

**AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO FÍSICO POR MOVIMIENTOS EN MASA (AVR) EN
EL SECTOR DE GUAYABITO DEL MUNICIPIO VITERBO, CALDAS.**



Aura Catalina Franco Patiño

Daniel Felipe Arango Díaz

Universidad Católica de Manizales



Monografía

**Tutor:
PhD. Rogelio Pineda Murillo**

2022

Tabla de contenido

1. Resumen.....	9
2. Abstract.....	10
3. Introducción.....	11
4. Objetivos	13
4.1. Objetivo general	13
4.2. Objetivos específicos	13
5. Descripción del problema	14
6. Planteamiento del problema	16
7. Justificación.....	17
8. Contexto geográfico	19
9. Marcos de la investigación	22
9.1. Antecedentes	22
9.2. Marco normativo	26
9.3. Marco teórico-conceptual	30
10. Metodología	36
11. Resultados y discusión	37
12. Análisis de resultados	53
13. Conclusiones	85
14. Recomendaciones	88
15. Referencias	90

Lista de Figuras

Figura 1. Mapa del departamento de Caldas.	19
Figura 2. Mapa de la división administrativa y red hídrica del municipio de Viterbo, Caldas.	20
Figura 3. Ortofotografía del sector Guayabito en el municipio de Viterbo, Caldas.....	21
Figura 4. (A) y (B) Afloramiento de la unidad 1 compuesto principalmente por arcillolitas. Escala: martillo grande (33cm). Ubicado en las coordenadas 800906,495 - 1052090,816.....	41
Figura 5. Muestras de mano de la unidad 1, extraídas del afloramiento de la Figura 4 . Escala regla en centímetros. Dimensiones de cada una de las muestras: (A) largo 9cm. (B) largo 10cm.	41
Figura 6. Afloramiento de la unidad 2, ubicado en la ladera del río Guayabito con coordenadas 800944,012 - 1052151,858.	42
Figura 7. (A) Afloramiento de la unidad 3, se observan conglomerados matrices soportados con clastos de tamaño grava y bloques. Escala martillo grande (33cm). (B) Pequeña terraza formada por los sedimentos que transporta la quebrada Guayabito. Se observa un conglomerado matriz soportado con clastos tamaño arena gruesa y guijos. Escala martillo grande (33 cm). (C) Terraza formada por los sedimentos que transporta la quebrada Guayabito, conglomerado matriz soportado con clastos arena muy gruesa, media y fina.	43
Figura 8. Mapa geológico del norte de la cabecera municipal de Viterbo, Caldas en escala 1:5000.....	44
Figura 9. (A) Se observa la quebrada Guayabito y la socavación lateral. (B) Imagen panorámica de una parte de la quebrada Guayabito. Se observa la sinuosidad de ésta, además de la deforestación de la zona.	45
Figura 10. (A) Se observa la inclinación de los árboles alrededor de la quebrada. (B) Movimiento en masa y hundimiento evidenciado en el cerco de una propiedad. (C)	

Deslizamiento y árboles inclinados. (D) Terreno escalonado afectado por el sobrepastoreo. (E)	
Foto perimetral del movimiento en masa.....	46
Figura 11. Mapa de pendientes del norte de la cabecera municipal de Viterbo, Caldas, en escala 1:5000.....	49
Figura 12. Mapa de geomorfología del norte de la cabecera municipal de Viterbo, Caldas, en escala 1:5000.....	50
Figura 13. Mapa del uso del suelo en el norte de la cabecera municipal de Viterbo, Caldas, en escala 1:5000.....	52
Figura 14. Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa del norte de la cabecera municipal de Viterbo, Caldas, en escala 1:5000.....	62
Figura 15. Mapa de infiltración del norte de la cabecera municipal de Viterbo, Caldas, en escala 1:5000.....	70
Figura 16. Mapa de amenaza por movimientos en masa del norte de la cabecera municipal de Viterbo, Caldas, en escala 1:5000.....	72
Figura 17. Ubicación de zona y viviendas visitadas en el norte de la cabecera municipal de Viterbo, Caldas.....	75
Figura 18. Formulario de inspección de viviendas realizado durante la practica en la JEDEGER.....	76
Figura 19. Gráfico de barras en porcentaje; índice de fragilidad de las 37 viviendas evaluadas.....	77
Figura 20. Fragilidad de las 37 viviendas en el norte de la cabecera municipal del Viterbo, Caldas.....	78
Figura 21. Mapa de exposición de las viviendas en el norte de la cabecera municipal de Viterbo, Caldas.....	79
Figura 22. Mapa de vulnerabilidad en el norte de la cabecera municipal de Viterbo, Caldas. ...	80
Figura 23. Mapa de riesgo en el norte de la cabecera municipal del Viterbo, Caldas.	81

Figura 24. Mapa de zonas en condición de riesgo físico al norte de la cabecera municipal de Viterbo, Caldas.....	83
---	----

Lista de Tablas

Tabla 1. Clasificación de las pendientes según su forma.	47
Tabla 2. Clasificación de las pendientes según su longitud.....	47
Tabla 3. Clasificación de las cimas.	47
Tabla 4. Clasificación de los niveles de terraza en zonas planas.	48
Tabla 5. Consolidado final para las pendientes del norte de la cabecera municipal de Viterbo, Caldas.....	48
Tabla 6. Clasificación de grado de importancia para el estudio de AHP.....	55
Tabla 7. Matriz correspondiente a la geología.....	56
Tabla 8. Matriz correspondiente al % de la pendiente.....	56
Tabla 9. Matriz correspondiente al uso del suelo.	57
Tabla 10. Matriz correspondiente a la geomorfología.....	57
Tabla 11. Matriz del % de las pendientes; peso normalizado.....	58
Tabla 12. Matriz de la geología; peso normalizado.	58
Tabla 13. Matriz del uso del suelo; peso normalizado.....	58
Tabla 14. Matriz de la geomorfología; peso normalizado.	59
Tabla 15. Matriz de susceptibilidad.	59
Tabla 16. Matriz de susceptibilidad; peso normalizado.	60
Tabla 17. Valores asignados según el criterio técnico en el uso del suelo.	60
Tabla 18. Valores asignados según el criterio técnico en la geomorfología.....	61
Tabla 19. Valores asignados según el criterio técnico en la pendiente.....	61
Tabla 20. Valores asignados según el criterio técnico en la geología.....	61
Tabla 21. Clasificación y caracterización de la susceptibilidad al deslizamiento.	63
Tabla 22. Tabla de valoración del potencial de recarga.	64
Tabla 23. Ponderación del parámetro de pendiente en la zona de estudio.	65

Tabla 24. Ponderación del parámetro de tipo de suelo en la zona de estudio.....	66
Tabla 25. Ponderación del parámetro de tipo de roca en la zona de estudio.	67
Tabla 26. Ponderación del parámetro del % de cobertura en la zona de estudio.	68
Tabla 27. Ponderación del parámetro de uso del suelo en la zona de estudio.	69
Tabla 28. Potencial de recarga de las áreas relacionadas en la zona de estudio.....	69
Tabla 29. Índice porcentual de las viviendas analizadas.....	77
Tabla 30. Categorización del riesgo de bienes físicos.....	82

Lista de ecuaciones

Ecuación 1. Índice de Susceptibilidad por Deslizamiento (ISD).....	61
Ecuación 2. Zona de Recarga (ZR).....	64

1. Resumen

En los últimos años, en el municipio de Viterbo, Caldas, se presentaron movimientos en masa detonados por precipitaciones intensas que causaron graves afectaciones, principalmente en las viviendas del sector Guayabito, donde se han evidenciado agrietamientos y colapsos parciales. Dada la necesidad de estudiar y analizar la problemática expuesta, se evaluó la susceptibilidad, la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo por movimientos en masa, a partir del análisis de información recolectada y de herramientas SIG. Adicionalmente, se utilizó el método de evaluación multicriterio (AHP) con el fin de jerarquizar y dar peso a los factores causantes de inestabilidad que generan fenómenos de remoción en masa. Según las características de la zona de estudio, los parámetros que se tuvieron en cuenta en el presente trabajo fueron: geología, geomorfología, uso de suelo y pendiente. A partir de ellos, se realizó el análisis de susceptibilidad, la zonificación de la amenaza junto con el factor detonante y se determinó la vulnerabilidad con base en un estudio de detalle realizado en la zona en el 2019. Con los resultados obtenidos se estableció que el riesgo es alto en las viviendas cercanas al cauce de la quebrada Guayabito, lo cual dio lugar a las conclusiones y recomendaciones que se consideran pertinentes para la disminución del mismo y el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes del sector.

2. Abstract

In the last years, in the town of Viterbo Caldas, there has been landslides detonated by the intense rainfall that caused serious damage, principally in the houses that are ubicated in the Guayabito sector, where cracks and partial collapses have been evidenced. Given the need to study and analyze the exposed problem, the susceptibility, threat, vulnerability and risk due to landslide were evaluated, bases on the analysis of collected information and GIS tools. Also, the multi-criteria evaluation method (AHP) was used in order to rank and give weight to the factors causing instability that generate mass removal phenomena. According to the characteristics of the study area, the parameters taken into account in the present work were: geology, geomorphology, land use and slope. From them, the susceptibility analysis was carried out, the threat zoning along with the triggering factor and the vulnerability was determined based on a detailed study carried out in the area in 2019. With the results obtained, it was established that the risk is high in the houses near the Guayabito stream channel, which gave rise to the conclusions and recommendations that are considered pertinent for the reduction of this risk and the improvement of the quality of life of the habitants of the sector.

3. Introducción

El principal objetivo de la (Ley 1523, 2012) es llevar a cabo el proceso social de la gestión del riesgo, además de identificar escenarios en condición de riesgo y sus factores: susceptibilidad, vulnerabilidad y amenaza; posteriormente encontrar sus causas, transformación en el tiempo y posibles consecuencias, con el fin de desarrollar el proceso de reducción del riesgo de desastres en el territorio, ejecutado a través de los instrumentos de planificación territorial. Del mismo modo, el (Decreto 1807, 2014) establece que todos los municipios del país deben incluir un estudio medioambiental en los instrumentos de ordenamiento territorial, con el objeto de identificar las zonas más susceptibles a la ocurrencia de una amenaza. Es prioritario para los municipios y distritos considerar la zonificación de amenazas y riesgos como un elemento de suma importancia para la gestión integral del riesgo de desastres.

En este estudio, se ajusta el análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa realizado en el sector Guayabito, área urbana del municipio de Viterbo, Caldas, afectado en los últimos años por las intensas temporadas invernales favorecidas por el cambio climático, esto debido a la proximidad de las comunidades de este sector con la quebrada Guayabito generando sobre los bienes físicos daños estructurales.

En razón a lo anterior, se evalúa en primera instancia el análisis de susceptibilidad, estudiando las variables condicionantes como la geología, la geomorfología, el uso de suelo y la pendiente. Para la amenaza, se analiza como factor detonante la lluvia. En cuanto a la susceptibilidad y la zonificación de la amenaza se aplica el método de evaluación multicriterio de las jerarquías analíticas o Analytic Hierarchy Process (AHP) (Saaty, 1980).

En la investigación de la vulnerabilidad física se diligencia un formulario de registro de la información correspondiente, realizando la ponderación de las viviendas ubicadas en la zona de estudio, teniendo en cuenta principalmente la fragilidad y la exposición que presentan en relación al crecimiento del nivel de la quebrada Guayabito, especialmente en épocas de intensa

precipitación. Se analizan varios aspectos, como: tipo de edificación, calidad del material de construcción y estado de la vivienda.

Debido a que el riesgo se encuentra en función de la amenaza y la vulnerabilidad, se utiliza un método de relación directa que permite definir las zonas que presentan riesgo alto, medio y bajo en el norte de la cabecera municipal de Viterbo, Caldas.

El resultado de todo el estudio de amenaza, vulnerabilidad y riesgo (AVR), es un insumo técnico que representa la realidad del sector Guayabito, el cual permite según sus características una actualización del Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) del municipio de Viterbo, Caldas, siendo así una herramienta útil para la ejecución de acciones urbanísticas y medidas de mitigación por parte de los entes administrativos y encargados de la gestión del riesgo de desastres.

4. Objetivos

4.1. Objetivo general

Realizar una evaluación y zonificación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo físico (AVR) por movimientos en masa en el sector de Guayabito del municipio de Viterbo, Caldas.

4.2. Objetivos específicos

4.2.1. Revisar y ajustar la evaluación y zonificación del AVR disponible para el sector de Guayabito, área urbana del municipio de Viterbo, Caldas.

4.2.2. Identificar y zonificar zonas en condición de riesgo que requieran estudios detallados.

4.2.3. Proponer elementos de gestión de riesgo que coadyuven al bienestar y calidad de vida de la población el sector de Guayabito.

5. Descripción del problema

Cada año se presentan pérdidas humanas y económicas generadas por movimientos en masa en todos los países del mundo, sin embargo, el nivel de impacto varía considerablemente de acuerdo con las condiciones geológicas locales, factores hidroclimatológicos y la vulnerabilidad (Alcantara-Ayala, I., 2002) y (Harp, E.L., et al., 2009). Asia es el continente con mayor número de víctimas, donde Nepal sobresale con 186 víctimas mortales por año (Sidle, R.C., Ochiai, H., 2006); 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; seguido por Italia, Estados Unidos e India con pérdidas que varían entre 1 a 2 mil millones de dólares al año (Cruden, D.M.S., et al., 1989), (Schuster, R. L., 1996) y (Schuster, R.L., Highland, M.L., 2001).

En Colombia, de acuerdo con los datos de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD, 2020), en los últimos 100 años 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. 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.

El municipio de Viterbo, Caldas, a lo largo del tiempo ha presentado afectaciones físicas, principalmente por inundaciones y movimientos en masa en las temporadas lluviosas de los años 2008-2009, 2010-2011, 2016-2017 y recientemente en el mes de mayo del año en curso (2021). Una de las áreas más problemáticas de la cabecera municipal es la que colinda con la quebrada Guayabito, la cual provoca la erosión de las laderas por las fuerzas tractivas

del flujo constante de las corrientes y a su vez, los movimientos en masa que han afectado las viviendas construidas en lugares de alto riesgo.

La falta de estudios técnicos e investigación sobre la gestión integral del riesgo en un territorio y así mismo, en un lugar específico provoca que las políticas y la implementación de medidas sobre este sector (Guayabito) y su comunidad, sean obsoletas, resultando en una serie de carencias en prever, enfrentar y emprender medidas de recuperación frente a los eventos críticos que implican la pérdida de activos materiales y/o inmateriales.

Actualmente el municipio de Viterbo, Caldas, no cuenta con la implementación estudios detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo físico que permitan ser una ayuda en la toma de decisiones que favorezcan a la comunidad.

6. Planteamiento del problema

¿Se cuenta actualmente con estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo (AVR) a una escala detallada que evidencie la realidad del municipio de Viterbo, Caldas? ¿Así mismo, se tienen en cuenta este tipo de elementos en cuanto a la formulación o actualización de los instrumentos de planificación territorial?

¿Qué características deben tener estos estudios de evaluación o zonificación del riesgo físico en el marco de la GRD, para avanzar hacia un hábitat seguro y sostenible?

7. Justificación

El municipio de Viterbo, Caldas, está ubicado sobre el valle del río Risaralda, en una de las estribaciones de la Cordillera Occidental, por lo que es considerado como un terreno inestable propenso a la ocurrencia de movimientos en masa por factores como: su complejidad topográfica, geomorfológica, geológica, geotécnica e hidrológica. Todo esto, sumado al crecimiento acelerado poblacional, a los conflictos de uso del suelo basado principalmente en explotaciones agropecuarias, a la falta de obras para el correcto manejo de aguas y a los problemas por llenos, cortes y excavaciones ejecutadas sin ningún tipo de control y supervisión técnica.

En la cabecera municipal, la zona con mayor afectación por movimientos en masa se encuentra al norte, por donde transcurre la quebrada Guayabito, la cual genera procesos erosivos de origen fluvial, como la socavación fluvio-lateral sobre los taludes ribereños del sector Guayabito.

Por lo anterior, es de gran importancia la realización de investigaciones y estudios en las zonas con mayor afectación, con el fin de obtener resultados más detallados que permitan conocer las necesidades y preocupaciones de la población; que vayan orientados bajo la normatividad vigente, como lo relacionado en la (Ley 1523, 2012), (Decreto 1807, 2014) y (Decreto 1077, 2015 Act. Mayo 2021), específicamente, la incorporación de manera gradual de la gestión del riesgo en la revisión, aprobación e implementación de los contenidos de mediano y largo plazo en las herramientas de ordenamiento territorial municipal o en la expedición de un nuevo plan, siendo para este caso un esquema.

El municipio de Viterbo cuenta con un EOT, desactualizado del año 2000 (Acuerdo 029, 2000) y una modificación puntual en el año 2019 (Acuerdo 006, 2019), por lo que se hace necesaria una actualización, y así mismo la implementación de este tipo de estudios, donde se reconozcan a través de los procesos políticos, sociales y económicos un correcto crecimiento y

desarrollo municipal, es importante tener en cuenta que todos estos fenómenos han aumentado de manera exponencial debido a los efectos del cambio climático y a un sistema económico consumista.

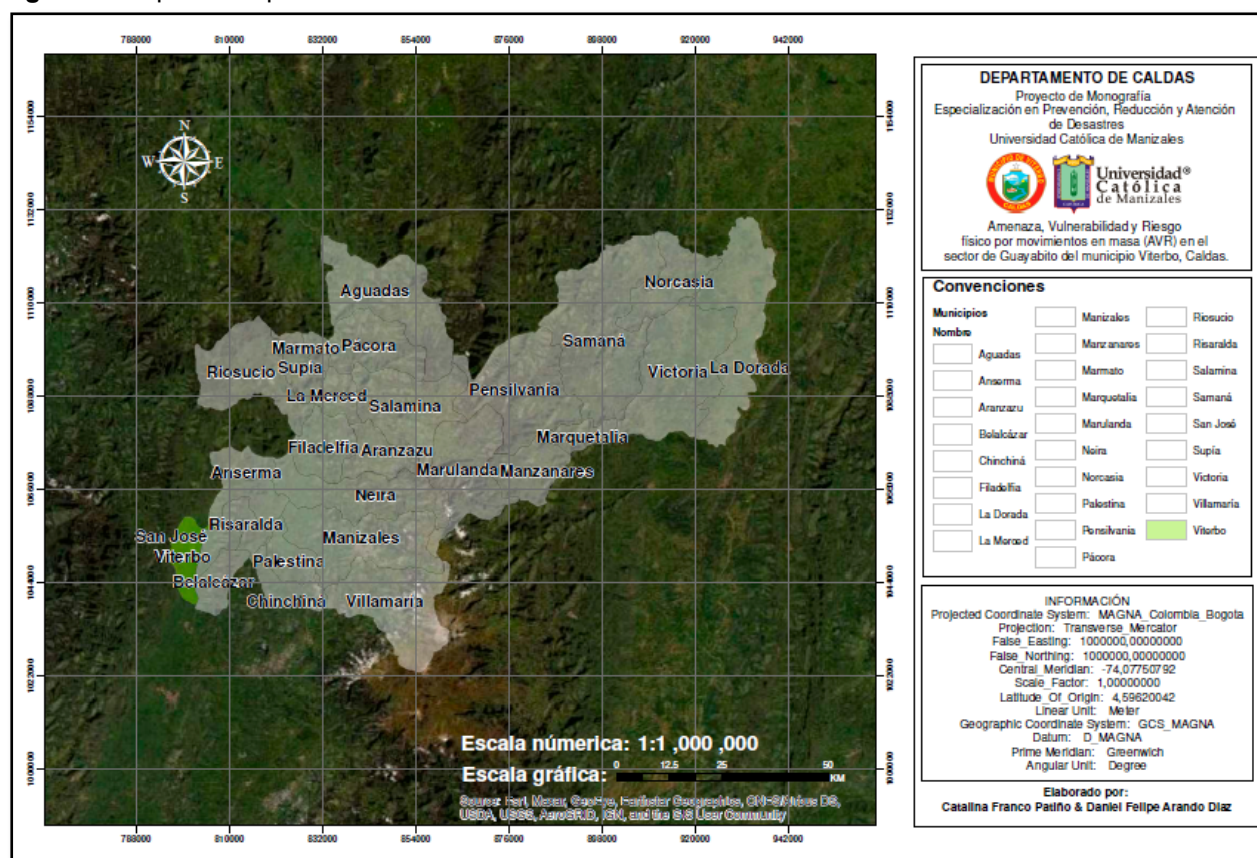
Entre otros aspectos, este trabajo tiene el fin último de ser una herramienta útil para los tomadores de decisiones, que les permita tomar acciones más efectivas, oportunas y asertivas en beneficio de la comunidad viterbeña, por otro lado, se pretende que el presente sea un insumo técnico de primera mano para complementar y actualizar los instrumentos de ordenamiento territorial y en general para la adecuada gestión del riesgo de desastres del municipio de Viterbo.

8. Contexto geográfico

El municipio de Viterbo, se localiza en la parte occidental de la Cordillera Central, en la Región Central del país conocida como Eje Cafetero. Se encuentra ubicado en la región bajo occidente del departamento de Caldas. Limita al Norte con los municipios de Anserma, Caldas, Belén de Umbría, Risaralda. Al Sur con Virginia y Balboa, Risaralda. Al Oriente con Risaralda, San José y Belalcázar, Caldas. Y al Occidente con Apia y Santuario, Risaralda. Ver **Figura 1**.

Su cabecera municipal se encuentra aproximadamente a 80 km de la capital del departamento de Caldas (Manizales). Tiene una extensión total de 113.8 km², una altura promedio de 998 msnm y su máxima altura alcanza los 1350 msnm. La ubicación geográfica es de 5°, 4' Latitud Norte y 75°, 53' Longitud Oeste.

