmica de Valor de 0,3 denominado de amenaza alta para sismos.

Figura 28

Mapa de Amenaza Sísmica para el Municipio de Santa Rosa de Cabal



Fuente: Geoportal- Servicio Geológico Colombia

14.16. Análisis de la Amenaza por Movimientos en Masa

Las modelaciones para la zonificación de amenaza por movimientos en masa se pueden adoptar de acuerdo con los requerimientos en niveles preliminares, intermedio o avanzado, con lo cual se puede definir un procedimiento heurístico, estadístico, estocástico o determinístico, es decir puede dárseles diferentes enfoques y metodologías. Generalmente, se considera necesario contar con un análisis de la distribución temporal y espacial de movimientos en masa que permita estimar probabilidades de ocurrencia de los mismos.

Un mapa de amenazas debería contener el tipo de proceso, la localización, el potencial de daño que pueda causar, ya sea expresado en términos de su magnitud (volumen) o de su intensidad; y la posibilidad de su ocurrencia, ya sea expresada cualitativamente en términos de posibilidad (alta, media o baja) o cuantitativamente en términos de frecuencia o probabilidad (PMA:GCA, 2007). A nivel nacional la identificación de los atributos anteriormente mencionados es limitado debido a la falta de registros históricos completos de movimientos en masa.

En la zona existe una disponibilidad limitada de información climatológica (precipitación y caudales) lo que restringe la simulación hidrológica, igual sucede con la información sismológica la cual es muy general y se requiere de una red de mayor densidad tanto de meteorología como de sismicidad.

Para el área de estudio el mapa de amenaza se obtiene del mapa de susceptibilidad ante movimientos en masa más la suma de los detonantes precipitación máxima y detonante por sismo. Para este estudio se sigue la siguiente ecuación:

$$A = (St + Dp) + (St + Ds)$$

Dónde:

A= Amenaza

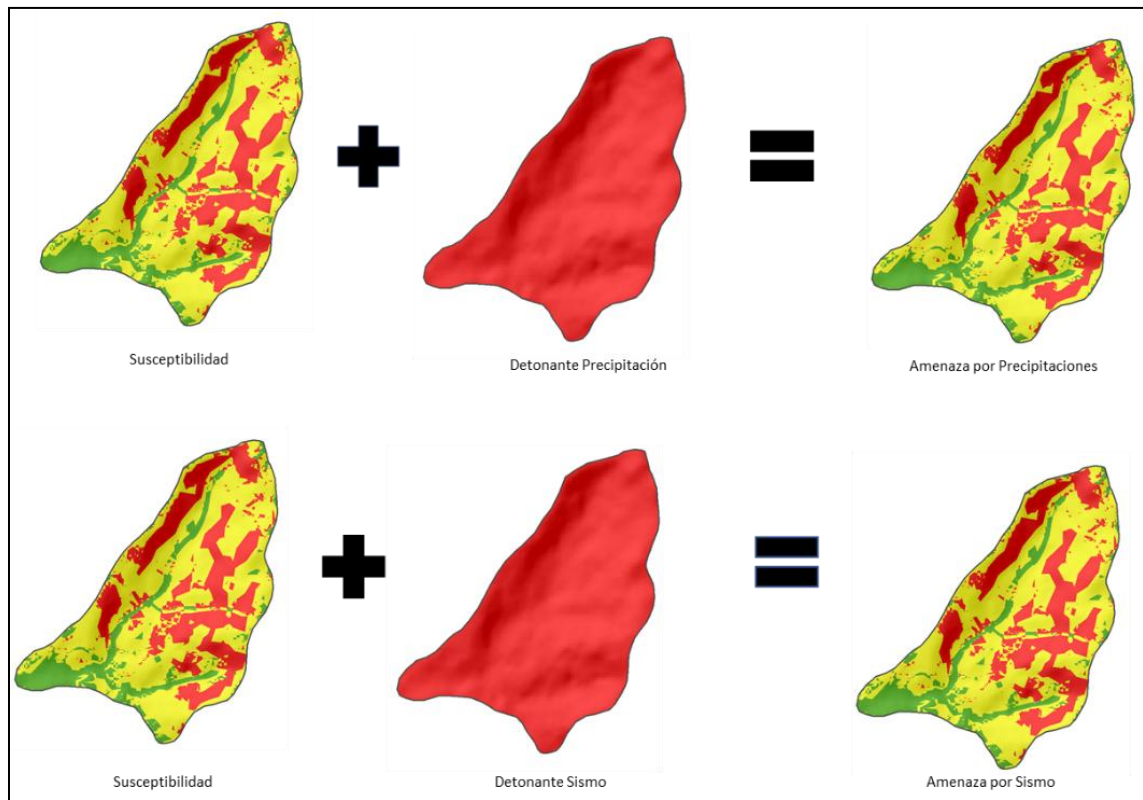
St=Susceptibilidad

Dp= Detonante por Precipitación

Ds= Detonante por Sismos

Figura 29

Mapas de Amenaza Relativa por Cada Detonante



El resultado del mapa de amenaza ante movimientos en masa en la microcuenca Monserrate es el mismo obtenido en el cálculo de la susceptibilidad, es decir, el área que tiene valores calificativos de baja, media y alta se mantienen sin ningún tipo de modificación, toda vez, que los mapas de cada detonante contienen un solo valor para las variables y al realizar la suma estos valores se conservan constantes.

