

ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA DEL TRAMO
COMPENDIDO ENTRE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE
“BERLIN” Y EL TANQUE ABASTECEDOR “TEJARES” DEL ACUEDUCTO DE
VILLAMARÍA (CALDAS)

Presentado por:

María Alejandra Tapasco

Daniela Echeverri Galvis

Felipe Andrés Galeano Franco

Asesor:

Rogelio Pineda Murillo

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES
ESPECIALIZACIÓN EN PREVENCIÓN, ATENCIÓN Y REDUCCIÓN DE DESASTRES
MANIZALES, CALDAS

2019

ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA DEL TRAMO
COMPRENDIDO ENTRE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE
“BERLIN” Y EL TANQUE ABASTECEDOR “TEJARES” DEL ACUEDUCTO DE
VILLAMARÍA (CALDAS)

Presentado por:

María Alejandra Tapasco

Daniela Echeverri Galvis

Felipe Andrés Galeano Franco

Asesor:

Rogelio Pineda Murillo

MANIZALES

2019

TABLA DE CONTENIDO

<i>Resumen</i>	9
<i>Introducción</i>	11
<i>Planteamiento del Problema</i>	14
<i>Justificación</i>	16
<i>Objetivos</i>	19
Objetivo General	19
Objetivos Específicos	19
<i>Contexto Geográfico</i>	20
<i>Marco Normativo</i>	24
Nivel Internacional	24
Nivel Nacional	25
Nivel Local	32
<i>Marco Conceptual</i>	33
<i>Antecedentes</i>	50
Unidad de Gestión del riesgo de desastres a nivel nacional y local	50
Bases de datos	52
Medios de comunicación	60
Actos interadministrativos	61
<i>Metodología</i>	64

Etapa 1 “Búsqueda y análisis de información”	64
Etapa 2 “Trabajo de campo”	65
Fase de reconocimiento del área	65
Fase de identificación y prediagnóstico	65
Etapa 3 “Análisis de información”	65
Etapa 4 “Elaboración de mapas y documento final”	66
<i>Resultados y Discusión</i>	67
Movimientos en masa	67
Movimientos con predominio de la trayectoria vertical.....	70
Movimientos de giro de bloques conformados por fracturación vertical.....	71
Desplazamiento en masa.....	72
Flujos	76
Factores y causas de los movimientos en masa	78
Geología	80
Complejo Quebradagrande (Ksc – Kvc).....	81
Rocas Piroclásticas (Qto).....	83
Geología estructural	85
Falla Aránzazu	86
Falla San Jerónimo.....	87
Falla Santa Rosa	87
Falla Silvia Pijao.....	87
Geomorfología	90
Sierras y lomos de presión (Sslp).....	91
Manto de piroclastos (Vmp):	91

Precipitación	93
Uso del suelo.....	95
Pendientes.....	100
<i>Susceptibilidad por movimientos en masa en el tramo comprendido entre la PTAP</i>	
<i>“Berlín” y el tanque abastecedor “Tejares”</i>	<i>103</i>
<i>Recomendaciones</i>	<i>107</i>
<i>Conclusiones</i>	<i>109</i>
<i>Bibliografía.....</i>	<i>110</i>
<i>Webgrafía</i>	<i>118</i>

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Probabilidad de afectación de la infraestructura para la prestación del servicio de acueducto en el municipio de Villamaría. Tomado de Plan de contingencia acueducto, alcantarillado y aseo municipio de Villamaría – Aquamaná E.S.P. 2015 en Plan de Gestión del riesgo para la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo 2016 – 2019.....	17
Figura 2. Localización y división política del municipio de Villamaría.....	21
Figura 3. Localización de la planta de tratamiento y tanque de abastecimiento tejares. Tomado y modificado de Consorcio Aguas Catastro Caldas, 2016.....	23
Figura 4. Lista de procesos erosivos identificados en el área urbana de Villamaría y estado actual. Tomado de: UNGRD, 2016.	50
Figura 5. Mapa de amenaza por movimientos en masa de la zona urbana del municipio de Villamaría. Tomado de PMGRD, 2017.	52
Figura 6. Partes de una ladera y de un deslizamiento, tomado de Suarez (s.f.).....	69
Figura 7. Movimiento en masa de tipo desprendimiento o caída. Tomado de Varnes, 1978.....	70
Figura 8. Vuelco por flexión. Tomado Instituto geológico minero de España - IGME, 1987.	71
Figura 9. Esquema de un deslizamiento rotacional. Tomado de Vargas, 2000.....	73
Figura 10. Deslizamiento traslacional. Tomado de: Instituto geológico minero de España-IGME, 1987.....	74
Figura 11. Esquema de un proceso de reptación. Tomado de Vargas, 2000.	75
Figura 12. Esquema de una subsidencia. Tomado de Vargas, 2000.....	75
Figura 13. Esquema de un flujo de detritos. Tomado de Sosa, 2016.....	76
Figura 14. Avalancha de detritos. Tomado de Cruden & Varnes 1996.....	77

Figura 15. Principales movimientos en masa y sus características. Tomado de: SGC, 2017.....	78
Figura 16. Mapa de unidades geológicas del tramo comprendido entre la PTAP y el tanque abastecedor "Tejares". Tomado y modificado de: SGC, 2014.	78
Figura 17. Mapa de fallas del municipio de Villamaría. Tomado y modificado de SGC, 2015. .	89
Figura 18. Mapa de unidades geomorfológicas del tramo comprendido entre la PTAP y el tanque abastecedor "Tejares". Tomado y modificado de: SGC, 2014.	92
Figura 19. Probabilidad diaria de precipitación para el municipio de Villamaría. Tomado de: Weathers park.	94
Figura 20. Promedio de precipitación de lluvia mensual para el municipio de Villamaría. Tomado de: Weathers park	95
Figura 21. Mapa de uso del suelo del municipio de Villamaría. Tomado y modificado del PBOT del municipio de Villamaría, 2017.....	97
Figura 22. Contraste en el uso del suelo en la zona de estudio.....	99
Figura 23. Mapa de pendientes en la zona de estudio, elaborado a partir de curvas de nivel con separación cada 10 metros.	102
Figura 24. Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa del tramo comprendido entre la planta de tratamiento de agua potable "Berlín" y el tanque abastecedor "Tejares"	104
Figura 25. Al fondo se observan los surcos generados en el terreno por las frecuentes pisadas de ganado.	106

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Inventario de movimientos en masa ocurridos en el municipio de Villamaría a partir de la base de datos del SIMMA.....	53
Tabla 2. Inventario de movimientos en masa ocurridos en el municipio de Villamaría a partir de la base de datos de DesInventar.....	58
Tabla 3. Contratos celebrados entre CORPOCALDAS, Aquamaná E.S.P y la Alcaldía Municipal de Villamaría mediante los cuales se contrato la realización de obras de mitigación del riesgo en el municipio de Villamaría.....	62
Tabla 4. Rangos de pendientes establecidos para la zona de estudio	101

Resumen

El presente estudio tiene como propósito desarrollar el análisis de susceptibilidad por movimientos en masa de la línea de conducción del acueducto del municipio de Villamaría, correspondiente al tramo localizado entre la planta de tratamiento “Berlín” y el primer tanque abastecedor “Tejares” localizado en el sector que tiene el mismo nombre. Para establecer la susceptibilidad del tramo ya mencionado, inicialmente se realizó la búsqueda de antecedentes e información del área de estudio, con el fin de determinar si en la zona anteriormente han ocurrido movimientos en masa o existen procesos erosivos activos. Posteriormente se realizó un recorrido de campo durante el cual se identificaron las características de la zona respecto a unidades geológicas y geomorfológicas, adicionalmente se establecieron los puntos críticos o susceptibles a movimientos en masa. Durante este recorrido también se lograron identificar los factores con mayor incidencia en la evolución y/o generación de nuevos procesos erosivos en el área, algunos de estos factores son la cercanía de la línea de conducción a una zona altamente inestable, altas tasas de infiltración de agua de escorrentía y sobrepastoreo en predios cercanos, lo cual aumenta la inestabilidad del terreno. En la etapa final se elaboró el mapa de susceptibilidad frente a movimientos en masa para el tramo comprendido entre la planta de tratamiento “Berlín” y el tanque abastecedor “Tejares”, para elaborar dicho mapa se usaron como insumo los mapas de geología, geomorfología, pendientes y uso del suelo; a partir del mapa de susceptibilidad y con la información obtenida durante las diferentes etapas de la investigación fue posible determinar el tipo de proceso presente en la zona y realizar recomendaciones tanto de tipo correctivo como prospectivo que permitan la prevención y mitigación de los movimientos en masa y de los efectos que pueden tener estos en la infraestructura del acueducto municipal. Adicional a ello, los resultados obtenidos proporcionan un insumo para los estudios específicos

de riesgo que debe desarrollar tanto la administración municipal como la empresa prestadora del servicio.

Introducción

En el presente siglo se han presentado cambios importantes en la relación hombre – medio ambiente, tanto la actividad antrópica como los cambios propios de la dinámica del planeta han generado un incremento en la ocurrencia de eventos desastrosos asociados a fenómenos naturales (avenidas torrenciales, inundaciones, movimientos en masa, entre otro), la mayoría de los cuales afectan directamente el bienestar de las poblaciones que se encuentran expuestas y vulnerables frente a dichos fenómenos.

Dado que en Colombia se produce anualmente la pérdida de miles de vidas e invaluable pérdidas de tipo económico a causa de fenómenos de movimientos en masa, que afectan no solo la infraestructura residencial sino también las principales líneas de servicios básicos domiciliarios; es importante realizar trabajos e investigaciones enfocadas en la gestión del riesgo de desastres, para las cuales se debe partir del conocimiento del territorio o área de análisis y de los estudios de susceptibilidad y amenaza realizados previamente.

Los movimientos en masa constituyen una amenaza de origen natural o antrópico, que depende en gran medida del uso del suelo y de las características física del mismo; la ocurrencia de estos fenómenos también está relacionada con el régimen de lluvias, la cantidad de agua infiltrada y por ende con la saturación del suelo.

En las últimas décadas la ocurrencia de movimientos en masa en Colombia ha aumentado de forma significativa, llegando a afectar mas del 90% de los municipios del país que se encuentran en zonas de ladera en el año 2010 – 2011. La ocurrencia de estos eventos es el resultado de la integración de factores intrínsecos del territorio como son la geología, la geomorfología, cobertura de la tierra, el clima y la acción del hombre en el territorio. En el país generalmente los movimientos en masa y/o la reactivación de estos ocurre en los periodos de

lluvia, afectando no solo la población y medios económicos, sino también la infraestructura vial y demás tipo de infraestructura que se encuentre en la zona afectada.

En el departamento de Caldas las complejas condiciones físicas del territorio, sumadas a las altas precipitaciones (especialmente en las temporadas de lluvia) y a los altos índices de vulnerabilidad, han favorecido la ocurrencia de movimientos en masa, los cuales han ido en aumento en los últimos años causando algún tipo de afectación en varios municipios del departamento. Históricamente, el departamento de Caldas se ha visto afectado por procesos de desestabilización de laderas, acontecimientos que han posicionado a Caldas como el departamento con mayor número de familias afectadas a causa de deslizamientos principalmente. Respecto al municipio de Villamaría, se encuentra en amenaza muy alta frente a movimientos en masa, según el Servicio Geológico Colombiano – SGC, (2014) en el documento memoria explicativa de la zonificación de la susceptibilidad y la amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000 plancha 206 – Manizales; si bien es cierto en el municipio no se han presentado eventos desastrosos de gran magnitud, en el municipio si existen áreas que en años anteriores se han visto afectadas, especialmente en el área rural. En el área en la que se encuentra parte del tramo de la línea de conducción del acueducto municipal, se han presentado movimientos en masa y procesos erosivos que actualmente se encuentran activos, y que frecuentemente afectan las bocatomas y la línea de conducción del acueducto, generando cortes y en algunos casos suspensión del servicio de agua potable.

Debido a la importancia de las líneas de conducción de agua potable para el bienestar de la comunidad y el desarrollo en general del municipio, es necesario realizar estudios enfocados a conocer el grado de susceptibilidad de las mismas frente a eventos de movimientos en masa. Las estructuras vitales constituyen uno de los pilares sobre las cuales se soporta el desarrollo de los

territorios, por ende, los análisis susceptibilidad de estas, se convierten en una herramienta fundamental para priorizar las medidas enfocadas a reducir o mitigar el riesgo.

Planteamiento del Problema

En el municipio de Villamaría (Caldas) el servicio de acueducto es prestado por la empresa Aquamaná E.S.P, la cual fue creada en 1988. Las aguas que abastecen el acueducto municipal son captadas principalmente de las microcuencas de las quebradas Chupaderos y Chupaderitos (ambas pertenecientes a la cuenca del río Chinchiná), esta captación se realiza mediante dos bocatomas denominadas “Chupaderos” y “Chupaderitos”, ambas localizadas en el sector sur oriental del municipio. El agua captada es conducida a la planta de tratamiento “Berlín”, en la cual se realizan diferentes procesos encaminados a garantizar la calidad y potabilidad de esta, para posteriormente ser transportada por una línea de conducción de 12 pulgadas que llega hasta los tanques abastecedores: Tejares, Bellavista y Alto de la Virgen, desde estos tanques el agua es distribuida a la zona urbana (Consortio Aguas Catastro Caldas, 2016).

Debido a la ocurrencia de eventos asociados a fenómenos de movimientos en masa tanto las bocatomas, como la línea de conducción de la planta de tratamiento a los tanques abastecedores, se han visto gravemente afectadas generando interrupciones y en ocasiones cortes en el suministro de agua, especialmente en los períodos de lluvia, lo cual no solo afecta la economía del municipio sino también el bienestar de la población, convirtiéndose esto en un problema recurrente en el municipio y de amplia afectación para toda la comunidad.

En el artículo 42 de la Ley 1523 de 2012, se establece que las entidades públicas y privadas encargadas de la prestación de servicios públicos, deberán realizar un análisis específico de riesgo que considere los posibles efectos de eventos naturales sobre la infraestructura expuesta y aquellos que se deriven de los daños de la misma en su área de influencia, así como los que se deriven de su operación; con base en este análisis se deben diseñar e implementar las medidas de reducción del riesgo y planes de emergencia y contingencia que serán de su

obligatorio cumplimiento y deberán ser articulados con los organismos de gestión del riesgo municipales y departamentales.

En la resolución 0154 de 2014, se establecen los lineamientos para la formulación de los planes de emergencia y contingencia para el manejo de desastres y emergencias asociados a la prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo, además por medio del Decreto 2157 de 2017 se adoptan directrices generales para la elaboración del plan de gestión del riesgo de desastres de las entidades públicas y privadas en el marco del artículo 42 de la ley 1523 de 2012.

Debido a la obligatoriedad de esta normativa y la ausencia de estudios y análisis que permitan dar cumplimiento a la norma vigente y realizar de forma adecuada el plan de gestión del riesgo, plan de contingencia y el plan de emergencia de la empresa prestadora del servicio de acueducto, se hace necesario determinar la susceptibilidad a la que se encuentra expuesta la infraestructura del acueducto municipal, especialmente en el área, donde por las características geológicas, geomorfológicas y topográficas, los tramos de dicha infraestructura son más susceptibles de verse afectados por la posible ocurrencia de un movimiento en masa.

Justificación

Las líneas vitales corresponden a los sistemas que proveen servicios públicos primordiales a una sociedad, el adecuado funcionamiento de estas depende de su nivel operativo y su capacidad de respuesta y recuperación ante una determinada amenaza.

En el municipio de Villamaría las principales líneas vitales están constituidas por los sistemas de acueducto y alcantarillado, los sistemas de energía eléctrica, el sistema de aseo y el sistema de telecomunicación; los cuales forman parte de la infraestructura básica del municipio y son fundamentales para el desarrollo del mismo, por ello, es de suma importancia conocer su estado actual y el grado de susceptibilidad que presenta frente a los diferentes tipos de amenazas, especialmente frente a los eventos de mayor recurrencia en la zona como son los movimientos en masa.

La adecuada administración y operación de las líneas vitales, especialmente del sistema de acueducto, garantiza en gran medida el desarrollo sostenible del municipio, razón por la cual, es necesario realizar un análisis minucioso de los posibles fenómenos que lo puedan afectar y su susceptibilidad frente a la posible ocurrencia de estos; lo anterior con el fin de generar un insumo que sea útil en la formulación y puesta en marcha de proyectos enfocados al mejoramiento del servicio y de la capacidad de respuesta frente a desastres y/o emergencias. Dichos estudios, también serán útiles para dar cumplimiento a la normatividad vigente frente a la gestión del riesgo de desastres que deben de realizar las entidades encargadas de la prestación de los servicios públicos (Artículo 42 de la Ley 1523 de 2012) y a la Resolución 0154 de 2014 por medio de la cual se adoptan los lineamientos para la formulación de los planes de emergencia y contingencia para el manejo de desastres y emergencias asociados a la prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo.

Adicional a esto, en el plan de contingencia acueducto, alcantarillado y aseo del municipio de Villamaría – Aquamaná E.S.P. (2015), la empresa identifico para cada una de las estructuras que conforman el sistema de acueducto, que tipo de evento las podrían afectar, encontrando que frente a la ocurrencia de un movimiento en masa existe una probabilidad media de afectación para las dos bocatoma principales (bocatoma chupaderos y chupaderitos o la Albania), las estructuras de aducción y desarenador de cada bocatoma y la planta de tratamiento de agua potable; para la estructura de almacenamiento y distribución presentan una probabilidad baja de afectación. Sin embargo, para el sistema de conducción no se tiene información relacionada a la probabilidad de afectación.

ESTRUCTURAS SISTEMAS DE POTABILIZACION	DESPLAZAMIENTOS Y SUBSIDENCIAS	FLUJOS DE ESCOMBROS	INUNDACIONES Y AVALANCHAS	ACTIVIDAD SISMICA	LICUACION DEL SUELO	PRODUCTOS VOLCANICOS	HURACANES Y TORMENTAS	SEQUIAS Y DEFICIT HIDRICOS	EXPLOSIONES E INCENDIOS	DERRAMES DE CONTAMINANTES	PROBLEMAS DE ORDEN PUBLICO
Bocatoma Chupaderos	Orange	Orange	Orange	Red	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
Bocatoma Albania	Orange	Orange	Orange	Red	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
Aducción Chupaderos	Orange	Orange	Orange	Red	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
Aducción Albania	Orange	Orange	Orange	Red	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
Desarenador Chupaderos	Orange	Orange	Orange	Red	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
Desarenador Albania	Orange	Orange	Orange	Red	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
Ptap	Orange	Yellow	Yellow	Red	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
Conducción	White	White	White	White	White	White	White	White	White	White	White
Almacenamiento	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
Distribución	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow

Figura 1. Probabilidad de afectación de la infraestructura para la prestación del servicio de acueducto en el municipio de Villamaría. Tomado de Plan de contingencia acueducto, alcantarillado y aseo municipio de Villamaría – Aquamaná E.S.P. 2015 en Plan de Gestión del riesgo para la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo 2016 – 2019.

A pesar de los antecedentes que se tienen y de las características de la zona, hasta el momento no se han realizado estudios detallados para determinar el estado actual del sistema de conducción del acueducto municipal y del grado de afectación que este podría presentar frente a un movimiento en masa. Razón por la cual este trabajo se enfocará en el análisis de susceptibilidad frente a movimientos en masa que presentan la línea de conducción del acueducto municipal, desde la planta de tratamiento “Berlín” hasta el tanque abastecedor “Tejares”, generando así información que sirva como insumo para la elaboración de estudios detallados que contribuyan al desarrollo e implementación de medidas de gestión del riesgo en la zona.

Objetivos

Objetivo General

Analizar la susceptibilidad por movimientos en masa del tramo comprendido entre la planta de tratamiento de agua potable “Berlín” y el tanque abastecedor “Tejares” del acueducto municipal de Villamaría, Caldas.

Objetivos Específicos

- Establecer y caracterizar los puntos en el tramo comprendido entre la planta de tratamiento de agua potable “Berlín” y el tanque abastecedor “Tejares” susceptibles frente a movimientos en masa.
- Determinar los factores con mayor incidencia en la evolución de procesos erosivos existentes y/o en la generación de nuevos procesos erosivos.
- Proponer recomendaciones de tipo correctivo y prospectivo para la mitigación de los efectos que tendría la materialización de un posible movimiento en masa.

Contexto Geográfico

El municipio de Villamaría se encuentra localizado en la región centro sur del departamento de Caldas, sobre las coordenadas 5°02'44'' N y 75°30'55'' W, a una altura promedio de 1920 msnm; tiene una extensión de 461 km², la temperatura promedio es de 18 °C y el piso térmico comprende desde el páramo de las nieves perpetuas en el Nevado del Ruiz hasta el clima templado en el sector de Río Claro.

El municipio de Villamaría limita por el norte con el municipio de Manizales, al occidente con los municipios de Chinchiná y Santa Rosa de Cabal (Risaralda), al oriente con los municipios de Herveo y Murillo en el departamento del Tolima y al sur con el municipio de Santa Rosa de Cabal. Villamaría cuenta con una extensión urbana de 1,4 km² divididos en 43 barrios y una extensión rural de 459,6 Km² divididos en 35 veredas. La población total del municipio, según proyecciones del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) para el año 2018 era de 59.584 habitantes.

Alrededor de 7.500 hectáreas del municipio pertenecen al Parque Nacional Natural de los Nevados, las cuales presentan una gran reserva de agua debido a que allí nacen las principales fuentes hídricas que abastecen a la ciudad de Manizales y al municipio de Villamaría.

Con respecto a la hidrografía, hacia la parte norte se encuentra la cuenca del Río Chinchiná, desde el alto del Frailejón hasta la Quebrada Los Cuervos, la cual a su vez sirve de límite natural con respecto a la ciudad de Manizales; su red hídrica se divide en dos áreas: la del río Chinchiná, abastecida por 13 microcuencas, en la que Los Cuervos y Chupaderos aportan los mayores caudales, de esta ultima la empresa Aquamaná E.S.P. capta sus aguas y las conducen a la planta de tratamiento para finalmente suministra el servicio de agua potable al municipio de Villamaría; la segunda área corresponde al Río Claro que a su vez es tributario del Chinchiná,

recibe las cargas de 8 microcuencas de las cuales Molinos, Nereidas y Juntas son las de mayores aportes.