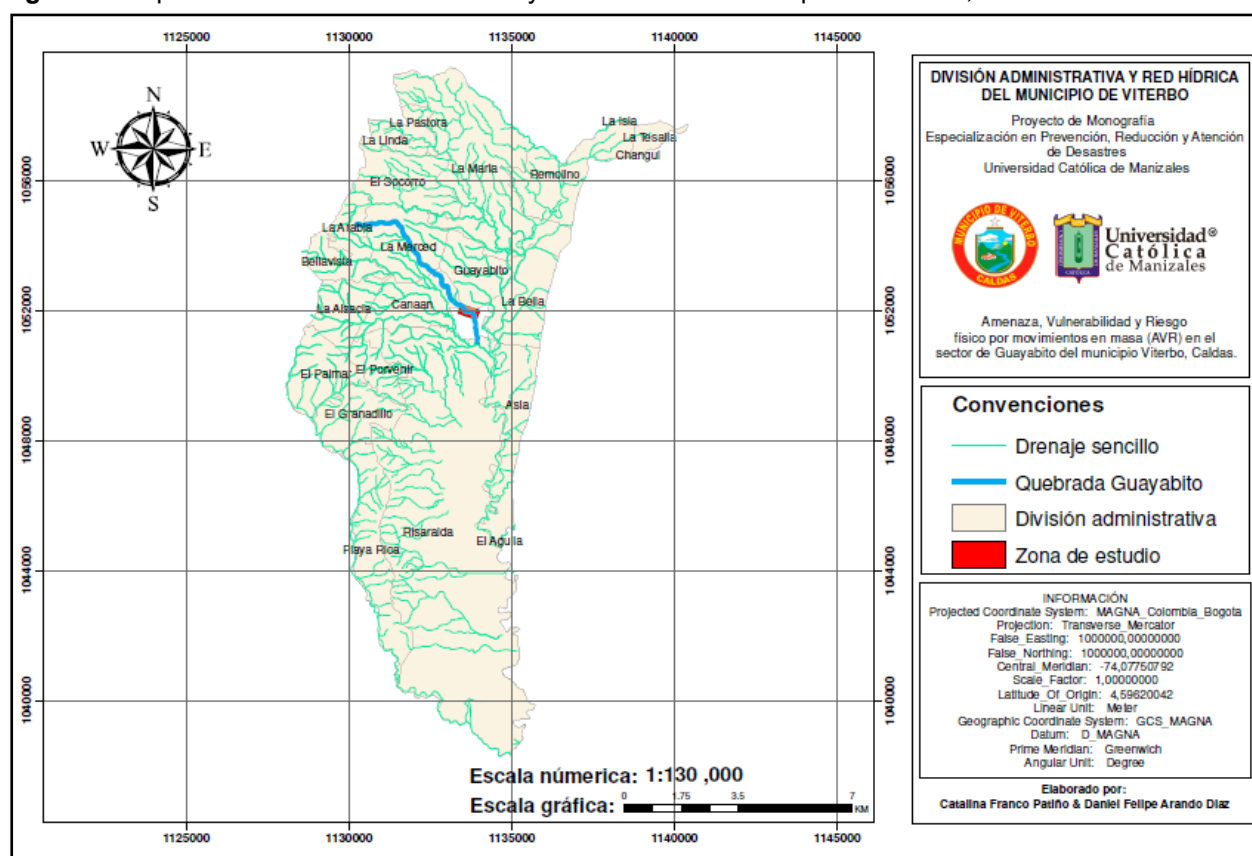
Figura 1. Mapa del departamento de Caldas.



Fuente: por los autores de la monografía.

Los climas predominantes para el municipio de Viterbo, Caldas, son el templado y el cálido, que se distribuyen casi por iguales partes por el territorio, el primero (templado) ubicado en las laderas del pie de monte (cordillera) a 1350 msnm, y el segundo (cálido) por debajo de los 1000 msnm, con una temperatura promedio de 24 y 25°C, con suelos propicios para el agro y la ganadería. Las lluvias presentan un régimen de distribución bimodal, con dos periodos máximos en abril-mayo y octubre-noviembre y dos periodos secos enero-febrero y julio-agosto. (CMGRD Viterbo, Caldas., 2018).

Figura 2. Mapa de la división administrativa y red hídrica del municipio de Viterbo, Caldas.

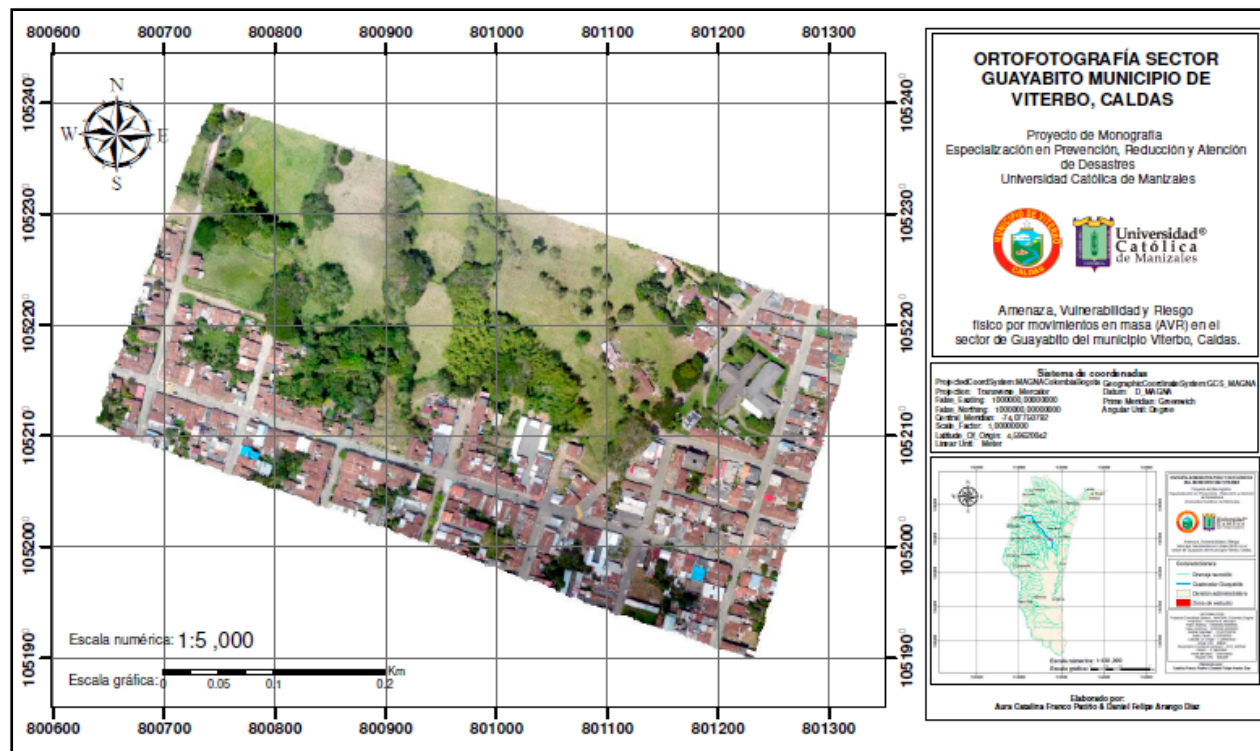


Fuente: por los autores de la monografía.

La quebrada Guayabito nace dentro de la jurisdicción del municipio de Viterbo, Caldas, cruza por su cabecera, en gran parte por una obra estructural (box culvert), y desemboca en la quebrada Samaria. La zona de estudio en este trabajo se ubica al norte de la cabecera municipal, en el tramo de la quebrada Guayabito que inicia por la cabecera municipal hasta el

comienzo del box culvert, en el sector Guayabito, calle 5 con carreras 6,7,8 y 9. Ver **Figura 2** y **Figura 3**).

Figura 3. Ortofotografía del sector Guayabito en el municipio de Viterbo, Caldas.



Fuente: por los autores de la monografía.

9. Marcos de la investigación

9.1. Antecedentes

9.1.1. Globales

(Cuanalo, A., et al., 2016) Propusieron medidas y estrategias para la reducción de la vulnerabilidad y el riesgo ante fenómenos de inestabilidad de laderas, las cuales consisten en medidas estructurales, no-estructurales e instrumentales, que ayuden a intervenir en el nivel de exposición y fragilidad que se tenga ante una determinada amenaza por eventos de remoción en masa. Se puede concluir que, mediante la implementación de medidas de tipo correctivo, prospectivo y/o restrictivo se puede lograr la reducción de la vulnerabilidad, especialmente en comunidades ubicadas en zonas de ladera vulnerables a eventos de remoción en masa y así lograr políticas institucionales, que busquen potenciar la resiliencia de estas comunidades; de modo que ellas puedan hacer frente de manera más efectiva y rápida a un evento de desastre.

(Harp, E.L., et al., 2009) Se encargó del mapeo de la amenaza ante deslizamientos de tierra provocados por lluvias (factor detonante) en países en vía de desarrollo; sus ejemplos más claros lo descrito anteriormente son: Honduras y Micronesia.

(Jian, W. & Xiang-guo, P., 2009) Planteó un modelo de zonificación de peligros en cuanto a deslizamientos basado en SIG y su aplicación. Puesto que los datos de observación de la tierra de múltiples fuentes son muy deseables en el modelado para este entonces, de la predicción de peligros de deslizamientos.

(Hervás, J., Barredo, J, I, Lomoschitz, A., 2002) Se encargaron de elaborar mapas de susceptibilidad por deslizamientos mediante Sistemas de Información Geográfica SIG. Teledetección y Métodos de evaluación multicriterio; su caso aplicación fue centrado a la depresión de Tirajana, Gran Canaria.

9.1.2. Regionales

(PGAR, 2020-2023) Estudio de los diferentes tipos de amenaza que se presentan en el Departamento de Caldas, como las amenazas volcánicas, sísmicas, hidroclimatológicas, incendios forestales, movimientos en masa, inundaciones, entre otros. Analizan la vulnerabilidad y finalmente el riesgo. Además exponen los planes de mitigación y contingencias debidos en cada municipio.

(CAM & GEOCING SAS, 2019) Corresponde al informe final del estudio detallado de AVR por movimientos en masa, inundación y avenida torrencial en el área urbana del municipio de Guadalupe en el departamento del Huila, teniendo en cuenta los lineamientos del (Decreto 1077, 2015 Act. Mayo 2021).

(Soto, J., 2019) Estudió la amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa en el municipio de Aranzazú, Caldas, debido a diferentes condiciones locales como la topografía, el uso de suelo, la geología y la geomorfología condicionados por un factor detonante en este caso la precipitación.

(Rodríguez, S., 2019) Hizo el análisis del riesgo por inundación utilizando herramientas SIG, mediante la actualización de insumos aportados por Corpocaldas como los mapas e información de susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad y riesgo del municipio de Palestina, Caldas, con el factor detonante precipitación y su estudio del promedio anual teniendo en cuenta condiciones climáticas normales y condiciones del fenómeno de la niña.

(Giraldo, D. A., 2014) Realizó el estudio de AVR del municipio Carmen de Viboral, el cual se encuentra localizado en el valle de San Nicolás, sobre la Cordillera Central de los Andes Colombianos, al oriente del departamento de Antioquia. En este trabajo se resalta que, por ciertas condiciones geográficas, sociales, económicas, etc. El establecimiento poblacional se situó sobre la margen izquierda de la quebrada La Cimarronas, haciendo crecer el municipio

longitudinalmente de norte a sur. Esto conllevó a que el municipio se expandiera desde la llanura de inundación de la quebrada hacia las partes más colinadas (occidente y sur). Debido a esto, algunos lugares se encontraban en estado de amenaza por su ubicación; aspectos como: laderas de alta y muy alta pendiente y otros bordeando las quebradas que cruzan a lo largo y ancho del municipio, colocaban en peligro la vida y bienes de las personas que allí se encontraban; justificación puntual del presente documento.

9.1.3. Locales

(Franco, C., 2021) Evaluó específicamente la susceptibilidad, la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo por movimientos en masa, a partir del trabajo de campo, la recolección de información y actualización de insumos y mapas aportados por la JEDEGER y Corpocaldas, así como el uso de sistemas de información geográfica con el Software ArcGis. También se aplicó el método de evaluación multicriterio AHP para jerarquizar y dar peso a los factores causantes de inestabilidad en la generación de movimientos en masa. En este trabajo los parámetros escogidos fueron: geología, geomorfología, uso de suelo y pendiente. Posteriormente con los datos obtenidos se hizo el mapa de susceptibilidad, factor detonante, amenaza, vulnerabilidad y riesgo.

(Barrios Osorio, J. , 2021) En este trabajo se tomó como caso de estudio la quebrada El Mellizo, ubicado en el municipio de Viterbo - Caldas, que en su trayecto de norte a sur por el área urbana, se encuentra canalizada por medio de una estructura hidráulica de tipo box alcantarilla. A partir de la recolección de información espacial y temporal, depurada y procesada por medio del sistema de información geográfica "QGIS", se determinó el comportamiento hidrológico de la microcuenca y la quebrada de interés, obteniendo así, los caudales de diseño, usados en la reproducción de un modelo cuasi-bidimensional [1D / 2D] en el programa "HEC - RAS", identificando la incidencia del box alcantarilla en las manchas de inundación para diferentes periodos de retorno, bajo distintos escenarios de modelación, los cuales incluyeron la

simulación de alternativas con algunas acciones estructurales para mitigar el impacto de la inundación, siendo integrada la delimitación de la zona ribereña como medida no estructural. Con la valoración realizada en este sector, se identificó que el box alcantarilla altera la extensión de la inundación, ya que, al no tener la capacidad para transportar el caudal bajo las condiciones actuales el flujo se represa en el acceso, y luego se desborda sobre el área urbana, constituyendo escenarios de riesgo en la población, siendo necesario integrar medidas estructurales, la reconversión en los usos del suelo, la protección y el control territorial de las áreas de interés ambiental y de las zonas de riesgo.

9.2. Marco normativo

A continuación, se presenta en orden cronológico todo tipo de instrumentos legales en los que se sustenta el tema de la investigación y que le dan soporte a la misma.

(Decreto 2811, 1974) Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Este elemento normativo es incorporado al presente como idea general para el manejo de los recursos naturales renovables y la defensa del medio ambiente contra la acción nociva de fenómenos naturales "... en ese entonces", y demás elementos y factores que conforman el ambiente o influyan sobre este.

(Ley 9, 1989) Por la cual se dictan normas sobre planes de desarrollo municipal, compraventa y expropiación de bienes y se dictan otras disposiciones. En consideración del artículo 5 de la ley en mención, se establecen y definen todas las características frente al espacio público dentro del territorio colombiano, incluyendo los retiros que deben tener todas las edificaciones.

(Ley 2, 1991) Por la cual se modifica la Ley 9 de 1989. El artículo 5 menciona "*Los alcaldes levantarán y mantendrán actualizado un inventario de las zonas que presenten riesgos para la localización de asentamientos humanos por ser inundables o sujetos a derrumbes o deslizamientos, o que de otra forma presenten condiciones insalubres para la vivienda. Esta función se adelantará con la asistencia y aprobación de las oficinas locales de planeación o en su defecto con la correspondiente oficina de planeación departamental*". Por ello se justifica de gran manera la elaboración del presente, como insumo técnico en la identificación de asentamientos humanos de desarrollo incompleto en zonas de alto riesgo.

(Ley 99, 1993) Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.

(Ley 388, 1997) Por la cual se modifica la Ley 9ª de 1989, y la Ley 3ª de 1991 y se dictan otras disposiciones. Se hace énfasis con lo relacionado en el artículo 12; *“El inventario de las zonas que presenten alto riesgo para la localización de asentamientos humanos, por amenazas naturales o por condiciones de insalubridad”*. Artículo 13 *“Señalamiento, delimitación y tratamiento de las zonas expuestas a amenazas, incluidos los mecanismos de reubicación de asentamientos”*. Artículo 14 *“La transformación del uso asignado a tales zonas para evitar reasentamientos en alto riesgo.”* Finalmente, artículo 15 *“La constitución de reservas de tierras para hacer posible tales reasentamientos, y la utilización de los instrumentos jurídicos de adquisición y expropiación de inmuebles que sean necesarios para la reubicación de poblaciones en alto riesgo”*. Mediante el cual se establece la relación entre los Inventarios de Viviendas en Zonas de Riesgo IVZR y los Planes de Ordenamiento Territorial POT; herramienta de carácter técnico para la toma de decisiones en cuanto al ordenamiento del territorio a escala municipal.

(Ley 400, 1997) La presente ley establece criterios y requisitos mínimos para el diseño, construcción y supervisión técnica de edificaciones nuevas, así como de aquellas indispensables para la recuperación de la comunidad con posterioridad a la ocurrencia de un sismo, que puedan verse sometidas a fuerzas sísmicas y otras fuerzas impuestas por la naturaleza o el uso, con el fin de que sean capaces de resistirlas, incrementar su resistencia a los efectos que éstas producen, reducir a un mínimo el riesgo de la pérdida de vidas humanas, y defender en lo posible el patrimonio del Estado y de los ciudadanos. Además, señala los requisitos de idoneidad para el ejercicio de las profesiones relacionadas con su objeto y define las responsabilidades de quienes las ejercen, así como los parámetros para la adición, modificación y remodelación del sistema estructural de edificaciones construidas antes de la vigencia de la presente ley.

(Acuerdo 029, 2000) Por el cual se adopta el Esquema de Ordenamiento Territorial EOT para el Municipio de Viterbo Caldas.

(Ley 1523, 2012) Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones.

(Decreto 1807, 2014) Por el cual se reglamenta el artículo 189 del Decreto - Ley 019 de 2012 en lo relativo a la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial y se dictan otras disposiciones. Se establecen las condiciones y escalas de detalle para incorporar de manera gradual la gestión del riesgo en la revisión de los contenidos de mediano y largo plazo de los planes de ordenamiento territorial municipal y distrital o en la expedición de un nuevo plan. Herramienta técnico jurídica para la elaboración del presente.

(Decreto 1077, 2015 Act. Mayo 2021) Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio. El Objetivo del presente contemplado en el artículo 1.1.1.1.1 menciona: El Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio tendrá como objetivo primordial lograr, en el marco de la ley y sus competencias, formular, adoptar, dirigir, coordinar y ejecutar la política pública, planes y proyectos en materia del desarrollo territorial y urbano planificado del país, la consolidación del sistema de ciudades, con patrones de uso eficiente y sostenible del suelo, teniendo en cuenta las condiciones de acceso y financiación de vivienda, y de prestación de los servicios públicos de agua potable y saneamiento básico.

(Resolución 2017 - 3688, 2017) Por medio de la cual se adopta el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río Risaralda y se dictan otras disposiciones.

(Acuerdo 006, 2019) Por medio del cual se hace una modificación excepcional al Esquema de Ordenamiento Territorial EOT, y se delimita y reglamenta la zona de expansión urbana en el sector guayabito vereda la María del municipio de Viterbo – Caldas.

(Decreto 001, 2019) Por el medio del cual se adopta el Plan Municipal de Gestión del Riesgo Desastres (PMGRD) en el municipio de Viterbo, Caldas.

(Ley 2079, 2021) Por medio de la cual se dictan disposiciones en materia de vivienda y hábitat. Los artículos 27 y 28 mencionan, modifican y contemplan todo lo racionado a las acciones urbanísticas, aspecto de vital importancia para la elaboración del presente.

(Decreto 026, 2021) Por el cual se declara la situación de calamidad pública en virtud de la emergencia por la ola invernal en el municipio de Viterbo, Caldas.

9.3. Marco teórico-conceptual

La gestión del riesgo de desastres está orientada a la protección de las personas, así como a los activos culturales y ambientales, al tiempo que respetan todos los derechos humanos, incluido el derecho al desarrollo y se promueve su aplicación (Marco de Sendai, 2015-2030). La gestión integral del riesgo de desastres, es un proceso social, que tiene como finalidad la prevención, reducción y el control permanente de los factores de riesgo de desastre en la sociedad, por lo que no se debe distinguir entre la práctica de la gestión del riesgo de desastres, de la adaptación al cambio climático y la práctica del desarrollo, pues todo debe combinarse claramente en un solo esquema integrado de gestión (Lavell, 2011).

En Colombia la (Ley 1523, 2012) establece que en los departamentos y municipios con población superior a 250.000 habitantes debe haber una entidad de gestión del riesgo, cuyo objetivo es llevar a cabo el proceso social de la gestión del riesgo, identificar escenarios de riesgo y sus factores: susceptibilidad, vulnerabilidad y amenaza; y posteriormente encontrar sus orígenes, causas, transformación en el tiempo y posibles consecuencias, con el fin de desarrollar el proceso de reducción del riesgo de desastres en el territorio, el cual se efectúa a través de los Instrumentos de Ordenamiento Territorial municipal

es. El (Decreto 1807, 2014), en lo relativo a la incorporación de la Gestión del Riesgo, estableció que todos los municipios del país deben incluir un estudio medioambiental en el mismo, de este modo identificar las zonas más susceptibles a la ocurrencia de una amenaza. Es prioritario para los municipios y distritos considerar la zonificación de amenazas y riesgos como un elemento. Las principales amenazas descritas en el decreto son: amenaza por remoción en masa, amenaza por inundación y amenaza por avenidas torrenciales

Las principales amenazas ocurren por causas naturales, pero hay otras que ocurren por los impactos de la actividad humana. Las amenazas por causas naturales pueden ser

hidrometeorológicas, geológicas, ambientales o biológicas. Las antrópicas pueden ser ambientales, tecnológicas, biosanitarias o socio organizativas.

Los movimientos en masa se presentan debido a factores como: altas precipitaciones, tala progresiva de la cobertura vegetal, localización de viviendas en pendientes o suelos inestables, explotaciones agropecuarias sin prácticas de conservación de suelos y asociado con características topográficas del terreno. Lo que puede causar daños a personas, bienes, infraestructuras entre otros elementos expuestos. En la zona, los movimientos en masa se evidencian en los agrietamientos de terrenos, viviendas y vías, en los fenómenos de reptación, en los hundimientos y desprendimientos de suelos, en especial en taludes verticales a subverticales.

Para mayor comprensión de las normativas y metodologías utilizadas en el proyecto, a continuación, se definirán la mayoría de los conceptos a partir de la (Ley 1523, 2012) y el (Decreto 1807, 2014).

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, 2012).

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 recuperación. (Decreto 1807, 2014).

Áreas en condición riesgo: son las zonas o áreas del territorio municipal zonificadas como de amenaza alta y media en las que se establezca en la revisión o expedición de un nuevo POT la necesidad de clasificarlas como suelo urbano, de expansión urbana, rural suburbano o centros poblados rurales para permitir su desarrollo. (Decreto 1807, 2014).