14.17. Vulnerabilidad a los Movimientos en Masa

Este componente de la vulnerabilidad será evaluado a partir de información secundaria obtenida del diagnóstico realizado en el marco del Plan de Ordenación y Manejo de Cuenca Hidrográfica POMCA del río Campoalegre y otros directos al Cauca, realizado en marzo del 2020, la información aquí registrada es de total fiabilidad, pertinencia, actualidad y calidad, toda vez que, el documento reposa en las fuentes oficiales de información de la Corporación

Autónoma Regional de Risaralda – CARDER, además la microcuenca objeto de estudio de este trabajo se encuentra ubicado espacialmente dentro la cuenca del río Campoalegre y el trabajo realizado se realizó en base a los lineamientos establecidos en “Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas (Minambiente, Minhacienda y fondo de adaptación 2014)”.

14.17.1. Elementos Expuestos en la Cuenca

En el área de estudio se visualizan diversos elementos localizados en las zonas de amenazas por movimientos en masa, en general la microcuenca presenta un nivel de amenaza desde baja hasta alta, por lo cual los elementos potencialmente vulnerables se localizan en alguna de dichas zonas, a continuación, se relaciona la totalidad de cada uno de los elementos existentes, su correspondiente cantidad evaluada y su tipo de geometría cartográfica, como se muestra en la siguiente tabla

Tabla 27

Elementos Expuestos en la Cuenca

Geometría	Elemento	Cantidad Total
Punto	Construcciones	33
Línea	Camino, Sendero	3,62 km
	Vía Tipo 3	0,48 km
Polígono	Tejido Urbano	4,93 ha

14.18. Análisis de la Vulnerabilidad a Partir del Uso de un Modelo de Índices e Indicadores

En el documento diagnóstico del POMCA del río Campoalegre, la evaluación de la vulnerabilidad bajo el enfoque de la exposición seleccionaron el Modelo de Indicadores de

Vulnerabilidad (O.D. Cardona et al., 2003; Omar Darío Cardona, 2001), con el fin de no dejar excluidos las dimensiones social, económica y ambiental (UNAL, 2013).

Definiendo la vulnerabilidad como:

$$\text{Vulnerabilidad} = [\text{Exposición x fragilidad X falta de resiliencia}]$$

Que mediante el uso de índices se convierte en la siguiente expresión:

$$\text{Vulnerabilidad} = (\text{índice de exposición (IP)} * \text{Índice fragilidad (IF)} / \text{índice de resiliencia (IR)})$$

Índice de Pérdida o Índice de Exposición (IP).

Este índice se ve afectado por los niveles de confianza de la valoración y varío ente 1 y 0, teniendo en cuenta el valor físico o costo de reposición del bien, valor humano o número de ocupantes estimados en el área y clasificación del bien. Para el cálculo utilizaron indicadores económicos y de desarrollo los cuales aportan valores de reposición estimados del bien para los diferentes elementos reseñados anteriormente y para el caso de la población se determina el número proyectado de habitantes por la cantidad de viviendas existentes basado en los promedios de población asentada en la cuenca. Se define como:

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

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

Vf: Valor final del bien (después del evento o valor de reposición)

Este índice se obtuvo para el área de trabajo.

Índice de Fragilidad (IF).

El análisis de la fragilidad está asociado a la resistencia o la susceptibilidad física del elemento a ser afectado por la ocurrencia de un evento determinado, adoptando índices que varían entre 0 y 1 y evaluando la fragilidad física, social- cultural, y ecosistémica como se describe a continuación:

Fragilidad Física.

Se determina como la condición de susceptibilidad de los asentamientos humanos de ser afectados por estar en el área de influencia de los movimientos en masa asignando un valor de 1 si está ubicado el elemento en zona de amenaza alta o un valor de 0 si está en área de amenaza baja.

Tabla 28

Índice de fragilidad física

Nivel de Amenaza	Índice de Fragilidad Física
Alta	1
Media	0,5
Baja	0

Fuente: Protocolo Gestión del Riesgo POMCAS. MinAmbiente, MinHacienda (2014).

Fragilidad Socio-Cultural.

Se define como la predisposición que surge como resultado de nivel de marginalidad y segregación social del asentamiento humano y sus condiciones de desventaja y debilidad relativa por factores socio-económicos. La fragilidad socio cultural es la suma del índice de

Calidad de Vida (ICV) y la Dimensión Cultural.

El ICV lo establecieron a través de información disponible en el Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE y en el Sistema de información geográfica para

la planeación y el ordenamiento territorial nacional – SIGOT. Y se estima que entre más bajo sea el valor del ICV la fragilidad será mayor.

La dimensión cultural se incluye de forma indirecta puesto que existen coberturas que, aunque no están ocupadas por población, se constituyen en patrimonio natural o en áreas apropiadas para el desarrollo de actividades de aprovechamiento del espacio público o de fuentes de subsistencia de comunidades, como por ejemplo los bosques, las áreas verdes, los cuerpos de agua, entre otros.

Tabla 29

Valor Calidad de Vida (ICV) y la Dimensión Cultural

ICV y Fragilidad Socio-Cultural		
Valor	ICV	Categoría
0,1	Mayor de 80	Baja
0,25	Mayor de 67 menor de 80	Media
0,5	Menor de 67	Alta

Fragilidad Ecosistémica.

El análisis lo realizaron evaluando las áreas protegidas o de servicios ambientales, que permiten la satisfacción de necesidades básicas, como el acceso al agua, a la energía o al aire y garantiza el equilibrio natural a través de la conservación o protección; y son soporte de la productividad de alimentos (UNAL, 2013).