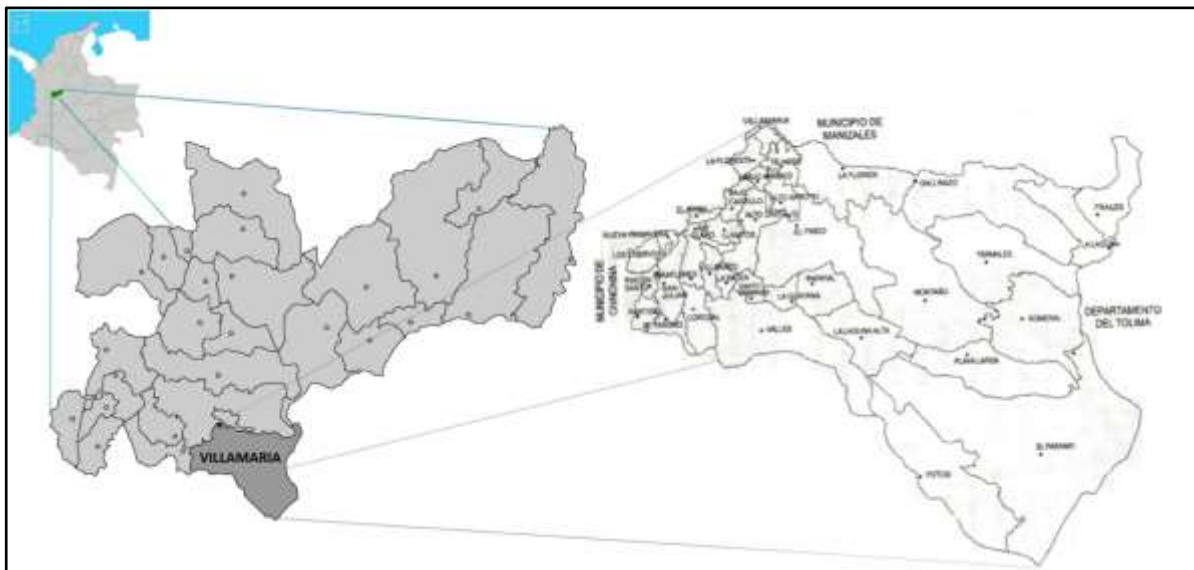


Figura 2. Localización y división política del municipio de Villamaría. Tomado y modificado de:

https://esacademic.com/pictures/eswiki/77/MunsCaldas_Villa_Maria.png y

https://file.ejatlaz.org/docs/MapaDivisionPoliticaRural_1_villamar_a.jpg (s.f).

El municipio de Villamaría cuenta con dos sistemas de abastecimientos de agua, el principal capta las aguas de las quebradas Chupaderos y Chupaderitos, pertenecientes a la zona alta de la cuenca del río Chinchiná, la cual cuenta con un área de 207.67 km² y sus aguas drenan hacia el río Cauca. Las quebradas Chupaderos y Chupaderitos cubren un área aproximada de 23.3 km² (19,6 km² Chupaderos y 3.7 km² Chupaderitos) las cuales garantizan aproximadamente un 95% del tiempo, el caudal necesario para la demanda del municipio. El segundo sistema es abastecido por el agua de la quebrada Cartagena, la cual se localiza en la zona baja de la cuenca río Chinchiná y posee un área de 532 km². Esta quebrada suministra el agua principalmente a la zona rural y una parte de área urbana.

El análisis de susceptibilidad a movimientos en masa se realizará específicamente para el tramo comprendido entre la planta de tratamiento “Berlín” y el tanque abastecedor “Tejares”, dicho tramo cubre un área aproximada de 2.5 kilómetros. La planta de tratamiento esta localizada en la zona rural del municipio de Villamaría, en la vereda La Florida, que se encuentra ubicada al inicio de la parte rural alta de Villamaría, al nororiente del municipio. La planta tiene una capacidad de 120 litros/segundo y está compuesta por una canaleta parshall, cuatro floculadores tipo albama, cuatro sedimentadores de alta tasa, seis filtros descendentes y sistema de dosificación de cloro gaseoso.

El tanque de almacenamiento se encuentra ubicado en el casco urbano del municipio, en el barrio Tejares y tiene una capacidad de 242 m³. El tanque está construido en concreto reforzado, sin embargo, se encuentra en regulares condiciones físicas, debido a la presencia de fisuras en la placa superior.



Figura 3. Localización de la planta de tratamiento y tanque de abastecimiento tejas. Tomado y modificado de Consorcio Aguas Catastro Caldas, 2016.

Marco Normativo

El marco normativo, hace referencia a las leyes y decretos relacionados con la temática desarrollada en el presente documento, además, de constituir la base legal del mismo.

A nivel internacional existen diferentes instrumentos que tienen como fin reducir y prevenir la ocurrencia de desastres, sin embargo, a continuación, se mencionaran algunos de los más importantes y de mayor trascendencia a nivel global.

Nivel Internacional

- **Marco de Sendai para la reducción del riesgo de desastres 2015-2030**

El marco de Sendai para la reducción del riesgo de desastres 2015-2030, fue adoptado por todas las naciones que asistieron a la Tercera Conferencia Mundial de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres y es el instrumento sucesor del Marco de Acción de Hyogo para 2005-2015. El Marco de Sendai tiene como objetivo principal disminuir de manera significativa las muertes, destrucción y desplazamiento causado por los desastres para el año 2030. En este marco se realizó énfasis en la gestión del riesgo de desastres en lugar de la gestión de los desastres. Dentro de los principios rectores de dicho marco se encuentra la participación de toda la sociedad y todas las instituciones del Estado, en la gestión del riesgo de desastres y se promueve la resiliencia sanitaria.

El Marco de Sendai expresa además la necesidad de comprender mejor el riesgo de desastre en todas sus dimensiones como son: características de las amenazas, grado de exposición y vulnerabilidad; la necesidad de prepararse para “reconstruir mejor” y la resiliencia de la infraestructura sanitaria, del patrimonio cultural y de los lugares de trabajo; son algunas de las acciones prioritarias del Marco de Sendai.

- **Objetivos de desarrollo sostenible**

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), son un llamado universal a la adopción de medidas para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad. Son en total 17 objetivos y 169 metas propuestas por iniciativa de las Naciones Unidas para dar continuación a los Objetivos de Desarrollo del Milenio, dentro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible asociados a la temática de este trabajo se encuentran:

- ✓ Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.
- ✓ Objetivo 9: Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación.

Nivel Nacional

- **Ley 46 de 1988**

“Por la cual se crea y organiza el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, se otorga facultades extraordinarias al presidente de la República y se dictan otras disposiciones”.

El Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres tendrá los siguientes objetivos:

- a. Definir las responsabilidades y funciones de todos los organismos y entidades públicas, privadas y comunitarias, en las fases de prevención, manejo, rehabilitación, reconstrucción y desarrollo a que dan lugar las situaciones de desastre.
- b. Integrar los esfuerzos públicos y privados para la adecuada prevención y atención de las situaciones de desastre.

c. Garantizar un manejo oportuno y eficiente de todos los recursos humanos, técnicos, administrativos, económicos que sean indispensables para la prevención y atención de las situaciones de desastre.

La Oficina Nacional para la Atención de Desastres, elaborará un Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, el cual, una vez aprobado por el Comité Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, será adoptado mediante decreto del Gobierno Nacional.

- **Decreto 919 de 1989**

“Por el cual se organiza el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres y se dictan otras disposiciones”

En este decreto se especifican los objetivos e integrantes del Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, así como aspectos relevantes del Plan Nacional de Prevención y Atención de Desastres, la participación de las entidades y organismos públicos y privados en su elaboración y ejecución y su inclusión en las actividades de planeación nacional, departamental y municipal.

- **Ley 99 de 1993**

Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente y se organiza el Sistema Nacional – SINA -, dispone en el Artículo 1, numeral 9, que la prevención de desastres es materia de interés colectivo y las medidas tomadas para evitar o mitigar los efectos de su ocurrencia son de obligatorio cumplimiento.

- **Ley 388 de 1997**

Por medio de la cual se modifica la Ley 9 de 1989 y se adoptan los Planes de Ordenamiento Territorial (POT). Esta ley comprende un conjunto de acciones político administrativas y de planificación física concertadas por parte de los municipios o distritos,

buscando orientar el desarrollo del territorio de acuerdo con estrategias de desarrollo socioeconómico y en armonía con el medio ambiente. Entre sus objetivos generales se encuentran, el promover la prevención de desastres en asentamientos de alto riesgo y velar por la protección del medio ambiente y la prevención de desastres.

- **Decreto 93 de 1998**

Por el cual se adopta el Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres. Considerado junto con el Decreto 919 de 1989, como una de las normas pilares para desastres en Colombia. En este Decreto se definen los objetivos, principios generales y estrategias del Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres. Algunos de los programas del Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres son: programa para el conocimiento sobre riesgos de origen natural y antrópico, programa para la incorporación de la prevención y reducción de riesgos en la planificación, programas de fortalecimiento del desarrollo institucional, programas para la socialización de la prevención y la mitigación de desastres.

- **Decreto 475 de 1998**

Este decreto hace referencia a las normas técnicas de calidad del agua potable.

En el Capítulo VIII “Medidas de emergencia” se establece lo siguiente:

1) Toda persona natural o jurídica que realice diseños o estudios para un sistema de suministro de agua, deberá incluir en estos los riesgos y peligros potenciales, mediante un análisis de vulnerabilidad.

2) Toda persona que preste el servicio público de acueducto, deberá tener un plan operacional de emergencia basado en análisis de vulnerabilidad que garantice medidas inmediatas de intervención en el momento de presentarse la emergencia, evitando a toda costa riesgos para la salud.

3) En los planes operacionales de emergencia será prioritario tener en cuenta los riesgos de mayor probabilidad indicado en los análisis de vulnerabilidad.

4) El personal que trabaje en los sistemas de suministro de agua, debe estar capacitado para actuar en situaciones de emergencia.

5) Al declararse estados de emergencia en materia de suministro de agua, los medios alternativos deberán cumplir al menos sobre las normas de calidad del agua segura establecida en este decreto.

6) En caso de comprobarse el estado de emergencia, las autoridades de salud de los distritos o municipios y las direcciones departamentales de salud, según el caso, podrá solicitar la suspensión del servicio público de acueducto, con el fin de tomar las medidas correctivas necesarias, para evitar riesgos en la salud de la población.

- **Resolución 1096 de 2000**

“Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS.”

El objeto de dicho reglamento es estipular los requisitos técnicos que deben cumplir los diseños, las obras y procedimientos correspondientes al sector de Agua Potable y Saneamiento Básico y sus actividades complementarias, que adelanten las entidades prestadoras de los servicios públicos municipales de acueducto, alcantarillado y aseo o quien haga sus veces.

Por diseño, obras y procedimientos correspondientes al sector de Agua Potable y Saneamiento Básico se entiende los diferentes procesos involucrados en la conceptualización, el diseño, la construcción, la supervisión técnica, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo que se desarrollen en la República de Colombia, con el fin de garantizar su seguridad, durabilidad, funcionamiento

adecuado, calidad, eficiencia, sostenibilidad y redundancia dentro de un nivel de complejidad determinado.

Artículo 33. – “ARCHIVO DE MANUALES, PLANOS Y CATASTROS PARA CONTINGENCIAS POR DESASTRE NATURAL O PROVOCADO”: Para todos los niveles de complejidad del sistema, los manuales de puesta en marcha, operación y mantenimiento; los planos de construcción de redes primarias y secundarias de acueducto y/o alcantarillado, así como los planos de catastro de las redes acueducto y alcantarillado ejecutadas a partir de la fecha de expedición del presente reglamento, con o sin inversión estatal, deberán ser emitidos en medio magnético, magnético-óptico u óptico, compatibles con tecnologías convencionales que permitan ser fácilmente archivados y almacenados para su consulta posterior en caso de pérdida irremediable del original o por desastre natural. Una copia en cualquiera de estos medios deberá ser enviada al Ministerio de Desarrollo Económico que será el encargado de salvaguardar este bien público directamente o mediante delegación a una entidad privada sin ánimo de lucro.

Artículo 201. – “PLAN DE CONTINGENCIAS”: Todo Plan de Contingencias se debe basar en los potenciales escenarios de riesgo del sistema, que deben obtenerse del análisis de vulnerabilidad realizado de acuerdo a las amenazas que pueda afectarlos gravemente durante su vida útil. El Plan de contingencia debe incluir procedimientos generales de atención de emergencias y procedimientos específicos para cada escenario de riesgo identificado.

- **Ley 1523 de 2012**

Por la cual se adopta la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, que se concentra en responsabilidades, principios y definiciones básicas, en donde el concepto de riesgo es la base; además se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.

Con la ley 1523 de 2012, se da un cambio a nivel nacional pues los esfuerzos ya no se concentrarán solo en la atención del desastre, sino también, conocimiento e intervención de las causas, realización de estudios para reducir los riesgos y medidas para reducir la vulnerabilidad; todo lo anterior basándose en 4 procesos fundamentales: la identificación del riesgo, la reducción del riesgo, el manejo de desastres y la transferencia del riesgo. Con esta ley se define y especifica que es la gestión del riesgo de desastre en la cual se debe trabajar a nivel país y no la prevención de desastres y manejo de emergencias.

Define las responsabilidades y por primera vez se incluye a todos los habitantes del territorio colombiano como corresponsables de la gestión del riesgo de desastres, los cuales deben actuar con precaución, solidaridad, autoprotección, tanto personal como de sus bienes. Se incluye también en esta Ley la adaptación al cambio climático y resiliencia.

Las implicaciones que se tienen a partir de esta ley para las autoridades municipales, corporaciones autónomas regionales y entes de control, es que la responsabilidad sobre estos temas ya no se hace con respecto al desastre (materialización del riesgo), si no a la situación de riesgo (antes de que ocurra el evento). Esto quiere decir que hay un compromiso mucho más fuerte de las autoridades por actuar frente a la situación de riesgo, haciendo estudios para reducirlo, reducir la vulnerabilidad, y así evitar que ocurran futuros desastres.

El Artículo 42 de la mencionada ley establece que las entidades encargadas de la prestación de servicios públicos, deberán realizar un análisis específico de riesgo que considere los posibles efectos de eventos naturales sobre la infraestructura expuesta y aquellos que se deriven de los daños de la misma en su área de influencia, así como los que se deriven de su operación. Adicionalmente, señala que con base en dicho análisis se deben diseñar e

implementar las medidas de reducción del riesgo y planes de emergencia y contingencia que serán de su obligatorio cumplimiento.

- **Resolución 0154 de 2014**

Por medio de la cual se adoptan los lineamientos para la formulación de los Planes de Emergencia y Contingencia para el manejo de desastres y emergencias asociados a la prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo y se dictan otras disposiciones.

- **Decreto 2157 de 2017**

Por medio del cual se adoptan directrices generales para la elaboración del plan de gestión del riesgo de desastres de las entidades públicas y privadas en el marco del artículo 42 de la Ley 1523 de 2012.

El Plan de Gestión del Riesgo de Desastres de las Entidades Públicas y Privadas (PGRDEPP) incluirá, entre otros aspectos, el análisis específico de riesgo que considere los posibles efectos de eventos de origen natural, socio-natural, tecnológico, biosanitario o humano no intencional, sobre la infraestructura expuesta y aquellos que se deriven de los daños de la misma en su área de influencia de posible afectación por la entidad, así como de su operación que puedan generar una alteración intensa, grave y extendida en las condiciones normales de funcionamiento de la sociedad. Con base en ello realizará el diseño e implementación de medidas para reducir las condiciones de riesgo actual y futuro, además de la formulación del plan de emergencia y contingencia, con el fin de proteger la población, mejorar la seguridad, el bienestar y sostenibilidad de las entidades.

Nivel Local

- Plan de contingencia acueducto, alcantarillado y aseo del municipio de Villamaría – Aquamaná E.S.P. (2015).
- Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Villamaría.
- Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres del municipio de Villamaría, 2017.
- Plan de Desarrollo Municipal 2016 – 2019.

Marco Conceptual

La terminología oficial respecto a la gestión del riesgo de desastres en Colombia está establecida en el marco de la Ley 1523 de 2012, sin embargo, en los últimos años diferentes expertos en el tema han propuesto sus propias definiciones; por tal motivo se hace necesario generar acuerdos sobre los términos y conceptos a utilizar cuando se planeen y/o ejecuten acciones relacionadas con la gestión del riesgo de desastres, con el fin de realizar una óptima coordinación entre los diferentes actores.

Para definir los términos a utilizar se debe reconocer que el riesgo y por tanto los desastres son una construcción social definida por el modelo de desarrollo adoptado por una comunidad.

Acueducto

Conjunto de obras, equipos y materiales utilizados para la captación, aducción, conducción, tratamiento y distribución del agua potable para consumo humano.

Amenaza

Según la Ley 1523 de 2012, corresponde a un 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.

Lavell (2007), define el término amenaza como un peligro latente que representa la probable manifestación de un fenómeno físico de origen natural, socio-natural o antropogénico, que puede producir efectos adversos, destrucción, daños y pérdidas en las personas, la producción, la infraestructura, la propiedad, los bienes y servicios y el medio ambiente.

Amenaza natural

Peligro latente asociado con la posible manifestación de un fenómeno físico cuya génesis se encuentra totalmente en los procesos naturales de transformación y modificación de la tierra y el ambiente- por ejemplo, un terremoto, una erupción volcánica, un tsunami o un huracán y que puede resultar en la muerte o lesiones a seres vivos, daños materiales o interrupción de la actividad social y económica en general (Lavell, 2007).

Amenaza socio-natural

Lavell (2007) define una amenaza socio-natural como un peligro latente asociado con la probable ocurrencia de fenómenos físicos cuya existencia, intensidad o recurrencia se relaciona con procesos de degradación o transformación ambiental y/o de intervención humana en los ecosistemas. Las amenazas socio-naturales se crean en la intersección del ambiente natural con la acción humana y representan un proceso de conversión de recursos naturales en amenazas. Los cambios en el ambiente y las nuevas amenazas que se generan con el Cambio Climático Global son el ejemplo más extremo de la noción de amenaza socio-natural. Las amenazas socio-naturales mimetizan o asumen las mismas características que diversas amenazas naturales.

Amenaza antropogénica o antrópica

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

Bienes y servicios

Son aquellas cosas tangibles e intangibles, de valor económico que reportan beneficio quienes las poseen o usufructúan y que permiten la vida individual y en comunidad. Serán bienes cuando son susceptibles de apropiación, sea privada o pública, y servicios cuando su utilidad radica exclusivamente en su consumo (Lavell, 2002).

Bocatoma

Estructura hidráulica que capta el agua desde una fuente superficial y la conduce al sistema de acueducto.

Capacidad

Combinación de todas las fortalezas, atributos y recursos disponibles dentro de una comunidad, sociedad o institución destinados a gestionar y reducir los riesgos de desastres, así como para reforzar su resiliencia (Comunidad Andina, 2018).

Caracterización de escenarios de riesgo

Es el proceso que busca conocer de manera general, las condiciones de riesgo de un territorio, enfatizando en sus causas y actores e identificando los principales factores influyentes, los daños y pérdidas que pueden presentarse, y todas las medidas posibles que podrían aplicarse para su manejo, según el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SNGRD, 2017).

Comunidad

Según Diesner (2013), una comunidad es un grupo de personas que comparten algunos elementos en común como intereses, historia, territorio, cultura, tradiciones, costumbres, cosmovisión, actividades, recursos, idioma, valores, tareas etc., que crean una identidad común y las distinguen de otros grupos.

Conducción

Componente a través del cual se transporta agua potable, ya sea a flujo libre o a presión.

Consumo básico

Aquel que se destina a satisfacer las necesidades básicas de las familias, cuyo nivel máximo es definido por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico.

Desastre

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

Daño

Según la definición de Lavell (2002) es un efecto adverso o grado de destrucción causado por un fenómeno sobre las personas, los bienes, sistemas de prestación de servicios y sistemas naturales o sociales.

Elementos expuestos

Lavell (2002) define los elementos expuesto o elementos en riesgo como el contexto social, material y ambiental representado por las personas y por los recursos, servicios y ecosistemas que pueden ser afectados por un fenómeno físico. El mismo en el año 2007 plantea una definición más amplia para el concepto de elementos expuesto y los define como el contexto social y material representado por las personas y por los recursos, producción, infraestructura,

bienes y servicios, que se encuentran dentro del área de influencia directa de un fenómeno o evento físico. Corresponden a las actividades humanas, todos los sistemas realizados por el hombre tales como edificaciones, líneas vitales o infraestructura, centros de producción, servicios, la gente que los utiliza.

Emergencia

Según la Ley 1523 de 2012, una emergencia es una 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.

Escenario

Es una visión anticipada de lo que podría suceder si llegará a presentarse o hacerse real una amenaza sobre una comunidad o un sistema vulnerable, es el espacio y tiempo en donde los componentes del riesgo confluyen (amenaza y vulnerabilidad) junto con la previsión de las posibles consecuencias de esta confluencia (Comunidad Andina, 2018).

Escenario de riesgo

La Comunidad Andina (2018), define el término como fragmentos o campos delimitados de las condiciones de riesgo del territorio presentes o futuras, que facilitan tanto la comprensión y priorización de los problemas como la formulación y ejecución de las acciones de intervención requeridas. Un escenario de riesgo se representa por medio de la caracterización y/o análisis de los factores de riesgo, sus causas, la relación entre las causas, los actores causales, el tipo y nivel de daños que se pueden presentar, la identificación de los principales factores que requieren

intervención, así como las medidas posibles a aplicar y los actores públicos y privados que deben intervenir en la planeación, ejecución y control de las líneas de acción.

Estrategia de respuesta a emergencias

Es el marco de actuación de las entidades del Sistema Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres para la reacción y atención de emergencias. Se refiere a todos los aspectos que deben activarse por las entidades en forma individual y colectiva con el propósito de ejecutar la respuesta a emergencias de manera oportuna y efectiva (Ley 153 de 2012).

Evaluación de la amenaza

Según Lavell (2002) es el proceso mediante el cual se determina la posibilidad de que un fenómeno se manifieste, con un determinado grado de severidad, durante un período de tiempo definido y en un área determinada. Representa la recurrencia estimada y la ubicación geográfica de eventos probables.

Evento

Es un fenómeno - natural, socio-natural o tecnológico - que actúa como el detonante de los efectos adversos sobre las vidas humanas, la salud y/o la infraestructura económica y social y ambiental de un territorio (Corporación OSSO (Observatorio Sismológico del Sur Occidente) y La Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (LA RED), 2009).