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, 2012).

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, 2012).

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, 2012).

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, 2012).

Intervención: *“Corresponde al tratamiento del riesgo mediante la modificación intencional de las características de un fenómeno con el fin de reducir la amenaza que representa o de modificar las características intrínsecas de un elemento expuesto con el fin de reducir su vulnerabilidad.”* (Ley 1523, 2012).

Mitigación del riesgo: medidas de intervención prescriptiva o correctiva dirigidas a reducir o disminuir los daños y pérdidas que se puedan presentar a través de reglamentos de seguridad y proyectos de inversión pública o privada cuyo objetivo es reducir las condiciones de amenaza, cuando sea posible, y la vulnerabilidad existente. (Ley 1523, 2012).

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, 2012).

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, 2012).

Recuperación: son las acciones para el restablecimiento de las condiciones normales de vida mediante la rehabilitación, reparación o reconstrucción del área afectada, los bienes y servicios interrumpidos o deteriorados y el restablecimiento e impulso del desarrollo económico y social de la comunidad. La recuperación tiene como propósito central evitar la reproducción de las condiciones de riesgo preexistentes en el área o sector afectado. (Ley 1523, 2012).

Reducción del riesgo: es el proceso de la gestión del riesgo, está compuesto por la intervención dirigida a modificar o disminuir las condiciones de riesgo existentes, entiéndase: mitigación del riesgo y a evitar nuevo riesgo en el territorio, entiéndase: prevención del riesgo. Son medidas de mitigación y prevención que se adoptan con antelación para reducir la amenaza, la exposición y disminuir la vulnerabilidad de las personas, los medios de subsistencia, los bienes, la infraestructura y los recursos ambientales, para evitar o minimizar los daños y pérdidas en caso de producirse los eventos físicos peligrosos. La reducción del

riesgo la componen la intervención correctiva del riesgo existente, la intervención prospectiva de nuevo riesgo y la protección financiera. (Ley 1523, 2012).

Respuesta: ejecución de las actividades necesarias para la atención de la emergencia 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. La efectividad de la respuesta depende de la calidad de preparación. (Ley 1523, 2012).

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, 2012).

Zonificación: *“Es la representación cartográfica de áreas con características homogéneas. Debe realizarse bajo el sistema de coordenadas oficial definido por la autoridad cartográfica nacional y su precisión estará dada en función de la escala de trabajo.”* (Decreto 1807, 2014).

10. Metodología

Los tipos de investigación que se abordaran en este estudio son: cuantitativo y cualitativo, enfocados en la integración espacial sistemática de varios componentes para su evaluación y comprensión. Con el fin de cumplir satisfactoriamente con los objetivos, se ejecutará una metodología a través de un enfoque descriptivo y explicativo hacia la vulnerabilidad y el riesgo físico y social, dividida en las siguientes etapas:

10.1. Recopilación de información: se revisará y recopilará información del municipio de Viterbo, Caldas en las principales entidades encargadas de la gestión del riesgo de desastre, como el (PMGRD, 2018), el EOT del municipio de Viterbo, Caldas (Acuerdo 029, 2000), (POMCA Río Risaralda, 2017), al igual que trabajos como los de GEOSUB y CORPOCALDAS (GEOSUB & CORPOCALDAS, 2013-2015).

10.2. Trabajo de campo: se realizará una visita de campo a fin de corroborar datos existentes y actualizarlos de ser necesario. Se empleará una fase de estudio y observación de los rasgos indicadores de procesos de inestabilidad que generan los movimientos en masa.

10.3. Procesamiento de datos: el primer para esta etapa de la metodología es la zonificación de la amenaza, la cual se fundamenta en el análisis de susceptibilidad, dada la afectación en el sector por movimientos en masa. La susceptibilidad se define como la probabilidad de que ocurra un evento en determinado sitio debido factores contribuyentes que permitan la evolución propia de la amenaza. Las variables que componen la susceptibilidad en este caso son la geología, la geomorfología, la pendiente y el uso de suelo, ya que la interacción de estos factores constituye la causa de inestabilidad.

Para establecer la susceptibilidad se emplea el método heurístico, el cual se basa en jerarquizar y dar peso a los factores causantes de inestabilidad según la influencia de estos en la generación de movimientos en masa.

El segundo paso para la zonificación de la amenaza, es establecer el principal factor detonante de los movimientos en masa; para este caso son las lluvias, debido a las continuas y fuertes temporadas invernales por largos periodos de tiempo los terrenos se saturan y ocasionan la desestabilización de estos y su posterior deslizamiento. Esto se analiza mediante la evaluación y determinación de las zonas de recarga en la zona de estudio.

Posteriormente, se analiza la vulnerabilidad física evaluada por (Franco, C., 2021), siendo la predisposición a sufrir daños o pérdidas tanto de seres humanos como de sistemas físicos, que pueden ser afectados por fenómenos naturales peligrosos. Esto, no sólo depende de la susceptibilidad física del medio sino de la falta de capacidad de recuperación de elementos expuestos ante cualquier tipo de amenaza. (Ley 1523, 2012).

Finalmente, se realiza el producto de la amenaza por vulnerabilidad, para obtener el mapa de riesgo por movimientos en masa en el sector de Guayabito, Viterbo, Caldas.

10.4. Análisis de resultados: Con base en las visitas de campo y los resultados obtenidos de los análisis, se definirán las recomendaciones y conclusiones más acertadas respecto a la principal amenaza de la zona, la vulnerabilidad y el riesgo físico de la población.

En este sentido, la pertinencia de este trabajo corresponde no sólo al interés por generar conocimiento en la gestión del riesgo, sino también, en su intento por la implementación de la norma para así garantizar los derechos de las personas establecidas en el sector Guayabito, del municipio de Viterbo, Caldas.

11. Resultados y discusión

Para el sector Guayabito en el municipio de Viterbo, Caldas se realiza el estudio de

variables como la geología, la geomorfología y el uso de suelo, con el fin de hallar inicialmente la susceptibilidad de la zona y posteriormente, en conjunto con el factor detonante, zonificar la amenaza por movimientos en masa.

11.1. Geología

11.1.1. Geología Regional

Según el Plan Municipal para la Gestión del Riesgo (PMGRD, 2018), el municipio de Viterbo, Caldas, está situado en un altiplano, junto al extenso valle del río Risaralda, el cual inicia al norte en límites con el municipio de Belén de Umbría, pasando por una extensa área de antiguos pantanos que se originaron en una gran laguna hoy desecada, y termina en límites con el municipio de La Virginia.

El origen de sus suelos es aluvial, también se compone de materiales erosionados provenientes de partes altas, de un manto de ceniza y piedra pómez producto de dos erupciones del volcán nevado del Ruíz en los años 1595 y 1805.

La geología del municipio de Viterbo Caldas a escala 1:10.000 se compone básicamente de tres unidades:

11.1.1.1. Formación Barroso

La formación Barroso aflora hacia la parte occidental del municipio de Viterbo. Se compone de basaltos, diabasas, diabasas espilitizadas, pillow lavas, tobas y aglomerados. Localmente presenta intercalaciones de liditas, limolitas y lutitas. (Álvarez, E., González, H., 1978) y (Calle, B., & González, H., 1980). Las tobas son de color gris verdoso, masivas y están constituidas por fragmentos de vulcanitas y cristales de piroxeno, plagioclasa y cuarzo, se encuentran embebidos en una matriz afanítica de color verde claro, holocristalina a hipocristalina. Los aglomerados son de color gris oscuro a verdoso, con fragmentos

subangulares a subredondeados de basaltos, chert y sedimentos areno – arcillosas, soldados por una matriz afanítica de color verde claro. Los basaltos son de color gris oscuro, masivos y amigdalares, microporfídicos con fenocristales de plagioclasa cálcica y piroxeno; la matriz es holocristalina a hipocristalina compuesta por microlitos de plagioclasa y clinopiroxeno con abundante clorita secundaria. Las diabasas son de color gris verdoso a gris oscuro, de grano fino y masivo. La textura es ofítica, con plagioclasa euhedral, tabular y clinopiroxeno (augita – pigeonita) con magnetita – ilmenita como accesorio. (Estrada, J. J., Viana, R., & González., H., 2001).

La edad de la formación Barroso es Cretácica y se indica que el ambiente podría ser más afín con un arco de isla.

11.1.1.2. Formación Penderisco

La formación Penderisco se encuentra en contacto fallado con la formación Barroso, aflora al occidente del municipio de Viterbo, Caldas. Está constituido litológicamente por arenitas, limolitas, arcillolitas y localmente por conglomerados polimicticos. (Estrada, J. J., Viana, R., & González., H., 2001).

11.1.1.3. Unidad cuaternaria

La cual ocupa la mayor parte del área de Viterbo hacia el oriente, corresponde a aluviones recientes generados por fenómenos de flujo y crecientes del río Risaralda desde la parte oriental hasta el occidente de la cabecera municipal.

11.1.2. Geología Local

La geología del municipio de Viterbo, Caldas, exactamente en el barrio Guayabito y en el sector bomba Fundadores, se apoya en el trabajo de campo llevado a cabo durante la práctica y en la revisión bibliográfica obtenida. En general los materiales del subsuelo están constituidos

por gravas, arenas y arcillas con niveles tobáceos, que conforman el basamento denominado Formación La Paila, el cual es suprayacido por terrazas bajas y medias aluviales, y por llanuras recientes del río Risaralda y la quebrada Guayabito. A continuación, se describen las unidades de la zona de estudio:

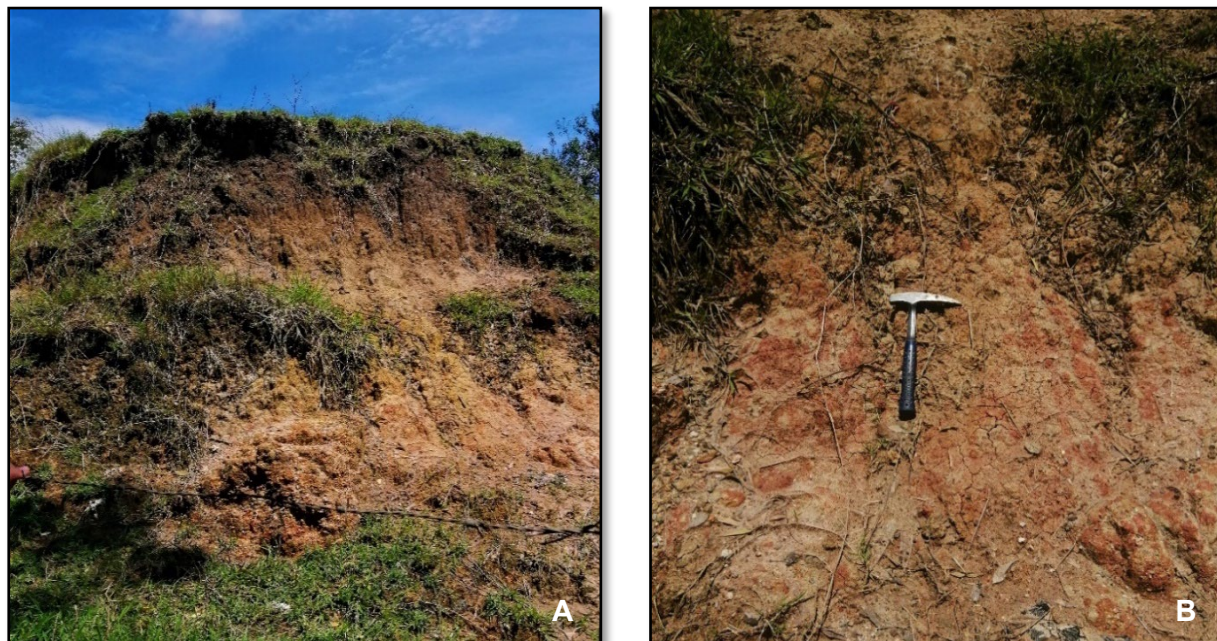
11.1.2.1. Unidad 1 – Tmp

Relacionada con la Formación La Paila, de edad Mioceno (Van Der Hammen, T., 1958), definida litológicamente por el Servicio Geológico Colombiano con base en la plancha 205 Chinchiná (Estrada, J. J., Viana, R., & González., H., 2001), como conglomerados con intercalaciones de arcillolitas. Los conglomerados, mal seleccionados, están embebidos en una matriz areno-arcillosa, se componen de fragmentos líticos de rocas volcano-sedimentarias, metamorfitas y chert que provienen de la Cordillera Central. Las arcillolitas se presentan en lentes delgados, de color pardo a amarillo anaranjado y pequeñas intercalaciones de arenitas cuarzosas.

Descripción de la unidad: esta unidad aflora en el barrio Guayabito y alrededores de la quebrada Guayabito. Está compuesta por rocas sedimentarias como conglomerados y en mayor proporción arcillolitas de color amarillo a pardo-rojizo, como se comprueba en la **Figura 4**. Estas rocas presentan un grado de meteorización medio.

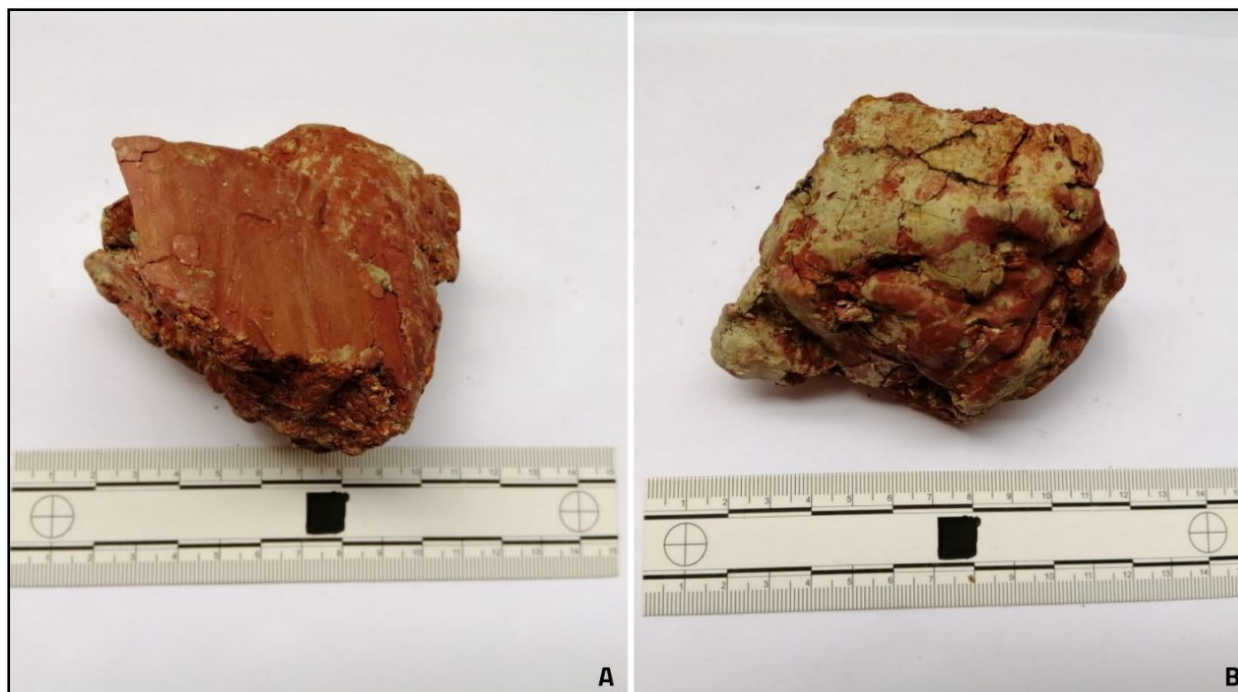
La convención en el mapa de geología para esta unidad corresponde a: Tmp.

Figura 4. (A) y (B) Afloramiento de la unidad 1 compuesto principalmente por arcillolitas. Escala: martillo grande (33cm). Ubicado en las coordenadas 800906,495 - 1052090,816.



Fuente: (Franco, C., 2021).

Figura 5. Muestras de mano de la unidad 1, extraídas del afloramiento de la **Figura 4**. Escala regla en centímetros. Dimensiones de cada una de las muestras: **(A)** largo 9cm. **(B)** largo 10cm.



Fuente: (Franco, C., 2021).

11.1.2.2. Unidad 2 – Qal1

Es una unidad cuaternaria que corresponde a aluviones recientes de origen fluvial por crecientes del río Risaralda. Es un conjunto de rocas no consolidadas que aflora en los alrededores de Viterbo constituido por gravas, arenas y arcillas en la base, y niveles tobáceos y de cenizas volcánicas hacia el techo. Ver **Figura 6**.

La convención en el mapa de geología para esta unidad corresponde a: Qal1.

Figura 6. Afloramiento de la unidad 2, ubicado en la ladera del río Guayabito con coordenadas 800944,012 - 1052151,858.



Fuente: (Franco, C., 2021).

11.1.2.3. Unidad 3 – Qal

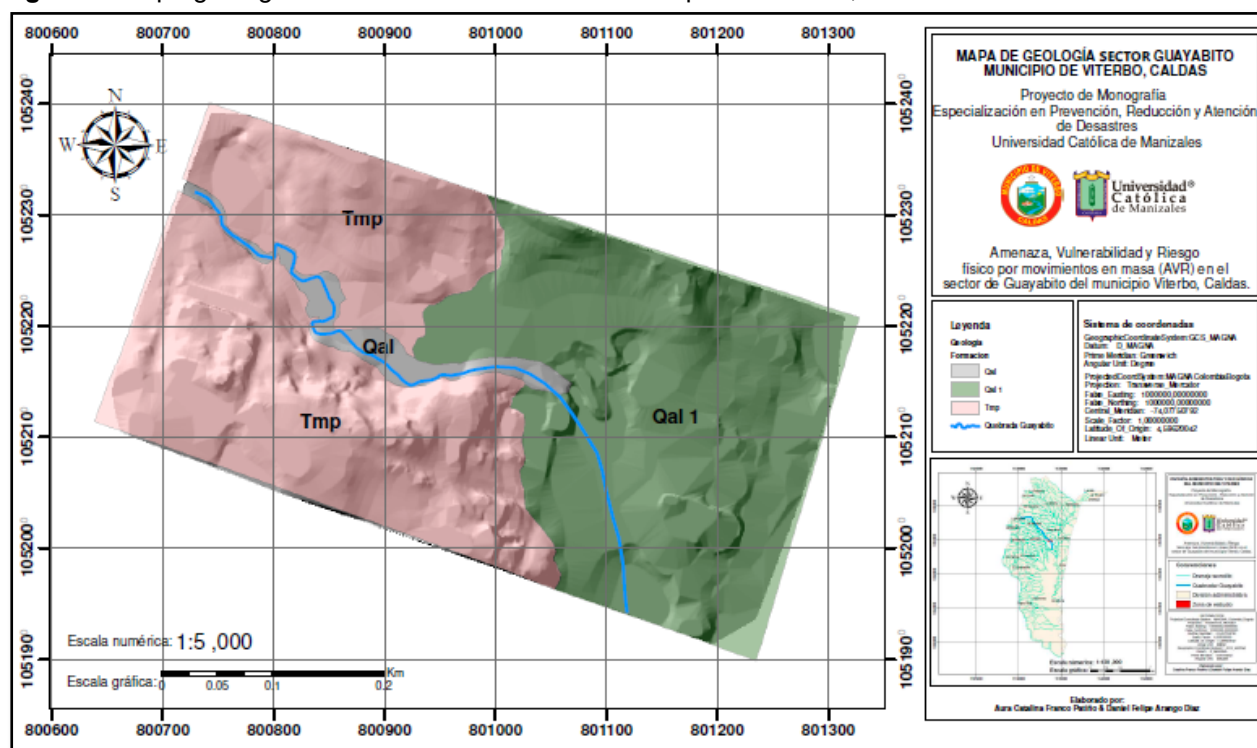
Depósitos cuaternarios provenientes de la quebrada Guayabito, compuesto por arenas de tamaño fino, medio y grueso y clastos tamaño guijo, los clastos son en su mayoría rocas sedimentarias, como cuarzoarenitas y litoarenitas. Como se observa en la **Figura 7: A, B y C**.

Figura 7. (A) Afloramiento de la unidad 3, se observan conglomerados matrices soportados con clastos de tamaño grava y bloques. Escala martillo grande (33cm). **(B)** Pequeña terraza formada por los sedimentos que transporta la quebrada Guayabito. Se observa un conglomerado matriz soportado con clastos tamaño arena gruesa y guijos. Escala martillo grande (33 cm). **(C)** Terraza formada por los sedimentos que transporta la quebrada Guayabito, conglomerado matriz soportado con clastos arena muy gruesa, media y fina.



Fuente: (Franco, C., 2021).

Figura 8. Mapa geológico del norte de la cabecera municipal de Viterbo, Caldas en escala 1:5000.



Fuente: por los autores de la monografía.

11.2. Geomorfología

El desarrollo geomorfológico del municipio de Viterbo, Caldas presenta contrastes separados por la falla Mistrató, ya que al oriente se ubica el valle del río Risaralda, cuya altitud oscila entre 988 y 1350 msnm (PMGRD, 2018), y al occidente se observa una zona montañosa con alturas máximas de 1500 msnm. En su parte media presenta geformas sobresalientes como facetas triangulares, silletas alineadas, evidencia de fallas y lineamientos

Específicamente en la zona de estudio y a una escala muy detallada la geomorfología se describe según los componentes o elementos geomorfológicos basados en la propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia (Carvajal, J. H., 2002), categorizada por los rasgos del relieve definidos en sitios puntuales y determinados por la morfometría detallada del terreno.

11.2.1. Morfodinámica

En el municipio de Viterbo, Caldas, específicamente en la quebrada Guayabito, existen diferentes zonas y en cada una de ellas ocurren algunos procesos específicos como se explica a continuación:

11.2.1.1. Zonas de planicie: en temporada de lluvias los procesos erosivos predominantes son: la erosión superficial en forma laminar y la socavación de las orillas de los cauces.