El índice propuesto varía entre 0 y 1. En caso de que la cobertura esté localizada en un área protegida, el valor de la fragilidad siempre será de 1, por lo que la categoría será alta. Sin embargo, si la cobertura no se encuentra dentro de un área protegida se determinó si es un ecosistema estratégico y su evaluación se hará teniendo en cuenta lo siguiente:

Tabla 30

Fragilidad de Ecosistemas Estratégicos

Valor	Áreas y Ecosistemas estratégicos	Categoría
1,00	Satisfacción de necesidades básicas y equilibrio natural	Alta
0,75	Productividad y equilibrio natural	Media
0,30	Productividad	Baja
0,00	No constituye ecosistema estratégico	Ninguna

Fuente: Protocolo para la incorporación de la Gestión del Riesgo en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (MinAmbiente, MinHacienda, Fondo de adaptación – 2014).

De acuerdo con las calificaciones, la fragilidad total se determina mediante la siguiente expresión:

$$Fragilidad = \frac{Fragilidad\ física + Fragilidad\ sociocultural + Fragilidad\ ecosistémica}{3}$$

El índice final de fragilidad varía entre 0 y 1. Si el valor final es menor a 0.5 la fragilidad es baja; si el valor final está entre 0.5 y 0.75 la fragilidad es media, y si el valor está entre 0.75 y 1 la fragilidad es alta, como se detalla en la siguiente tabla

Tabla 31

Índice Final de Fragilidad

Valor	Categoría índice de Fragilidad
0 - 0,5	Bajo

0,5 - 0,75	Media
0,75 - 1	Alta

Índice de Resiliencia (IR).

Expresa las limitaciones de acceso y movilización de recursos del asentamiento humano, su incapacidad de respuesta y sus deficiencias para absorber el impacto.

En primer lugar, este indicador aborda la afectación de las actividades productivas y de la infraestructura estratégica de transporte, servicios públicos, etc.; y, en segundo lugar, se evalúa también la recuperación en el corto, mediano y largo plazo, ya que la falta de resiliencia mide la incapacidad de absorber los impactos y recuperarse a ellos. De este modo, la evaluación se realizará con base en los siguientes términos

Tabla 32

Indicador de la Falta de Resiliencia económica

VALOR	RESILIENCIA	CATEGORÍA
1	Se localizan las más importantes actividades productivas para el desarrollo económico de la región y/o hay presencia de infraestructura estratégica o vital. Hay destrucción total del medio ambiente físico recuperables en el largo plazo	Muy Alta
0,75	Se desarrollan algunas actividades económicas y se localiza infraestructura estratégica. Daños ambientales muy grandes difíciles de reparar. Recuperación en el mediano plazo.	Alta

0,5	Hay poca actividad productiva o de servicios. Pérdidas ambientales serias pero reparables. La recuperación se puede dar en el corto plazo.	Media
0,25	hay poca actividad productiva o de servicios. Pérdidas ambientales locales. La recuperación se puede dar en el corto plazo.	Baja
0	No se desarrollan actividades productivas y no hay infraestructura. Elementos ambientales intactos.	Cero

Fuente: Protocolo para la incorporación de la Gestión del Riesgo en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (MinAmbiente, MinHacienda, Fondo de adaptación, 2014).




14.19. Análisis de la Vulnerabilidad

Para este estudio se toma la información de vulnerabilidad ante movimientos en masa del POMCA del río Campoalegre, porque además de ser un documento actual, tiene en su análisis involucrados aspectos sociales y de resiliencia. Es muy usual que en estudios de riesgos por movimientos en masa evalúen la vulnerabilidad con un análisis enfocado a la vulnerabilidad física, dejando a un lado la vulnerabilidad social como un aspecto secundario, si consideramos que la gestión de riesgos de desastres tiene una dimensión social cuyo propósito es contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y su desarrollo sostenibles, recobra gran importancia la inclusión de la vulnerabilidad social y resiliencia dentro del análisis.

Basados en los índices obtenidos anteriormente se determinan los valores para el índice de Vulnerabilidad como se muestra en la siguiente tabla