Lavell (2002) define el término evento como el suceso o fenómeno natural, tecnológico o provocado por el hombre que se describe en términos de sus características, su severidad, ubicación y área de influencia. Es el registro en el tiempo y el espacio de un fenómeno que caracteriza una amenaza. Es importante diferenciar entre un evento potencial y el evento mismo, una vez éste se presenta.

Exposición

Según la Comunidad Andina (2018) es la situación en que se encuentran las personas, infraestructuras, viviendas, capacidades de producción y otros activos humanos tangibles situados en zonas expuestas, considerando la dimensión ambiental de los Ecosistemas naturales y socio naturales.

Gestión del riesgo

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

Infraestructuras vitales

Conjunto de estructuras físicas, instalaciones, redes y otros activos que proporcionan servicios indispensables para el funcionamiento social y económico de una comunidad o sociedad (Comunidad Andina, 2018).

Intervención

Según Lavell (2002) es la modificación intencional de las características de un fenómeno con el fin de reducir su amenaza o de las características intrínsecas de predisposición al daño de un elemento expuesto con el fin de reducir su vulnerabilidad. La intervención intenta modificar los factores de riesgo. Controlar o encausar el curso físico de un fenómeno peligroso, o reducir su magnitud y frecuencia, son medidas relacionadas con la intervención de la amenaza. La

reducción al mínimo posible de los daños materiales mediante la modificación de la resistencia o tenacidad de los elementos expuestos es una medida estructural relacionada con la intervención de la vulnerabilidad física. Aspectos asociados con planificación del medio físico, reglamentación del uso del suelo, seguros, preparación para emergencias y educación pública son medidas no estructurales relacionadas con la intervención de la vulnerabilidad social.

Según la Ley 1523 de 2012 el término “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 para reducir su vulnerabilidad.

Intervención correctiva

Proceso cuyo objetivo es reducir el nivel de riesgo existente en la sociedad a través de acciones de mitigación, en el sentido de disminuir o reducir las condiciones de amenaza, cuando sea posible, y la vulnerabilidad de los elementos expuestos (Ley 1523 de 2012).

Intervención prospectiva

Desde la Ley 1523 de 2012 se define como un proceso cuyo objetivo es garantizar que no surjan nuevas situaciones de riesgo a través de acciones de prevención, impidiendo que los elementos expuestos sean vulnerables o que lleguen a estar expuestos ante posibles eventos peligrosos. Su objetivo último es evitar nuevos riesgos y la necesidad de intervenciones correctivas en el futuro. La intervención prospectiva se realiza primordialmente a través de la planificación ambiental sostenible, el ordenamiento territorial, la planificación sectorial, la regulación y las especificaciones técnicas, los estudios de prefactibilidad y diseño adecuados, el control y seguimiento y en general todos aquellos mecanismos que contribuyan de manera

anticipada a la localización, construcción y funcionamiento seguro de la infraestructura, los bienes y la población.

Manejo de desastres

Es el proceso de la gestión del riesgo compuesto por la preparación para la respuesta a emergencias, la preparación para la recuperación pos-desastre, la ejecución de dicha respuesta y la ejecución de la respectiva recuperación, entiéndase: rehabilitación y recuperación (Ley 1523 de 2012).

Medidas estructurales

Según la Estrategia Internacional de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, 2009 (UNISDR por sus siglas en inglés); una medida estructural es cualquier construcción física para reducir o evitar los posibles impactos de las amenazas, o la aplicación de técnicas de ingeniería para lograr la resistencia y la resiliencia de las estructuras o de los sistemas frente a las amenazas.

Para la Comunidad Andina (2018), las medidas estructurales son las que comprenden toda construcción material que tiene por objeto reducir o evitar el posible impacto de las amenazas, o la aplicación de técnicas de ingeniería o tecnología para lograr la resistencia y resiliencia a las amenazas en estructuras o sistemas.

Medidas no estructurales

Una medida estructural es cualquier medida que no suponga una construcción física y que utiliza el conocimiento, las prácticas o los acuerdos existentes para reducir el riesgo y sus impactos, especialmente a través de políticas y leyes, una mayor concientización pública, la capacitación y la educación (UNISDR, 2009).

A partir de lo planteado por la Comunidad Andina (2018) las medidas no estructurales son las que no entrañan construcciones materiales y se sirven de conocimientos, prácticas o disposiciones para reducir los riesgos de desastres y sus efectos, en particular mediante políticas y leyes, la concienciación pública, la capacitación y la educación.

Mitigación

Según la Comunidad Andina (2018) es la disminución o reducción al mínimo de los efectos adversos de un suceso peligroso a través de la implementación de medidas estructurales y no estructurales.

La UNISDR (2009) define la mitigación como las medidas estructurales y no estructurales emprendidas para limitar el impacto adverso de las amenazas naturales y tecnológicas y de la degradación ambiental.

Mitigación del riesgo

Según la Ley 1523 de 2012 el término de mitigación del riesgo corresponde a 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.

Movimiento en masa

Según el Servicio Geológico Colombiano 2016 (SGC), un movimiento en masa es el equivalente a definiciones como procesos de remoción en masa, fenómenos de remoción en masa, deslizamientos o fallas de taludes y laderas. El término movimiento en masa incluye todos aquellos movimientos ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad.

Ordenamiento territorial

Desde la Ley 388 de 1997 el ordenamiento territorial comprende un conjunto de acciones político-administrativas y de planificación física concertadas, emprendidas por los municipios o distritos y áreas metropolitanas, en ejercicio de la función pública que les compete, dentro de los límites fijados por la Constitución y las leyes, en orden a disponer de instrumentos eficientes para orientar el desarrollo del territorio bajo su jurisdicción y regular la utilización, transformación y ocupación del espacio, de acuerdo con las estrategias de desarrollo socioeconómico y en armonía con el medio ambiente y las tradiciones históricas y culturales.

Pérdida

Valor adverso de orden económico, social o ambiental alcanzado por una variable durante un tiempo de exposición específico (Lavell, 2002).

Pérdidas económicas

Impacto económico total que se compone de pérdidas económicas directas e indirectas. La pérdida económica directa hace referencia al valor monetario de la destrucción total o parcial de bienes físicos existentes en el área afectada. La pérdida económica directa es casi equivalente a los daños físicos. Por su parte, la pérdida económica indirecta se refiere a una disminución en la valorización económica como consecuencia de una pérdida económica directa y/o impactos humanos y ambientales (Asamblea General de las Naciones Unidas – UNGA (por sus siglas en inglés), 2016).

Plan de gestión del riesgo de desastres

Desde el concepto del SNGRD (2017), es el instrumento que define los objetivos, programas, acciones, responsables y presupuestos, mediante las cuales se ejecutan los procesos

de conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y de manejo de desastres, en el marco de la planificación del desarrollo.

Según la Comunidad Andina (2018), en el plan de gestión del riesgo de desastres se establecen las metas y objetivos específicos en la reducción del riesgo de desastres junto con las medidas conexas para lograr esos objetivos.

Plan maestro de acueducto y/o alcantarillado

Plan de ordenamiento de los sistemas de acueducto y/o alcantarillado de una ciudad o localidad para un horizonte de tiempo dado.

Planta de tratamiento (de agua potable)

Conjunto de obras, equipos y materiales necesarios para efectuar los procesos que permitan cumplir con las normas de calidad del agua potable. 2. Conjunto de obras, instalaciones, operaciones y procesos que se realizan sobre el agua cruda, con el fin de modificar sus características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas, para hacerla potable de acuerdo a las normas establecidas en el Decreto 475 de 1998, Artículo 1.

Preparación

Medidas cuyo objetivo es organizar y facilitar los operativos para el efectivo y oportuno aviso, salvamento y rehabilitación de la población en caso de desastre. La preparación se lleva a cabo mediante la organización y planificación de las acciones de alerta, evacuación, búsqueda, rescate, socorro y asistencia que deben realizarse en caso de emergencia (Lavell, 2002).

Según la Comunidad Andina (2018) el término preparación reúne los conocimientos y capacidades que desarrollan los gobiernos, las organizaciones de respuesta y recuperación, las comunidades y las personas para prever, responder y recuperarse de forma efectiva de los impactos de desastres probables, inminentes o presentes. Mientras que en el Ley 1523 de 2012 se

definen la palabra preparación como 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.

Prevención

Actividades tendentes a evitar el impacto adverso de amenazas, y medios empleados para minimizar los desastres ambientales, tecnológicos y biológicos relacionados con dichas amenazas. Dependiendo de la viabilidad social y técnica y de consideraciones de costo/beneficio, la inversión en medidas preventivas se justifica en áreas afectadas frecuentemente por desastres. En este contexto, la concientización y educación pública relacionadas con la reducción del riesgo de desastres, contribuyen a cambiar la actitud y los comportamientos sociales, así como a promover una “cultura de prevención” (UNISDR, 2009).

Prevención de riesgo

Desde la Ley 1523 de 2012, la prevención de riesgo corresponde a 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.

Protección financiera

Mecanismos o instrumentos financieros de retención intencional o transferencia del riesgo que se establecen en forma ex ante con el fin de acceder de manera ex post a recursos económicos oportunos para la atención de emergencias y la recuperación (Ley 1523 de 2012).

Recuperación

Según la UNISDR (2009), la recuperación corresponde a las decisiones y acciones tomadas luego de un desastre con el objeto de restaurar las condiciones de vida de la comunidad afectada, mientras se promueven y facilitan a su vez los cambios necesarios para la reducción de desastres. Mientras que para la comunidad Andina (2018) es el restablecimiento o mejora de los medios de vida y la salud, así como de los bienes, sistemas y actividades económicas, físicas, sociales, culturales y ambientales, de una comunidad o sociedad afectada por un desastre, siguiendo los principios del desarrollo sostenible y de “reconstruir mejor”, con el fin de evitar o reducir el riesgo de desastres en el futuro.

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 nuevos riesgos 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 de 2012).

Resiliencia

Según la Comunidad Andina (2018) es la capacidad que tiene un sistema, una comunidad o una sociedad expuestos a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse, transformarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficiente, en particular mediante la preservación y la restauración de sus estructuras y funciones básicas por conducto de la gestión de riesgos.

Respuesta

Desde el concepto de Lavell (2002) es la etapa de la atención que corresponde a la ejecución de las acciones previstas en la etapa de preparación y que, en algunos casos, ya han sido antecedidas por actividades de alistamiento y movilización, motivadas por la declaración de diferentes estados de alerta. Corresponde a la reacción inmediata para la atención oportuna de la población.

La Comunidad Andina (2018) define el término respuesta como las medidas adoptadas directamente antes, durante o inmediatamente después de un desastre con el fin de salvar vidas, reducir los impactos en la salud, velar por la seguridad pública y atender las necesidades básicas de subsistencia de la población afectada.

Riesgo

La UNISDR (2009) define la palabra riesgo, como la probabilidad de consecuencias perjudiciales o pérdidas esperadas (muertes, lesiones, propiedad, medios de subsistencia, interrupción de actividad económica o deterioro ambiente) resultado de interacciones entre amenazas naturales o antropogénicas y condiciones de vulnerabilidad. Convencionalmente el riesgo es expresado por la expresión $\text{Riesgo} = \text{Amenazas} \times \text{vulnerabilidad}$. Algunas disciplinas también incluyen el concepto de exposición para referirse principalmente a los aspectos físicos de la vulnerabilidad. Más allá de expresar una posibilidad de daño físico, es crucial reconocer

que los riesgos pueden ser inherentes, aparecen o existen dentro de sistemas sociales. Igualmente es importante considerar los contextos sociales en los cuales los riesgos ocurren, por consiguiente, la población no necesariamente comparte las mismas percepciones sobre el riesgo y sus causas subyacentes.

Riesgo de desastres

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

Servicio público domiciliario de acueducto o de agua potable

Es la distribución de agua apta para el consumo humano, incluida su conexión y medición. También forman parte de este servicio las actividades complementarias tales como captación de agua, procesamiento, tratamiento, almacenamiento y transporte. (Artículo 14.22 Ley 142 de 1994 y Decreto 302 de 2000).

Susceptibilidad

Según el Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno del Niño (CIIFEN) es el grado de fragilidad interna de un sujeto, objeto o sistema para enfrentar una amenaza y recibir un posible impacto debido a la ocurrencia de un evento adverso.

Tanque de Compensación

Depósito de agua en un sistema de acueducto, cuya función es compensar las variaciones en el consumo a lo largo del día mediante almacenamiento en horas de bajo consumo y descarga en horas de consumo elevado.

Usuario

Persona natural o jurídica que se beneficia con la prestación de un servicio público, bien como propietario del inmueble en donde se presta o como receptor directo del servicio. Se le denomina también consumidor. (Ley 142 de 1994, artículo 14.33 y Decreto 302 de 2000).

Vulnerabilidad

Según la Ley 1523 de 2012, es la 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.

Antecedentes

Unidad de Gestión del riesgo de desastres a nivel nacional y local

En el documento “Construcción de lineamientos para la integración de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial articulado al plan de inversiones (2016)” realizado la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), subdirección para la reducción del riesgo, la administración del municipio de Villamaría dentro del Plan Municipal de Gestión del Riesgo priorizó los escenarios de riesgo que se muestran en la siguiente tabla.

Tipo de Problema	Lugar	Estado Actual
Deslizamiento	Barrio Molinos	Intervenido
Deslizamiento	Barrio La Isabela	Sin intervenir
Deslizamiento	Barrio Coloya	Intervenido
Hundimiento de la banca	Barrio Altos de la Virgen	Sin Intervenir
Deslizamiento	Barrio Urapanes	Intervenido
Deslizamiento	Barrio Santa María de la Colina	Intervenido
Deslizamiento	Barrio Santa Ana	Intervenido
Deslizamiento	Barrio Los Sauces	Sin intervenir
Deslizamiento	Barrio Altos de Monserrate	Intervenido
Deslizamiento	Barrio Turín	Intervenido
Deslizamiento	Barrio CRC	Intervenido
Deslizamiento	Barrio Bellavista	Intervenido
Deslizamiento	Barrio Nuevos Horizontes	Intervenido
Deslizamiento	Sector Torres de RCN	Sin Intervenir
Deslizamiento ambas márgenes	Quebrada La Diana	Sin intervenir
Deslizamientos ambas márgenes	Quebrada La Cristalina	Sin intervenir
Deslizamientos	Barrio Polideportivo	Intervenido
Deslizamientos	Barrio el palmar	Intervenido
Deslizamiento	Barrio Jorge Eliecer Gaitán	Sin intervenir
Erosión y Deslizamiento	Barrio La Floresta	Intervenido
Erosión y Deslizamiento	Sector el Bombazo	Sin intervenir
Erosión y Deslizamiento	Sector El Descache	Intervenido
Deslizamiento	Sector Finca la Coca	Sin intervenir
Agrietamientos y Deslizamientos	Sector La Pradera vía a Llanitos	Sin intervenir

Figura 4. Lista de procesos erosivos identificados en el área urbana de Villamaría y estado actual. Tomado de: UNGRD, 2016.

En el Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres (PMGRD) elaborado en el año 2017; se identifican los principales fenómenos que pueden representar una amenaza para el municipio, entre dichos fenómenos se encuentran movimientos en masa, avenidas torrenciales,

inundaciones, sismo, erupciones volcánicas, incendios estructurales y forestales, vendavales, eventos que impliquen aglomeración de público, derrames – transporte de hidrocarburos, accidentes aéreos y temporada con déficit de lluvia. En el mismo documento se establece que para el escenario de riesgo por movimiento en masa, los sectores que fueron identificados con amenaza alta en el área urbana están directamente relacionados con la inadecuada intervención antrópica, manifestada en la construcción de unidades residenciales en zonas con altas pendientes y con problemas de estabilidad del terreno, lo cual sumado a otros factores como el inadecuado manejo de aguas superficiales y de escorrentía, pérdida de la cobertura vegetal del suelo y la construcción de estructuras de gran peso representan un riesgo de los sectores de Los Vagones, Camino Real, Los Sauces, Alto del Portón, Alto de la Virgen, La Florida; barrio Santa Ana, Nuevos Horizontes, San Diego; la parte baja de la urbanización ciudad Jardín y la vertiente occidental de la quebrada Chupaderos.

En la zona rural se identificó que las siguientes veredas se encuentran en amenaza alta por movimientos en masa, Centro poblado de Llanitos, Rio Claro Nuevo y Los Cuervos. En el área rural la ocurrencia de movimientos en masa esta generalmente asociada al inadecuado uso del suelo como deforestación en zonas de altas pendientes y de interés ambiental, sobrepastoreo, actividad ganadera en zonas de pendientes altas, inadecuado manejo de las aguas de escorrentía lo que permite la infiltración de agua y genera saturación del suelo. Las actividades anteriormente mencionadas inciden en el aumento de las condiciones de amenaza puesto que el suelo queda expuesto a las condiciones climáticas, favoreciendo así la ocurrencia de movimientos en masa.

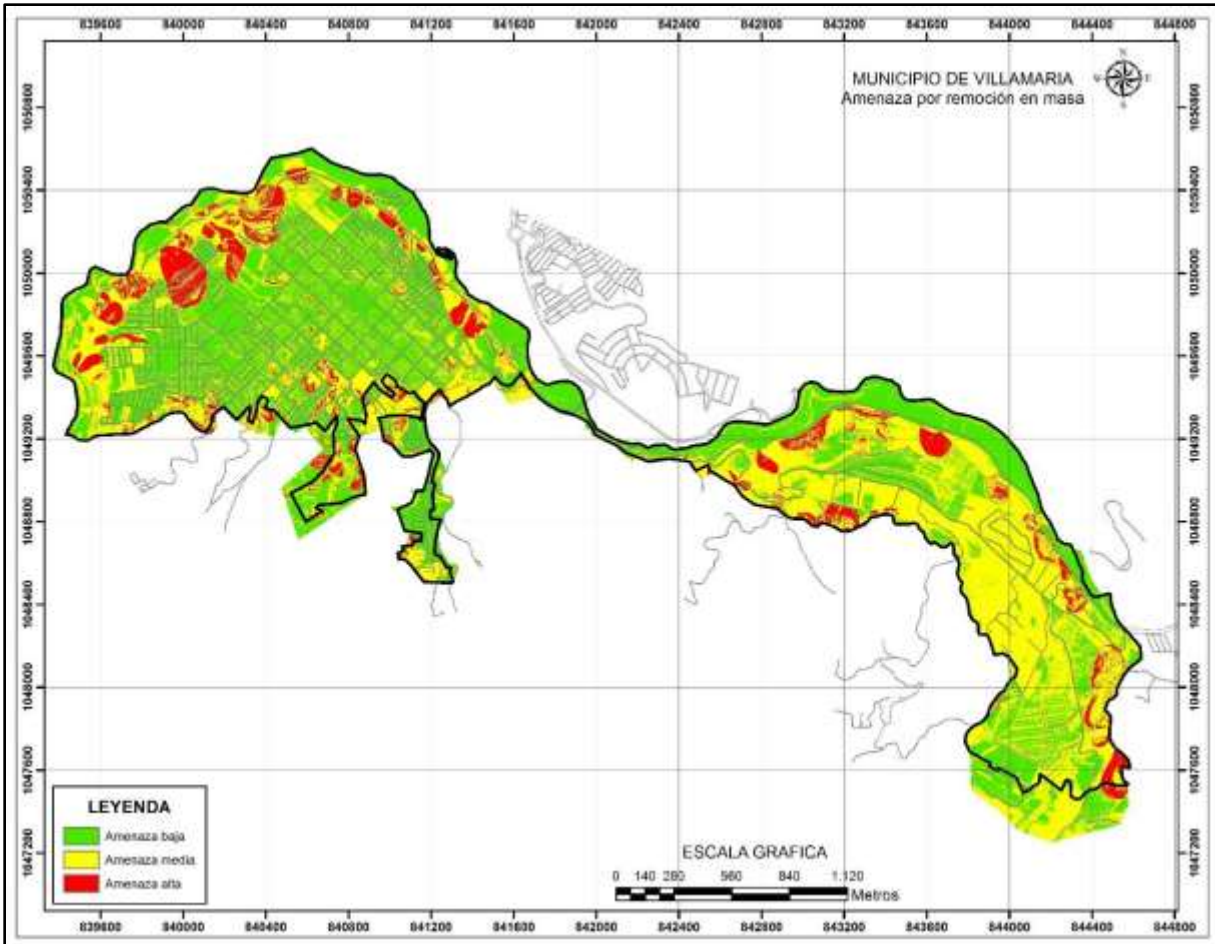


Figura 5. Mapa de amenaza por movimientos en masa de la zona urbana del municipio de Villamaría. Tomado de PMGRD, 2017.

Bases de datos

En primer lugar, se tiene que en la base de datos del sistema de información de movimientos en masa (SIMMA) administrado por el SGC se encuentra el registro de 28 eventos ocurridos en el municipio de Villamaría, el primer registro está documentado con fecha de 1927 y el último en 2018. A continuación, se hace una relación de fecha y tipo de movimiento ocurrido, según la información encontrada en la base de datos antes mencionada.

Tabla 1.

Inventario de movimientos en masa ocurridos en el municipio de Villamaría a partir de la base de datos del SIMMA.