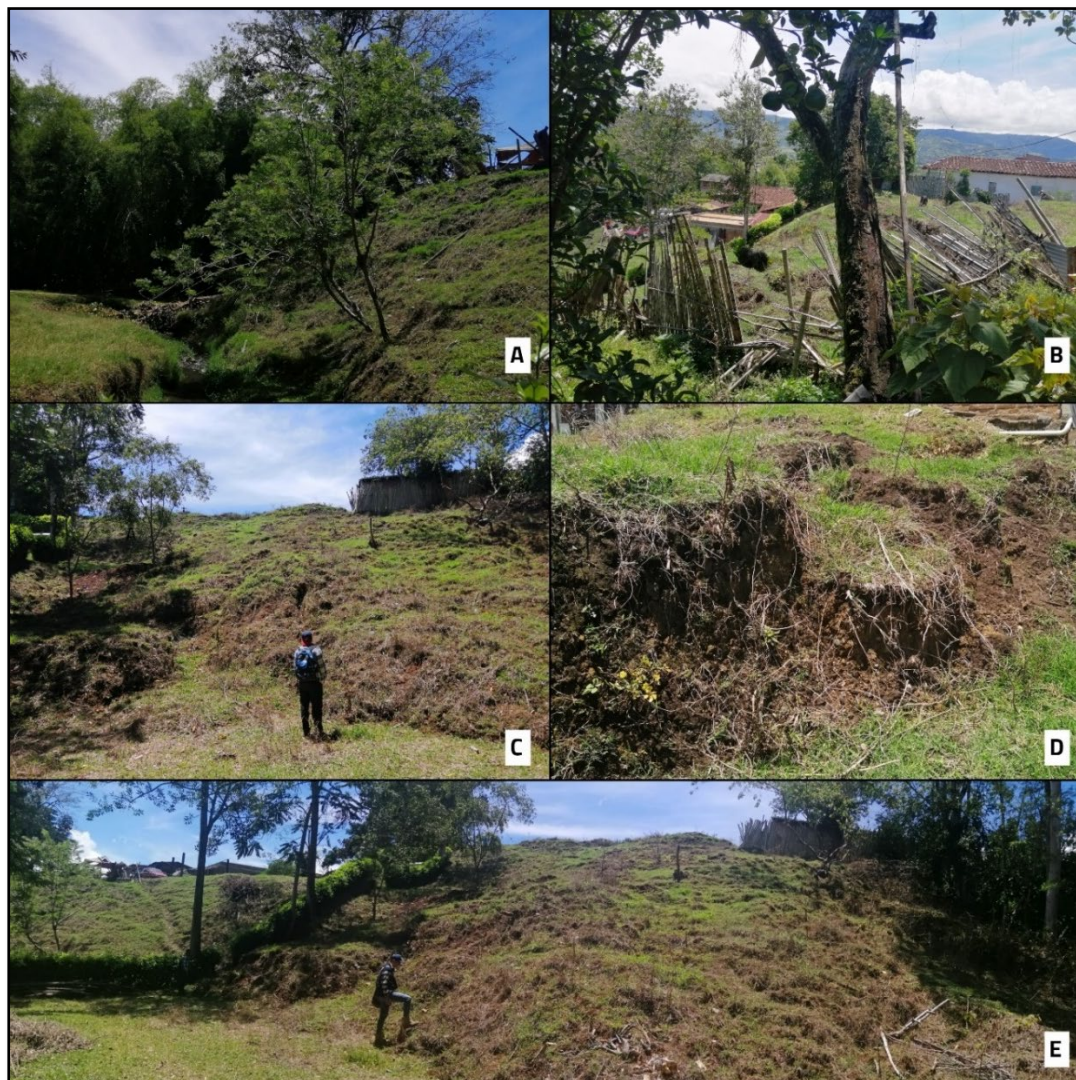
Figura 9. (A) Se observa la quebrada Guayabito y la socavación lateral. **(B)** Imagen panorámica de una parte de la quebrada Guayabito. Se observa la sinuosidad de ésta, además de la deforestación de la zona.



Fuente: (Franco, C., 2021).

11.2.1.2. Zona de laderas: Se observan deslizamientos activos de poca y mediana magnitud en laderas de alta pendiente, cicatrices de antiguos movimientos en masa, erosión superficial en forma laminar y concentrada con cárcavas del orden de varios decímetros. El terreno también evidencia afectaciones por reptación, distinguidas por la inclinación de los troncos de los árboles y terracetas como consecuencia del sobrepastoreo. Todo esto se evidencia en la **Figura 10:** A, B, C, D Y E.

Figura 10. (A) Se observa la inclinación de los árboles alrededor de la quebrada. (B) Movimiento en masa y hundimiento evidenciado en el cerco de una propiedad. (C) Deslizamiento y árboles inclinados. (D) Terreno escalonado afectado por el sobrepastoreo. (E) Foto perimetral del movimiento en masa.



Fuente: (Franco, C., 2021).

11.2.2. Morfología

La morfología de la zona de estudio es de tendencia a pendientes planas o levemente inclinadas, pero en algunos sitios como en la quebrada Guayabito se observan zonas de alta pendiente debido a que se encuentran tramos de taludes verticales o subverticales.

11.2.2.1. Pendiente

La pendiente es un factor importante en la ocurrencia de movimientos en masa pues se relaciona con las tensiones de corte tangencial y normal en los materiales superficiales, e influye en la distribución de agua en las laderas (Santacana, N., 2001). A partir del DEM obtenido para la zona de estudio, se construyó el mapa de pendientes con los siguientes rangos en porcentaje basados en la clasificación morfométrica del relieve.

Tabla 1. Clasificación de las pendientes según su forma.

FORMA DE LAS PENDIENTES

CODIGO	CLASE
R	Recta
C	Convexa
V	Cóncava
X	Compleja

Fuente: por los autores de la monografía.

Tabla 2. Clasificación de las pendientes según su longitud.

LONGITUD DE LAS PENDIENTES

CODIGO	CLASE	METROS
1	Corta	50-100
2	Media	100-300
3	Larga	>300

Fuente: por los autores de la monografía.

Tabla 3. Clasificación de las cimas.

FORMA DE LAS CIMAS

CODIGO	CLASE
A	Agudas
D	Dentadas
P	Planos (Tabular)
R	Redondeadas

Fuente: por los autores de la monografía.

Tabla 4. Clasificación de los niveles de terraza en zonas planas.

NIVELES DE TERRAZAS EN ZONAS PLANAS

CODIGO	CLASE
I	Inferior
M	Medio
S	Superior

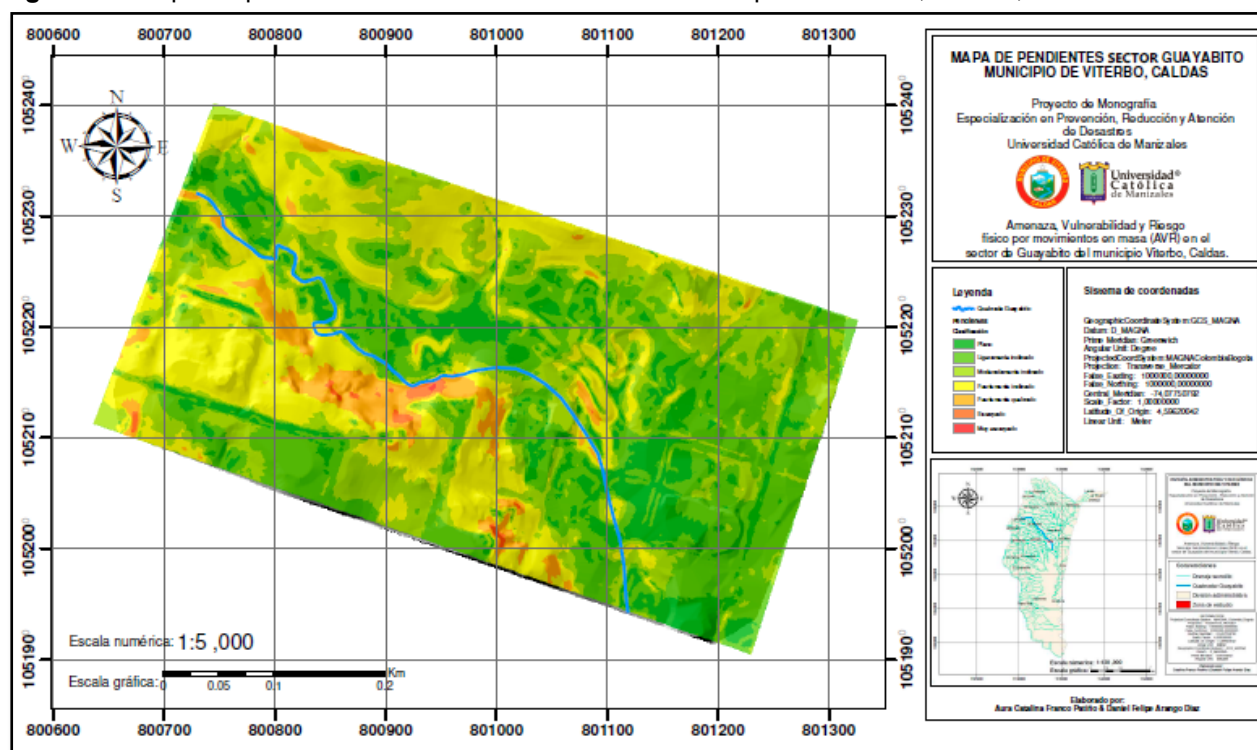
Fuente: por los autores de la monografía.

Tabla 5. Consolidado final para las pendientes del norte de la cabecera municipal de Viterbo, Caldas.

CLASIFICACIÓN CODIGO	CLASE	GRADO CODIGO	GRADO		DESCRIPCIÓN	FORMAS DE LAS PENDIENTES	LONGITUD DE LAS PENDIENTES	FORMAS DE LAS CIMAS	NIVELES DE TERRAZAS EN ZONAS PLANAS
			% Pendiente	Pendiente Grados					
P	Planicies	a	0-3	0-2	Plano				i,m,s
O	Ondulado	b	3-7	2-4	Ligeramente Inclinado				i,m,s
C	Colinado	c	7-12	4-7	Moderadamente Inclinado	R,C,V,X	1,2,3	A,D,P,R	
L	Lomerio	d	12-25	7-14	Fuertemente Inclinado	R,C,V,X	1,2,3	A,D,P,R	
C	Colinado	e	25-50	14-27	Fuertemente Quebrado	R,C,V,X	1,2,3	A,D,P,R	
L	Lomerio	f	50-75	27-45	Escarpado	R,C,V,X	1,2,3	A,D,P,R	
M	Montañoso	g	75-100	>45	Muy Escarpado	R,C,V,X	1,2,3	A,D,P,R	

Fuente: por los autores de la monografía.

Figura 11. Mapa de pendientes del norte de la cabecera municipal de Viterbo, Caldas, en escala 1:5000.

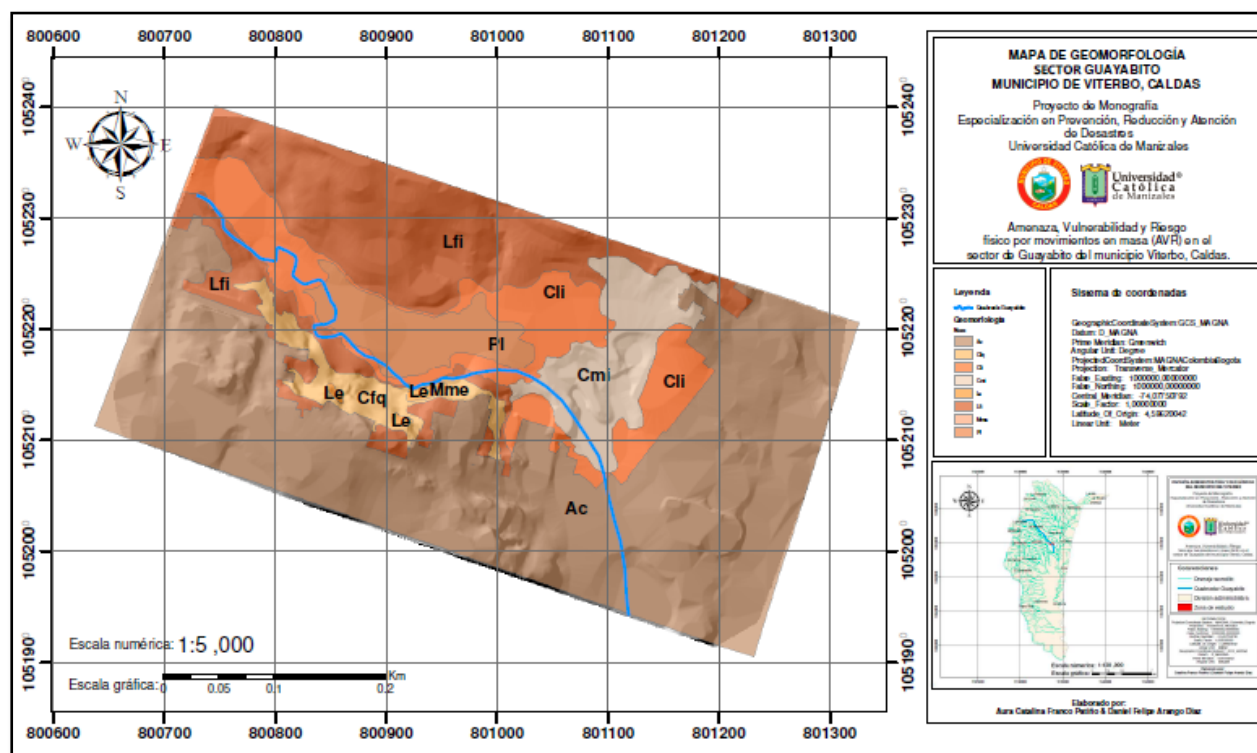


Fuente: por los autores de la monografía.

Las pendientes predominantes en la zona de estudio se encuentran entre un rango de 3% y 25% indicando zonas ligeramente, moderadamente y fuertemente inclinadas, donde su área corresponde a 160.929 m².

Basados en la importancia de las pendientes en la zona de estudio y la descripción de las geformas se logró realizar el mapa de geomorfología.

Figura 12. Mapa de geomorfología del norte de la cabecera municipal de Viterbo, Caldas, en escala 1:5000.



Fuente: por los autores de la monografía.

Las clasificaciones del mapa de geomorfología desde las zonas de planicie a las zonas de laderas fueron:

- **Planicie y ondulaciones ligeramente inclinadas:** Tienen un área de 32548m² tienen una pendiente de 0 - 3% y 3 - 7% respectivamente.
- **Colinas moderadamente inclinadas:** su área es de 13761m² y la pendiente tiene un porcentaje de 7 – 12%.
- **Lomas fuertemente inclinadas y colinas fuertemente quebradas:** ocupan un área de y una pendiente de 12 – 25% y 25 – 50%.
- **Lomas escarpadas y montañas muy escarpadas:** presentan un área de 7016m², con una pendiente de 50 – 75% y 75 – 100%.

Por último, se clasificaron las zonas de viviendas, estructuras y vías como áreas construidas, ocupan mayor terreno en la zona de estudio con un área de 99748m².

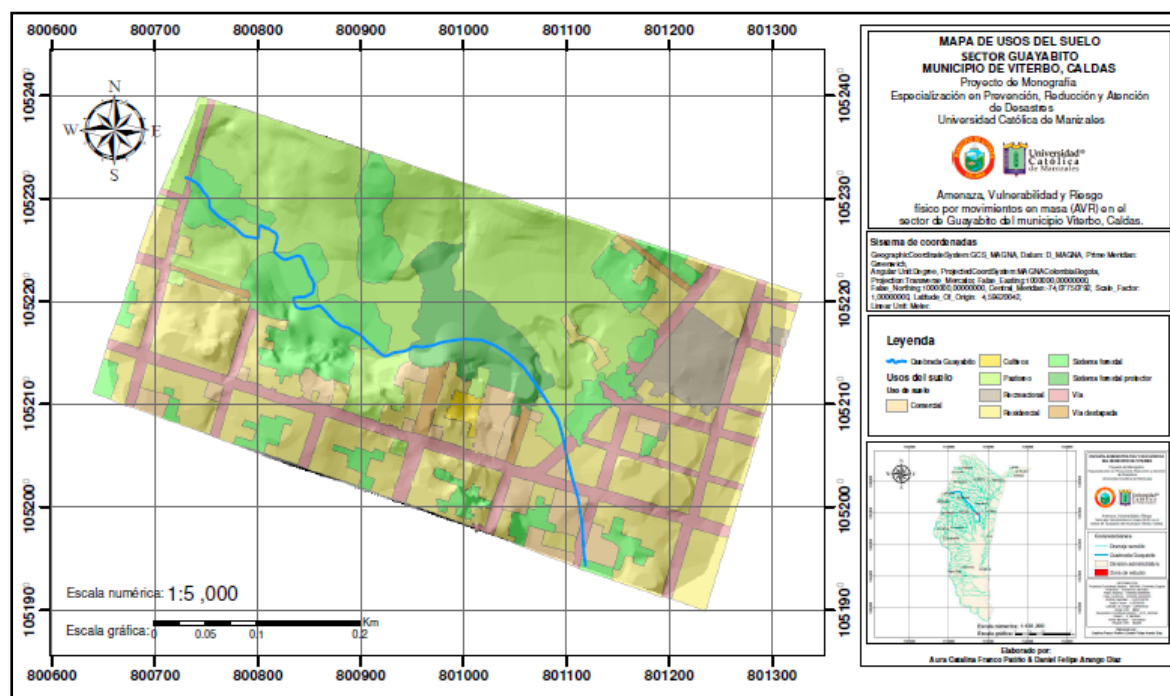
11.3. Uso de Suelo

El uso de suelo se define como la utilidad que presta la cobertura de la tierra al ser humano, las funciones económicas de una porción específica de la tierra, como el uso urbano, industrial, de reserva natural, entre otros. (IDEAM, s.f.).

El uso de suelo predominante en la zona de estudio es el urbano, aunque cabe resaltar el uso de pastos, cultivos; caña de azúcar y café, y sistemas forestales en zonas cercanas a la quebrada Guayabito.

Para llevar a cabo el mapa de uso de suelo se realizó una zonificación, a partir del trabajo de campo y de la fotografía aérea, que permitió la delimitación de las diferentes áreas encontradas en la zona y, posteriormente, a partir del modelo de almacenamiento geográfico aportado por la Agencia Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), se clasificó cada área como se observa a continuación.

Figura 13. Mapa del uso del suelo en el norte de la cabecera municipal de Viterbo, Caldas, en escala 1:5000.



Fuente: por los autores de la monografía.

En el mapa se identifican los siguientes usos de suelo:

- 11.3.1. Pastos:** presentan un área de 60269m² que después de las áreas urbanas ocupan la mayor parte de la zona, su uso principal para ganadería.
- 11.3.2. Sistema forestal:** terreno cubierto por vegetación, que forma bosques alrededor de la quebrada Guayabito y en medio del área urbana. Su área es de 27894m².
- 11.3.3. Sistema forestal protector:** zona con vegetación que posee adecuadas características para preservar y proteger el suelo, por ello la importancia de preservar y evitar la deforestación en esta área. Se ubica en los alrededores de la quebrada Guayabito hasta donde comienza el box-culvert. Su área es de 10647m².
- 11.3.4. Cultivos:** en la zona hay un cultivo de café con un área 2453m², en sectores aledaños caña de azúcar.
- 11.3.5. Residencial, comercial y recreacional:** cada una está delimitada en el mapa, representan el área urbana de la zona de estudio. Presentan un área de 96840m².

12. Análisis de resultados

Para este ítem se tienen en cuenta cada uno de los objetivos específicos, dando a conocer el impacto y/o trabajo sobre cada uno.

12.1. REVISIÓN Y AJUSTE DE LA EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DEL AVR PARA EL SECTOR DE GUAYABITO EN VITERBO, CALDAS.

Es de recordar que este punto es el más extenso dada su importancia y complejidad dentro del trabajo desarrollado; los resultados que se obtuvieron para el análisis de susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa en el sector Guayabito del municipio de Viterbo, Caldas, son los siguientes:

12.1.1. Susceptibilidad

En la zona urbana del municipio de Viterbo, Caldas, la susceptibilidad por procesos de remoción en masa, se relaciona por los contrastes de relieve, los escarpes erosivos influenciados por la disposición de laderas y la intervención humana, también por procesos de evolución geomorfológica generados por el desarrollo de la disección y agradación de los cauces del sector, que se evidencian en los escarpes erosivos, en este caso, la margen derecha de la quebrada Guayabito en su tramo aguas arriba, vía box culvert.

Dada la afectación en la zona de estudio, por movimientos en masa y agrietamiento en las viviendas, es conveniente evaluar la susceptibilidad de la zona. Esta susceptibilidad se define como la probabilidad de que ocurra un evento en determinado sitio o más específicamente como el grado de predisposición que tiene un sitio a que en él se genere un evento debido a la evolución propia de la amenaza y a sus condiciones intrínsecas, a la presencia de al menos un fenómeno detonante y de factores contribuyentes.

Las variables que componen la susceptibilidad en este estudio son la geología, la geomorfología, la pendiente y el uso de suelo, ya que las interacciones de estos factores

constituyen la causa de inestabilidad y determinan la susceptibilidad de la zona junto con los factores detonantes. Es importante recalcar que esta susceptibilidad se ha visto intervenida por procesos antrópicos y es un claro ejemplo en las cercanías a la quebrada Guayabito, pues la quema y tala de árboles, el sobrepastoreo, el mal manejo de aguas superficiales y la construcción vial han generado un deterioro acelerado de las laderas, favoreciendo la formación de las superficies de erosión.

El análisis de susceptibilidad en este estudio puede considerarse el primer paso para la zonificación de la amenaza y evaluación de riesgo, por esto es importante analizar la susceptibilidad en toda el área de estudio por medio de una zonificación.

12.1.1.1. Zonificación de la Susceptibilidad

Para establecer la susceptibilidad por remoción en masa se empleó el método heurístico para el mapeo, este se basa en jerarquizar y dar peso a los factores causantes de inestabilidad según la influencia de estos en la generación de movimientos en masa. Cada factor es considerado como una causal y a cada uno se le asigna un mapa parámetro (Jian, W. & Xiangguo, P., 2009). La importancia de cada mapa parámetro es evaluada de acuerdo con el conocimiento y experticia de un profesional que hace la revisión en campo. Por esto no se pueden extrapolar los resultados de otras áreas ni los resultados de este proyecto se deberían extrapolar a otras zonas (Hervás, J., Barredo, J, I, Lomoschitz, A., 2002).