Tabla 33

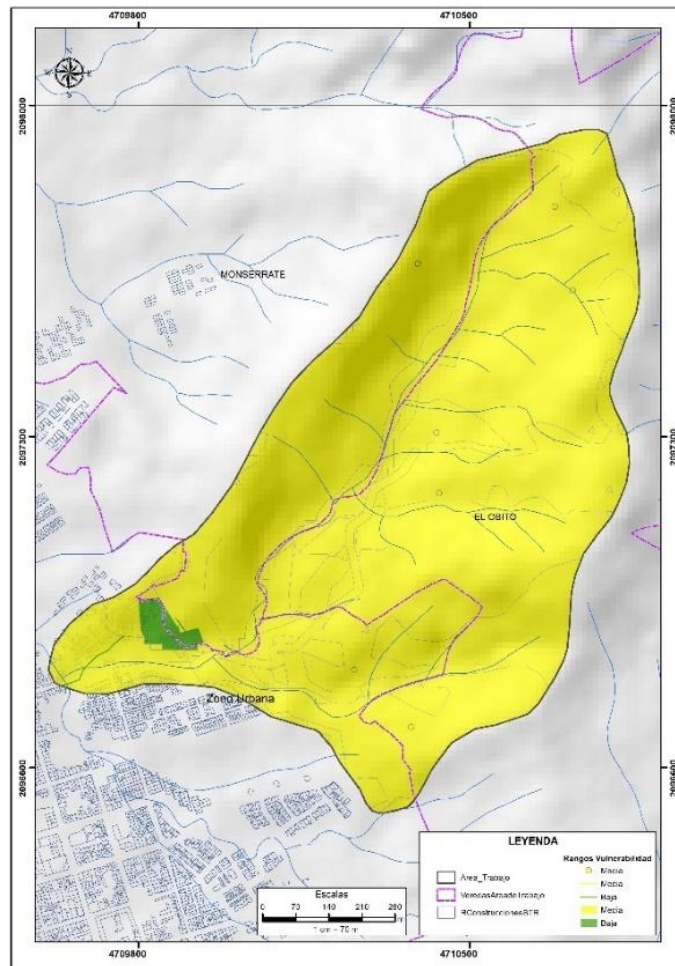
Índice de Vulnerabilidad

Valor	Índice de Vulnerabilidad (IV)	Símbolo
0 - 0,30	Baja	
0,30 - 0,75	Media	
0,75 - 1	Alta	

Fuente: Tomada de POMCA Campoalegre.

Figura 30

Mapa de Vulnerabilidad ante Movimientos en Masa



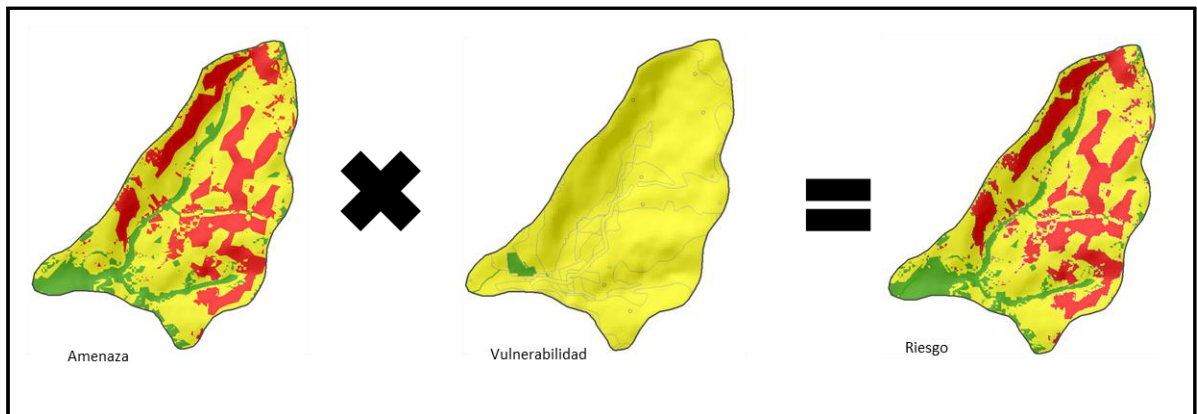
14.20. Análisis del Riesgo

En la Ley 1523 de 2012, se define riesgo de desastres como los daños y pérdidas potenciales que pueden presentarse en un período de tiempo específico y que son determinantes por la vulnerabilidad de los elementos expuestos; por lo que, el riesgo de desastres deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad. Siguiendo esta ecuación se obtuvo el siguiente mapa de Riesgo por Movimientos en Masa para el área de la microcuenca de la quebrada Monserrate.

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

Figura 31

Mapa de Riesgo ante Movimientos en Masa



Para realizar la multiplicación y obtener el riesgo cualitativo se dieron valores tanto de amenaza como de vulnerabilidad de 1 al rango de baja, 2 al rango medio y 3 al calificativo más alto, al multiplicar estos valores se obtiene la siguiente tabla de valoración del riesgo.