Tipo de movimiento	Fecha evento	Daños ocasionados
Deslizamiento	17/04/2018	Daño a infraestructura en la vía principal
Deslizamiento	12/03/2017	Daño severo a infraestructura
Deslizamiento	07/07/2012	Daño leve en la infraestructura vial (Carretera)
Deslizamiento	01/10/2012	Daño moderado a la infraestructura vial (carretera) - Daños económicos moderados (afectación en el transporte de pasajeros y carga)

		Daño leve en
Deslizamiento	03/05/2012	la infraestructura vial (Carretera)
		El
Deslizamiento	18/04/2012	movimiento no tiene daños registrados
		Daño leve en
Deslizamiento	12/04/2012	la infraestructura vial (Carretera)
		El
Deslizamiento	10/02/2012	movimiento no tiene daños registrados
		Daño leve en
Deslizamiento	06/02/2012	la infraestructura vial (Carretera)
		El
Deslizamiento	08/11/2010	movimiento no tiene daños registrados
		Daño no
		cuantificable en la
Deslizamiento	28/10/2010	infraestructura residencial (Viviendas)

		El
Deslizamiento	08/10/2010	movimiento no tiene daños registrados Daño severo en la infraestructura vial (Carretera). Riesgo alto ya que se puede generar el
Reptación	02/08/2010	represamiento del río Molino y en su parte superior del movimiento puede generar perdida de la banca. Daño moderado a la economía (Ganadería), Daño
Caída	01/10/2009	ambiental moderado (bosques). Daño a la infraestructura moderado (Planta de Tratamiento de

		Agua José Luis Prieto).
		Daño leve en la infraestructura residencial (Viviendas). Daño moderado en la infraestructura vial (Carretera). Daño leve a la economía (Semovientes).
Deslizamiento	01/10/2009	Daño moderado en la infraestructura vial (Carretera). Daño severo a la economía (Cultivos). Daño moderado a la economía (Transporte de pasajeros y carga, ganadería). Riesgo alto, se presentan
Flujo	01/10/2008	

		continuos
		deslizamientos y
		caída de detritos
		hacia la vía
Deslizamiento	16/10/2006	Cinco
		personas afectadas
		El
Deslizamiento	23/10/2005	movimiento no tiene
		daños registrados
		El
Deslizamiento	14/11/1988	movimiento no tiene
		daños registrados
		Dos personas
Deslizamiento	05/06/1984	heridas
		El
Deslizamiento	08/06/1981	movimiento no tiene
		daños registrados
		El
Deslizamiento	01/02/1975	movimiento no tiene
		daños registrados
		Dos personas
Deslizamiento	03/02/1971	heridas

Deslizamiento	15/03/1955	Una persona herida
Deslizamiento	23/01/1942	Una persona herida
Deslizamiento	05/05/1927	El movimiento no tiene daños registrados
Deslizamiento	09/04/1927	El movimiento no tiene daños registrados

Se consultó el sistema de inventario de desastres de América Latina, “DesInventar”, en la cual se tiene registro de 31 eventos ocurridos entre los años 1927 – 2017, la relación de eventos ocurridos – daños ocasionados se muestra a continuación, es importante resaltar que la base de datos no solo es actualizada con información de organismos y entidades encargadas de la gestión del riesgo de desastres a nivel nacional, sino que también hay información proveniente de medios de comunicación, principalmente de prensa escrita.

Tabla 2.

Inventario de movimientos en masa ocurridos en el municipio de Villamaría a partir de la base de datos de DesInventar.

Tipo de evento	Fecha	Daños ocasionados
Deslizamiento	23/04/2017	Diez personas afectadas y dos viviendas destruidas
Deslizamiento	19/04/2017	Seiscientos sesenta y dos afectados, ciento setenta y nueve viviendas afectadas, afectaciones en vías secundarias

Deslizamiento	18/04/2015	Cuatro personas heridas, cinco personas afectadas y una vivienda destruida.
Deslizamiento	3/02/2013	Afectación de la bocatoma, lo cual genera que el servicio de acueducto se vea interrumpido para todo el municipio
Deslizamiento	16/10/2011	Veintiún afectados y tres viviendas destruidas
Deslizamiento	2/12/2010	El movimiento no tiene daños registrados
Deslizamiento	4/11/2009	Tres personas muertas, cinco personas afectadas y una vivienda destruida
Deslizamiento	16/10/2006	Cinco personas afectadas y una vivienda afectadas
Deslizamiento	10/06/2005	Dos personas muertas, diez familias afectadas (cincuenta personas afectadas), dos viviendas destruidas y dos viviendas afectadas
Deslizamiento	26/04/2004	Veinticinco afectados
Deslizamiento	28/10/2003	Una persona muerta, cien personas afectadas, veinte familias evacuadas.
Deslizamiento	19/03/2003	Nueve personas muertas, seis personas heridas, setenta y cinco personas afectadas y tres viviendas destruidas
Deslizamiento	14/12/1988	Doscientos diez personas afectadas
Deslizamiento	21/11/1988	Una persona muerta y una persona herida
Deslizamiento	20/11/1988	Una persona muerta; taponamiento en vías
Deslizamiento	14/11/1988	Daños en vías *
Deslizamiento	15/10/1986	Una vivienda destruida
Deslizamiento	31/10/1985	Una vivienda destruida
Deslizamiento	1/11/1984	Taponamiento en las vías
Deslizamiento	5/06/1984	Dos personas muertas *
Deslizamiento	8/06/1981	Afectación de vías - taponamiento de vías *

Deslizamiento	15/02/1975	El movimiento no tiene daños registrados
Deslizamiento	15/03/1974	El movimiento no tiene daños registrados
Deslizamiento	20/11/1971	Una persona herida y dos viviendas destruidas
Deslizamiento	3/02/1971	Dos muertos y una vivienda destruida
Deslizamiento	12/11/1965	El movimiento no tiene daños registrados
Deslizamiento	15/03/1955	Un muerto, siete heridos, una vivienda destruida *
Deslizamiento	17/11/1953	Una vivienda destruida
Deslizamiento	15/05/1927	El movimiento no tiene daños registrados
Deslizamiento	4/02/1927	Ocho personas afectadas, dos viviendas destruidas

*Estos eventos también se encuentran registrados en el SIMMA.

Cabe resaltar que algunos de los eventos registrados en el SIMMA también se encuentran reportados en DesInventar, sin embargo, estos fueron incluidos en ambas tablas debido a que la información respecto a daños ocasionados difiere de una base de datos a otra.

Medios de comunicación

Revisando las notas públicas en prensa escrita que hacen referencia a deslizamientos ocurridos en el municipio de Villamaría, se encontraron varios registros, sin embargo, a continuación, se mencionan los eventos ocurridos recientemente.

- ✓ El 1 de abril de 2018 y según lo reporta Caracol Radio, un deslizamiento generó la desconexión de una de las líneas del acueducto lo que provocó que el 50% del municipio (Alrededor de 15.000 usuarios) estuviera sin servicio de agua potable. A causa de las constantes lluvias presentadas el sistema de acueducto del municipio colapso; la Unidad de Gestión del Riesgo (UGR) de la Alcaldía de Manizales, dispuso de un carrotanque para

mitigar la afectación que sufren los usuarios. En total el deslizamiento arrasó un total de 40 metros de tubería (Eje 21).

- ✓ El 22 de noviembre del año 2017, en la vereda Río Claro se presentó un desprendimiento de tierra y roca que afectó la vía que comunica dicha vereda con la cabecera municipal. El 22 de diciembre del mismo año, 12 viviendas del barrio Alto de la Virgen fueron evacuadas ante el riesgo por posible deslizamiento (Eje 21).
- ✓ El 8 de diciembre del año 2016, un deslizamiento afectó un tramo de la aducción que conduce el agua desde el sector del Argel (Bocatoma Chupaderos) hasta el municipio de Villamaría, por lo cual 13 mil usuarios estuvieron sin el servicio de agua potable (RCN Radio).

Actos interadministrativos

Revisando otras fuentes de información se encontró registro de contratos celebrados entre la Corporación Autónoma Regional de Caldas (CORPOCALDAS), Aquamaná E.S.P y la Alcaldía Municipal de Villamaría, con el fin de realizar obras de mitigación del riesgo en diferentes sectores del municipio. A pesar de que se encuentra registro de varios contratos, en la empresa Aquamaná E.S.P solo se tiene evidencia de uno de los contratos celebrados y por medio del cual se realizaron obras de estabilidad mediante bioingeniería, que, si bien en un principio fueron útiles para la estabilización del talud, control de la erosión y para minimizar la probabilidad de afectación por deslizamientos, sin embargo, después de algunos años y por falta de mantenimiento de estas obras, su vida útil se redujo y no cumplieron a cabalidad con el objetivo para el cual se habían realizado (mitigación y control de procesos activos en la zona).

Actualmente en la zona se observan algunos restos de las obras y el avance de los movimientos en masa que no se intervinieron adecuadamente.

Tabla 3.

Contratos celebrados entre CORPOCALDAS, Aquamaná E.S.P y la Alcaldía Municipal de Villamaría mediante los cuales se contrato la realización de obras de mitigación del riesgo en el municipio de Villamaría.

No.	Tipo Contrato	Objeto	Valor Total	Valor Corpocaldas
051- 2013	Convenio Interadministrativo	Asociación entre el municipio de Villamaría. Aquamaná E.S.P y Corpocaldas para aunar esfuerzos técnicos, administrativos, financieros y de gestión para la construcción de obras de estabilidad de taludes y manejo de aguas lluvias en el municipio de Villamaría.	\$207.468.890	\$82.468.890
062- 2015	Convenio Interadministrativo	Asociación entre Aquamaná E.S.P y Corpocaldas para aunar esfuerzos técnicos, administrativos, financieros y de gestión para la construcción de obras de recuperación y restablecimiento de la infraestructura del interceptor La Florida, sector Hacienda Berlín, municipio de Villamaría.	\$54.811.653	\$29.811.653

072-2015	Convenio Interadministrativo	<p>La Asociación entre La Corporación Autónoma Regional de Caldas y el Municipio de Villamaría, para aunar esfuerzos técnicos administrativos, financieros y de gestión, para continuar el programa de mantenimiento periódico de las obras de mitigación del riesgo construidas en las laderas del Municipio de Villamaría y socialización acerca de su importancia y de los requerimientos que demanda su correcto funcionamiento.</p>	\$15.971.378	\$7.985.689
128-2015	Convenio Interadministrativo	<p>Aunar esfuerzos técnicos, administrativos y financieros entre CORPOCALDAS y el Municipio de Villamaría para la gestión integral de microcuencas hidrográficas abastecedoras de acueductos y áreas de interés ambiental en el municipio de Villamaría.</p>	\$21.532.875	\$11.532.875

Tomado de CORPOCALDAS, 2016.

Metodología

Para la realización de este trabajo se utilizaron diferentes fuentes de información, se realizó un análisis de antecedentes y trabajo de campo, todo lo anterior con el fin de generar información actualizada que permita ampliar el conocimiento desde el punto de vista técnico de la susceptibilidad frente a movimientos en masa que presenta el tramo comprendido entre la planta de tratamiento “Berlín” y el tanque abastecedor “Tejares” pertenecientes al sistema de acueducto de Villamaría. Se tiene en cuenta tanto información primaria como secundaria para realizar recomendaciones que sirvan tanto a la administración municipal como a la empresa prestadora del servicio al momento de tomar decisiones en cuanto a la gestión del riesgo de desastres asociada a la prestación de servicios públicos, específicamente en lo concerniente a la prestación del servicio de acueducto.

a. Tipo de trabajo

Cualitativo descriptivo

b. Procedimiento

Etapas 1 “Búsqueda y análisis de información”

Búsqueda de antecedentes y material bibliográfico que contenga información del área de estudio y de los fenómenos de movimiento en masa que se han presentado tanto en los predios de la empresa Aquamaná E.S.P como en el municipio de Villamaría. Búsqueda de informes técnicos que permitan determinar si en el municipio o específicamente en predios de la empresa Aquamaná E.S.P se han realizado obras de mitigación u otro tipo de intervención en la zona de estudio. Es importante resaltar que la empresa Aquamaná E.S.P compartió toda la información y documentación que tenían disponible del área de estudio,

incluyendo mapas, gráficos y planos de toda la red que hace parte del sistema de acueducto y alcantarillado.

Etapa 2 “Trabajo de campo”

Con el acompañamiento de funcionarios de Aquamaná E.S.P, se realizó un recorrido general por el área de estudio, partiendo de la Planta de Tratamiento de Agua Potable “Berlín” hasta el primer tanque abastecedor “Tejares” (localizado en el barrio Turín), con el fin de tener un panorama general del área de estudio. Esta etapa se dividió en dos fases:

Fase de reconocimiento del área

Durante el recorrido de campo se identificaron diferentes características de la zona como la geomorfología, la geología, puntos críticos o susceptibles a movimientos en masa e intervenciones realizadas en la zona previamente, con el fin de mitigar procesos erosivos; adicionalmente se realizó la toma de datos que sirvieran como insumo para determinar la existencia de procesos activos en la zona e identificar el tipo de proceso.

Fase de identificación y prediagnóstico

Se logró identificar la problemática en general que implica la presencia de procesos activos en la zona, como es la cercanía de la línea de conducción a una zona altamente inestable, es importante mencionar que la línea de conducción está construida en PVC.

En esta fase también se analizó la magnitud del proceso que en este momento se encuentra activo en la zona, en cuanto a su avance y como podría intervenir, sin embargo, este ítem será posteriormente desarrollado en las recomendaciones de este trabajo.

Etapa 3 “Análisis de información”

Revisión de la información obtenida en campo, para relacionarla a los mapas y planos proporcionados por la empresa.

Etapa 4 “Elaboración de mapas y documento final”

A partir de las observaciones realizadas en campo y de información obtenida del SGC, se realizaron los mapas de geología y geomorfología; posteriormente con el cruce de información obtenida del PBOT del municipio y de imágenes satelitales se realizó el mapa de uso del suelo; con el modelo de elevación digital de la zona y mediante el uso de herramientas del software ArcMap, se obtuvieron las curvas de nivel con una separación de cada 10 metros, a partir de dichas curvas y haciendo uso del mismo software se realizó el mapa de pendientes. Los mapas anteriormente mencionados sirvieron como insumo para la elaboración del mapa de susceptibilidad por movimientos en masa del tramo comprendido entre la planta de tratamiento de agua potable “Berlín” y el tanque abastecedor “Tejares”.

Es importante aclarar que el método usado para elaborar el mapa de susceptibilidad por movimientos en masa fue de tipo heurístico, basado en el conocimiento del área; lo anterior considerando las limitaciones de información que se tiene respecto a la caracterización de la ocurrencia de movimientos en masa ocurridos en la zona, datos de estaciones pluviométricas a partir de las cuales se puedan obtener información de precipitación en la zona además de datos específicos que se encuentran fuera del alcance del presente trabajo.

Con la información obtenida en las etapas anteriores y en la primera fase de esta etapa, se procedió a realizar el documento técnico final en el cual se incluyen los resultados de esta investigación.

Resultados y Discusión

Movimientos en masa

Un movimiento en masa es un desplazamiento (vertical o inclinado) del terreno que constituye una ladera o un talud, hacia el exterior del mismo y en sentido descendente. Las laderas o taludes pueden ser naturales, asociadas a las propiedades físicas y mecánicas de los elementos que constituyen el terreno o pueden ser de origen antrópico generadas al realizar excavaciones en el terreno, en ambos casos uno de los agentes principales es el efecto de la gravedad. Estos desplazamientos también son conocidos como deslizamientos, deslizamiento de terreno, deslizamientos de vertientes, movimientos de ladera (Escobar & Duque, 2016).

Según Suarez (s.f.) las principales partes de un talud o ladera son los siguientes elementos:

Cabeza, cresta, cima o escarpe: Cualquiera de estos términos hace referencia al sitio en la parte superior del talud o ladera donde ocurre un cambio brusco de pendiente, generalmente este sitio tiene forma convexa. En esta parte se presentan los procesos denudativos o de erosión. Cuando la pendiente de este punto hacia abajo es alta, se le denomina escarpe, en muchas ocasiones estos coinciden con coronas de deslizamientos.

Altura: Corresponde a la distancia medida de forma vertical entre la base y la cima del talud o ladera, sin embargo, esta es difícil de medir debido a que tanto la base como la cima de un talud o ladera no son accidentes topográficos bien marcados.

Altura de nivel freático: Distancia medida de forma vertical desde la base del talud o ladera hasta el nivel de agua, normalmente se mide debajo de la cima del talud o ladera.

Pendiente: Hace referencia a la inclinación de la superficie del talud o ladera, generalmente se mide en grados o en porcentaje. Comúnmente las laderas de mayores pendientes

están formadas por suelos o rocas más resistentes, mientras que las laderas de baja pendiente están formadas por materiales blandos o de baja resistencia.

Pie, pata o base: Corresponde al sitio donde ocurre un cambio brusco de la pendiente en la parte inferior del talud o la ladera. Esta parte es generalmente cóncava, y es el lugar donde ocurren generalmente los procesos de depositación.

Por otro lado, Suarez (s.f.) define las partes de un deslizamiento típico (movimiento en masa) así:

Corona: Corresponde al material que se encuentra prácticamente inalterado, contiguo a la parte superior del escarpe principal. Se sitúa por encima de la cabeza.

Cabeza: Corresponde a la parte superior de la masa de material que se mueve.

Cima: Hace referencia al punto más alto de la cabeza del movimiento, se sitúa en el contacto entre el material afectado y el escarpe principal.

Escarpe principal: Es la superficie del terreno más inclinada, se sitúa en la periferia posterior del área que se encuentra en movimiento o que fue desplazada.

Escarpe secundario: Superficie inclinada producida por la diferencia de desplazamiento dentro de la masa que se mueve. Es posible que dentro de un mismo movimiento existan varios escarpes secundarios.

Cuerpo principal del deslizamiento: Corresponde al material desplazado que se encuentra por encima de la superficie de falla.

Superficie de falla: Se ubica por debajo del movimiento y delimita el volumen del material desplazado. El material que queda por debajo de esta superficie no se mueve, mientras que el que queda por encima sí.

Pie de la superficie de falla: La línea de interceptación entre la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno.

Base: Área ubicada por debajo de la superficie de falla y cubierta por el material que fue desplazado.

Punta o uña: Punto ubicado en la base y que se encuentra más alejado de la cima.

Superficie original del terreno: Corresponde a la superficie que existía antes de que se presentara el movimiento.

Costado o flanco: Hace referencia a los lados en perfil lateral del movimiento.

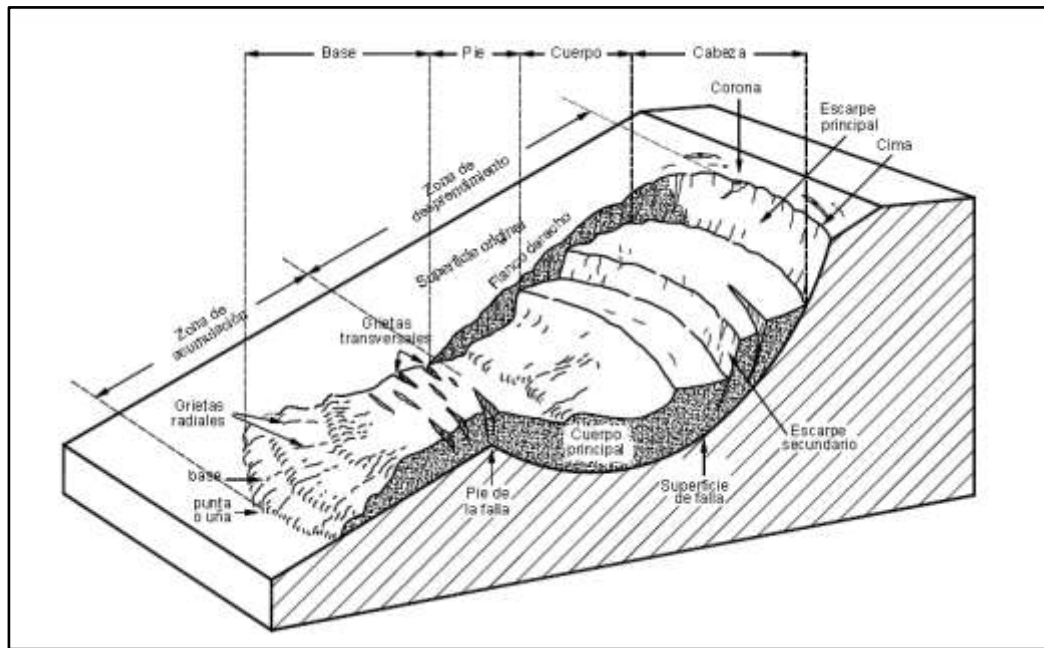


Figura 6. Partes de una ladera y de un deslizamiento, tomado de Suarez (s.f.).

Según Corominas & García (1997), los movimientos en masa pueden ser agrupados dependiendo del mecanismo de ruptura en cinco categorías principales, las cuales se describen a continuación:

Movimientos con predominio de la trayectoria vertical

Esta categoría corresponde a procesos en los cuales tanto la masa de suelo como la roca se ven involucradas. En estos procesos los factores detonantes pueden ser: vientos, precipitaciones o actividad sísmica con contribución de la gravedad; dentro de los factores que contribuyen a la ocurrencia de un movimiento en masa de este tipo los principales son el intemperismo y procesos erosivos. Dentro de esta categoría se encuentran dos tipos de movimientos en masa:

Desprendimientos o caídas: Se origina por el despegue de material de una pared inclinada, el material suelto posteriormente desciende por medio de una caída libre a través el aire, rebote o rodadura. Debido a que la rotura se da por mecanismos de desplazamiento o un pequeño vuelco, la masa despegada experimenta una velocidad inicial en el momento de caída libre. En estos casos el movimiento es de muy rápido a extremadamente rápido.

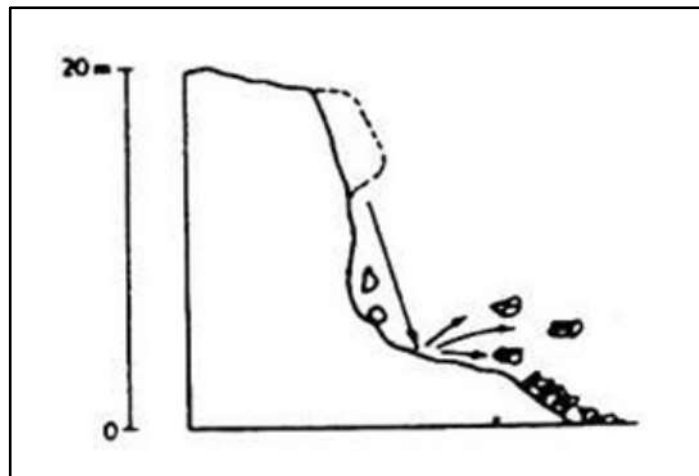


Figura 7. Movimiento en masa de tipo desprendimiento o caída. Tomado de Varnes, 1978.

Colapsos o desplomes: Se originan a causa de la socavación de un río, el oleaje, meteorización o disgregación de las rocas en la base de un talud o ladera. Consiste en la caída con una trayectoria vertical de la masa de material.

Movimientos de giro de bloques conformados por fracturación vertical

Vuelcos: Hace referencia a la rotación de una masa de material (ya sea roca o suelo) hacia el exterior de una ladera, la rotación ocurre alrededor de un eje localizado por debajo del centro de gravedad de la masa desplazada. La inestabilidad de la ladera se genera principalmente por efectos de la gravedad ejercida por el material ladera arriba de la masa desplazada, por la fuerza ejercida de los fluidos presentes en grietas o por el terreno adyacente. Los volcamientos pueden generar caídas o deslizamientos de la masa desplazada, dependiendo de la geometría de la masa que se mueve, la geometría de la superficie de separación y la orientación y extensión de las discontinuidades activas. Uno de los procesos que se generan en este tipo de movimientos son los vuelcos por flexión, que se presentan cuando en el macizo se forman columnas semicontinuas en voladizo, las cuales pueden flexionarse hacia adelante por descarga hasta generarse una ruptura por flexión.