Los mapas parámetros escogidos para el cálculo de la susceptibilidad fueron:

- Pendiente
- Uso de suelo
- Geomorfología
- Geología

Según el método de evaluación multicriterio de las jerarquías analíticas aplicado en este estudio (Hervás, J., Barredo, J, I, Lomoschitz, A., 2002), en primer lugar, se deben establecer las prioridades de los mapas parámetros, mediante la comparación de variables de influencia en la estabilidad de las laderas, con el fin de disponer sus respectivos pesos. Para cada uno de los parámetros evaluados se obtiene un valor de peso.

(Saaty, 1980) propuso en otros casos, asignar grados de preferencia con valores comprendidos entre 9 y 1 siendo el primero de “importancia extrema” y el último de “importancia igual”, el valor es inverso en el caso de que la relación sea inversa, así se aplicó en este trabajo. Ver **Tabla 6**.

Tabla 6. Clasificación de grado de importancia para el estudio de AHP.

INTENSIDAD	DEFINICIÓN	EXPLICACIÓN
1	Importancia igual	Dos actividades contribuyen igualmente al objetivo.
9	Importancia moderada	Experiencia y juzgamiento favorecen ligeramente un factor sobre otro.
7	Importancia fuerte	Experiencia y juzgamiento favorecen fuertemente un factor sobre otro.
5	Importancia muy fuerte	Un elemento es favorecido muy fuertemente sobre otro y su dominio es demostrado en la práctica.
3	Importancia extrema	La evidencia está favoreciendo un factor sobre otro con el más alto grado de certidumbre.

Fuente: (Saaty, 1980).

Los valores pares (2, 4, 6 y 8) son intermedios entre las calificaciones presentadas anteriormente.

Para establecer dichos pesos en los mapas parámetro que se eligieron para este estudio, se utilizó la matriz diseñada por (Goepel, 2013); con número de filas y columnas igual

al número de parámetros usados en la evaluación de la susceptibilidad. A cada elemento de la matriz se le asignó un valor de acuerdo a la importancia relativa del factor de la fila, con respecto a la columna, en cuanto a la inestabilidad.

Para cada parámetro (geología, uso de suelo, pendiente y geomorfología) se elaboró la respectiva matriz, con las variables correspondientes a la zona, se asignaron los pesos determinados según el área de estudio y se realizó la suma total y el inverso de la suma de los pesos en cada clase, como se evidencia a continuación:

Tabla 7. Matriz correspondiente a la geología.

Geología	Tmp	Qal1	Qal
Tmp	1	5	9
Qal1	0,2	1	5
Qal	0,111	0,2	1
Suma	1,311	6,2	15
1/Suma	0,763	0,161	0,067

Fuente: por los autores de la monografía.

Tabla 8. Matriz correspondiente al % de la pendiente.

Pendiente (%)	(0-25)	(25-50)	(50-75)	(75-100)	(>100)
(0-25)	1	3	7	5	9
(25-50)	0,333	1	5	7	9
(50-75)	0,143	0,2	1	5	8
(75-100)	0,2	0,143	0,2	1	7
(>100)	0,111	0,111	0,125	0,143	1
Suma	1,787	4,454	13,325	18,143	34
1/Suma	0,560	0,225	0,075	0,055	0,029

Fuente: por los autores de la monografía.

Tabla 9. Matriz correspondiente al uso del suelo.

Uso de suelo	Pastos	Cultivos	Comercial	Residencial	Recreacional	S. Forestal	S. Forestal protectora
Pastos	1	3	5	6	9	7	7
Cultivos	0,333	1	7	3	7	8	8
Comercial	0,200	0,143	1	9	9	9	8
Residencial	0,167	0,333	0,111	1	9	7	7
Recreacional	0,111	0,143	0,111	0,111	1	8	9
S. Forestal	0,143	0,125	0,143	0,143	0,125	1	9
S. Forestal protectora	0,143	0,125	0,125	0,143	0,111	0,111	1
Suma	2,097	4,869	13,490	19,397	35,236	40,111	49
1/Suma	0,477	0,205	0,074	0,052	0,028	0,025	0,020

Fuente: por los autores de la monografía.

Tabla 10. Matriz correspondiente a la geomorfología.

Geomorfología	Montañas muy escarpadas	Lomas escarpadas	Colinas fuert. quebradas	Lomas fuert. inclinadas	Área construida	Ondulaciones liger. inclinadas	Colinas modera. inclinadas	Planicie
Montañas muy escarpadas	1	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00
Lomas escarpadas	0,33	1	3,00	4,00	5,00	7,00	8,00	9,00
Colinas fuert. Quebradas	0,25	0,33	1	5,00	6,00	8,00	9,00	9,00
Lomas fuert. Inclinadas	0,20	0,25	0,20	1	5,00	7,00	8,00	9,00
Área construida	0,17	0,20	0,17	0,20	1	6,00	7,00	8,00
Ondulaciones liger. Inclinadas	0,14	0,14	0,13	0,14	0,17	1	8,00	9,00
Colinas modera. Inclinadas	0,13	0,13	0,11	0,14	0,14	0,13	1	9,00
Planicie	0,11	0,11	0,11	0,11	0,13	0,11	0,11	1
Suma	2,33	5,16	8,71	15,60	23,43	36,24	49,11	63,00
1/Suma	0,43	0,19	0,11	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02

Fuente: por los autores de la monografía.

Es necesario recordar que el valor del peso en cada parámetro refleja la importancia en la ocurrencia de movimientos en masa y junto con los valores de peso para las clases individuales deberá mostrar el grado de susceptibilidad que ellos representan.

Posteriormente, se deben normalizar los pesos de las matrices, primero se multiplica el peso de cada clase por el inverso de la suma total, luego se suman las filas y se dividen entre el número de clases. Por ejemplo, en el caso de la geología, hay tres clases (ver **Tabla 7**) la

primera columna (Tmp) dio como resultado de suma inversa 1,311 y se multiplica ese valor por cada uno de los pesos asignados que fueron 1, 0.2 y 0.11. Y se repite el mismo proceso en todas las columnas. Finalmente se crea una nueva columna llamada “Peso normalizado” y otra “Peso %”, en la primera se suman los valores de la fila y se dividen entre el número de clases, en el caso de la geología sería 3. Para la segunda, se multiplica por 100 el resultado de la columna de “Peso normalizado”, y la suma de estas columnas debe dar 100. El producto obtenido en todas las variables se evidencia a continuación.

Tabla 11. Matriz del % de las pendientes; peso normalizado.

Pendientes (%)	(0-25)	(25-50)	(50-75)	(75-100)	(>100)	Peso Norm	Peso %
(0-25)	0,560	0,674	0,525	0,276	0,265	0,460	46
(25-50)	0,187	0,225	0,375	0,386	0,265	0,287	29
(50-75)	0,080	0,045	0,075	0,276	0,235	0,142	14
(75-100)	0,112	0,032	0,015	0,055	0,206	0,084	8
(>100)	0,062	0,025	0,009	0,008	0,029	0,027	3
						1	100

Fuente: por los autores de la monografía.

Tabla 12. Matriz de la geología; peso normalizado.

Geología	Tmp	Qal1	Qal	Peso Norm	Peso %
Tmp	0,7627	0,806	0,6	0,723	72
Qal1	0,1525	0,161	0,333	0,216	21
Qal	0,0847	0,032	0,067	0,061	6
				1	100

Fuente: por los autores de la monografía.

Tabla 13. Matriz del uso del suelo; peso normalizado.

Uso de suelo	Pastos	Cultivos	Comercial	Residencial	Recreacional	S. Forestal	S. Forestal protectora	Peso Norm	Peso %
Pastos	0,477	0,616	0,371	0,309	0,255	0,175	0,143	0,335	34
Cultivos	0,159	0,205	0,519	0,155	0,199	0,199	0,163	0,228	23
Comercial	0,095	0,029	0,074	0,464	0,255	0,224	0,163	0,187	19
Residencial	0,079	0,068	0,008	0,052	0,255	0,175	0,143	0,112	11
Recreacional	0,053	0,029	0,008	0,006	0,028	0,199	0,184	0,073	7
S. Forestal	0,068	0,026	0,011	0,007	0,004	0,025	0,184	0,046	5
S. Forestal protectora	0,068	0,026	0,009	0,007	0,003	0,003	0,020	0,020	2
								1	100

Fuente: por los autores de la monografía.

Tabla 14. Matriz de la geomorfología; peso normalizado.

Geomorfología	Montañas muy escarpadas	Lomas escarpadas	Colinas fuert. Quebradas	Lomas fuert. inclinadas	Área construida	Ondulaciones liger. inclinadas	Colinas modera. inclinadas	Planicie	Peso Norm	Peso %
Montañas muy escarp	0,43	0,58	0,46	0,32	0,26	0,19	0,16	0,14	0,32	32
Lomas escarp	0,14	0,19	0,34	0,26	0,21	0,19	0,16	0,14	0,21	21
Colinas fuertm quebradas	0,11	0,06	0,11	0,32	0,26	0,22	0,18	0,14	0,18	18
Lomas fuertm inclinadas	0,09	0,05	0,02	0,06	0,21	0,19	0,16	0,14	0,12	12
Área construida	0,07	0,04	0,02	0,01	0,04	0,17	0,14	0,13	0,08	8
Ondulaciones liger. Inclinadas	0,06	0,03	0,01	0,01	0,01	0,03	0,16	0,14	0,06	6
Colinas modera. Inclinadas	0,05	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,14	0,03	3
Planicie	0,05	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01	1
									1	100

Fuente: por los autores de la monografía.

Una vez aplicado el método de las jerarquías analíticas, se ha creado la matriz con los criterios de valor relativos entre pares de factores condicionantes de la inestabilidad (mapas parámetro), obteniéndose así un peso para cada factor.

A continuación, se presenta la matriz de susceptibilidad, realizada mediante el mismo procedimiento que las anteriores.

Tabla 15. Matriz de susceptibilidad.

Susceptibilidad	Uso de suelo	Pendiente	Geomorfología	Geología
Uso de suelo	1	2	4	5
Pendiente	0,5	1	2	3
Geomorfología	0,25	0,5	1	2
Geología	0,2	0,33	0,5	1
Suma	1,95	3,83	7,5	11
1/Suma	0,51	0,26	0,13	0,09

Fuente: por los autores de la monografía.

Tabla 16. Matriz de susceptibilidad; peso normalizado.

Susceptibilidad	Uso de suelo	Pendiente	Geomorfología	Geología	Peso norm	Peso %
Uso de suelo	0,51	0,52	0,53	0,45	0,51	51
Pendiente	0,26	0,26	0,27	0,27	0,26	26
Geomorfología	0,13	0,13	0,13	0,18	0,14	14
Geología	0,10	0,09	0,07	0,09	0,09	9
					1	100

Nota: en esta matriz corresponde a los pesos normalizados y porcentuales; fuente: por los autores de la monografía.

El índice de susceptibilidad se ha dividido finalmente en 5 categorías generales de susceptibilidad a los deslizamientos.

Cada uno de los mapas parámetros, se divide en diferentes clases y a estas categorías se les asigna un valor de peso de acuerdo a su influencia sobre los procesos de remoción en masa basados en la siguiente clasificación. (ver **Tabla 17**).

Los valores fueron fijados de acuerdo con la opinión del geólogo que caracteriza los procesos de remoción en masa en campo.

Tabla 17. Valores asignados según el criterio técnico en el uso del suelo.

USO DE SUELO	CALIFICACIÓN
Pastos	5
Cultivos	4
Comercial	3
Residencial	3
Recreacional	2
S. Forestal	2
S. Forestal protectora	1

Fuente: por los autores de la monografía.

Tabla 18. Valores asignados según el criterio técnico en la geomorfología.

GEOMORFOLOGÍA	CALIFICACIÓN
Montañas muy escarpadas	5
Lomas escarpadas	4
Colinas fuertemente quebradas	4
Lomas fuertemente inclinadas	3
Área construida	3
Ondulaciones ligeramente inclinadas	2
Colinas moderadamente inclinadas	2
Planicie	1

Fuente: por los autores de la monografía.

Tabla 19. Valores asignados según el criterio técnico en la pendiente.

PENDIENTE	CALIFICACIÓN
Muy escarpado	5
Escarpado	4
Fuertemente inclinado	3
Inclinado	3
Moderadamente inclinado	2
Ligeramente inclinado	1
Plano	1

Fuente: por los autores de la monografía.

Tabla 20. Valores asignados según el criterio técnico en la geología.

GEOLOGÍA	CALIFICACIÓN
Tmp	4
Qal	3
Qal 1	1

Fuente: por los autores de la monografía.

Una vez obtenidos los pesos de los factores, en el SIG se determina finalmente el Índice de Susceptibilidad por Deslizamiento (ISD) mediante la suma lineal ponderada de pesos de los parámetros y clases.

Ecuación 1. Índice de Susceptibilidad por Deslizamiento (ISD).

$$ISD = \sum W_j w_{ij}$$

Fuente: (Voogd, H., 1983).

ISD: Índice de susceptibilidad por deslizamiento

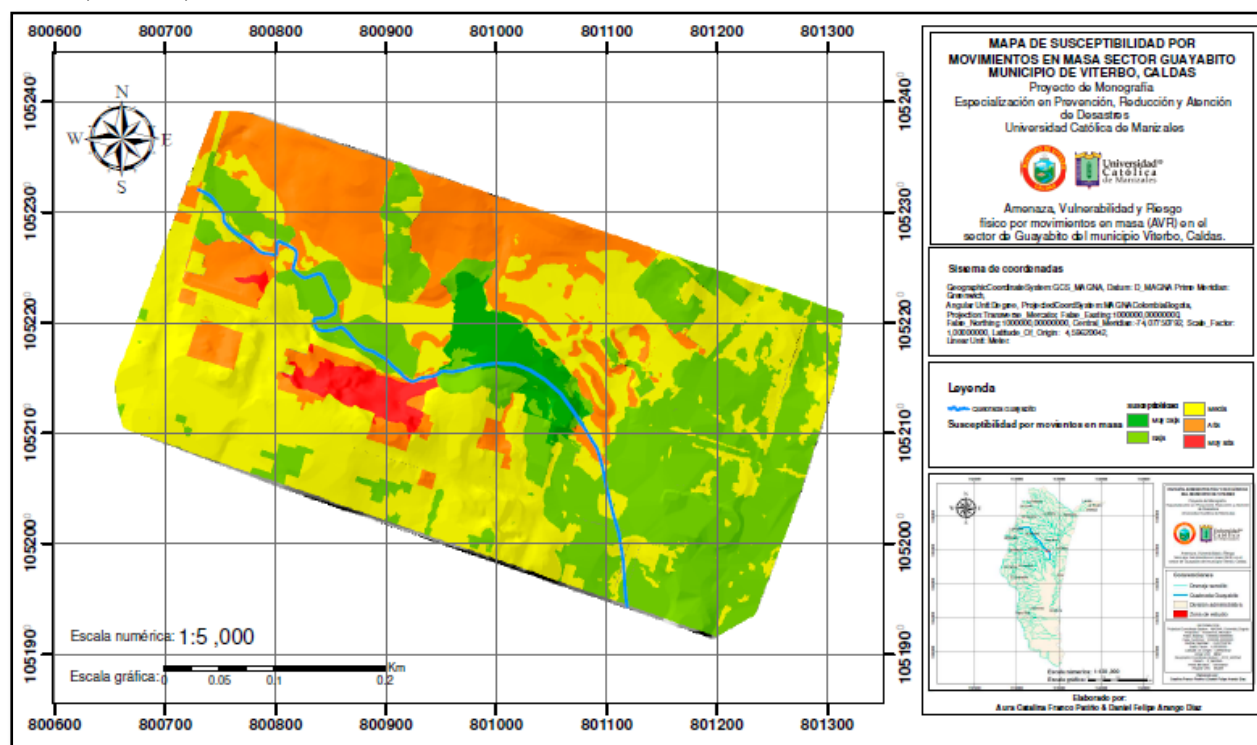
W_j: Valor del peso para el parámetro j.

w_{ij} : Valor de peso de la clase i en el parámetro j .

n : número de parámetros.

En el modelo representativo de la susceptibilidad a movimientos en masa en el sector de la quebrada Guayabito en el municipio de Viterbo, Caldas, se ve reflejada la influencia del mapa de uso de suelo y del mapa de pendientes, puesto que son los valores porcentuales más altos.

Figura 14. Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa del norte de la cabecera municipal de Viterbo, Caldas, en escala 1:5000.



Fuente: por los autores de la monografía.

Tabla 21. Clasificación y caracterización de la susceptibilidad al deslizamiento.

CLASIFICACIÓN	POTENCIAL DE DESLIZAMIENTO	CARACTERÍSTICA
1	Muy baja	Sectores estables, no requieren medidas correctivas. Aptos para usos urbanos de alta densidad y ubicación de edificios indispensables como hospitales, centros educativos, estaciones de policía, bomberos, etc.
2	Baja	Sectores estables, requieren medidas correctivas menores, solamente en caso de obras de infraestructura de gran envergadura. También apta para usos urbanos alta densidad y ubicación de edificios indispensables.
3	Moderada	Para la construcción de infraestructura deben realizarse estudios geotécnicos para mejorar la condición del sitio. Las mejoras pueden incluir: movimientos de tierra, estructuras de retención, manejo de aguas superficiales y subterráneas, etc. Recomendable usos urbanos de baja densidad.
4	Alta	Probabilidad de deslizamiento <50% en caso de sismos de magnitud importante y lluvias de intensidad alta. Para su utilización se deben realizar estudios de estabilidad a detalle e implementar medidas correctivas.
5	Muy alta	Probabilidad de deslizamiento muy alta >50% en caso de sismos de magnitud importante y lluvias de intensidad alta. Se recomienda usarlos como área de protección.

Fuente: (Mora, 2004).

12.1.2. Detonante

La susceptibilidad expresa los factores intrínsecos que intervienen en los procesos de remoción en masa como se analizó anteriormente, ahora se deben estudiar los factores exógenos que determinan, condicionan o detonan la ocurrencia de dichos procesos. En este trabajo, el principal factor detonante de los deslizamientos, es la lluvia. Esto se analizará mediante la evaluación y determinación de las zonas de recarga en la zona de estudio.

Una zona de recarga, se define como el sitio en donde ocurre el proceso de infiltración de agua (lluvia o aguas superficiales) hacia el acuífero, presenta un suelo con alta capacidad de infiltración o rocas permeables.

La metodología adaptada a este trabajo es la propuesta por (Silva, O. D. M., 2007), que consiste en la evaluación del terreno con base en su potencial para permitir la infiltración de agua. Para ello se analizan diferentes variables como: la pendiente del terreno, el tipo de suelo, el tipo de roca, la cobertura vegetal y el uso del suelo. Cada una de estas variables es reclasificada en 5 rangos, y a cada rango se le asigna un valor de 1 a 5, según su potencial para contribuir a la recarga.

Tabla 22. Tabla de valoración del potencial de recarga.

POTENCIAL DE RECARGA	VALOR RESULTANTE
Muy alta	4.1 – 5.0
Alta	3.5 – 4.09
Moderada	2.6 – 3.49
Baja	2.0 – 2.59
Muy baja	0.75 – 1.99

Fuente: (Silva, O. D. M., 2007).

Con base en la siguiente ecuación, la suma de todas las variables, cada una con su respectivo peso, determina el valor del potencial de recarga.

Ecuación 2. Zona de Recarga (ZR).

$$ZR = (0,27 * Pendiente) + (0,23 * Tipo\ suelo) + (0,12 * Tipo\ de\ roca) + (0,25 * Cobertura\ vegetal) + (0,13 * Uso\ del\ suelo)$$

Fuente: (POMCA Río Risaralda, 2017).

Luego de reclasificar y ponderar cada variable, mediante la superposición y suma de las capas de información usando Sistemas de Información Geográfica, se obtuvo la delimitación de las zonas de recarga.

A continuación, se presentan las categorías usadas en cada variable, establecidas por la metodología de (Silva, O. D. M., 2007), y los valores asignados a cada una según las características de la zona.

12.1.2.1. Pendiente

La pendiente es una de las variables más importantes, debido a que determina el impacto de la escorrentía y sus efectos en el suelo. Por ejemplo, las planicies no favorecen la escorrentía y permiten un mayor tiempo de contacto entre el agua y el suelo ocasionando la infiltración. Mientras que las pendientes altas, aumentan la velocidad de la escorrentía lo que provoca mayor desgaste, erosión y alteración del suelo.

La zona de estudio presenta un rango de pendientes que varían desde Plano hasta Muy escarpado; en general predominan las pendientes ligeramente planas, moderadamente inclinadas y fuertemente inclinadas, presentan un potencial de recarga muy alta, alta y moderada, respectivamente; ocupan el 82,74% de la zona de interés. En la **Figura 11**, se observa que las pendientes mayores se encuentran en la orilla del río Guayabito en la margen derecha, según su curso.

Tabla 23. Ponderación del parámetro de pendiente en la zona de estudio.

Pendiente %	Potencial de recarga	Ponderación	Área (m²)	Área %
Plano	Muy alta	5	22703,57	11,67
Ligeramente plano	Muy alta	5	59764,22	30,73
Moderadamente inclinada	Alta	4	47224,64	24,28
Fuertemente inclinada	Moderada	3	53940,23	27,73
Fuertemente quebrado	Moderada	3	9953,96	5,12
Escarpado	Baja	2	888,50	0,46
Muy escarpado	Muy baja	1	27,97	0,014
	Total		194503,10	100

Fuente: por los autores de la monografía.

12.1.2.2. Tipo de suelos

Algunas de las propiedades físicas del suelo son textura, estructura, porosidad, consistencia, entre otras. Una de las que tiene más relevancia en cuanto a la infiltración es la textura, pues ejerce una influencia directa en las relaciones hídricas, la fuerza y la succión con que el agua es retenida por las arcillas del suelo. La infiltración siempre es mayor en suelos de textura gruesa que en suelos de textura fina.

En la zona de estudio se identificaron tres tipos de material. Ver **Tabla 24**. El mayor valor de recarga potencial en la variable suelo es moderado, con el 76% de tipo de suelo sedimentario con granulometría fina.