Tabla 34

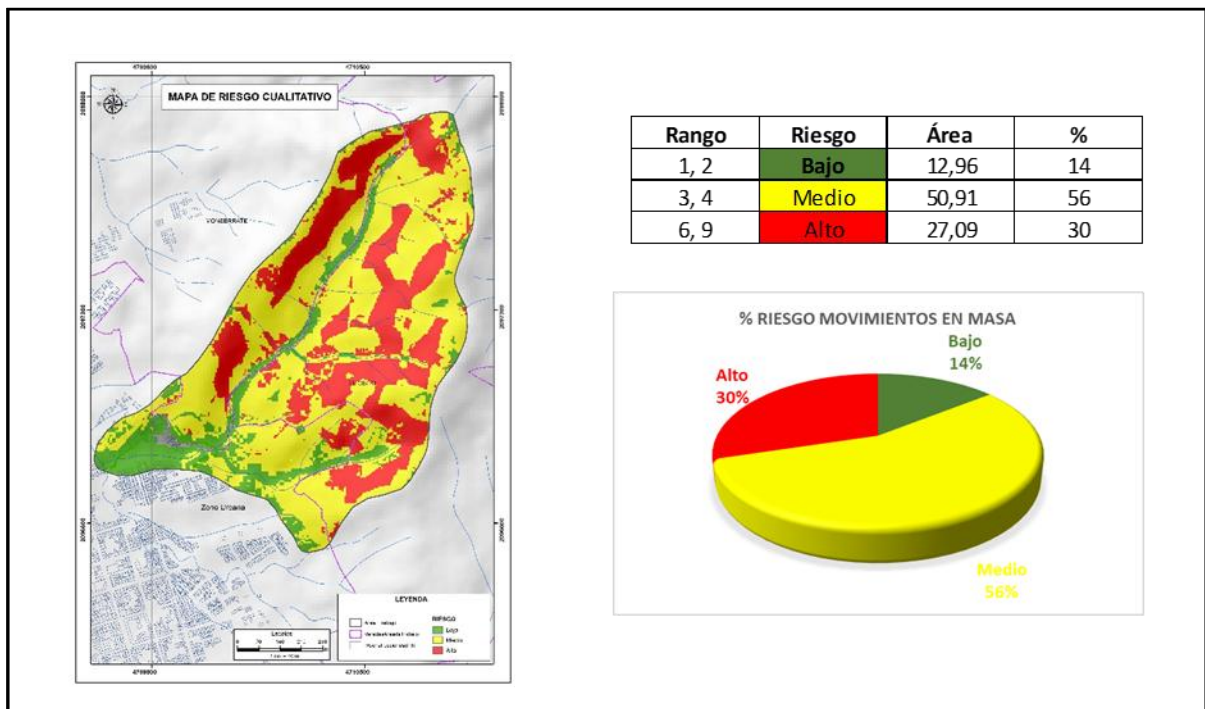
Cálculos Riesgo Cualitativo

a	Amenaz	Vulnerabilidad		
		Alta	Media	baja
	Alta	9	6	3
	Media	6	4	2
	Baja	3	2	1

De donde se obtienen los siguientes resultados:

Figura 32

Análisis por Riesgo Cualitativo



Los resultados del riesgo cualitativo ante movimientos en masa en la zona de estudio dan como resultado que la mayor parte de se encuentra sobre un riesgo medio. El riesgo más bajo se obtiene en las partes bajas en zonas planas, donde se encuentran los asentamientos continuos y el límite de la zona urbana con la zona rural. El mayor riesgo se presenta en zonas de alta pendiente, con laderas escarpadas y donde se tienen evidencias de deslizamientos antiguos sobre estas áreas. Las zonas donde se concentra el riesgo alto y medio, son zonas con tejido urbano discontinuó, donde el suelo se encuentra en constante cambio de uso, destinados principalmente a cultivos y ganadería, dado que la vulnerabilidad evaluada involucra no solo la parte física, si no que incluye varios índices como social y ecosistémico, el resultado de la misma es una valoración media en la mayor parte del territorio, que al ser multiplicada por los resultados obtenidos en la amenaza, da un riesgo cualitativo muy similar a la de la amenaza.

para reducir el riesgo generado por los movimientos en masa, tomando como punto de partida los procesos de planificación del territorio, es necesario contar con información técnica relevante (estudios detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa), en concordancia con lo normativo y ligado a dicha planificación. Es deber de los entes territoriales, incluir el componente de la gestión del riesgo de desastres en los planes de ordenamiento territorial, así como en los planes de desarrollo territorial.

Con el fin de reducir las condiciones de riesgo existente a continuación se exponen algunas estrategias para la reducción del riesgo de desastres ante movimientos en masa en dos líneas, una prospectiva para evitar nuevas condiciones de riesgo y otras intervenciones correctivas que ayuden en la mitigación del riesgo actual:

Tabla 35***Estrategias para Reducir Riesgo de Desastres ante Movimientos en Masa***

Intervención Prospectiva	Intervención Correctiva
Educación ambiental y en gestión del riesgo	Divulgación Pública de las zonas de riesgo
Vigilancia y control de urbanismo y viviendas	Reforestación de cuencas
Reglamentación de uso del suelo en áreas no ocupadas	Construcción de obres en la estabilización de laderas
Capacitación de la comunidad	Reasentamiento de población
Desarrollar prácticas agrícolas que controlen la erosión	Control de la amenaza
Conservación de áreas protegidas por amenaza o riesgo	Recuperación de ronda hídricas

15. Conclusiones

Este trabajo de grado busca aportar en el proceso del conocimiento del riesgo, a través de la identificación, análisis y evaluación del mismo, que alimente y ayude en el proceso de reducción del riesgo

Para el análisis de la susceptibilidad ante movimientos en masa se utilizó el método heurístico, analizando 6 variables realizadas a partir del análisis de mapas de sombras y de pendientes, de la interpretación de imágenes satelitales y su posterior comprobación en campo. También se utilizaron 5 modelos derivados del DEM de 12 metros a través de geoprocesamientos con el software ArcGIS, por último, se realizaron las variables de

|

proximidad a fallas, vías y drenajes. Todos estos elementos permitieron caracterizar y determinar de una manera adecuada la susceptibilidad para el área de la microcuenca.

Pareciera contradictorio que el territorio estudiado, por encontrarse en una zona de montaña con laderas inestables, destacan los niveles de susceptibilidad Baja y Media, donde ambos niveles suman el 70% del total del área estudiada. Esto es reflejo de que la mayoría de los espacios antes mencionados no tienen influencia de los factores antrópicos; en muchos casos corresponden a las áreas rurales dentro de la subcuenca la quebrada Monserrate.

Las zonas con nivel de susceptibilidad Alta a deslizamientos, se pudieran considerar, entonces, como zonas donde las condiciones geológico-geotécnicas han alcanzado un nivel crítico y una predisposición intrínseca a la inestabilidad del terreno. Tal afirmación se realiza partiendo del modelo para el análisis de susceptibilidad aplicado, ya que da mucho peso a las pendientes ya los registros de eventos anteriores, suponiendo esta condición la principal causa para la activación de deslizamientos.