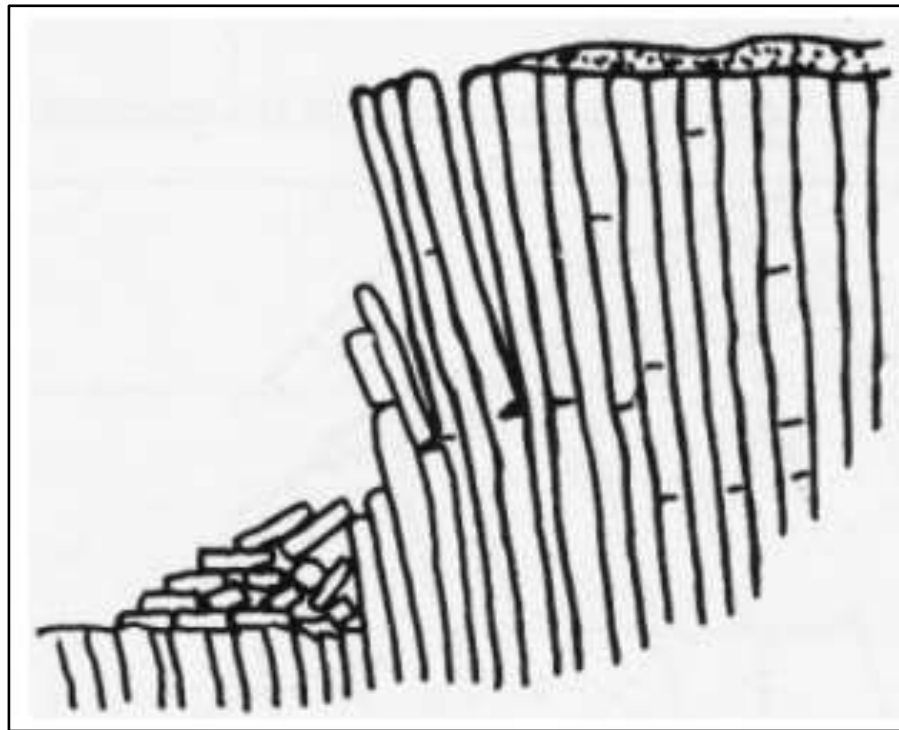


Figura 8. Vuelco por flexión. Tomado Instituto geológico minero de España - IGME, 1987.

Desplazamiento en masa

Deslizamientos: Corresponde a movimientos de masas de suelo o roca ladera abajo, sobre una superficie de ruptura, en estos procesos se preservan la forma de masa desplazada. La superficie de ruptura puede coincidir con planos estructurales o pueden ser inducidas. Dentro de este mecanismo se distinguen los deslizamientos rotacionales y los traslacionales. La causa de estos deslizamientos se debe al incremento de esfuerzos o por una disminución en la resistencia de los materiales, de tal forma que se supere el umbral de falla. Los efectos de los deslizamientos son muy variados y dependen principalmente del volumen de las masas involucradas en los movimientos, de su velocidad y, por supuesto, los efectos de la gravedad además del tipo de elementos expuestos (edificaciones o personas).

- a. Deslizamientos rotacionales: La masa de material en movimiento experimenta un giro a lo largo de una superficie de ruptura (curvilínea y cóncava) y según un eje localizado por encima del centro de gravedad de la masa desplazada. Generalmente ocurren en taludes conformados por capas gruesas homogéneas de arcillas, en materiales granulares o en macizos de roca muy fracturada, para los cuales es posible que se genere una falla rotacional; estas también pueden presentarse en taludes de roca muy meteorizada.

El material de la cabecera queda con una inclinación contra ladera, que genera depresiones (en algunas ocasiones en estos lugares se acumula el agua lo cual puede inducir a nuevos movimientos); mientras que en el pie de la ladera se presentan abombamientos del material generando una superficie convexa.

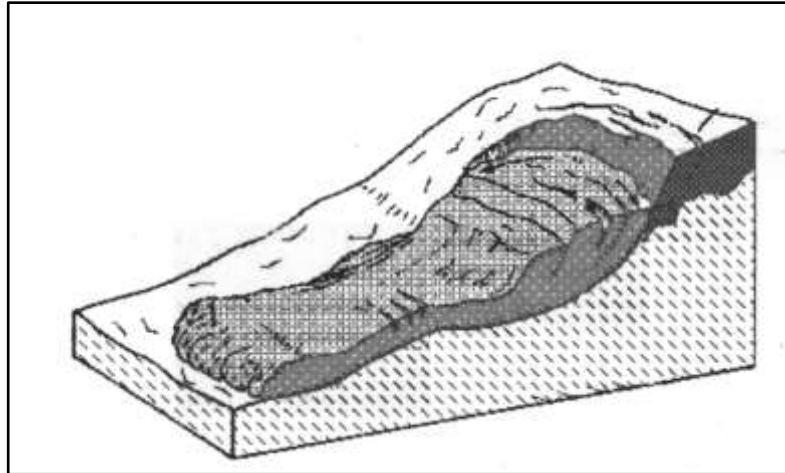


Figura 9. Esquema de un deslizamiento rotacional. Tomado de Vargas, 2000.

- b. Deslizamientos traslacionales: En este tipo de movimiento, la masa de material se desplaza a lo largo de discontinuidades planares, tales como planos de estratificación o de diaclasas, clivaje o foliación. En estos movimientos por lo general los planos de falla están dispuestos de forma paralela a la ladera. Inicialmente los componentes de la masa que se está desplazando se mueven a la misma velocidad y siguen trayectorias planas, sin embargo y en caso de que la velocidad de desplazamiento aumente es posible que la masa se fragmente, derivando así en un flujo. Para este tipo de deslizamientos se pueden generar de dos formas, sean como deslizamientos planos que corresponden a procesos en los cuales los bloques en movimiento se deslizan sobre una superficie plana, o como deslizamientos en cuña donde la superficie de ruptura está formada por dos planos y los bloques se desplazan según la línea de intersección de estos. A diferencia de los deslizamientos rotacionales, este tipo de deslizamientos son más superficiales.

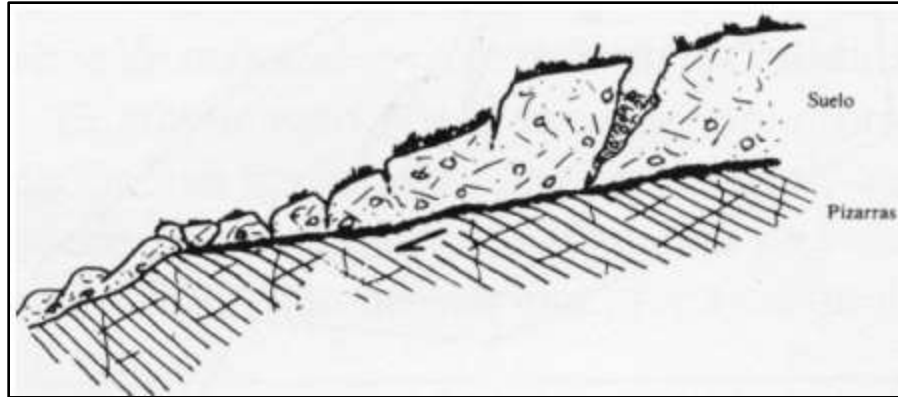


Figura 10. Deslizamiento traslacional. Tomado de: Instituto geológico minero de España-IGME, 1987.

Reptación: Es un movimiento superficial, lento y continuo, alcanzando solamente unos pocos centímetros por año, son viscosos y generalmente están asociados a una deformación continua de un terreno poco consolidado. En estos procesos no existe falla o ruptura a lo largo de la superficie de corte, sin embargo, en el terreno se presentan diferentes geoformas o características que permiten su identificación (rugosidad del suelo, morfología suavemente ondulada con algunos abombamientos). Es poco común en rocas, presentándose principalmente en depósitos y suelos residuales. Este tipo de proceso está asociados a zonas de deforestación o cambio en el uso del suelo. Frecuentemente se presenta en forma de terracetas generadas por las pisadas del ganado, lo cual causa inestabilidad del terreno y favorece la ocurrencia de otros procesos erosivos y/o de remoción en masa.

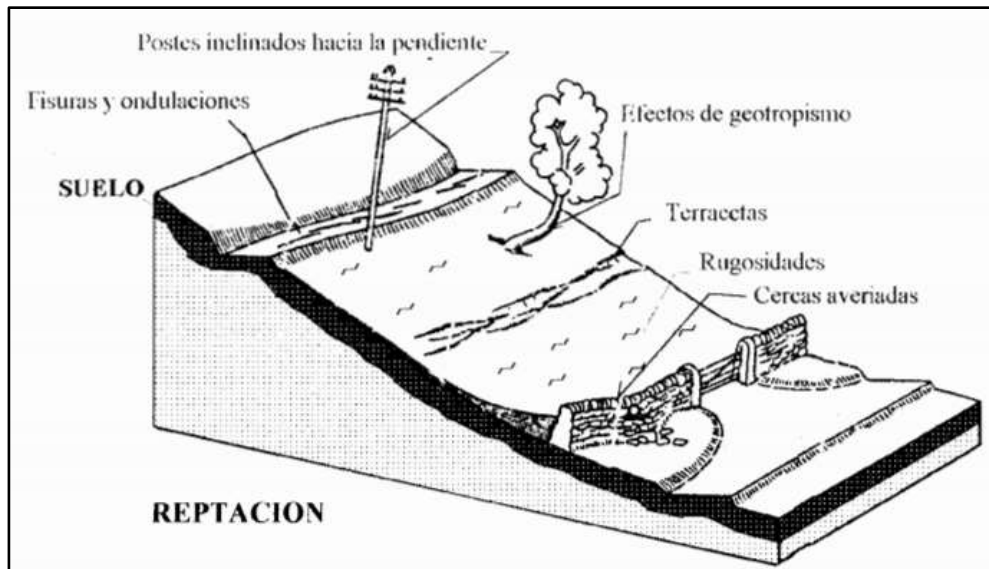


Figura 11. Esquema de un proceso de reptación. Tomado de Vargas, 2000.

Subsidencia: corresponde a desplazamientos verticales del terreno, asociado a remoción o consolidación de material subyacente. Estos procesos son lentos y progresivos. Son causados por una ablación profunda por el efecto de las estructuras tectónicas, disolución química de las rocas, diagénesis de sedimento o por causas antrópicas como la extracción de recursos minerales del subsuelo. El hundimiento se manifiesta como una depresión topográfica en la superficie del terreno.

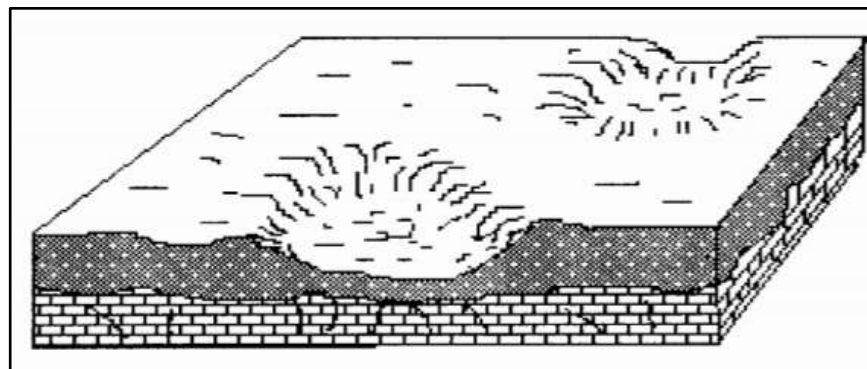


Figura 12. Esquema de una subsidencia. Tomado de Vargas, 2000.

Otro tipo de movimientos especiales corresponde a los transportes en masa, estos generalmente son continuos y las cizallas tienen una vida corta, se encuentran muy próximas y generalmente no se conservan. Las clases identificadas de este tipo de movimientos son:

Flujos

Son movimientos de fluidos viscosos sobre capas relativamente rígidas o por lo menos con una diferencia notable de la mezcla que se mueve. Los flujos generalmente involucran una mezcla de agua y materiales sueltos, los cuales se desplazan lenta o rápidamente a lo largo de canales o depresiones (naturales o artificiales). Los materiales involucrados en estos procesos pueden avanzar desde algunos metros hasta cientos de metros. Los flujos pueden ser de diferentes tipos:

Flujos de detritos: estos afectan fragmentos de roca de diferente tamaño inmersos en matriz fina. La velocidad de los flujos de detritos está relacionada con la pendiente del terreno generalmente se movilizan en forma rápida a muy rápida; la trayectoria del flujo está definida por los drenajes que drenan las laderas. Estos flujos generalmente son causados por lluvias fuertes.

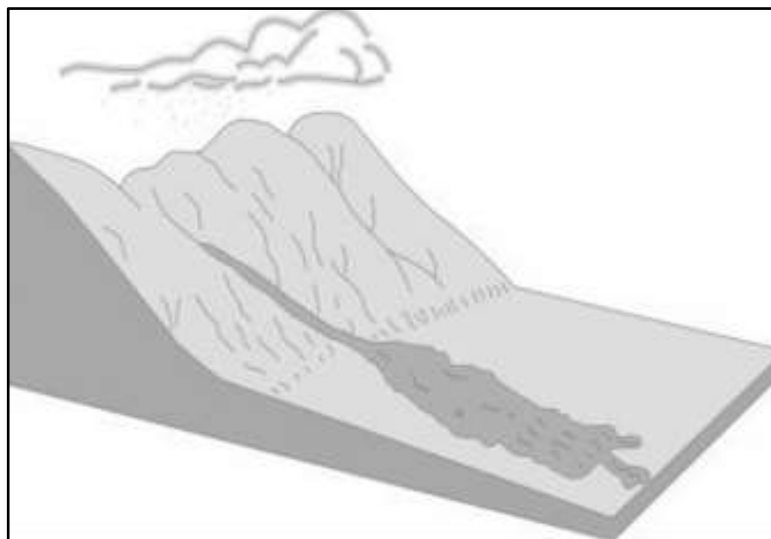


Figura 13. Esquema de un flujo de detritos. Tomado de Sosa, 2016.

Avalanchas de detritos: Este proceso desplaza un gran volumen ya sea de material relativamente suelto o de fragmentos de roca erosionados. En laderas de fuertes pendientes siguen trayectorias largas. Generalmente el movimiento inicial corresponde a un deslizamiento generado en la parte más alta de la ladera y con mayor pendiente de la ladera, causado por las fuertes lluvias; luego evoluciona a un flujo que se mueve muy rápidamente, sin seguir un canal preestablecido. Sharpe (1938) define las avalanchas de detritos como deslizamientos poco profundos, morfológicamente similares a avalanchas de nieve.

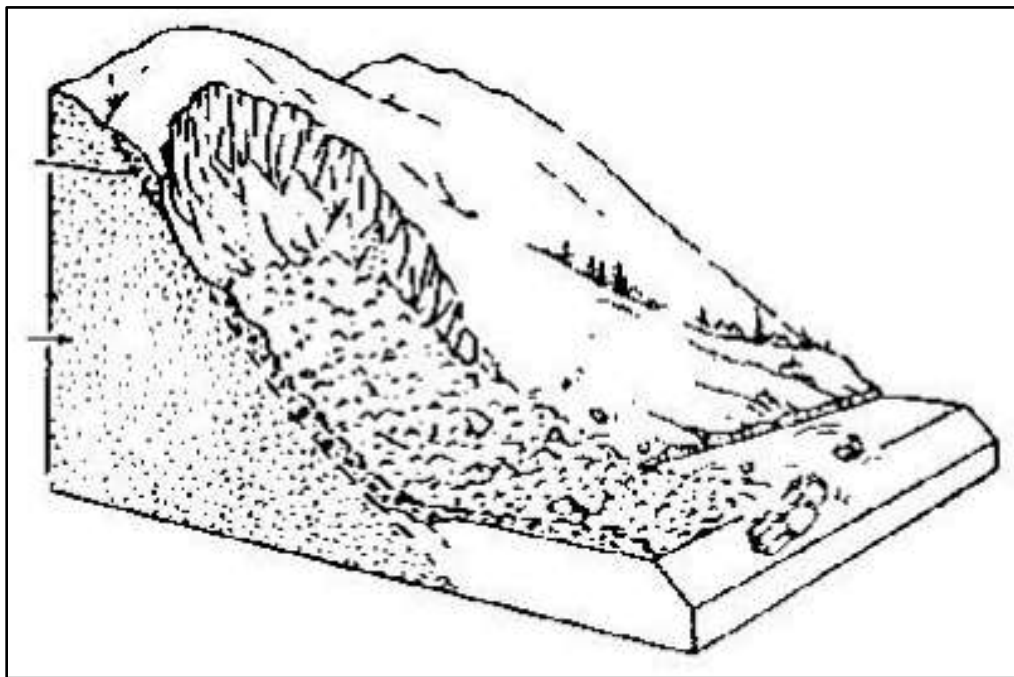


Figura 14. Avalancha de detritos. Tomado de Cruden & Varnes 1996

Tipo	Mecanismo	Material desplazado	Subtipo
Caidas,	Desprendimiento de material que se desplaza por el aire, brinca o rueda	Rocas, Suelos	Caída de rocas y suelos Rodamiento de bloques Torrentes de bloques
Volcamientos	Masas que rotan en un punto sin desprenderse.	Rocas, detritos	Único o múltiple de conjunto de bloques de roca. De bloques individuales liberados por tensión. De detritos.
Deslizamientos	La masa se desplaza sobre una superficie de falla por cortante sin desintegrarse apreciablemente	Rocas, Suelos	Rotacional (hundimiento) Rotacional retrogresivo múltiple Traslacional planar Traslacional en cuña Compuesto
Flujos, avalanchas y deslizamientos por flujo	La masa se mueve grandes distancias la mayor parte del trayecto en forma viscosa	Rocas, detritos, tierras, Lodos, turba	Flujos de detritos (lahares y avenidas torrenciales) Flujos de tierras, Flujos de lodo, Avalanchas de detritos, Deslizamiento por flujos de material granular-licuación (<i>Flow slide</i>) Deslizamiento por flujo de arcilla sensitiva (<i>Clay-flow slide</i>)
<i>Creep</i> (Reptación)	La masa se deforma muy lentamente sin fallar.	Rocas, suelos, talus	<i>Creep</i> superficial <i>Creep</i> profundo Soliflucción y Geliflucción (flujo)

Figura 15. Principales movimientos en masa y sus características. Tomado de: SGC, 2017.

Factores y causas de los movimientos en masa

La estabilidad de los taludes y laderas está dada por un conjunto de variables topográficas, geológicas, ambientales y antrópicas que determinan la posibilidad de los materiales a movilizarse. La mayoría de los procesos de inestabilidad se presentan tan pronto como las fuerzas desestabilizantes superan la resistencia de los materiales a desplazarse o ser arrastrados por corrientes, sin embargo, la causa real de los movimientos en masa, están determinadas por las características inherentes del terreno, sin embargo, también existen los

factores contribuyentes que son los que intervienen de manera progresiva en la ocurrencia de un movimiento en masa, como son el aumento de la saturación del suelo, las sobrecargas o la eliminación del soporte de la ladera, estos factores favorecen la inestabilidad del terreno; algunas de estas causas contribuyentes son de tipo natural, es decir, que corresponden a fenómenos que en si no pueden ser intervenidos pero sus efectos mediante acciones prospectivas o correctivas pueden mitigarse, mientras que otras son de tipo antrópico, las cuales se pueden controlar y/o evitar.

Las características inherentes del terreno, corresponden al material, la condición y la estructura. El material hace referencia a la litología (roca, depósitos y suelo) de la zona y del origen de estos materiales. La condición se refiere al estado físico del material, como grado de meteorización, grado de fracturamiento, humedad; mientras que la estructura hace referencia a los planos o discontinuidades estructurales que tienen influencia ya sea regional o local asociados a la inestabilidad, en esta categoría se incluyen fallas geológicas y/o lineamientos estructurales. La presencia de agua también representa un factor importante en la estabilidad de las laderas y hace referencia a el patrón de flujo y distribución. La suma de los factores anteriormente mencionados puede generar la inestabilidad de un terreno.

Respecto a los factores externos o contribuyentes, se generan debido a los cambios en el entorno, los cuales pueden ser de origen natural o antrópico. Entre los factores de origen natural se puede mencionar el flujo de agua en el subsuelo, la acción del clima, la degradación química o mecánica de los materiales del terreno, aumento de la meteorización de las rocas o suelos, socavación por corrientes. Los factores antrópicos corresponden a actividades como la deforestación, practicas inadecuadas de uso y manejo del suelo, sobrepastoreo y practicas

constructivas inadecuadas. Los factores contribuyentes reducen gradualmente la estabilidad del terreno, sin superar el umbral de deformación o de falla.

En cuanto a los factores detonantes, estos corresponden a estímulos externos capaz de provocar una respuesta casi inmediata en la evolución de un deslizamiento ya sea por un incremento de los esfuerzos o por una reducción drástica en la resistencia de los materiales, algunos ejemplos de factores que actúan como detonantes son lluvias extremas, la ocurrencia de un evento sísmico o de una erupción.

En algunos casos, los movimientos en masa son generados por la combinación de varios factores, en este punto es importante tener en cuenta que la intervención de un factor detonante es muy corta en términos de tiempo. Aunque en la práctica es complicado identificar los factores contribuyentes de los factores detonantes, es posible establecer ciertas diferencias entre estos si se realiza un seguimiento cuidadoso de la zona o sitio inestable, ya sea mediante fotointerpretación, visitas continuas de campo o mediante algún tipo de monitoreo constante.

Geología

Para el análisis y zonificación tanto de la amenaza como de la vulnerabilidad es necesario partir del conocimiento de las características geológicas de la zona, puesto que dichas características (sumadas a otros factores naturales y/o antrópicos) pueden determinar la ocurrencia de un movimiento en masa en un zona o región.

La susceptibilidad de una superficie está condicionada por el componente geológico de la zona, cuya distribución está limitada por las unidades estratigráficas aflorantes. Los mapas de unidades geológicas constituyen un insumo básico para cualquier análisis y zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa. La geología generalmente define las características o propiedades del suelo o roca. La formación geológica determina la presencia de

materiales duros o de baja resistencia con características homogéneas lo cual sumados a las discontinuidades de la zona puede facilitar la ocurrencia de movimientos a lo largo de ciertos planos de debilidad.