Tabla 24. Ponderación del parámetro de tipo de suelo en la zona de estudio.

Tipo de suelo	Granulometría	Potencial de recarga	Ponderación	Área (m²)	Área (%)
Flujos sedimentarios por cauce	Gruesa de guijos a guijarros	Alta	4	32548,11	17
Aluvial	Fina	Moderada	3,5	13761,65	7
Sedimentario	Fina	Moderada	3	147684,6	76
			Total	193994,4	100

Fuente: por los autores de la monografía.

12.1.2.3. Tipo de roca

A cada tipo de roca se le asignan las ponderaciones según las características del material geológico en función de su permeabilidad. Por ejemplo, las rocas ígneas o metamórficas no fracturadas tienen una baja permeabilidad y las arenas gruesas y gravas, poseen poros de gran tamaño a través de los cuales circula el agua con gran facilidad favoreciendo la recarga de los acuíferos (POMCA Río Risaralda, 2017).

En la zona de estudio se identificaron tres tipos de roca. Ver **Tabla 25**. Los depósitos aluviales recientes y los conglomerados con intercalaciones de arcillolitas son los tipos de roca con mayor área, en total ocupan un 96%, y su potencial de recarga es alto y moderado, respectivamente.

Tabla 25. Ponderación del parámetro de tipo de roca en la zona de estudio.

Tipo de roca	Nomenclatura	Potencial de recarga	Ponderación	Área (m ²)	Área (%)
Depósitos aluviales	Qal	Alta	4	7932,557	4
Depósitos aluviales recientes	Qal 1	Alta	4	96318,68	50
Conglomerados con intercalaciones de arcillolitas	Tmp	Moderada	3,5	88875,67	46
			Total	193126,9	100

Fuente: por los autores de la monografía.

12.1.2.4. Cobertura vegetal

La cobertura vegetal es la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre. En cuanto a las precipitaciones genera diferentes impactos pues disminuye la escorrentía superficial, atenúa la velocidad, la erosión, el impacto de la lluvia y la resequedad producto de los rayos del sol, esto conserva el suelo que favorece la recarga hídrica. Las superficies sin cobertura vegetal o desnudas permiten que la lluvia caiga directamente en el suelo y se compacte; por el contrario, cuando la superficie está cubierta por vegetación protege el suelo y retarda el recorrido superficial del agua, de este modo hay mayor probabilidad de infiltración; adicionalmente las raíces de las plantas abren conductos en el suelo que facilitan la penetración del agua (POMCA Río Risaralda, 2017).

En el área de estudio, para las zonas con poca vegetación como pastos se asigna un porcentaje de cobertura muy bajo <30%; en las áreas de cultivos el rango es de 50 a 30% con un potencial de recarga baja, en las zonas más densas de bosques la cobertura es de un 50 – 70%. En las áreas urbanas no se asignó valor de ponderación. Ver **Tabla 26**.

El tipo de cobertura con mayor área son los bosques fragmentados 65%, su potencial de recarga es moderado, estos tienden a conservar las características del suelo.

Tabla 26. Ponderación del parámetro del % de cobertura en la zona de estudio.

% Cobertura	Tipo de cobertura	Potencial de recarga	Ponderación	Área (m²)	Área %
50- 70	Bosques	Alta	4	10646,5656	5
	Bosques fragmentados	Moderada	3,5	135615,427	65
50 – 30	Cultivos	Baja	2	2452,58335	1
<30	Pastos	Muy baja	2	60259,6328	29
	Áreas urbanas	Ninguna	1		
			Total	208974,208	100

Fuente: por los autores de la monografía.

12.1.2.5. Uso de suelo

El uso de suelo es la variable más influenciada por la actividad antrópica, el potencial de recarga varía según el uso apropiado o desacertado del suelo. Si es inapropiado puede disminuir la recarga potencial del acuífero y generar procesos erosivos hídricos o eólicos.

En este estudio se establecieron diferentes usos, algunos que por sus características favorecen la infiltración del agua como los sistemas forestales protectores y sistemas forestales, otros como los cultivos, pastos y áreas urbanas presentan un potencial de recarga bajo a muy bajo. Como se observa en la **Tabla 27**, las zonas con menor grado de intervención del suelo se calificaron como altas y las de mayor intervención antrópica de bajo potencial de recarga.

Las variables de uso de suelo con mayor área son las áreas urbanas y los pastos, los cuales suman 79% y su potencial de recarga es muy bajo. Las zonas de sistemas forestales ocupan un 19% de la zona de estudio.

Tabla 27. Ponderación del parámetro de uso del suelo en la zona de estudio.

Uso de suelo	Potencial de recarga	Ponderación	Área (m ²)	Área (%)
Sistema forestal protector	Alta	4	10646,566	5
Sistema forestal	Moderada	3	27894,490	14
Cultivos	Baja	2,5	2452,583	1
Pastos	Muy baja	1,5	60268,601	30
Áreas urbanas (residencial, comercial, recreacional)	Muy baja	1	96840,484	49
		Total	198102,723	100

Fuente: por los autores de la monografía.

12.1.2.6. Infiltración

Finalmente, al realizar el cruce de los mapas obtenidos, el potencial de recarga en la zona de estudio varía de muy alto a muy bajo, como se observa en la **Tabla 28**, cada sector incluye el área que ocupa en metros cuadrados y en porcentaje.

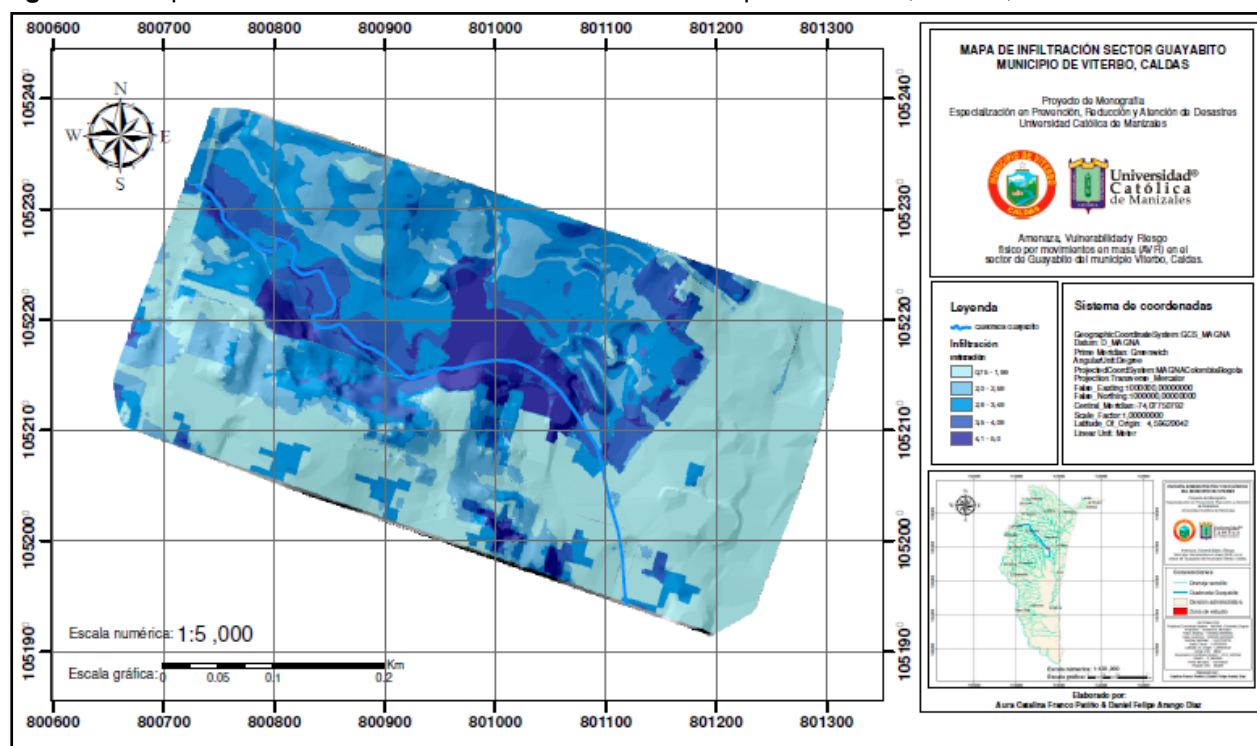
Tabla 28. Potencial de recarga de las áreas relacionadas en la zona de estudio.

Potencial de recarga	Valor resultante	Área (m ²)	Área (%)
Muy alta	4,1 - 5,0	15592,185	8
Alta	3,5 - 4,09	27574,32339	15
Moderada	2,6 - 3,49	18603,69052	10
Baja	2,0 - 2,59	61809,94389	33
Muy baja	0,75 - 1,99	66279,91059	35
		Total	189860,0534
			100

Fuente: por los autores de la monografía.

Para la zona de estudio en el municipio de Viterbo, Caldas, la delimitación de las áreas de recarga potencial por precipitación directa, se categorizó principalmente como muy baja y baja en un 68%, sectores fuertemente influenciados por variables como la cobertura y el uso de suelo. Le siguen en extensión, zonas de moderada a alta potencialidad de infiltración, que ocupan el 25%, se relacionan con pendientes de moderada a fuertemente inclinadas y con el tipo de suelo sedimentario.

Figura 15. Mapa de infiltración del norte de la cabecera municipal de Viterbo, Caldas, en escala 1:5000.



Fuente: por los autores de la monografía.

En el mapa de infiltración se aprecia que dominan las zonas de muy baja y baja concentración de recarga potencial en las áreas construidas y sus alrededores. Las zonas de mayor infiltración se dan en las planicies o pendientes menores, justo por donde transcurre la quebrada Guayabito, como se evidencia en la zona central.

12.1.3. Amenaza

La amenaza evaluada en el norte de la cabecera municipal del municipio de Viterbo, Caldas se basa principalmente en la remoción en masa, pues las formas del terreno lo hacen muy propenso a la ocurrencia de estos. Los deslizamientos ocurren como resultado de cambios súbitos o graduales en la composición, estructura, hidrología o vegetación de terrenos pendientes (PMGRD, 2018).

Este fenómeno se presenta debido a factores como: altas precipitaciones, tala progresiva de la cobertura vegetal, localización de viviendas en pendientes o suelos inestables,

explotaciones agropecuarias sin prácticas de conservación de suelos y asociado con características topográficas del terreno. Lo que puede causar daños a personas, bienes, infraestructuras, entre otros elementos expuestos.

En la zona de estudio, los movimientos en masa se evidencian en los agrietamientos de terrenos, viviendas y vías, en los fenómenos de reptación, en los hundimientos y desprendimientos de suelos, en especial en taludes verticales a subverticales ubicados en las laderas alrededor de la quebrada Guayabito.

Para la realización de estos mapas se tuvo en cuenta la zonificación de la susceptibilidad del terreno por fenómenos de remoción en masa y el factor detonante en este caso: las lluvias.

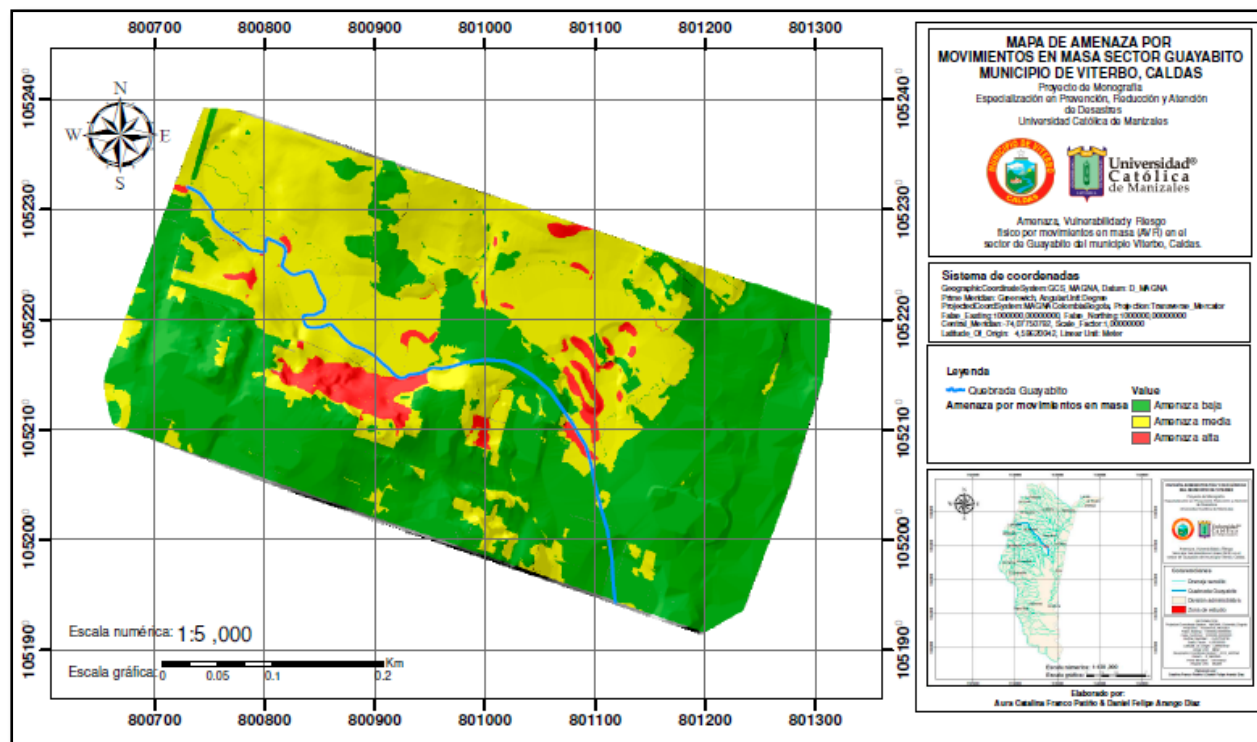
12.1.3.1. Zonificación de la amenaza por remoción en masa

A partir de la fotografía aérea tomada para la realización de este proyecto fue posible obtener un modelo con el fin de generar mapas morfométricos detallados en cercanías a quebrada Guayabito del municipio de Viterbo, Caldas. Con base en esos mapas y la información recolectada en campo, se establece la susceptibilidad por remoción en masa y los factores intrínsecos que intervienen en esta. Seguidamente se definen sus pesos mediante una matriz de AHP.

Posteriormente se determinó que la mayoría de procesos erosivos en la zona de estudio fueron detonados por lluvias. El estudio adoptó la metodología desarrollada por (Silva, O. D. M., 2007) con el fin de realizar un mapa de recarga potencial o infiltración cruzando las variables propuestas en el método (pendiente, tipo de suelo, tipo de roca, cobertura vegetal, uso de suelo) y aplicando la ecuación. A todo esto, se le asignan pesos con una matriz AHP.

El mapa final de amenaza por remoción en masa se obtiene mediante la suma algebraica de los mapas de susceptibilidad e infiltración, y se reclasifican para obtener rangos de amenaza alta, media, en Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Figura 16. Mapa de amenaza por movimientos en masa del norte de la cabecera municipal de Viterbo, Caldas, en escala 1:5000.



Fuente: por los autores de la monografía.

En el mapa de amenaza por movimientos en masa, la mayoría de la zona presenta una amenaza baja. En las zonas donde el uso de suelo es el pastoreo y predomina la tala de árboles, hay una amenaza media. Pero justo por donde transcurre la quebrada Guayabito, en los escarpes de mayores pendientes, ocurre una amenaza alta a deslizamientos.

En la visita de campo e inspección a cada vivienda se evidencia esta amenaza alta, pues el mal manejo de aguas de escorrentía, la falta de canaletas, el mal uso de suelo y la constante tala de árboles, favorece el desplazamiento del terreno y la sobresaturación de éste.

12.1.4. Vulnerabilidad

La vulnerabilidad es la predisposición a sufrir daños o pérdidas tanto de seres humanos como de sistemas físicos, sociales y/o económicos, que pueden ser afectados por fenómenos naturales peligrosos

La vulnerabilidad en este trabajo se realiza con base en el estudio realizado mediante encuestas por (Franco, C., 2021) en el proyecto titulado *“Amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa en inmediaciones a la quebrada Guayabito, municipio de Viterbo, Caldas.”*

Dada la proximidad del área de estudio a la quebrada Guayabito, los elementos más propensos a sufrir daños y/o pérdidas son viviendas, cultivos, vías, infraestructura de servicios públicos y establecimientos comerciales, debido a la complejidad topográfica, geológica, geotécnica e hidrológica de la zona donde se encuentran ubicados estos bienes expuestos, además de la construcción de edificaciones sin los parámetros estructurales adecuados para su sostenibilidad, la falta de mantenimiento y obras de mitigación en los terrenos inestables.

A lo anteriormente mencionado, se suma el mal uso de suelo y las prácticas tradicionales, como la quema de bosques para cultivos, las indebidas prácticas ganaderas, el incumplimiento de las normas legales que regulan la deforestación, lo cual causa la aceleración de la erosión de los suelos y promueve la inestabilidad de las laderas.

En este estudio la vulnerabilidad de la zona, por movimientos en masa, se evaluó considerando la fragilidad y la exposición de los elementos. La primera se refiere al daño potencial relacionado con la estructura física de las viviendas, y la segunda a los elementos físicos expuestos, como los bienes o la infraestructura.

12.1.4.1. Fragilidad

Existen factores que favorecen la Fragilidad de las edificaciones: En el municipio de Viterbo la mayoría de las edificaciones son antiguas, lo que se evidencia en el deterioro de los materiales de construcción, el incumplimiento de normas sísmo resistentes, la ubicación de algunas viviendas en sitios inestables, zonas inundables, de alta pendiente. Igualmente, el inapropiado uso de suelos, con inconvenientes prácticas agrícolas y de ganadería, la tala y quema de árboles y cultivos, la incipiente conservación de la Franja Forestal Protectora, y la carencia de un sistema apropiado para el manejo y control de aguas lluvias y de escorrentía en cada vivienda. Todo esto conlleva una mayor vulnerabilidad en las edificaciones.

Por lo anterior, el conocimiento de los principales riesgos en el municipio de Viterbo, es de vital importancia para trabajar seriamente en procesos de mitigación y reducción de los fenómenos amenazantes que actúan en la zona.

Con el fin de ponderar la fragilidad de las edificaciones respecto a su estructura y a su ubicación, se plantea la elaboración de un instrumento para aplicar en las viviendas del sector de Guayabito, exactamente en la calle 5 entre carreras 6, 7 y 8 ubicadas al norte del municipio de Viterbo, Caldas, donde ocurren severos problemas de inestabilidad de laderas e inundaciones adyacentes a la quebrada Guayabito, los cuales han afectado intensamente la estabilidad estructural de las edificaciones, por la ocurrencia de procesos erosivos y movimientos de remoción en masa debido al inadecuado uso de suelo. Este instrumento consiste en una guía de chequeo rápido, la cual puede ser diligenciada por personas con conocimientos básicos en estructuras, y da una aproximación al nivel de vulnerabilidad física de las diferentes edificaciones analizadas.

Resulta muy útil este formulario, como una herramienta inicial para conocer el estado estructural de las viviendas. Para obtener la información de las treinta y siete (37) casas, se realizó de manera preliminar una visita a cada una de ellas con el fin de apreciar el estado en

que se encuentran, los materiales de construcción y el uso del suelo, entre otros aspectos. Se evidenciaron grietas en paredes, pisos y patios, hundimientos y pequeños movimientos en masa en algunas de ellas.


La ubicación de las viviendas y el formato utilizado fueron los siguientes:

Figura 17. Ubicación de zona y viviendas visitadas en el norte de la cabecera municipal de Viterbo, Caldas.




Fuente: (Franco, C., 2021).

Figura 18. Formulario de inspección de viviendas realizado durante la practica en la JEDEGER.