En el área de la microcuenca de Monserrate las zonas con susceptibilidad con valores bajo, medio y alto ante movimientos en masa corresponden a las mismas categorías de amenaza, toda vez que, los detonantes de sismo y precipitación contienen un único valor para realizar la suma de los mapas, motivo por el cual las áreas de estas categorías no se modifican. En ese sentido se obtiene que el área de estudio posee en un 56% por amenaza media (51.4ha), representada por zonas de media ladera, con pendientes inclinadas a ligeramente escarpadas, distantes a las quebradas y vías, la amenaza baja con un 14% del área, se localiza en las zonas más planas, donde la litología y la geomorfología corresponden a depósitos recientes fluvio-volcánicos, la amenaza baja corresponde con el área donde se localizan las quebradas en cuyos márgenes se aprecian taludes bajos de baja pendiente. Los resultados de amenaza alta ante movimientos en masa están relacionados con las pendientes

mayores de 50%, que coinciden con las mayores rugosidades de la ladera, y con los lugares donde se han presentado deslizamientos.

Es importante tener en cuenta que en Colombia en la actualidad se cuenta con poca información básica a nivel regional y nacional y por lo tanto no es posible el desarrollo de metodologías netamente cuantitativas que permita establecer análisis que involucren como magnitud, intensidad y frecuencia temporal del evento, a partir de los cuales se puedan la probabilidad de ocurrencia de determinados niveles de daños y pérdidas. En la actualidad el país no cuenta con cartografía a escala media o regional que permita identificar estos comportamientos especiales, básicos para su aplicación en los procesos de ordenamiento del territorio y gestión del riesgo. Se tienen datos específicos producto de zonificaciones geotécnicas locales que no permiten extrapolar resultados a zonas diferentes de las evaluadas y por lo tanto su aplicación en términos de ordenamiento del territorio es básicamente muy baja o nula.

El mapa de inventario de deslizamiento del área inicio con la búsqueda de los eventos históricos en diferentes fuentes a nivel nacional, regional y municipal, de esta búsqueda fue posible la identificación de un evento ante movimientos en masa, evidenciando la deficiente base de datos que se tiene a nivel país, que imposibilita realizar este tipo de análisis a través de información confiable, toda vez que en un segundo paso se procedió a la identificación de eventos históricos a través de la interpretación de imágenes satelitales de Google Earth para varios años, donde fue posible la identificación de 30 movimientos en masa gracias a las habilidades interpretativa de sensores remotos y de la comprobación de la mayoría de estos en el trabajo de campo. Es imperativo la construcción de una base de datos sólida con datos de eventos no solo de movimientos en masa, sino de cualquier tipo de evento que permita la alimentación y realización de diferentes estudios a diferentes escalas y precisiones.

A pesar de que las imágenes satelitales son una buena herramienta para la realización de los inventarios históricos de movimientos en masa existen limitantes como la temporalidad, calidad y cubrimiento de las imágenes de obtención gratuita, dificultando una interpretación actualizada. Además, a través de la interpretación de esta imagen dificulta la identificación de deslizamientos latentes, deslizamientos modelados por procesos erosivos posteriores o bien áreas deslizadas modificadas por actividades ganaderas, o cubiertas por una densa vegetación que no pueden ser identificadas fácilmente ni clasificadas correctamente, introduciendo un factor de incertidumbre no evaluado y que no podrá incorporar en las fases posteriores del análisis.

La susceptibilidad por movimientos en masa no sólo depende de los procesos erosivos sino también de otros factores como la acción de las lluvias que modifican los atributos físicos de los terrenos en general, las actividades humanas especialmente las prácticas agrícolas, también son aspectos de suma importancia. Por tanto, se desarrolló y probó un enfoque heurístico, con el fin de predecir la distribución espacial de la amenaza por movimientos en masa dentro de la microcuenca de la quebrada Monserrate, que permitió la automatización y posterior análisis de los datos mediante un SIG.

Para la evaluación de la amenaza se usó también un método heurístico, por lo tanto, factores como magnitud, intensidad y frecuencia temporal del evento, no se pudieron definir. Es decir, la zonificación obtenida identifica las zonas en las cuales se esperarían movimientos en masa de ladera potencialmente dañinos, a partir de la aplicación a la zonificación de la susceptibilidad del terreno los factores detonantes de precipitación máxima y sismicidad.

La evaluación de susceptibilidad, amenazas y el riesgo por remoción en masa igualmente depende de las escalas de trabajo. Tal situación es de vital importancia dado el uso que se les dé a los mapas producto por parte de los entes tomadores de decisión.

El análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo realizado en este trabajo es un aporte al conocimiento en gestión del riesgo para el municipio, específicamente para el área que abarca la microcuenca de la quebrada Monserrate, encaminando el territorio hacia una ocupación y construcción segura, haciendo un uso sostenible del suelo con la identificación de sitios con condición de riesgo medio y alto y amenaza alta, que induzcan a la elaboración de estudios de detalle, fundamentales para definir áreas con condición de riesgo, de modo que permitan ejecutar medidas correctivas y se logren establecer medidas prospectivas y así prevenir situaciones de riesgo, tema esencial para lograr el desarrollo sostenible.