La variable geología en la zona fue evaluado por el SGC (2014), en el marco del proyecto denominado zonificación de la susceptibilidad y la amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000 Plancha 206 – Manizales, determinando que en la zona de estudio se encuentran las siguientes unidades estratigráficas:

Complejo Quebradagrande (Ksc – Kvc)

Propuesto por Maya & González (1995). Este complejo forma una franja alargada de dirección general NS limitada al este por la Falla San Jerónimo y al oeste por la Falla Silvia-Pijao. Los fósiles encontrados en esta unidad indican una edad Cretácica Temprana. Según Moreno & Pardo (2003) las rocas de este complejo formaron parte del Protocaribe.

Este complejo se caracteriza por intercalaciones de rocas volcánicas y sedimentarias, con amplias variaciones litológicas tanto en la secuencia sedimentaria como en la relación entre flujos volcánicos y capas piroclásticas. Las litologías predominantes en el Complejo Quebradagrande se han agrupado informalmente como miembros volcánico y sedimentario. Las rocas pertenecientes al Complejo Quebradagrande, en la zona se caracterizan por contener areniscas, shales negros, areniscas feldespáticas, lentes de chert y calizas, afectadas por metamorfismo dinámico y conservando rasgos sedimentarios originales.

En el área de estudios afloran los dos miembros anteriormente mencionados, por tal razón se realizará una breve descripción de cada uno de ellos.

Miembro Volcánico (Kvc): Unidad litológica constituida por espilitas, basaltos y diabasas de características toleíticas, con algunas brechas de flujo y tobas en franjas alargadas en

dirección norte – sur y estrecha en sentido este - oeste, en contacto tectónico con el Miembro Sedimentario a lo largo del Sistema de Fallas Romeral. Asociadas a las espilitas, se encuentran diabasas y basaltos que conservan las características texturales y de composición de la roca original. La edad asignada con base en los fósiles encontrados en los sedimentos intercalados, corresponde al Cretácico Inferior, Aptiano - Albiano, (González, 1980) y radiométricamente se han obtenido edades desde el Cretácico temprano hasta el Cretácico tardío (Restrepo et al., 1982; Maya, 1992). Las primeras corresponderían a la edad del magmatismo mientras que las últimas corresponderían al evento metamórfico de muy bajo grado.

Miembro Sedimentario (Ksc): El Miembro Sedimentario del Complejo Quebradagrande corresponde a sedimentitas que se encuentran intercaladas concordantemente con las rocas volcánicas, lo cual permite en parte definir la edad de éstas, aunque en muchas áreas los contactos son tectónicos debido, probablemente, a la diferencia en el comportamiento mecánico entre ambos tipos de roca, donde el contacto actúa como una zona de debilidad a lo largo de la cual se transmiten esfuerzos, afectando más intensamente las sedimentitas por su menor competencia. Las sedimentitas predominantes corresponden a lutitas carbonosas y en menor proporción a grauvacas, arenitas feldespáticas, limolitas, liditas y, localmente, capas de caliza. Son comunes venas de cuarzo lechoso paralelas, en conjunto, a los planos de estratificación o a planos de cizalladura. Las arenitas son de grano fino a medio, con clastos bien seleccionados de líticos volcánicos y de cristales de plagioclasa, con escaso cuarzo y, en términos generales, presentan características de turbiditas. Algunas secuencias sedimentarias intercaladas concordantemente con las rocas volcánicas básicas contienen restos de fósiles con deficiente grado de conservación que indican edades del Cretácico Inferior (Grosse, 1926) al Cretácico Superior (Hall et al., 1972).

Rocas Piroclásticas (Qto)

Depósitos piroclásticos de caída, producto de la actividad cuaternaria de los volcanes del Complejo Ruiz-Tolima, cubren gran parte de la región central de las planchas, aladaña al eje de la Cordillera Central, oscureciendo las relaciones entre unidades litológicas más antiguas y suavizando la morfología del terreno. Las capas piroclásticas están compuestas por cenizas, lapilli pumítico y, ocasionalmente, bombas volcánicas. La edad considerada para estos depósitos corresponde al intervalo Pleistoceno tardío - Holoceno y corresponden a vestigios de la actividad volcánica cuaternaria que se extiende hasta hoy en el Complejo Volcánico Ruiz – Tolima y se manifiesta adicionalmente, en las fuentes termales que rodean a los volcanes anteriores (Instituto Colombiano de Geología y Minería – Ingeominas, 2001).

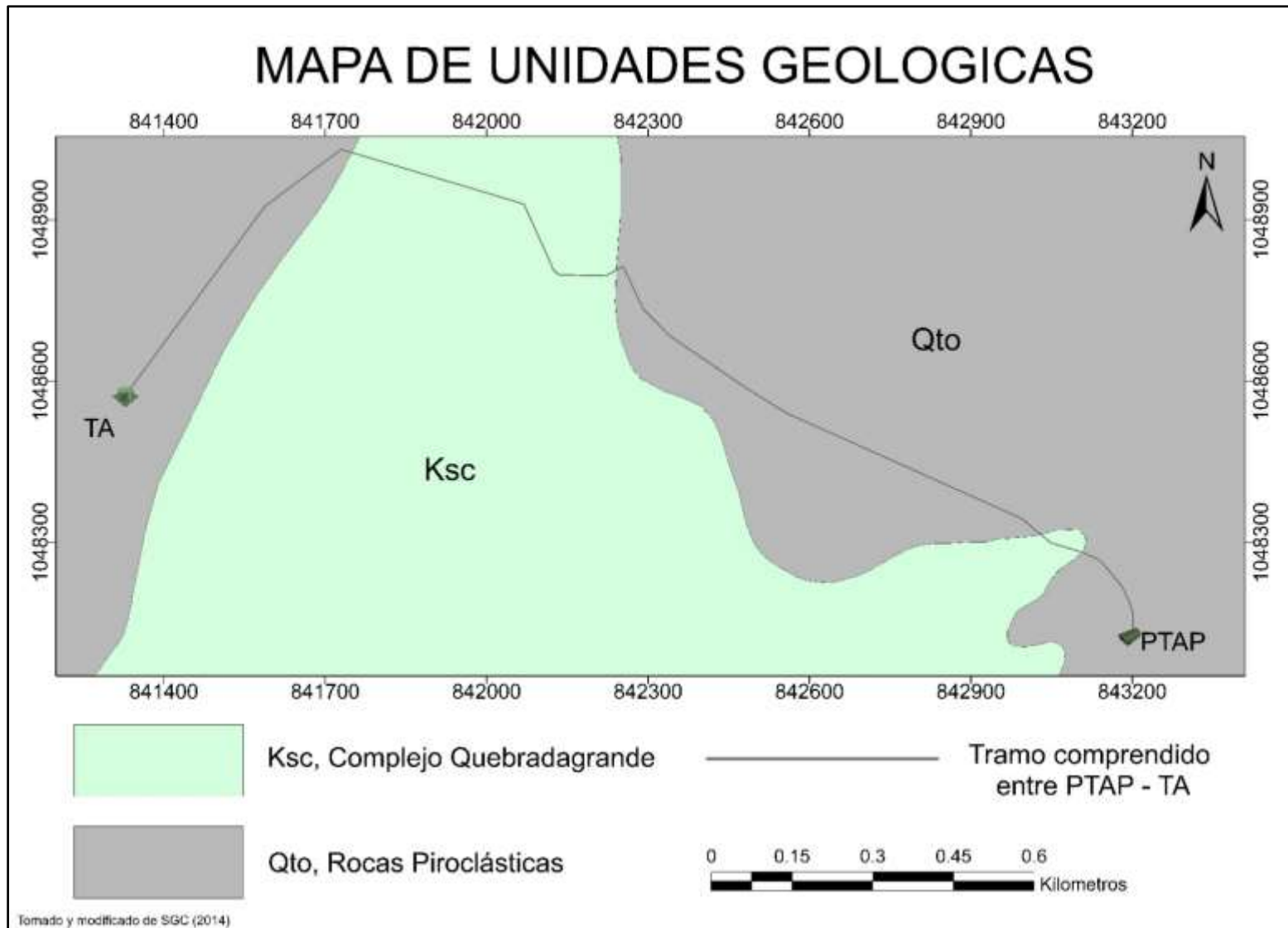


Figura 16. Mapa de unidades geológicas del tramo comprendido entre la PTAP y el tanque abastecedor "Tejares". Tomado y modificado de: SGC, 2014.

Geología estructural

La caracterización estructural regional y local, comprende la recopilación de datos que incidan en el comportamiento mecánico de los materiales, además de rasgos estructurales relacionados con diaclasas, fallas, densidad de fracturas, planos de esquistosidad y/o preferenciales y la posición de las unidades litológicas; las características anteriores pueden ser determinantes frente a la ocurrencia de un movimiento en masa puesto que la estabilidad de las unidades de roca y de los depósitos se puede ver afectada por el cambio de alguna de dichas características.

El rasgo estructural mayor y mejor definido en el área son los sistemas de fallas de distinta naturaleza y edad que afectan las diversas unidades litológicas, desde el Paleozoico hasta el Reciente.

La Cordillera Central se caracteriza por ser una cadena que ha sufrido intensos plegamientos, fallamientos, levantamientos e intrusiones batolíticas de gran magnitud; está enmarcada dentro de dos sistemas de fallas aproximadamente perpendiculares entre sí; el primer sistema está representado por las fallas de Cauca y Romeral al oeste y la de Palestina al este con direcciones variables entre NNE-SSW y NE-SW que coinciden con las direcciones generales de los sistemas tectónicos de la cadena Andina (Page, 1986). El segundo sistema tiene dirección aproximada NW-SE a E-W y está constituido por la Falla Salento y algunos lineamientos en la zona volcánica Ruiz - Tolima.

El sistema de fallas Romeral en Colombia, se extiende por más de 1.200 km en dirección Norte-Sur y la deformación se manifiesta a lo largo de toda la traza del sistema; constituye una zona de debilidad cretácica reactivada en el Cenozoico (Page, 1986). Está compuesto por numerosas fallas paralelas a subparalelas de dirección N-S predominante, anastomosadas al occidente del municipio de Manizales y entre Neira, Aránzazu y Filadelfia. Las fallas individuales tienen diferentes nombres: Aránzazu, La Mercedes, Neira, Salamina y

sus longitudes varían entre unos pocos kilómetros y más de 50 km, prolongándose algunas de ellas, tanto al sur como al norte de la región. El sistema de fallas de Romeral, está limitado por la falla de rumbo San Jerónimo al oriente, que pone en contacto a las rocas metamórficas continentales Paleozoicas del Complejo de Cajamarca al oriente, con rocas de afinidad oceánica y edad Cretácica del Complejo Quebradagrande al occidente.

La falla principal del sistema, denominada Romeral por Grosse (1926), ha sido nombrada Silvia-Pijao para no utilizar el mismo nombre para el sistema y una de sus fallas.

Naranjo & Ríos (1989) consideran que las características generales de la zona de falla del sistema Romeral en los alrededores de Manizales indican que en ella se manifiestan dos estilos estructurales: bloques y cabalgamientos compresionales que corresponden a estructuras con basamento involucrado; y pliegues de cabalgamiento que corresponden a estructuras sin basamento y que afectan fundamentalmente litologías cenozoicas. El fallamiento compresivo de bloques crea relieve, el cual produce pendientes inestables sobre los materiales incompetentes involucrados. En esta zona gran parte de los deslizamientos están localizados en los lados de los escarpes de fallas.

Según el mapa de geológico de Colombia elaborado por SGC (2015), en el municipio de Villamaría se presentan las siguientes fallas:

Falla Aránzazu

Cartografiada en Naranjo & Ríos (1989) como la falla Manizales y caracterizada como una estructura dispuesta en sentido N-S que atravesando las poblaciones de Manizales y Villamaría continúa hacia el sur del área por más de 10 kilómetros; afecta o corta los depósitos de la Formación Manizales. El trazo es muy tenue debido al enmascaramiento que ocasionan los depósitos volcánoclasticos presentes y al desarrollo urbanístico, los rasgos morfoestructurales asociados a esta traza son: silletas, facetas triangulares, hombreras, cambios altimétricos de ladera, colinas deflactadas sugiriendo desplazamiento dextral

cambios altimétricos de cuchilla y control rectilíneo de cauces (Betancourth et.al., 1.998). Franco & Prieto (1992), definen esta falla como de tipo normal de acuerdo a evidencias microestructurales.

Falla San Jerónimo

Es una falla con dirección general NNE-SSW, inversa y con desplazamiento lateral izquierdo, que pone en contacto las rocas metamórficas continentales Paleozoicas del Complejo Cajamarca al este, con rocas de afinidad oceánica y edad Cretácica del Complejo Quebradagrande al occidente. Cuellar et al., (2003) establecieron en cercanías de Manizales dos estadios generales de deformación para la Falla San Jerónimo; el primero caracterizado por movimientos subhorizontales dextrales y el segundo caracterizado por movimientos subverticales inversos, compatibles con un modelo tectónico de transpresión dextral. Las características morfoestructónicas asociadas a esta falla son: deflexiones de cauces de orden menor, facetas triangulares, silletas, hombreras y principalmente cambios altimétricos. (Betancourth et.al., 1998).

Falla Santa Rosa

Definida por Guzmán et al., (1998) como una falla inversa dextral por su paralelismo con la Falla Ibagué, sin embargo, Bohórquez et al. (2005) reportó la cinemática de esta falla como lateral izquierda con componente normal. La Falla Santa Rosa, ha influido en la evolución de los valles de los ríos San Eugenio, Campoalegre, Molinos y controla el cauce del río Gualí con una dirección aproximada de N60°-70°E y define el límite entre domos volcánicos y cuellos volcánicos inactivos presentando una cinemática inversa con componente lateral derecha (Cárdenas, 2004).

Falla Silvia Pijao

La falla Silvia Pijao pertenece al sistema de fallas de Romeral y pone en contacto rocas de los complejos Quebradagrande (al este) y Arquía (al oeste). La falla Silvia-Pijao

tiene una orientación preferencial N25E, esta falla posiblemente tiene una importante componente vertical de carácter inverso con un plano de falla que buza hacia el noroccidente (Arévalo & Mojica 2001), dentro del sistema de fallas la mencionada anteriormente es la que presenta una mejor expresión morfológica con una serie de quiebres que se alinean con las quebradas y valles angostos. El “Stock” de Chinchiná-Santa Rosa es una unidad de metagabros, la cual se dispone en forma de una franja alargada con dirección N-S, al oeste de la Falla Silvia-Pijao. Esta unidad presenta una serie de superficies de fricción generadas por fallamiento, las cuales fueron analizadas en la Cantera La Virgen, ubicada en la zona de la quiebra de Vélez, al oeste de la Ciudad de Manizales.

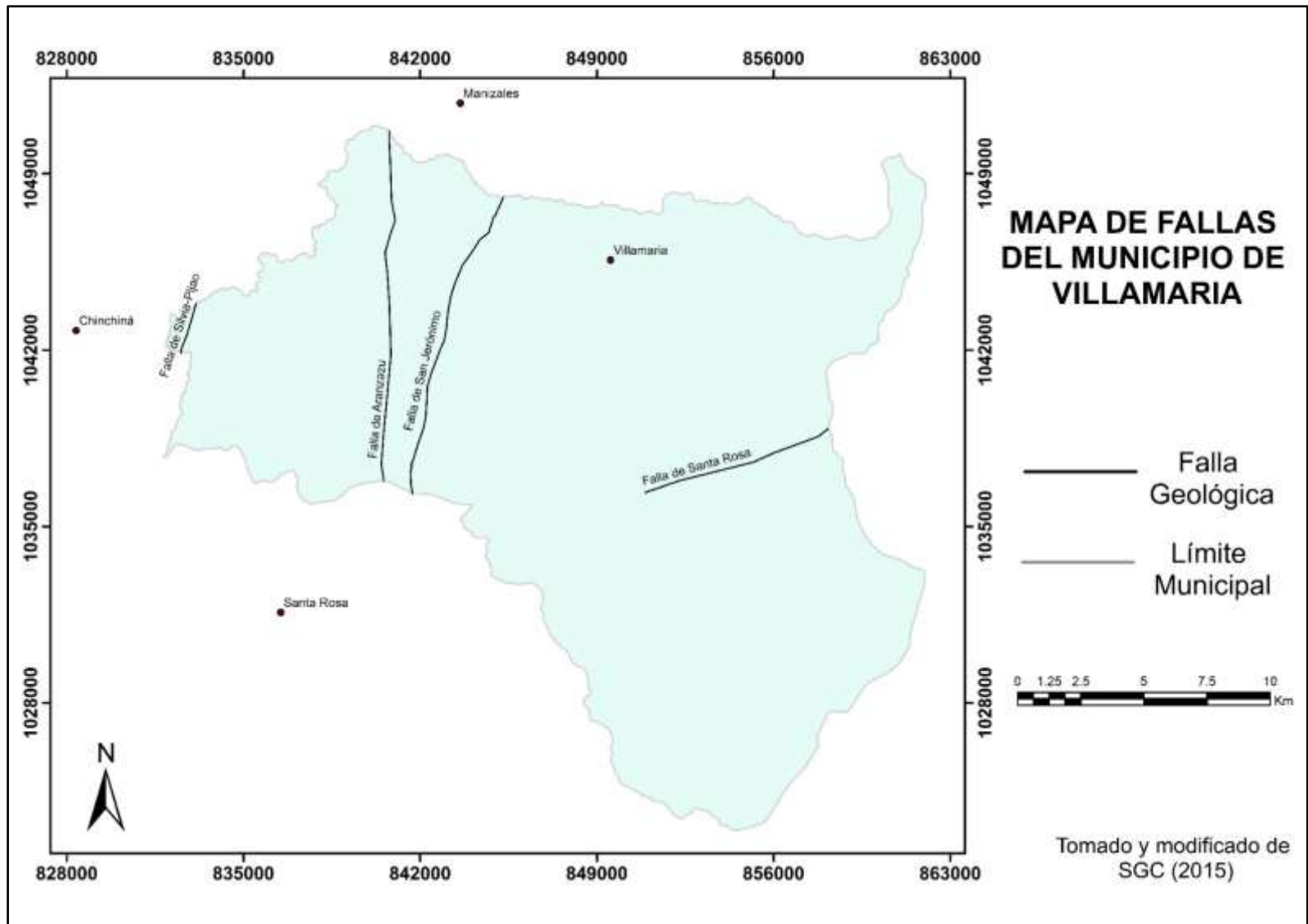


Figura 17. Mapa de fallas del municipio de Villamaría. Tomado y modificado de SGC, 2015.

Geomorfología

La geomorfología de una zona o área de estudios representa uno de los factores condicionantes de mayor importancia en la ocurrencia de un movimiento en masa, puesto que define aspectos relacionados con los procesos de evolución, la litología y la génesis; mediante la geomorfología es posible conocer las condiciones que caracterizan la forma de una superficie, lo cual ayuda a entender la relación del terreno con la ocurrencia de procesos de movimientos en masa. La meteorización de las rocas, los procesos erosivos, la configuración estructural de la zona y los mismos movimientos en masa generan modificaciones de los relieves iniciales, generando unidades geomorfológicas posibles de diferenciar.

La pendiente, altura y extensión de las laderas, la topografía de la zona y el cambio fuerte de pendiente son rasgos geomorfológicos que condicionan la ocurrencia de un movimiento en masa, ya que estas características inciden en la energía, velocidad y volumen de los movimientos que puedan originarse. La modificación de alguno de los rasgos anteriormente mencionados incide en la evolución de una ladera estable a inestable, lo que posteriormente puede generar un movimiento en masa.

Para que se genere un movimiento en masa debe existir material susceptible a ser movilizado, razón por la cual es importante identificar la presencia de depósitos generados por antiguos deslizamientos o depósitos coluviales.

La descripción de las características geomorfológicas de la zona de estudio fue tomada de la memoria explicativa de zonificación de la susceptibilidad y la amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000 Plancha 206 – Manizales generado por el SGC (2014) encontrando que en el área de estudio se localizan las siguientes unidades geomorfológicas:

Sierras y lomos de presión (Sslp)

Prominencia topográfica alomada a elongada, localmente curva, asociada a zonas compresivas. Su origen es relacionado al truncamiento y desplazamiento vertical o lateral por procesos de fallamiento intenso. Está incluida en el ambiente estructural, son geoformas que se originan por procesos relacionados con la dinámica interna de la tierra, asociados principalmente al plegamiento y el fallamiento de las rocas, cuya expresión morfológica es definida por la tendencia y la variación en la resistencia de las unidades.

Manto de piroclastos (Vmp):

Corresponde a una unidad geomorfológica originada por procesos de relacionados con la actividad volcánica producto de la dinámica interna de la tierra, asociados principalmente a erupciones explosivas y/o efusivas, acumulación de productos y remoción de estos. Esta unidad corresponde a planos amplios de pendientes inclinadas, localmente aterrizados, de morfología suavemente ondulada debida al suavizado del relieve preexistente por la cobertura de material piroclástico. Su génesis se asocia al depósito de piroclastos de caída o al emplazamiento de corrientes de densidad piroclástica en zonas amplias y no encañonadas.