INSPECCIÓN INICIAL DE DAÑOS EN EDIFICACIONES



IDENTIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN

Dirección Cra N° _____ Calle N° _____

Casa N° 2

Barrio _____

Número de pisos 2

¿Habitada? Si Uso Comercial

DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

Sistema estructural	%	Sistema estructural	%
Bahareque <input type="radio"/>	4	Concreto reforzado <input type="radio"/>	1
Tapia <input type="radio"/>	4	Estructura metálica <input type="radio"/>	4
Mampostería simple <input type="radio"/>	2	Madera <input type="radio"/>	3
Mampostería confinada <input type="radio"/>	2	Mixta <input type="radio"/>	4
Mampostería reforzada <input type="radio"/>	2	Otros <input type="radio"/>	

MATERIALIDAD DE CUBIERTA	%	MANEJO DE AGUAS LLUVIA	%	SERVICIOS PÚBLICOS	%	PATOLOGIAS ESTRUCTURALES	%
Teja de Zinc <input type="radio"/>	5	Canal <input type="radio"/>		Electricidad <input checked="" type="radio"/>		Agrietamiento <input type="radio"/>	4
Teja de Barro <input type="radio"/>	3	Bajante <input type="radio"/>		Gas domiciliario <input checked="" type="radio"/>		Humedad <input type="radio"/>	1
Teja de fibrocemento <input type="radio"/>	1	Zanja colectora <input type="radio"/>		Alcantarillado <input checked="" type="radio"/>		Oxidación <input type="radio"/>	2
Otro tipo <input type="radio"/>		Tanque de recolección <input type="radio"/>		Acueducto <input checked="" type="radio"/>		Columna Corta <input type="radio"/>	
		No presenta <input type="radio"/>	4				

PORCENTAJE DE DAÑO DE LA EDIFICACIÓN			CLASIFICACIÓN GLOBAL DE LA EDIFICACIÓN				
Ninguno <input type="radio"/>	0	30-60% <input type="radio"/>	3	Habitable <input type="radio"/>	1	Uso restringido <input type="radio"/>	3
0-10% <input type="radio"/>	1	60-90% <input type="radio"/>	4	No habitable <input type="radio"/>	5	Peligro de colapso <input type="radio"/>	4
10-30% <input type="radio"/>	2	100% <input type="radio"/>	5				

CONDICIONES TOPOGRÁFICAS				PRESENCIA DE AGUA			
Divisoria Plana <input type="radio"/>	% Cresta <input type="radio"/>	% Ladera <input type="radio"/>	% <input type="radio"/>	N.A.F <input type="radio"/>	% Manantiales <input type="radio"/>	% Zonas húmedas <input type="radio"/>	% <input type="radio"/>
Pie de ladera <input type="radio"/>	4	Valle <input type="radio"/>	3	Canal <input type="radio"/>	2	Alcantarillado <input type="radio"/>	2
Escalera <input type="radio"/>	3	Talud <input type="radio"/>	3			Escorrentia <input type="radio"/>	3
						Acueducto <input type="radio"/>	1

CALIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO				CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL			
Buena <input type="radio"/>	1	Mala <input type="radio"/>	4	Regular <input type="radio"/>	2	Buena <input type="radio"/>	1
						Mala <input type="radio"/>	4
						Regular <input type="radio"/>	2

PROBLEMAS GEOTÉCNICOS			PROBLEMAS GEOTÉCNICOS		
Fisuras o falla de cimentación <input type="radio"/>	% <input type="radio"/>	% <input type="radio"/>	Falla en talud, deslizamiento <input type="radio"/>	% <input type="radio"/>	% <input type="radio"/>
Asentamiento de suelos <input type="radio"/>	0	2	Caida de rocas <input type="radio"/>	0	3

LICUACIÓN			
Licuación <input type="radio"/>	0	2	4

ESTADO DE LA EDIFICACIÓN									
N: 0	P: 3	T: 5	G: 4	L: 1	M: 3	F: 5			
No	Parcial	Total	Generalizada	Levemente	Moderadamente	Fuertemente			

ZONIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD	
FRAGILIDAD BAJA <input type="radio"/>	1-10
FRAGILIDAD MEDIA <input type="radio"/>	10-20
FRAGILIDAD ALTA <input type="radio"/>	>20

Existe colapso <input type="radio"/>	
Edificación separada de su cimentación o falla de esta. <input type="radio"/>	
Grietas o movimientos del suelo o deslizamientos del talud. <input type="radio"/>	
Inclinación de la edificación de desplazamiento entre piso. <input type="radio"/>	
Daño en elementos estructurales (columnas, vigas, placas o muros portantes). <input type="radio"/>	
Daños en cubierta. <input type="radio"/>	
Daño en elementos arquitectónicos (muros no estructurales, escaleras, tanques elevados). <input type="radio"/>	
Fachadas antepechos u otros elementos en peligro de caer (Especifique) <input type="radio"/>	
Daños en servicios públicos. Exterior <input type="radio"/> Interior <input type="radio"/>	
• Acueducto <input type="radio"/>	
• Alcantarillado <input type="radio"/>	
• Energía <input type="radio"/>	
• Gas <input type="radio"/>	
• Otros peligros (derrames tóxicos, etc). <input type="radio"/>	

RECOMENDACIONES Y MEDIDAS DE SEGURIDAD	
<u>Se necesita visita especializada</u>	<u>Medidas de seguridad</u>
Estructural <input checked="" type="radio"/>	Apuntalar <input type="radio"/>
Servicios públicos <input type="radio"/>	Colocar barreras <input type="radio"/>
<u>Intervención de las autoridades</u>	Evacuar totalmente la vivienda <input type="radio"/>
Planeación <input type="radio"/>	Evacuar parcialmente la vivienda <input type="radio"/>
Transito <input type="radio"/>	Evacuar edificaciones vecinas <input type="radio"/>
UDEGER <input type="radio"/>	Bomberos y/o entidades de rescate <input type="radio"/>
	Restringir paso de personas <input type="radio"/>
	Restringir paso vehicular <input type="radio"/>
	Demolerelementos en peligro de caerse <input type="radio"/>
	Desconectar Energia <input type="radio"/>
	Desconectar Gas <input type="radio"/>
	Desconectar Agua <input type="radio"/>

Fuente: (Franco, C., 2021).

Nótese en cada ítem con un valor o porcentaje de fragilidad, de 1 a 5, siendo 1 lo menos vulnerable y 5 lo más vulnerable, posterior a esto se hace un conteo y se pondera el nivel de vulnerabilidad. También se observa al final un cuadro con algunas recomendaciones y medidas de seguridad para cada vivienda.

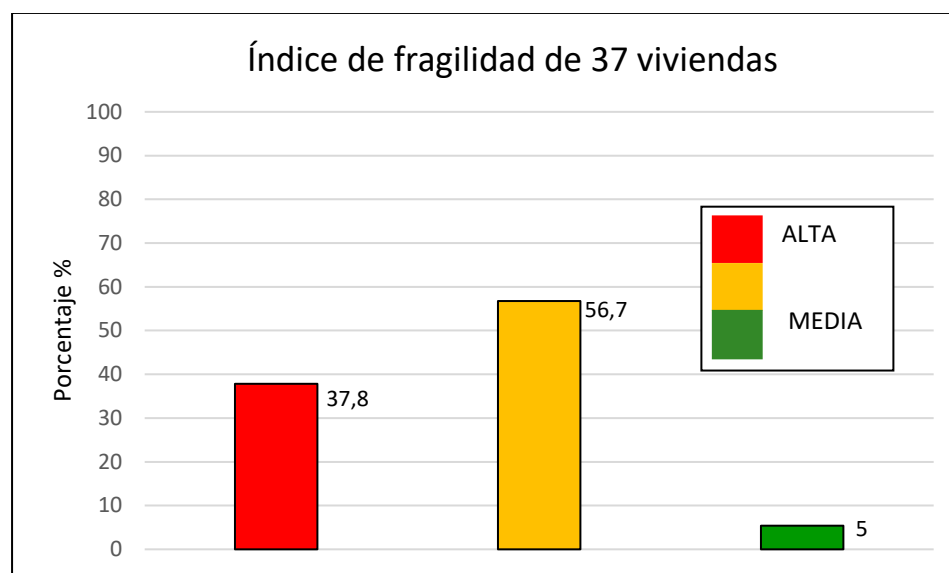
Luego de diligenciar el formulario de inspección inicial en las treinta y siete (37) viviendas del barrio Guayabito del municipio de Viterbo, Caldas, y clasificarlas según el índice de fragilidad: alta, media y baja, se procede a realizar un análisis estadístico.

Tabla 29. Índice porcentual de las viviendas analizadas.

IND FRAGILIDAD	VIVIENDAS	PORCENTAJE %
ALTA	14	37,838
MEDIA	21	56,757
BAJA	2	5,405
TOTAL	37	100

Fuente: (Franco, C., 2021).

Figura 19. Gráfico de barras en porcentaje; índice de fragilidad de las 37 viviendas evaluadas.



Fuente: (Franco, C., 2021).

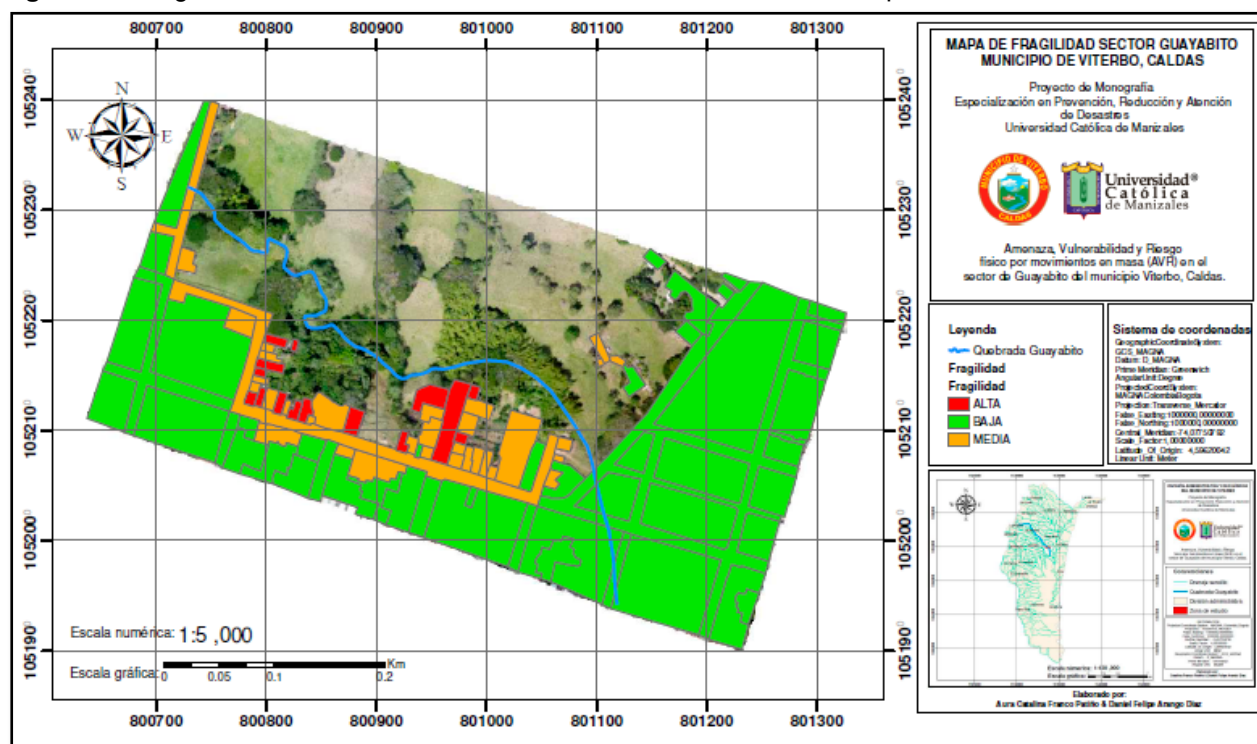
Como se aprecia en el gráfico de barras, el porcentaje más alto (56,7%) de viviendas analizadas en el sector de interés presentan un índice de vulnerabilidad medio, lo que indica que antes de presentarse el evento, las viviendas son medianamente estables estructural y arquitectónicamente, es decir, aunque no presentan daño total, deben tener un buen mantenimiento.

Las viviendas clasificadas con un índice de fragilidad alto (37,8%) presentan un importante porcentaje, en la actualidad muestran deterioro en la estructura, techos, muros y pisos, siendo necesario intervenirlos estructuralmente.

El porcentaje restante o el más bajo es de las viviendas categorizadas con un índice de vulnerabilidad bajo (5,4%), las cuales están en buen estado y son estables estructuralmente.

En la **Figura 20** se puede observar la ubicación de las 37 viviendas estudiadas a fondo, y viviendas cercanas que presentan una fragilidad baja y media.

Figura 20. Fragilidad de las 37 viviendas en el norte de la cabecera municipal del Viterbo, Caldas.

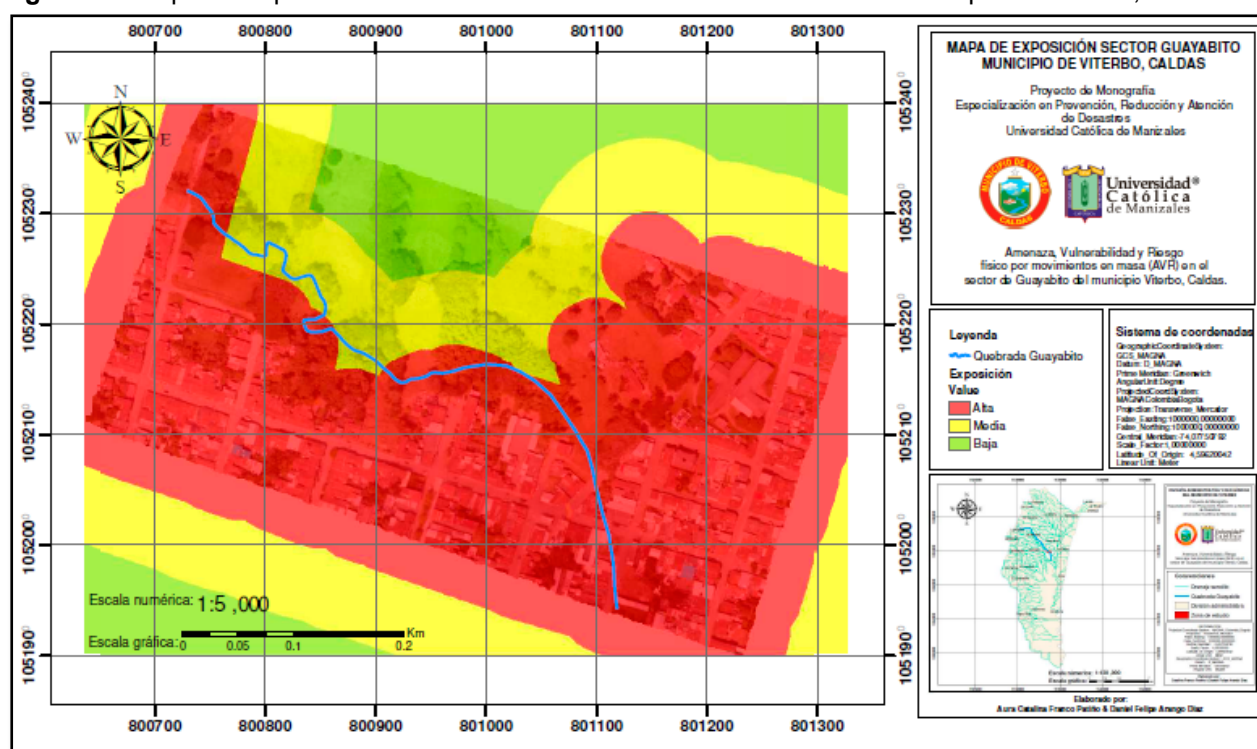


Fuente: (Franco, C., 2021), modificado por los autores de la monografía.

12.1.4.2. Exposición

La exposición en este análisis de vulnerabilidad corresponde a la cercanía de los elementos expuestos al área de amenaza. Por ello, se establecen tres zonas a evaluar que dependen de la cercanía al área de amenaza. La exposición alta corresponde a una distancia de 38 metros, la exposición media es la zona comprendida entre los 38 y 67 metros, finalmente la exposición baja corresponde a la zona que se encuentra a una distancia mayor de 67 metros.

Figura 21. Mapa de exposición de las viviendas en el norte de la cabecera municipal de Viterbo, Caldas.



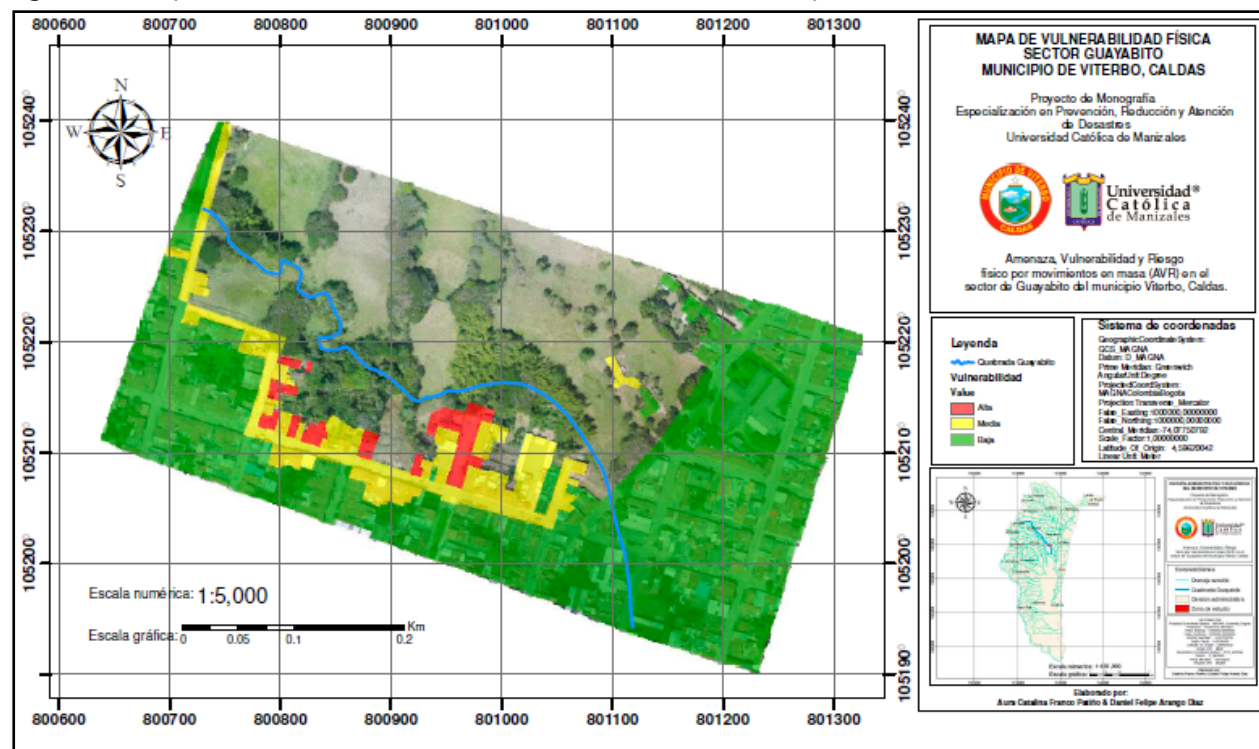
Fuente: (Franco, C., 2021), modificado por los autores de la monografía.

12.1.4.3. Análisis de vulnerabilidad

En este estudio, para el análisis de vulnerabilidad se tienen en cuenta los parámetros de fragilidad y exposición. Con la ayuda del software Arcgis 10.5 se multiplican estos dos parámetros y se obtiene la vulnerabilidad en esta zona del municipio de Viterbo, como se observa en la **Figura 22**. Con base en el análisis de campo y la caracterización de los elementos expuestos, se asignaron valores según la cercanía a los deslizamientos, que son los principales

constituyentes de la amenaza en la zona, dando como resultado la clasificación de la vulnerabilidad en tres rangos, alta, media y baja.

Figura 22. Mapa de vulnerabilidad en el norte de la cabecera municipal de Viterbo, Caldas.



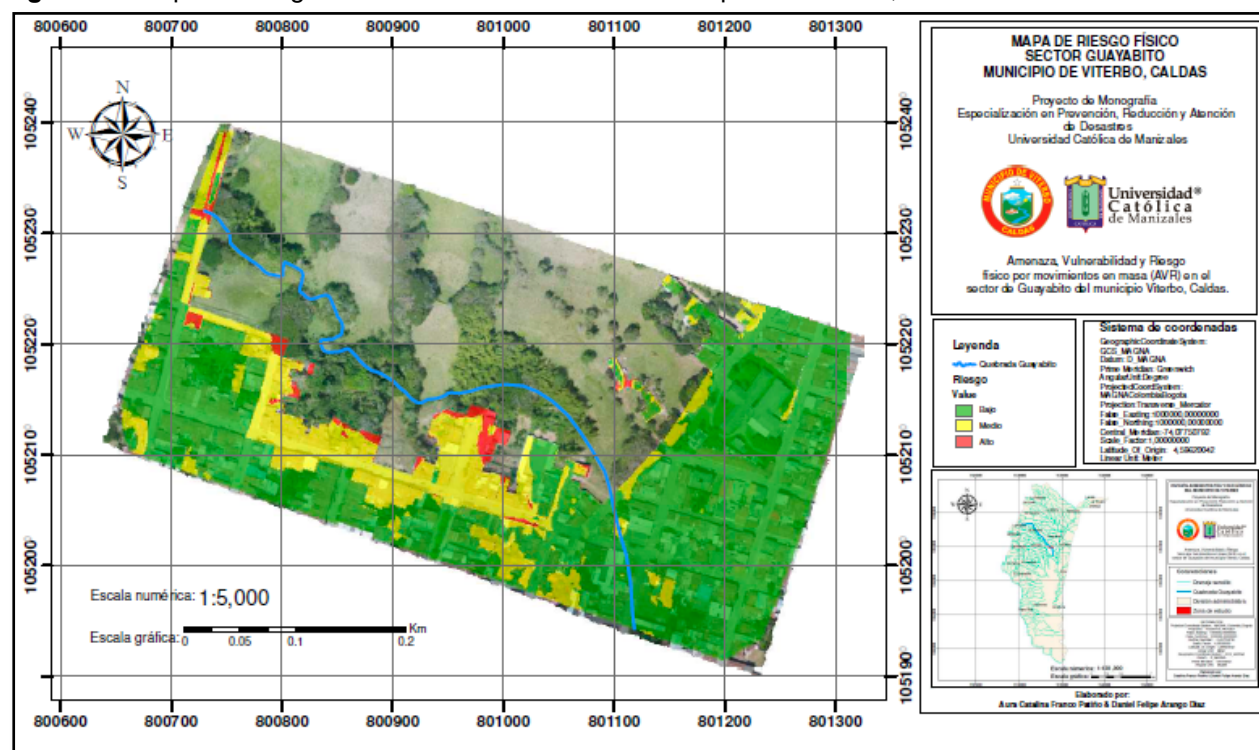
Fuente: (Franco, C., 2021), modificado por los autores de la monografía.

La mayoría de las edificaciones y vías de la zona de estudio presentan una vulnerabilidad baja. Sin embargo, específicamente en las viviendas más cercanas a la quebrada Guayabito, construidas en áreas de mayor pendiente y deforestación activa, la vulnerabilidad es media y alta. Las vías destapadas y con mayor agrietamiento también son clasificadas con vulnerabilidad media y alta.

12.1.5. Riesgo

El riesgo se entiende como las pérdidas que pueden haber una vez ocurrido el fenómeno natural sobre los elementos expuestos. Para el análisis del riesgo por remoción en masa, en el norte de la cabecera municipal del municipio de Viterbo, Caldas, se realiza el cruce de los mapas de amenaza y vulnerabilidad.

Figura 23. Mapa de riesgo en el norte de la cabecera municipal del Viterbo, Caldas.



Fuente: por los autores de la monografía.

Este mapa permitió categorizar las zonas que se encuentran en riesgo bajo, medio y alto. Como se evidencia en la **Figura 23**, la mayoría de la zona se encuentra es riesgo bajo, pero justo en las viviendas cercanas al cauce de la quebrada Guayabito, el riesgo es medio a alto. Estas viviendas, incluyen las treinta y siete (37) estudiadas con detenimiento.

Tabla 30. Categorización del riesgo de bienes físicos.