Este ejercicio de análisis nos permite como actores pertinentes del sector académico contribuir en la prioridad 1: Comprender el riesgo de desastres a nivel local como lo enmarca el Marco Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030, a través del uso de información espacial e in situ, incluidos los sistemas de información geográfica (SIG), para mejorar los instrumentos de medición y la recopilación, el análisis y la difusión de datos, Además de la aplicación de metodologías para evaluar los riesgos de desastres, las vulnerabilidades y el grado de exposición ante movimientos en masa, minimizando a través del conocimiento del riesgo desastres, las probabilidades de que la amenaza ante movimientos en masa generen daños y que estas puedan convertirse en un desastre, lo anterior en concordancia con las 4 primeras metas mundiales del Marco de Sendai, que consisten en reducir la mortalidad, reducir el número de personas afectadas, reducir también las pérdidas económicas causadas por desastres y por ultimo reducir daños causados por desastres en infraestructuras vitales y la interrupción de los servicios básicos. En este mismo sentido los objetivos de desarrollo sostenible 2030, plantea 17 objetivos con el fin de transformar nuestro

|

mundo, donde se busca mejor la calidad de vida de todos, por todo lo anteriormente descrito, desde nuestro análisis de riesgo podemos contribuir con el objetivo 11 para lograr ciudades y comunidades sostenibles logrando que los asentamientos existentes y futuros en el sector de la microcuenca Monserrate sean seguros, resilientes y sostenibles, a través de urbanismos controlados y planificados.

16. Bibliografía

- Asamblea General de las Naciones Unidas-UNGA. (2016). *Informe del grupo de trabajo intergubernamental de expertos de composición abierta sobre indicadores y terminología relacionados con la reducción del riesgo de desastres*. Naciones Unidas.
- Álzate Llano, M. (2016). *Análisis de Precipitaciones Máximas como Factor Detonante para la Amenaza por Movimientos en Masa en el Municipio de Santa Rosa de Cabal - Risaralda*. Universidad de Manizales.
<https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/66/browse?type=author&value=Alzate+Llano%2C+M%C3%B3nica>
- Calderón L, Y., Carvajal, H., & Sandoval, J. (2010). *Un Análisis Crítico A Las Metodologías de Zonificación por Movimientos en Masa y Zonificación de Comportamientos Especiales Aplicados al Ordenamiento del Territorio*. Servicio Geológico Colombiano.
<https://www.researchgate.net/publication/308927384>
- Cannon, T. (2000). *Análisis de vulnerabilidad y desastres* (Floods ed., Vol. 1). Routledge.
- Cannon T., Twigg J. y Rowell J. (2003). Vulnerabilidad social, medios de vida sostenibles y desastres. *Report to DFID conflict and humanitarian assistance department (CHAD) and sustainable livelihoods support office*, (1), 1-63.
- Congreso de Colombia. (1997, 18 de Julio). *Ley 388 de 1997. Ley de Ordenamiento Territorial*. Diario Oficial No. 43.091.
http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0388_1997.html. (Colombia)
- Congreso de Colombia. (2011, 29 de junio). *Ley 1454 de 2011. La Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial*. Diario Oficial No. 48.115. (Colombia)

Congreso de Colombia. (2012, 24 de abril). *Ley 1523 de 2012. Adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres*. Diario Oficial No. 48.411.

http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1523_2012.html (Colombia)

Corporación Autónoma Regional de Caldas – CORPOCALDAS & Corporación Autónoma Regional de Risaralda – CARDER. (2020). Fase de Diagnóstico VI. Gestión del Riesgo. In *El Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica -POMCA Río Campoalegre*. (Colombia)

Cruden, D. M., & Varnes, D. J. (1993). Una Revisión de la Clasificación de Deslizamientos de Tierra del Tipo de Flujo Deslizamientos de Tierra: Investigación y Mitigación. Capítulo 3 - Tipos de Deslizamientos y Procesos. In *Deslizamientos de Tierra: Investigación y Mitigación* (pp. 36-75). Junta de Investigación en Transporte de la Academia Nacional de Ciencias.

Gobernación Departamento de Risaralda. (2012, 6 de Septiembre). *Decreto 0786 de 2012, Adopta el Plan Departamental para la Gestión del Riesgo*. Despacho del Gobernador. (Colombia)

Gómez, N., Osorio, Y., & Salazar, J. A. (2013). *SIG para Determinar la Susceptibilidad a Movimientos en Masa en la Cuenca del Río Campoalegre*. Facultad de Ciencias e Ingeniería, Especialización en Sistemas de Información Geográfico.

González C, J. M. (2017). *Estudio de Amenaza y Riesgo Planta de Beneficio Animal por Avenidas Torrenciales Inundaciones - Microcuencas de los Ríos Tatamá y Negro, Municipio de Pueblo Rico, Departamento de Risaralda*. Informe Final.

- Hungr, O., Evans, S., & Bovis, M. (2001). Una Revisión de la Clasificación de Deslizamientos de Tierra del Tipo de Flujo. In (7th ed., Vol. 3, pp. 221-238). Geociencias Ambientales y de Ingeniería.
- Lampis, A. (2010). ¿Qué ha pasado con la Vulnerabilidad Social en Colombia? Conectar libertades instrumentales y fundamentales. *Sociedad y Economía*, (19), 229-261.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=99618007012>
- Lampis, A. (2013). Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático: debates acerca del concepto de vulnerabilidad y su medición. *Revista Colombiana de Geografía*, 22(2), 17-33. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v22n2.37017>
- Lavell, A. (2007). *Apuntes para una reflexión institucional en países de la Subregión Andina sobre el enfoque de la Gestión del Riesgo*. Apoyo a la Prevención de Desastres de la Comunidad Andina-PREDECAN.
- MINAMBIENTE. (2014). *Protocolo para la Incorporación de la Gestión del Riesgo en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas*. MINAMBIENTE.
<https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Anexo-26.-Protocolo-para-la-incorporacion-de-la-gestion-del-riesgo-en-los-POMCA.pdf>
- Oficina de las Naciones Unidas para el Socorro en Casos de Desastre-UNDRO. (1979, 9-12 de Julio). *Desastres naturales y análisis de la vulnerabilidad: informe de la reunión del grupo de expertos*. Oficina del Coordinador de Socorro en Casos de Desastres de las Naciones Unidas. <https://digitallibrary.un.org/record/95986?ln=es>
- Oficina de las Naciones Unidad para la Reducción del Riesgo de Desastres- UNISDR (2015-2030).

|

Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres.

https://www.unisdr.org/files/43291_spanishsendaiframeworkfordisasterri.pdf

Organización Internacional de Normalización-ISO. (2009). Gestión de riesgos - Vocabulario. *La Guía ISO 73: 2009*, (1), 15.

Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR). (2015-2030). *Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres* (1st ed.). UNISDR. <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/20093/Marco-de-Sendai-para-la-Reduccion-del-Riesgo-de-Desastres-2015-2030.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Presidencia de la República. (1991, 13 de junio). *Constitución Política 1991* (2nd ed.). Gaceta Constitucional. <https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/normativa/Constitucion-Politica-Colombia-1991.pdf> (Colombia)

Presidencia de la República de Colombia. (1998, 19 de enero). *Decreto 93 de 1998. Por el cual se adopta el Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres*. Diario Oficial No 43217. (Colombia)

Presidencia de la República de Colombia. (2012, 2 de Agosto). *Decreto 1640 de 2012. Planificación, Ordenación y Manejo de las Cuencas Hidrográficas y Acuíferos*. Diario Oficial No. 48.510. https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2012/dec_1640_2012.pdf (Colombia)

Presidencia de la República de Colombia. (2014, 19 de septiembre). *Decreto 1807 de 2014 Reglamenta el Art. 189 del Decreto 019 de 2012*. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (Colombia)

- |
- Presidencia de la República de Colombia. (2015, 26 de mayo). *Decreto 1077 de 2015. Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio*. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. <https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/1077%20-%202015.pdf> (Colombia)
- Programa de Información e Indicadores de Gestión de Riesgo BID-CEPAL-IDEA. (2005). *Indicadores de Riesgo de Desastres y Gestión de Riesgo*. Universidad Nacional de Colombia, Manizales. Instituto de Estudios Ambientales.
- Radio, RCN. (2021, Marzo 23). Hay alerta en Risaralda por riesgo de deslizamientos y crecientes súbitas. <https://www.rcnradio.com/colombia/eje-cafetero/hay-alerta-en-risaralda-por-riesgo-de-deslizamientos-y-crecientes-subitas> (Colombia)
- Serrato Álvarez, P. K. (2013). *Estimación de Amenazas por Inundación y Movimientos en Masa Caso CORANTIOQUIA* (Vol. FASE I: Cuenca Baja de los Ríos Cauca y Nechí). CORANTIOQUIA.
- Servicio Geológico Colombiano-SGC. (2017). *Guía Metodológica para la Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa Escala 1: 25.000*. Servicio Geológico Colombiano. (Colombia)
- Servicio Geológico de los Estados Unidos & Servicio Geológico de Canadá. (2008). *Manual de Derrumbes: Una Guía para Entender todo sobre los Derrumbes* (Vol. Circular 1325). Servicio Geológico de los EE.UU.
- Sistema de Inventario de Desastres-DesInventar. (2009). *Guía Metodológica 8.1.9*. Corporación OSSO & LA RED. (Colombia)
- Suarez, J. (2009). *Deslizamientos* (Vol. 1 Análisis Geotécnico). Universidad Industrial de Santander.

- |
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres -UNGRD. (n.d.). *Guía para la Elaboración de Planes de Evacuación* (2nd ed.). Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. (Colombia)
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres –UNGRD. (2009). *Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres*. Naciones Unidas. (Colombia)
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres-UNGRD. (2020, Agosto 19). *Riesgo por movimientos en masa en Colombia*.
<http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Noticias/2020/Riesgo-por-movimientos-en-masa-en-Colombia.aspx> (Colombia)
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres –UNGRD & Instituto de Estudios del Ministerio Público –IEMP. (2017). *Lineamientos Para El Análisis De La Vulnerabilidad Social En Los Estudios De La Gestión Municipal Del Riesgo De Desastres*. UNGRD. (Colombia)
- Uzielli, M., Nadim, F., Lacasse, S., & Kaynia, A. M. (2008). Un Marco Conceptual para la Estimación Cuantitativa de la Vulnerabilidad Física a los Deslizamientos de Tierra. *Ingeniería Geológica*, 102(3-4), 251-256. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.011>
- Wilches-Chaux, G. (1993). La Vulnerabilidad Global. *Los desastres no son naturales, LA RED-Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina*, Capítulo II. <https://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/html/cap2.htm>
- Yamin, L. E., Ghesquiere, F., Cardona, O. D., & Ordaz, M. G. (2013). *Modelación probabilista para la gestión del riesgo de desastre El caso de Bogotá, Colombia*. Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento / Banco Mundial Región de América Latina y el Caribe.

|

Zhihong, L., Nadim, F., Huang, H., Uzielli, M., & Lacasse, S. (2010). Estimación Cuantitativa de la Vulnerabilidad para Peligros de Deslizamientos de Tierra Basados en Escenarios. *Deslizamientos de tierra*, 7(2), 125-134.



Universidad[®]
Católica
de Manizales

VIGILADA MINEDUCACIÓN

*Obra de Iglesia
de la Congregación*



Hermanas de la Caridad
Dominicas de La Presentación
de la Santísima Virgen

Universidad Católica de Manizales
Carrera 23 # 60-63 Av. Santander / Manizales - Colombia
PBX (6) 8 93 30 50 - www.ucm.edu.co