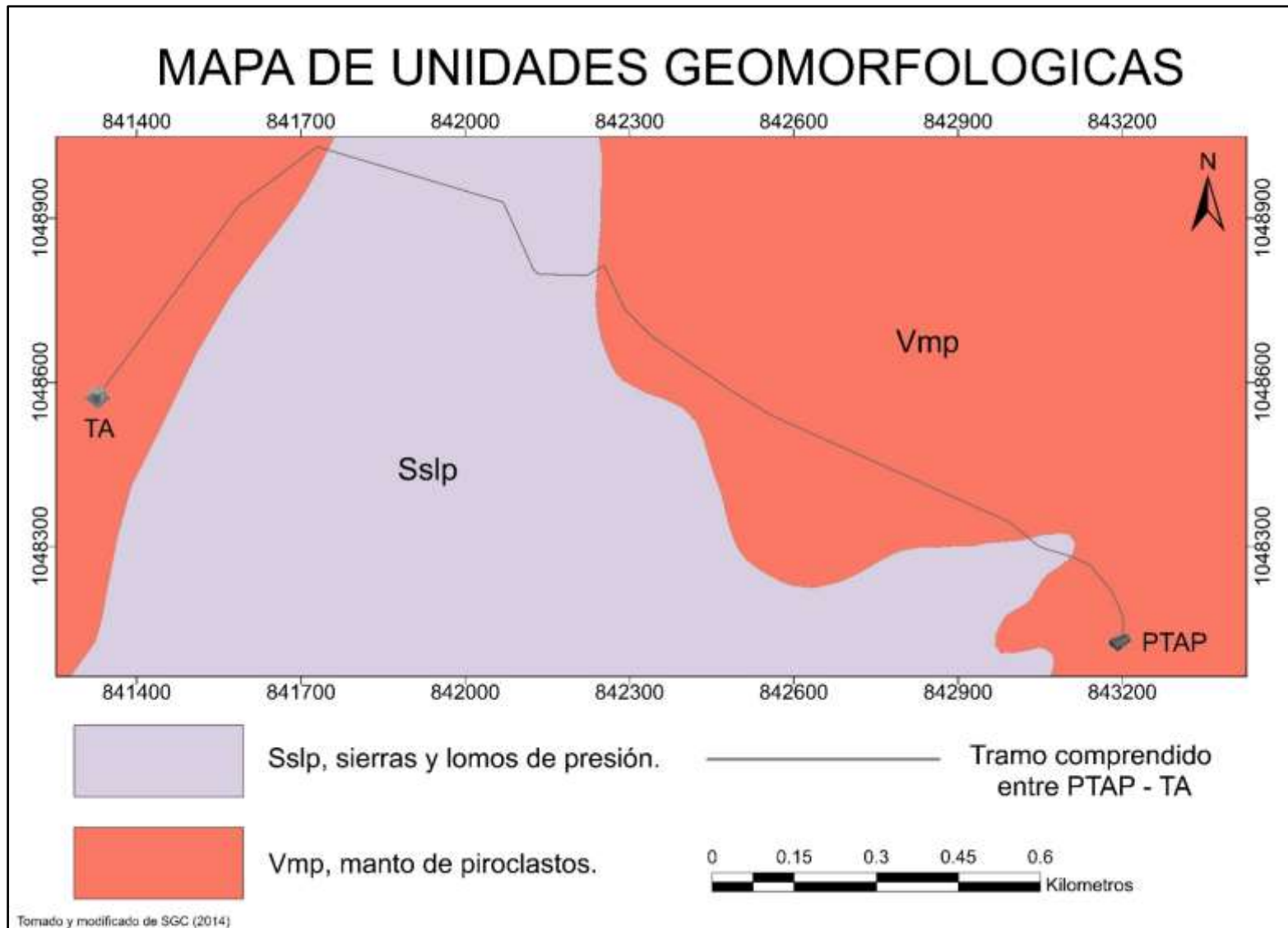


Figura 18. Mapa de unidades geomorfológicas del tramo comprendido entre la PTAP y el tanque abastecedor "Tejares". Tomado y modificado de: SGC, 2014.

Precipitación

Uno de los principales agentes de erosión y transporte de material es el agua. El despegue de las partículas de suelo debido al impacto de la lluvia es un factor que se debe evaluar, antes de analizar un proceso de erosión. En terrenos horizontales las partículas se dispersan de forma más o menos uniforme, sin embargo, en terrenos con pendientes las partículas serán transportadas hacia las partes más bajas de la ladera. Las precipitaciones intensas aumentan la escorrentía superficial, lo cual a su vez aumenta la erosión del material de la ladera y asociado a esto se genera socavación y/o inestabilidad de la ladera.

La lluvia algunas veces actúa como un factor agravante para la inestabilidad de un terreno, esto ocurre cuando una parte del agua que cae se acumula en el suelo ocasionando que este llegue a un punto de saturación, sin que este supere sus condiciones de equilibrio. Las precipitaciones o lluvias intensas representan un factor detonante de un movimiento en masa, puesto que cuando se presentan sobre una ladera en estado cercano a la saturación y/o en condiciones críticas de equilibrio favorece la ocurrencia de deslizamientos. Sin embargo, las precipitaciones no actuarían por sí solas en la generación de un movimiento en masa, para que estos ocurran también deben existir condiciones de inestabilidad preexistentes, acompañadas de altas pendientes y saturación del suelo.

Mergili et al., (2015) afirma que a pesar de que el agua actúa como un agente detonante para la generación de un movimiento en masa, el efecto de la gravedad es el factor que facilita la ocurrencia de dichos eventos, de forma tal que las zonas con altas pendientes son más susceptibles a que se genere un movimiento en masa.

De acuerdo con Vega & Hidalgo (2016), Colombia se encuentra localizada en los trópicos húmedos, haciendo que el país se vea influenciado por la zona de convergencia intertropical generando abundantes precipitaciones que se distribuyen de manera bimodal,

creando periodos de lluvias entre los meses de marzo a mayo y entre los meses de septiembre hasta noviembre.

Para el municipio de Villamaría la temporada más lluviosa comprende entre finales de marzo y mediados de diciembre, con una probabilidad que más del 70% de que cierto día sea un día mojado, entendido el concepto de día mojado como un día con por lo menos un milímetro de precipitación. Las precipitaciones más altas se registran durante los 31 centrados alrededor del 28 de octubre con una acumulación total promedio de 250 milímetros. La temporada seca o con menos precipitación se presenta entre mediados de diciembre y finales de marzo, temporada en la cual la probabilidad mínima de un día mojado es del 55%. La fecha aproximada con la menor cantidad de lluvia es el 18 de enero, con una acumulación total promedio de 127 milímetros.

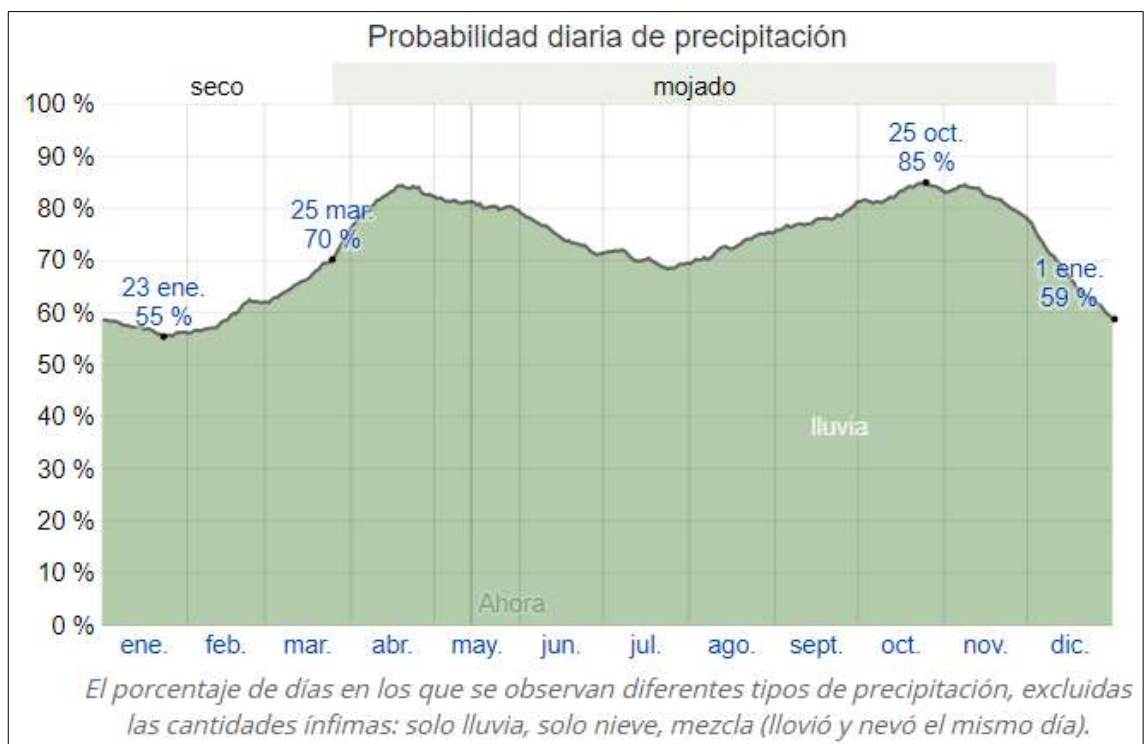


Figura 19. Probabilidad diaria de precipitación para el municipio de Villamaría. Tomado de: Weathers park.

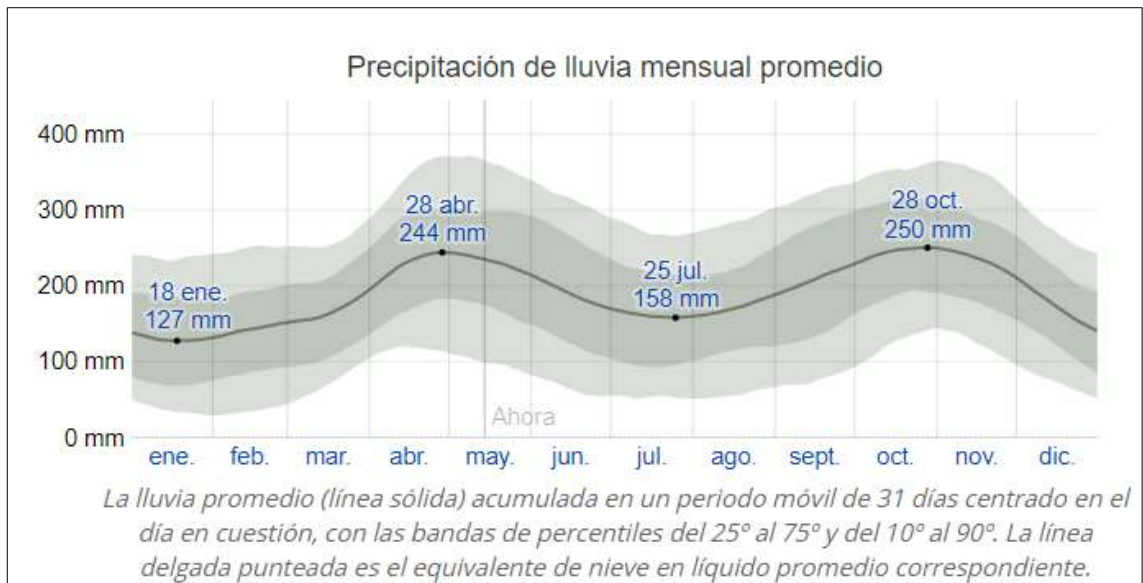


Figura 20. Promedio de precipitación de lluvia mensual para el municipio de Villamaría. Tomado de:

Weathers park

Uso del suelo

En la generación de un movimiento en masa tanto el uso del suelo como la cobertura vegetal inciden de forma negativa o positiva, puesto que la estabilidad del terreno se ve afectada por los cambios en el uso y cobertura del suelo. Según Chapman & Murphy (2000), algunos de los factores mecánicos que genera la presencia de vegetación en el suelo son enraizamiento, control de erosión, resistencia del sistema suelo edáfico-raíces y protección del suelo. La deforestación por cambios en el uso (pastos y cultivos) genera una inestabilidad de las formaciones superficiales siendo propensas a procesos de movimientos en masa.

La intervención antrópica con acciones como la deforestación, sobrecargas, inadecuado manejo de las aguas en vertimientos y drenajes favorecen la ocurrencia de movimientos en masa, los cuales, sumados a factores inherentes del suelo como la susceptibilidad a desplazarse; dan como resultado la inestabilidad del terreno y la activación y/o reactivación de procesos erosivos. En la mayoría de los casos los problemas de

inestabilidad de un terreno son detonados por factores antrópicos sobre los cuales es posible ejercer control y/o evitar.

Según el PBOT (2017) del municipio de Villamaría, mediante los siguientes artículos se clasifica y se determina el uso del suelo en el municipio, es importante aclarar que únicamente se tendrán en cuenta aquellos que apliquen para la zona de estudio.

Artículo 11 CLASIFICACIÓN DEL SUELO: Para efectos del ordenamiento territorial, el suelo del Municipio de Villamaría se clasifica en urbano, de expansión urbana, rural y centro poblado, de protección conforme con la ley 388.

Artículo 13 SUELO DE EXPANSIÓN URBANA: Corresponde a la porción de terreno destinada a la expansión urbana, la cual servirá para la habitación futura de usos urbanos.

Artículo 14 SUELO RURAL: Forman parte del suelo rural del municipio de Villamaría los terrenos e inmuebles que se encuentren en terrenos no aptos para el uso urbano y que por lo tanto se destinan a usos agrícolas, 44 ganaderos, forestales, de explotación de recursos naturales y actividades análogas (artículo 33 ley 388 del 1997).

Artículo 39 CLASIFICACIÓN DE LOS USOS DEL SUELO URBANO: En el área urbana del municipio de Villamaría se manejan diferentes usos del suelo así; uso residencial, uso comercial, uso industrial, uso de equipamiento colectivo, uso forestal y vegetal.

Dentro de la clasificación de usos del suelo existen dos áreas catalogadas como zona de expansión (zona de expansión sur oriental y zona de expansión La Florida), sin embargo y a pesar de que en el mapa de uso y clasificación del suelo propuesto en el PBOT (2007) se tienen ambas zonas delimitadas, en el documento técnico solo hacen referencia a una de ellas, la cual se menciona a continuación.

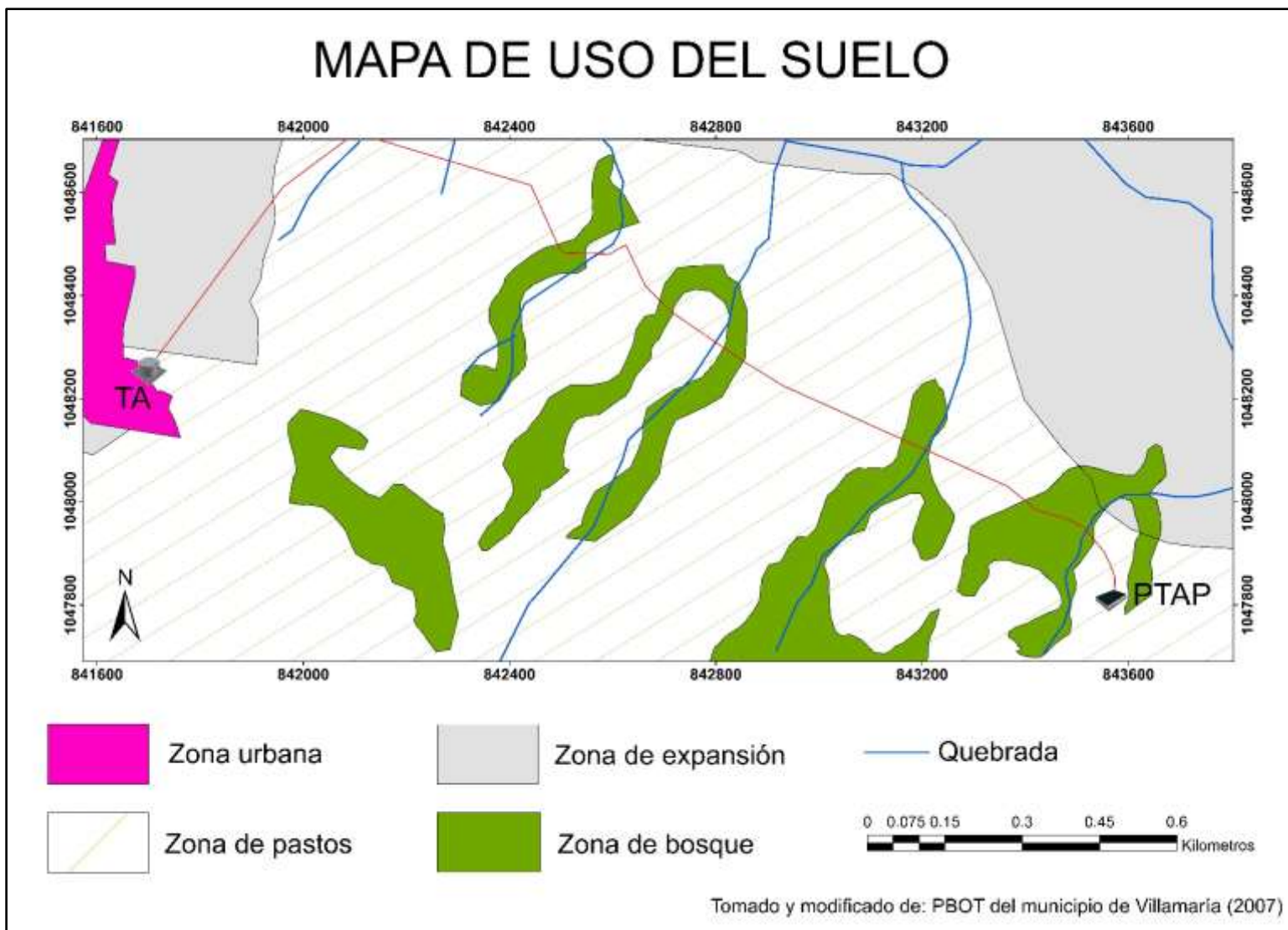


Figura 21. Mapa de uso del suelo del municipio de Villamaría. Tomado y modificado del PBOT del municipio de Villamaría, 2017.

Zona de expansión La Florida: Se localiza en el sector oriental del Oriental del municipio. El área inicia en la intersección de la quebrada El Molino con la quebrada La Alameda; hasta el cruce con la vía que conduce a la planta de tratamiento del acueducto de Villamaría.

En cuanto al suelo de expansión en el PBOT (2017) se realizan algunas especificaciones que se deben cumplir en dichas áreas para que puedan ser incorporados en la categoría de suelo urbano, entre ellas que se tenga la dotación de los servicios públicos domiciliarios. Es de destacar que el casco urbano en sus últimos años ha presentado un gran crecimiento hacia las zonas de expansión que posee el municipio para tal fin, específicamente el crecimiento hacia la zona de la Florida, en la cual se ha construido un número significativo de proyectos de vivienda y cuyas proyecciones siguen en aumento, que solo con un adecuado manejo podrían tener un óptimo desarrollo.

Es importante mencionar que en el PBOT (2017), en el Artículo 102 se establece que el municipio debe de destinar áreas de reserva para la construcción de la red primaria de infraestructura para las instalaciones de captación, conducción, potabilización y distribución del agua potable para el acueducto de la zona urbana y la zona de expansión urbana, respecto a la zona conducción (que es la que compete a este estudio) se determina mediante el artículo 104 que para garantizar el transporte y conducción del agua se ha previsto reservar a lo largo de su recorrido un corredor con una amplitud de diez (10) metros, según los levantamientos que para instalaciones de este tipo establece Aquamaná E.S.P en la zona urbana de la cabecera municipal, en el presente acuerdo.

Respecto a la zona de uso agrícola, en el PBOT (2017) no hay una especificación claro de los usos que se le puede dar a esta, sin embargo, durante el recorrido de campo se identificó que los predios aledaños a la línea de conducción y que son de propiedad privada, actualmente son usados como zona de pastoreo, modificando así la vocación original del

terreno (determinada en el Artículo 122 del PBOT, 2007). También se observó que en la zona de estudio una parte del área rural conserva la cobertura vegetal nativa, que corresponde a bosque natural.

En general los procesos de movimientos en masa están directamente conectados con el tipo de cobertura del suelo, según Morgan (1986) menos del 1% de los movimientos en masa se presentan en áreas de bosque puesto que en estas zonas el sistema de raíces presenta un anclaje profundo, aumentando la resistencia del terreno a la ruptura o fallamiento, generando estabilidad del terreno; 47% en terrenos cultivados y 47% en terrenos de pasto y rastrojo. Suárez (1998) afirma que en lo referente a control de erosión se ha encontrado que donde hay árboles altos la erosión es menor que en el caso de arbustos. Además, se ha descubierto que las hierbas o malezas protegen generalmente mejor contra la erosión que los pastos.



Figura 22. Contraste en el uso del suelo en la zona de estudio.

Pendientes

Esta variable considera tanto el ángulo de inclinación de una ladera o talud como la longitud de la ladera y los cambios de inclinación a lo largo de las laderas. Varnes (1978) considera las pendientes de gran importancia en el estudio de los movimientos en masa, estableciendo el ángulo de la pendiente, como la variable de mayor influencia en el desarrollo de movimientos en masa en terrenos montañosos. Plantea, además, que, al aumentar el ángulo de la pendiente de la ladera, disminuye el peso y por consiguiente el volumen del material afectado por unidad de área. También establece que las pendientes en cualquier área, se relaciona estrechamente con la historia geológica de la zona o área de estudio.

Frecuentemente es aceptado que un mayor grado de inclinación de los terrenos los hace más susceptibles a la ocurrencia de procesos de movimientos en masa, sin embargo, dicha premisa no aplica para algunas zonas en donde la presencia de vegetación arbórea, la dureza del material geológico aflorante, la presencia de pendientes cortas y muy empinadas y la escasa capacidad de infiltración de las aguas de escorrentía, genera condiciones de mayor estabilidad que terrenos con menor inclinación.

En general los procesos de movimientos en masa ocurren en terrenos con rangos de pendiente de moderadas a fuertes puesto que en dichas áreas los procesos erosivos debido a que el arrastre de partículas de suelo por procesos de escorrentía superficial, sin embargo y debido a la estrecha relación entre la actividad erosiva y la actividad antrópica, como es la dinámica de cambios de usos de suelo también es posible la ocurrencia de movimiento en masa en zonas de pendientes moderadas a bajas.

Según el SGC (2014), en el municipio de Manizales, específicamente en límites con el municipio de Villamaría, el área donde se cartografiaron depósitos de tipo piroclástico corresponde a la zona con menor susceptibilidad por el factor pendiente, debido a que el contraste en la variabilidad de la pendiente es bajo, por tanto, la rugosidad es homogénea y la

capacidad de infiltración del terreno se reduce y la susceptibilidad a movimientos en masa es menor. Por otro lado, un alto grado de variación de las pendientes en un área muy pequeña, favorece la infiltración del agua y por consiguiente la inestabilidad del terreno.

El mapa de pendientes de la zona de estudio se realizó a partir de curvas de nivel (intervalos de 10 metros) obtenidas del modelo de elevación digital del terreno.

Posteriormente y teniendo en cuenta factores como área total de la zona de estudio, la topografía de la zona, la variación del relieve y el valor máximo de inclinación en el área (53 grados) se establecieron tres rangos de pendiente, como se muestran a continuación.

Rangos de pendientes establecidos para la zona de estudio.