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN
Alto	Riesgo inaceptable. Es necesaria la ejecución de investigaciones detalladas, planeación e implementación de medidas para reducir el riesgo. Las medidas de intervención estructural pueden ser dispendiosas y poco prácticas; además, pueden ser más costosas que el valor mismo de la propiedad.
Medio	Puede tolerarse en ciertas circunstancias (de acuerdo con la regulación estatal), pero requiere investigación y planeación detallada para evitar que aumente. Las medidas para reducir el riesgo son viables económicamente.
Bajo	Usualmente aceptable para los tomadores de decisiones. Se requiere mantenimiento normal de taludes y laderas.

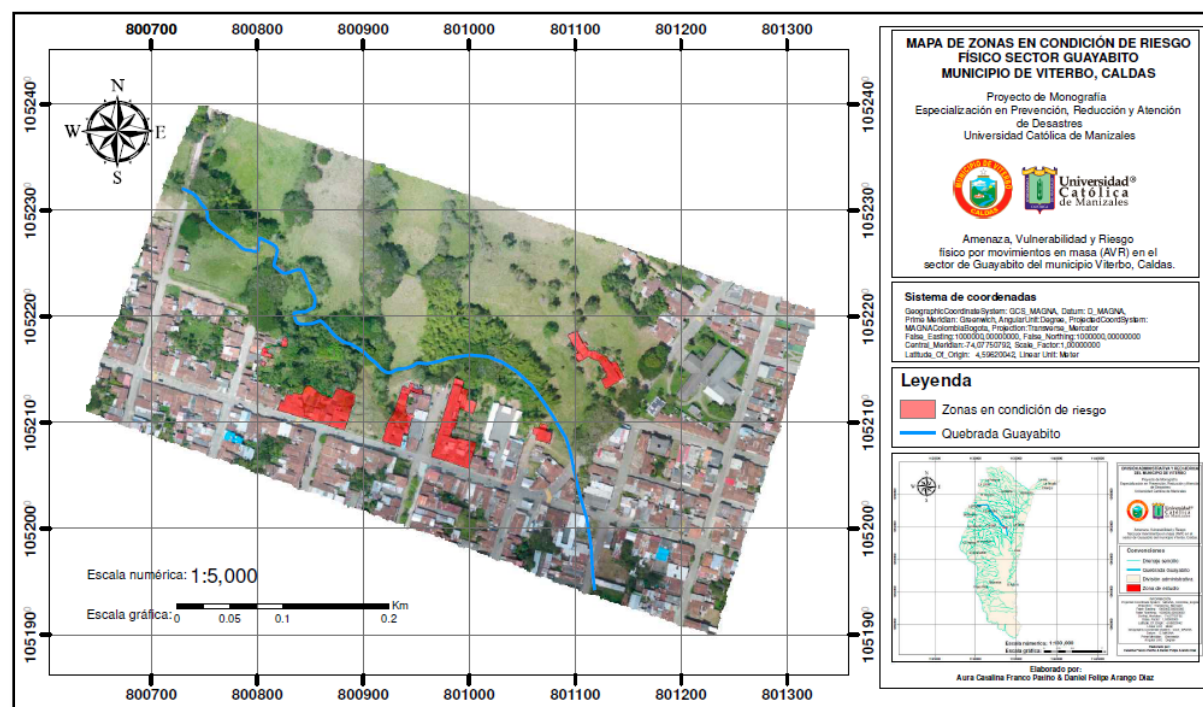
Fuente: Tabla tomada de la guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo (SGC, 2016), adaptada a la zona de estudio.

12.2. IDENTIFICACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE ÁREAS EN CONDICIÓN DE RIESGO QUE REQUIEREN ESTUDIOS DETALLADOS.

Hay que tener en cuenta que un área en condición de riesgo corresponde a: “... las zonas o áreas del territorio municipal clasificadas como de amenaza alta que estén urbanizadas, ocupadas o edificadas, así como en las que se encuentren elementos del sistema vial, equipamientos (salud, educación, otros) e infraestructura de servicios públicos.” (Decreto 1807, 2014).

Abordando la definición, se toman los mapas de la **Figura 16** y **Figura 22**, y se procede a realizar la delimitación de las zonas urbanizadas que se encuentran en una zona categorizada como amenaza alta, junto con el soporte de campo realizado en el trabajo por (Franco, C., 2021) se obtiene el siguiente mapa.

Figura 24. Mapa de zonas en condición de riesgo físico al norte de la cabecera municipal de Viterbo, Caldas.



Fuente: por los autores de la monografía.

Es por ello que estas zonas requieren de mayor atención, ejecutando estudios detallados según lo establecido en el (Decreto 1807, 2014) y (Decreto 1077, 2015 Act. Mayo 2021); donde se defina si el riesgo es mitigable o no mitigable y se lleven a cabo las medidas preventivas o de mitigación correspondiente, además la administración municipal deberá planificar y desarrollar jornadas de capacitación en cuanto al conocimiento del riesgo de desastres, educando a la población de una manera preventiva y no reactiva, donde pueden ocurrir además de pérdidas materiales, pérdidas humanas.

12.3. ELEMENTOS DE GESTIÓN DEL RIESGO QUE COADYUVEN AL BIENESTAR Y CALIDAD DE VIDA DE LA POBLACIÓN DE GUAYABITO EN VITERBO, CALDAS.

12.3.1. Este tipo de estudios no tienen ningún tipo de sentido, cuando no existe empatía por parte de los técnicos, profesionales y dirigentes que se encargan de su desarrollo, ejecución y evaluación, es por ello que el principal elemento de la

GRD debe ser este, donde no existan las barreras sociales, donde se tenga en cuenta las palabras, saberes y conocimientos de la comunidad para hacer políticas orientadas a un buen desarrollo urbanístico.

12.3.2. Inclusión de trabajos o herramientas técnicas de GRD (presente trabajo) en el instrumento de ordenamiento territorial actualmente vigente, donde se contemplen aspectos como: zonificación de amenazas para la delimitación de áreas de retiro, recuperación y conservación de la Franja Forestal Protectora, vulnerabilidades físicas de la población de este sector en específico y finalmente, la zonificación de zonas de riesgo, para la toma de decisiones inmediatas en pro a la preservación y conservación de la vida.

12.3.3. Reconversión del uso de suelo, dado que el uso actual es una de las principales causas de la inestabilidad presente en la zona.

12.3.4. Jornadas de capacitación y educación como prioridad en el área del conocimiento del riesgo de desastres, donde se definan los conceptos y se entienda por completo las diferentes amenazas y riesgos que se pueden llegar a materializar en estas zonas, según los resultados del presente trabajo técnico.

12.3.5. Adelantar medidas estructurales y no estructurales (bioingeniería) urgentes para reducir la condición de riesgo del lugar, implementando un manejo integral de la problemática de acuerdo al soporte técnico del presente trabajo.

13. Conclusiones

13.1. Por medio del presente se identificaron los principales escenarios de riesgo al norte de la cabecera municipal de Viterbo, Caldas, como lo son las viviendas ubicadas en la calle 5 entre carreras 6 y 9, al borde de la quebrada Guayabito. Estas presentan grietas y hundimientos en las paredes y pisos; algunas, deslizamientos en la parte posterior. (Franco, C., 2021). Esto las hace más vulnerables ante los movimientos en masa. Por el contrario, las casas próximas al box culvert presentan mayor vulnerabilidad ante inundaciones en temporadas invernales.

13.2. Los factores amenazantes que tienen mayor incidencia en los movimientos en masa sobre este sector son: altas precipitaciones en temporadas invernales, falta de control y manejo adecuado de aguas lluvias y escorrentía; sistemas de manejo de aguas lluvias en las cubiertas, perimetrales y coronarios sobre la cima de los taludes si es del caso, favoreciendo así la saturación del suelo, las características topográficas del terreno, la quema y tala progresiva de árboles y el uso de suelos destinados a la ganadería.

13.3. Los escenarios de riesgo localizados al norte de la cabecera municipal de Viterbo Caldas, se ubican en las zonas con mayor pendiente, con un uso de suelo inapropiado (ganadería, cultivos de ciclo permanente: café y en sectores próximos como la caña de azúcar) y donde hay mayor deforestación.

13.4. El análisis de Susceptibilidad, en cercanías a la quebrada Guayabito de Viterbo, permite concluir que los condicionantes que determinan un grado de susceptibilidad muy alto son principalmente: el uso de suelo para pastoreo y cultivos; y las pendientes que van de fuertemente escarpadas a muy escarpadas, las cuales, aunque no son las que predominan en toda la zona, tienen gran influencia en el área afectada.

13.5. La zonificación de la Vulnerabilidad permitió identificar y cuantificar las viviendas de la zona con mayor fragilidad y exposición a la amenaza, entre las cuales se

encuentran catorce (14), las cuales están ubicadas en la calle 5 entre las carreras 6 y 8, del municipio de Viterbo, Caldas. Lo que coincide con la zona más afectada y que presenta mayores solicitudes de estudios en la Jefatura de Gestión del Riesgo, Medio Ambiente y Cambio Climático JEDEGER, evidenciado en el trabajo de (Franco, C., 2021).

13.6. No fue posible definir con exactitud desde hace cuánto tiempo se viene presentando la problemática en la zona, sin embargo, según los estudios y la información recopilada, relacionada con los agrietamientos y hundimientos que presentan las viviendas y las vías (Franco, C., 2021), así como los efectos producidos por los inicios de la deforestación y el pastoreo en la zona, se calcula en un período de entre 12 y 14 años.

13.7. Se determinó que la causa mayor que detonaría un movimiento en masa es la precipitación. Como se ha mencionado, las épocas de intensas lluvias, no solo generan el taponamiento del box culvert, lo que conlleva a una presunta inundación, sino que también influye en la inestabilidad y saturación del terreno, que termina ocasionando los deslizamientos.

13.8. El riesgo por movimientos en masa no se puede evaluar donde comienza el box culvert, ya que desde este punto la quebrada está totalmente canalizada, sin embargo, existen construcciones sobre el box culvert, que requieren un mayor detalle y atención, puesto que estas estructuras presentan un alto grado de deterioro por los efectos abrasivos de los flujos que transportan diferentes materiales (líquidos y sólidos), que podrían generar fracturas y socavaciones, por lo que con el tiempo serían un detonante en cuanto a la estabilidad del suelo, ocasionando un colapso inminente no solo de la estructura sino de las construcciones que se encuentran alrededor.

13.9. Es de resaltar la importancia del uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en el presente, porque permiten tener un panorama diferente respecto a la información de campo y la información bibliográfica relacionado al conocimiento geológico,

así mismo facilita el desarrollo del trabajo y permite una mayor comprensión y análisis de los resultados obtenidos.

13.10. El presente genera insumos de carácter técnico que muestra un panorama general de los asentamientos humanos con desarrollo incompleto en zonas con condición de riesgo, lo que sirve de insumo para las acciones urbanísticas pertinentes y se traduce en una buena gobernanza mediante la definición e implementación de políticas y acciones a nivel municipal orientadas a reducir el riesgo y a garantizar la protección de la vida y bienes de la población de dichos asentamientos.

14. Recomendaciones

14.1. Ante los severos problemas de inestabilidad en las laderas adyacentes a la quebrada Guayabito del municipio de Viterbo, Caldas, en el sector de la calle 5 entre las carreras 6, 7 y 8, es necesario adelantar medidas estructurales y no estructurales (bioingeniería) urgentes para reducir la condición de riesgo del lugar, implementando un manejo integral de la problemática, que incluye la incorporación de la Gestión del Riesgo (presente trabajo) en el instrumento de ordenamiento territorial actualmente vigente; zonificación de amenazas, la delimitación de áreas de retiro para la recuperación y conservación de la Franja Forestal Protectora y la reconversión del uso de suelo, dado que el uso actual es una de las principales causas de la inestabilidad presente en la zona. Así mismo, se debe procurar intervenir los puntos con vulnerabilidad alta, lo más pronto posible, para evitar el avance de los procesos erosivos.

14.2. En cada vivienda se debe implementar sistemas apropiados para el manejo de aguas lluvias provenientes de las cubiertas de los techos, por medio de canales colectores, bajantes y descoles adecuados. También es necesario optimizar el sistema de acueducto y alcantarillado para el manejo y control de aguas residuales y de escorrentía. Lo anterior debe ser bajo la normativa vigente y la supervisión técnica pertinente.

14.3. Es importante realizar, mantenimiento, limpieza y reparación de las conducciones de agua existentes, manteniendo destapados los canales colectores y las cunetas, no se debe arrojar residuos sólidos ni escombros porque terminan obstruyendo los desagües y esto favorece la infiltración de agua y desestabiliza el terreno. Se debe realizar un mayor control sobre los residuos sólidos, como basuras, madera o escombros que van a la quebrada y ocasionan el taponamiento de la misma, así como una posterior acumulación de estas aguas residuales.

14.4. Es importante que, por parte de la Administración Municipal se establezca un mantenimiento periódico y rutinario del box culvert y aguas arriba, consistente en el retiro

de sedimentos y escombros, principalmente en la entrada de la canalización, las chimeneas y descole, especialmente antes de cada temporada invernal, con el fin de prevenir los taponamientos del box culvert y evitar las inundaciones en las viviendas cercanas al mismo, en caso de crecientes súbitas de la quebrada Guayabito.

14.5. Para lograr que los habitantes de las zonas de riesgo tomen conciencia de la importancia de efectuar un manejo adecuado de los residuos, hacer un uso apropiado del suelo, conservar la Faja forestal protectora y cuidar en general la quebrada Guayabito, como mecanismos de prevención de la afectación por los fenómenos amenazantes a que están permanentemente expuestos; se recomienda a la Administración Municipal de Viterbo, la realización de campañas de capacitación y prevención de tala de árboles, así como jornadas de trabajo comunitario para limpieza de escombros, siembra de árboles y delimitación de franjas forestales protectoras.

14.6. La Faja Forestal Protectora en la quebrada Guayabito debe ser de 30 metros, tiene como propósito preservar los recursos naturales, disminuir la vulnerabilidad de las viviendas cercanas y mitigar la erosión superficial. En la **Figura 23** se demarca y aísla el área forestal protectora, como se observa, no se cumple con la reglamentación, pues hay tres construcciones dentro de los 30m, además de prácticas como ganadería y deforestación, por lo que se recomienda a la Administración municipal intervenir en estas zonas para salvaguardar los sistemas forestales, el ecosistema, la quebrada y la comunidad en general.

15. Referencias

- Acuerdo 006, Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) municipio de Viterbo – Caldas.
(Concejo Municipal de Viterbo 06 de Noviembre de 2019).
- Acuerdo 029, Por el cual se adopta el Esquema de Ordenamiento Territorial - EOT para el municipio de Viterbo, Caldas (Concejo Municipal de Viterbo Diciembre de 2000).
- Alcantara-Ayala, I. (2002). Geomorphology, natural hazards vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. *Geomorphology* 47.
- Álvarez, E., González, H. (1978). *Geología del cuadrángulo I-7*. Urao, Medellín: Ingeominas.
- Barrios Osorio, J. . (2021). *Determinación de la influencia del box alcantarilla en las inundaciones de la quebrada El Mellizo*. Viterbo - Caldas: Universidad Nacional de Colombia.
- Calle, B., & González, H. (1980). *Geología y geoquímica de la plancha 166*. Jericó: ol. Informe N, 232.
- CAM & GEOCING SAS. (2019). *ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE GUADALUPE EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015*. GUADALUPE, HUILA.
- Carvajal, J. H. (2002). *Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia*. Bogotá: SGC.
- CMGRD Viterbo, Caldas. (2018). *Plan Municipal para la gestión del Riesgo de Desastres PMGRD del municipio de Viterbo, Caldas*. Viterbo.

Cruden, D.M.S., et al. (1989). Landslides: extent and economic significance in Canada, en
Landslides: extent and economic significance, editado por Brabb E.E: y Harrod B.L.,
Proc. 28th Intl. Geol. Congr. Symp. On Landslides. Washinton D.C.

Cuanalo, A., et al. (2016). *Fenómenos de remoción en masa. Acciones para reducir la
vulnerabilidad y el riesgo.*

Decreto 001, Por medio del cual se adopta el Plan Municipal de Gestión del Riesgo de
Desastres (PMGRD) en el municipio de Viterbo, Caldas (Alcaldía Municipal 03 de Enero
de 2019).

Decreto 026, Por el cual se declara la situación de calamidad pública en virtud de la emergencia
por la ola invernal en el municipio de Viterbo, Caldas (Alcaldía Municipal 18 de Mayo de
2021).

Decreto 1077, Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector
Vivienda, Ciudad y Territorio. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio 26 de Mayo de
2015 Act. Mayo 2021).

Decreto 1807, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (Por medio del cual se reglamenta el
artículo 189 del Decreto Ley 019 de 2012 en lo relativo a la incorporación de la gestión
del riesgo en los planes de ordenamiento territorial y se dictan otras disposiciones 19 de
Septiembre de 2014).

Decreto 1807. (Septiembre de 2014). Obtenido de
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=59488>

Decreto 2811, Por el cual se dicta en Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y
Protección al Medio Ambiente (Presidencia de la República de Colombia Diciembre de
1974).

- Estrada, J. J., Viana, R., & González., H. (2001). *Geología de la Plancha 205*. Chinchiná: SGC.
- Franco, C. (2021). *Amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa en inmediaciones de la quebrada Guayabito en el municipio de Viterbo, Caldas*. Viterbo.
- GEOSUB & CORPOCALDAS. (2013-2015). *Identificar y caracterizar la amenaza, vulnerabilidad y riesgo para la cabecera municipal y las áreas de desarrollo rural restringido*. 12. *Municipio de Viterbo: Contrato 292*. Viterbo, Caldas.
- Giraldo, D. A. (2014). *Estudio detallado de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa e inundaciones*. Carmen de Viboral - Antioquia: Universidad de Antioquia.
- Goepel. (2013). *Analytical hierarchy process*. Obtenido de Obtenido de AHP Matrix at: <http://bpmsg.com>
- Harp, E.L., et al. (2009). *Mapping of hazard from rainfall-triggered landslides in developing countries: examples from Honduras and Micronesia*. *Engineering Geology, in press*.
- Hervás, J., Barredo, J, I, Lomoschitz, A. (2002). *Elaboración de mapas de susceptibilidad de deslizamientos mediante SIG. Teledetección y Métodos de evaluación multicriterio: Aplicación a la depresión de Tirajana*. Gran Canaria.
- IDEAM. (s.f.). *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co>
- Jian, W. & Xiang-guo, P. (2009). *GIS-based landslide hazard zonation model and its application*. *Procedia Earth and Planetary Science* 1:1198–1204.
- Lavell, A. (2011). *Desempacando la adaptación al cambio climático y la gestión del riesgo: Buscando relaciones y diferencias.: Una crítica y construcción conceptual y epistemológica*.

Ley 1523. (24 de Abril de 2012). *"Por el cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones."*

Ley 2, Por el cual se modifica la Ley 9 de 1989 (Congreso de Colombia 15 de Enero de 1991).

Ley 2079, Por medio del cual se dictan disposiciones en materia de vivienda y hábitat (Congreso de Colombia 14 de Enero de 2021).

Ley 388, Por la cual se modifica la Ley 9ª de 1989, y la Ley 3ª de 1991 y se dictan otras disposiciones. (Congreso de República de Colombia 18 de Julio de 1997).

Ley 400, Por la cual se adoptan normas sobre Construcciones Sismo Resistentes (Congreso de Colombia 19 de Agosto de 1997).

Ley 9, por la cual se dictan normas sobre planes de desarrollo municipal, compraventa y expropiación de bienes y se dictan otras disposiciones. (Congreso de Colombia 11 de Enero de 1989).

Ley 99, Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones (Congreso de la República de Colombia 1993).

Marco de Sendai. (2015-2030). *Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres*.

Mora. (2004). *Aplicación de la metodología MVM para determinar la susceptibilidad a deslizamientos en el Bajo Cacao, Atenas, Alajuela*.

PGAR. (2020-2023). *Plan de Gestión Ambiental Regional. Anexo XIII. Amenaza, vulnerabilidad y riesgo*. Manizales: Corpocaldas.

PMGRD. (2018). *Plan Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres*. Viterbo, Caldas.

POMCA Río Risaralda. (2017). *III. Caracterización del medio físico- biótico Hidrogeología*.

Resolución 2017 - 3688, Por medio del cual se adopta el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río Risaralda y se dictan otras disposiciones (Corporación Autónoma Regional de Caldas - Corpocaldas 20 de Diciembre de 2017).

Rodríguez, S. (2019). *Aproximación a la zonificación de amenaza por inundación a partir de sistemas de información geográfica en el municipio de Palestina, Caldas*.

Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill International.

Santacana, N. (2001). *Análisis de la susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos mediante el uso de sistemas de información geográfica. Aplicación a la cuenca alta del río Llobregat (Barcelona)*. Tesis doctoral. UPC.

Schuster, R. L. (1996). Socioeconomic significance of landslides. In: A.K. Turner & R.L. Schuster (Eds.) *Landslides Investigation and Mitigation*. Transportation Research Board, National Research Council, Special Report 247, National Academy Press,. Washington, DC.

Schuster, R.L., Highland, M.L. (2001). *Socioeconomic and environmental impacts of landslides in the Western Hemisphere*. Open file report 01-0276. USGS.

SGC. (2016). *Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo*. Bogotá: SGC.

Sidle, R.C., Ochiai, H. (2006). *Landslides: processes, prediction, and land use*. Water Resources Monograph 18. American Geophysical Union, Washington D.C.

Silva, O. D. M. (2007). *Elaboración Participativa de una Metodología para la Identificación de Zonas Potenciales de Recarga Hídrica en Subcuencas Hidrográficas. Aplicada a la*

Subcuenca del Río JUCUAPA, Matagalpa Nicaragua. Tesis de maestría. Tirrialba, Costa Rica.

Soto, J. (2019). *Caracterización del escenario de riesgo por deslizamiento en el sector salón rojo del municipio de Aranzazu, Caldas.*

UNGRD. (19 de 08 de 2020). <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/>. Obtenido de <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Noticias/2020/Riesgo-por-movimientos-en-masa-en-Colombia.aspx>

Van Der Hammen, T. (1958). *Estratigrafía del Terciario y Maestrichtiano continentales y tectogénesis de los Andes Colombianos.* Bogotá: SGC.

Voogd, H. (1983). *Evaluación multicriterio para la planificación urbana y regional.* Pion, Londres.