Tabla 4.
Rangos de pendientes establecidos para la zona de estudio

Valor de pendiente en grados	Descripción de la pendiente
0 - 15	Baja
15.1 - 30	Media
30.1 - 53	Alta

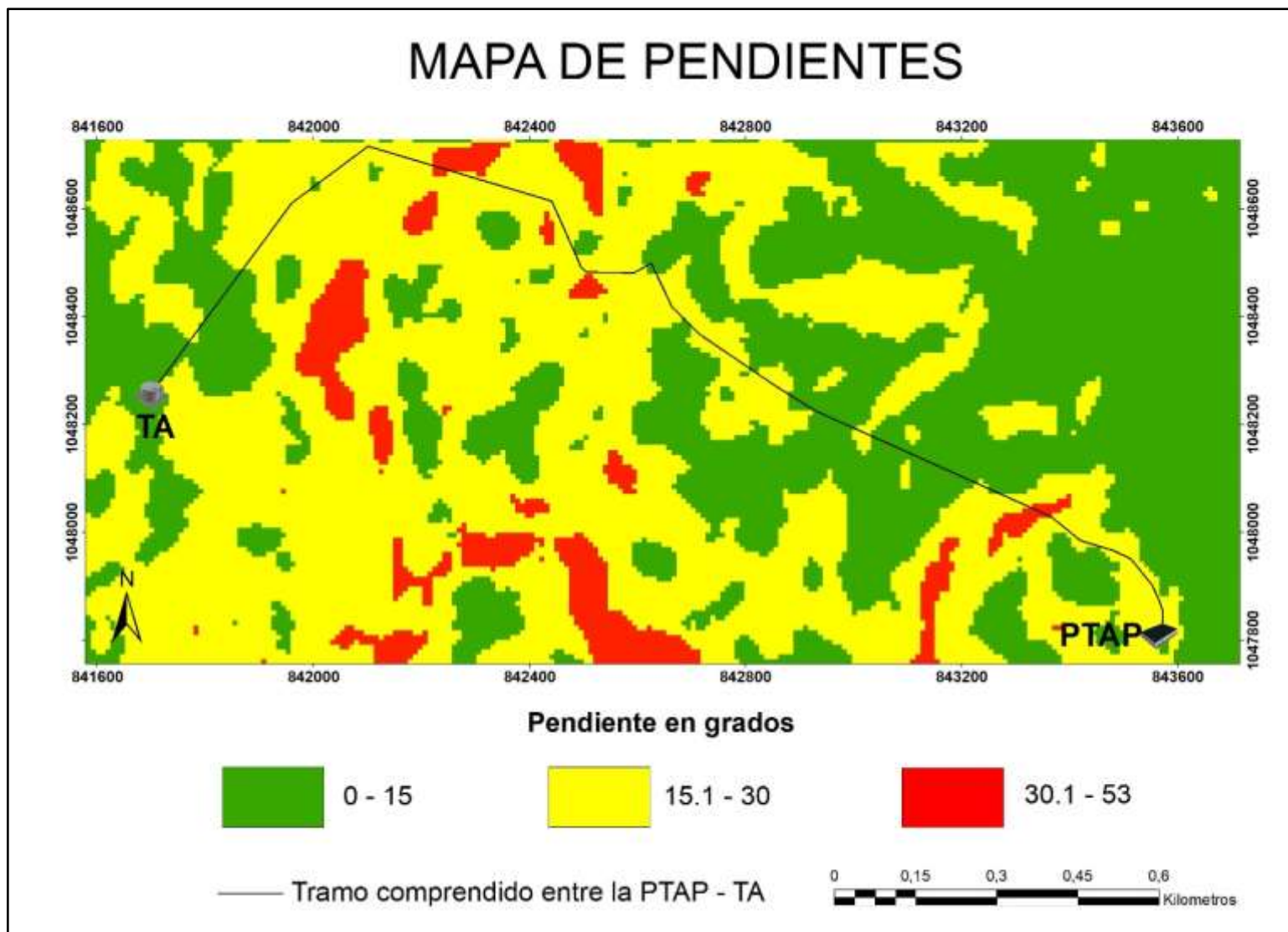


Figura 23. Mapa de pendientes en la zona de estudio, elaborado a partir de curvas de nivel con separación cada 10 metros.

Susceptibilidad por movimientos en masa en el tramo comprendido entre la PTAP

“Berlín” y el tanque abastecedor “Tejares”

El mapa de susceptibilidad se obtuvo mediante el cruce de las variables pendientes y uso del suelo; si bien es cierto que SGC (2016) en la guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa estipula que se deben cruzar las variables de geología, geomorfología, suelos edáficos y cobertura para la zona de estudio en el componente de geología y geomorfología únicamente se tenía información de unidades establecidas por el SGC, sin embargo, esta información no era suficiente para cruzar dichas variables, ya que no se cuenta con la información correspondiente a morfometría (rugosidad – acuenca) y morfodinámica (catalogo e inventario de movimientos en masa) en el componente de geomorfología; para el componente de geología no se cuenta con información de resistencia, fabrica y densidad de fracturamiento, lo cual requiere de estudios técnicos que no son objeto de esta investigación. A pesar de ello tanto la variable geología y geomorfología fueron tenidas en cuenta de manera heurística.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Figura 24 que corresponde al mapa de susceptibilidad por movimientos en masa, se observa que la zona de estudio tiene una distribución de susceptibilidad principalmente entre media y alta.

La zona de susceptibilidad baja corresponde a unidades geológica de origen volcánico, específicamente depósitos piroclásticos de caída, a pesar de que este tipo de depósitos son altamente susceptibles a movimientos en masa y las pendientes son de medias a bajas. Sin embargo, el área corresponde a zona urbana y de expansión lo que implica la existencia de obras de canalización que impiden la infiltración de agua y posterior saturación del terreno; en algunos sectores se han realizado medidas correctivas, lo cual disminuye la probabilidad de un movimiento en masa y a su vez previene los efectos de estos.

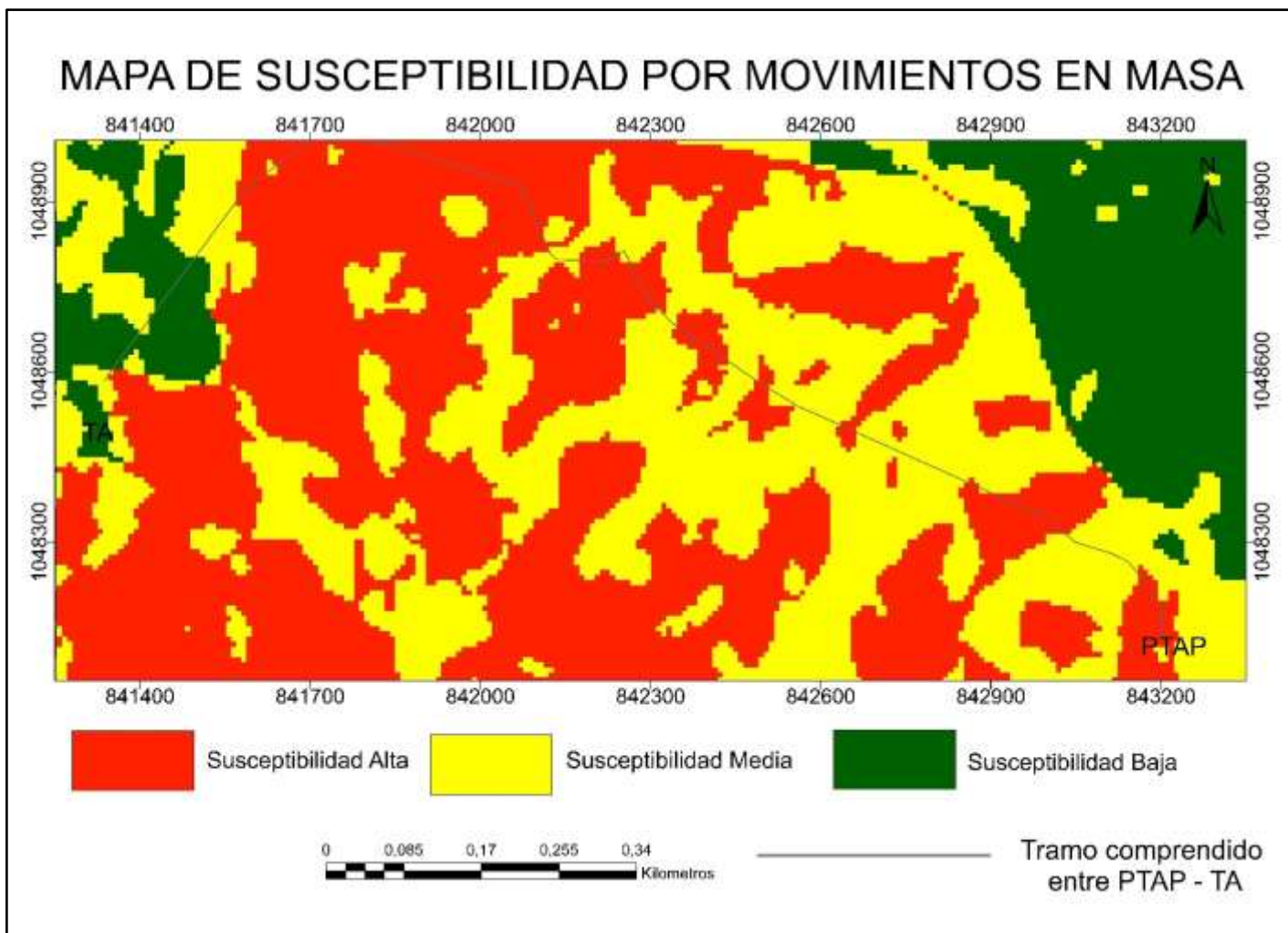


Figura 24. Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa del tramo comprendido entre la planta de tratamiento de agua potable "Berlín" y el tanque abastecedor "Tejares"

Las zonas de susceptibilidad media corresponden principalmente a zonas rurales en las cuales predomina la cobertura vegetal de tipo bosque y en algunos sectores pastos, respecto a las unidades geomorfológicas, estas áreas están asociadas principalmente a unidades de origen estructural afectadas por la evolución tectónica de la zona, lo cual influye en sus estabilidad y resistencia, favoreciendo la ocurrencia de procesos erosivos en la zona.

Es importante mencionar que en estas la vocación del uso del suelo se ha visto afectada por actividades antrópicas tales como cambio de cobertura con diferentes fines, lo cual sumado a pendientes medias y altas propicia escenarios futuros de movimientos en masa.

Sobre las zonas que se califican con una susceptibilidad alta se desarrollan principalmente suelos de pastos, usados básicamente para el pastoreo de ganado. En esta zona se tienen unidades geomorfológicas de ambiente volcánico (Vmp) y de origen estructural (Sslp), las unidades de roca corresponden principalmente al miembro sedimentario del Complejo Quebradagrande, esta unidad presenta planos de debilidad lo cual sumado a las pendientes altas y medias favorece el desarrollo de movimientos en masa. Cabe resaltar que la variable de uso del suelo, fue fundamental para establecer el nivel de susceptibilidad ya que en la zona no existen obras de intervención que minimicen la saturación del terreno por el agua de escorrentía. En campo se observó además que el terreno está perdiendo estabilidad debido a las frecuentes pisadas de ganado que generan surcos superficiales.



Figura 25. Al fondo se observan los surcos generados en el terreno por las frecuentes pisadas de ganado.

Recomendaciones

Realizar recorridos de campo que abarquen el tramo desde la bocatoma hasta los diferentes tanques abastecedores, con el fin de identificar posibles fenómenos amenazantes y determinar la susceptibilidad de toda la red frente a la materialización de alguno de los fenómenos identificados; es importante que la información obtenida en campo sea plasmada en una base de datos que sirva como insumo a los sistemas de información geográfica con que cuenta la empresa.

Realizar estudios detallados de vulnerabilidad que proporcionen un mejor conocimiento del estado actual de la red y así prever no solo posibles daños sino también soluciones rápidas y efectivas que permitan restablecer el suministro de agua a los usuarios en el menor tiempo posible.

Elaborar e implementar planes de contingencia que permitan la ejecución de medidas de prevención y mitigación frente a la materialización de fenómenos amenazantes. Se recomienda que las medidas sean de carácter prospectivo y correctivo, además que se ejecuten en forma progresiva y planificada.

Adelantar acciones encaminadas no solo a la atención de emergencia sino también al conocimiento, análisis y evaluación del riesgo en los planes que se tengan actualmente y en los que rige la UNGRD mediante el Decreto 2157 de 2017.

Realizar un proceso de consolidación y seguimiento a los procesos erosivos que se presentan en la zona, con el fin de tenerlos documentados y que dicha información sirva para realizar un seguimiento continuo, evitando de esta forma la evolución de dichos procesos, mediante las medidas que se consideren necesarias.

Realizar obras de mitigación y su respectivo mantenimiento periódico que ayuden a controlar y mitigar las afectaciones por movimientos en masa sobre la línea de conducción

principalmente en el tramo comprendido entre la planta de tratamiento de agua potable “Berlín” y el tanque abastecedor “Tejares”.

Implementar sistemas de monitoreo pluviométrico que permitan el seguimiento en tiempo real y continuo del umbral de escorrentía para determinar la capacidad de infiltración del terreno.

Contemplar la posible implementación de obras que protejan la línea de conducción en los puntos críticos de la zona, como pueden ser viaductos metálicos que soporten la tubería (se debe tener en cuenta que en algunos puntos del tramo la línea de conducción está construida en PVC).

Proponer medidas que ayuden a canalizar el agua de escorrentía, de acuerdo a las características que posee la zona para así evitar la saturación del terreno.

Promover el uso adecuado de los suelos de propiedad privada que tienen algún tipo de influencia en los predios sobre los cuales se localizan las líneas de conducción.

Realizar campañas de conocimiento dirigidas a la comunidad en general mediante las cuales se dé a conocer como es el funcionamiento de todo el sistema de acueducto, los factores que lo pueden afectar y las medidas que ha tomado la empresa para disminuir la vulnerabilidad de este y mejorar la prestación del servicio, esto con el fin de concientizar a la comunidad no solo del buen uso que debe hacer del agua sino también de todo lo que implica atender una situación de emergencia y el tiempo necesario para restablecer el servicio de agua potable en estos casos.

Conclusiones

Después de realizar el diagnóstico de las condiciones actuales de la línea de conducción de agua potable en el tramo comprendido entre la planta de tratamiento y el tanque abastecedor “Tejares” se determinó que la línea de conducción aproximadamente 210 metros después de la planta de tratamiento se encuentra en un grado de susceptibilidad Media - Alta frente a un fenómeno de movimiento en masa, en este mismo sector se evidencia un proceso activo de deslizamiento tipo rotacional.

Se pudo establecer que en la zona los factores que podrían tener mayor incidencia en la ocurrencia de un movimiento en masa corresponden al inadecuado uso del suelo, puesto que en el área es común que se realicen actividades de pastoreo, lo cual a largo plazo conllevaría una inestabilidad del terreno y contribuye al aumento de la saturación del mismo. Esto al conjugarse con el inadecuado manejo de la escorrentía posibilita la ocurrencia de movimiento en masa especialmente durante temporadas de altas precipitaciones; razón por la cual es importante determinar la contribución de factores antrópicos en la ocurrencia de un movimiento en masa, puesto que en algunas zonas la influencia de estos es más importante que las mismas condiciones naturales del terreno.

Durante la visita de campo se evidenció que en la zona anteriormente se habían realizado obras de estabilización mediante bioingeniería, sin embargo, estas no cumplieron con su función debido a que no se les realizó un adecuado mantenimiento.

La identificación de zonas de susceptibilidad a movimientos en masa, por medio del análisis de diferentes factores como geología, geomorfología, pendientes y usos del suelo no solo sirve de base para futuros estudios sino también para dar cumplimiento al Decreto 2157 de 2017.

La falta de un riguroso análisis de riesgo del sistema de acueducto, aumenta la vulnerabilidad de este y de los usuarios frente a posibles desabastecimientos.

Bibliografía

Arévalo, O. & Mojica, J. Patarroyo, P., (2001). *Sedimentitas del Aptiano Tardío al sur de Pijao, Quebrada La Maizena, Flanco occidental de la Cordillera Central, Departamento del Quindío*. Bogotá: Geología Colombiana. No. 26. Universidad Nacional de Colombia, pp. 29-43.

Betancourt, J. J., Buitrago, Y. M., Buitrago, J. E., Cadavid, L., Corrales, J., Gallego, L. M., Montoya, N., Navarrete, W. & Quiroz, O., (1998). *Contribución a la evaluación hidrogeológica, susceptibilidad a fenómenos volcánicos, caracterización de áreas fuentes de sedimentos y morfoneotectónica de las fallas probablemente activas en la cuenca del Río Chinchiná (Caldas)*. Tesis de grado. Universidad de Caldas. Manizales, 155 p

Bohórquez, O., Monsalve, M. L., Velandía, F., Gil-Cruz, F. & Mora, H., (2005). *Determinación del marco tectónico regional para la cadena volcánica más septentrional de la Cordillera Central de Colombia*. Boletín de Geología, 27 (44): 55-79.

Cárdenas, P., (2004). *Modelo y Cartografía Estructural del Sistema de Fallas de Palestina en Sector del Parque Natural de los Nevados*. Tesis de grado. Universidad de Caldas. Manizales, 103p.

Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno del Niño (CIIFEN), 2016 – 2017. *Aproximación para el cálculo de riesgo*. Recuperado de: http://www.ciifen.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=84&Itemid=336&lang=es. Pagina consultada el 23 de abril de 2019.

Chapman GA, Atkinson G., (2007). *Soil survey and mapping*. En: Chapman PEV y Murphy BW (Eds) *Soils their properties and management*. Oxford University Press. South Melbourne, Australia. pp: 109-136.

Comunidad Andina, (2018). *Glosario de términos y conceptos de la gestión del riesgo de desastres para los países miembros de la Comunidad Andina*. Decisión 825. Secretaría General de la Comunidad Andina. Secretaría Técnica del Comité Andino para la Prevención y Atención de Desastres (CAPRADE).

Consorcio Aguas Catastro Caldas, (2016). *Consultoría para elaborar el catastro de las redes de acueducto y alcantarillado y el estudio de reducción de control de pérdidas hidráulicas de las redes de acueducto de los municipios de Aránzazu, Norcasia, Pácora y Villamaría. Producto I catastro redes urbanas de acueducto*. Villamaría, Caldas.

Corporación OSSO (Observatorio Sismológico del Sur Occidente) y La Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (LA RED), (2009). *Guía Metodológica Versión 8.1.9*. DesInventar Sistema de Inventario de Desastres.

Cruden, D.M. & Varnes, D.J., (1996). *Landslide Types and Processes*. Special Report, Transportation Research Board, National Academy of Sciences, 247: 36 – 75.

Cuellar, M., Sánchez, C. & Valencia, M., (2003). *Caracterización Petrográfica y Deformativa de las Rocas Aflorantes en los Alrededores de la Falla San Jerónimo, al Este del Municipio de Manizales*. Tesis de grado. Universidad de Caldas. Manizales, 207p.

Decreto No. 919 de 1989. Diario Oficial de la República de Colombia. Por el cual se organiza el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres y se dictan otras disposiciones. Bogotá, D.C., 01 de mayo de 1989.

Decreto No. 93 de 1998. Diario Oficial de la República de Colombia. Por el cual se adopta el Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres. Bogotá, D.C., 13 de enero de 1998.

Decreto No. 475 de 1998. Diario Oficial de la República de Colombia. Por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable. Bogotá, D.C., 16 de marzo de 1998.

Decreto No. 302 de 2000. Diario Oficial de la República de Colombia. Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, en materia de prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado. Bogotá, D.C., 25 de febrero de 2000.

Decreto No. 2157 de 2017. Diario Oficial de la República de Colombia. Por medio del cual se adoptan directrices generales para la elaboración del plan de gestión del riesgo de desastres de las entidades públicas y privadas en el marco del Artículo 42 de la Ley 1523 de 2012. Bogotá, D.C., 20 de diciembre de 2017.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

DesInventar. Base de datos. Recuperada de: <https://www.desinventar.org/es/>. Pagina consultada el 9 de mayo de 2019.

Diesner, Felix., (2013). *Bases conceptuales y guía metodológica para iniciativas rápidas de AbC en Colombia*. Dirección de Cambio Climático Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Republica de Colombia. Bogotá, D.C., Colombia. Recuperado de: http://www.minambiente.gov.co/images/Atencion_y_participacion_al_ciudadano/Consulta_Publica/030214_consulta_pub_adaptacion_comunidades.pdf. Pagina consultada el 26 de abril de 2019.

Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de Naciones Unidas – UNISDR, (2009). *Terminología sobre reducción del riesgo de desastre*. Ginebra.

Escobar, Carlos E. & Duque, Gonzalo., (2016). *Geotecnia para el trópico andino, capítulo tres*. Manizales, Colombia. (No publicado).

Franco, A. German & Prieto R, Andrés., (1992). *Estudio de las deformaciones recientes y actuales en la zona de Manizales*. Tesis de grado. Universidad de Caldas. Manizales.

Glosario para los servicios de acueducto y alcantarillado, prestados por Acuavalle S.A. ESP.

Gobernación de Caldas, (2016). *Plan de gestión del riesgo para la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo 2016 – 2019*. Plan Departamental de Agua de Caldas (PDA).

González, H., (1980). *Geología de las planchas 167 (Sonsón) y 187 (Salamina)*. Ingeominas, Bol. Geol., 23 (1):1-174. Bogotá.

Grosse, E., (1926). *Estudios geológicos del Terciario Carbonífero de Antioquia*. Dietrich Reimer. 361 p. Berlín.

Guzmán, G., Franco, G. & Ochoa, M., (1998). *Proyecto para la mitigación y el riesgo sísmico de Pereira, Dosquebradas y Santa Rosa. Evaluación Neotectónica*. CARDER. Pereira, 144p.

Hall, R.; Álvarez, J.; Rico, H., (1972). *Geología de los departamentos de Antioquia y Caldas (subzona IIA)*. Ingeominas, Bol. Geol., 20(1):1- 85. Bogotá.

Instituto Colombiano de Geología y Minería (Ingeominas), (2001). *Geología de las Planchas 206 Manizales y 225 Nevado del Ruíz*. Bogotá, Colombia.

Instituto Geológico Minero de España (IGME), (1987). *Manual de ingeniería de taludes*. Ministerio de Industria, Comercio y Turismo. Secretaría General de la Energía y Recursos Minerales.

Lavell, A., (2002). *Conceptos y definiciones de relevancia en La Gestión Del Riesgo. Basado en Omar Darío Cardona*. Colaboración del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

Lavell, A., (2007). *Apuntes para una reflexión institucional en países de la Subregión Andina sobre el enfoque de la Gestión del Riesgo*. Comisión Europea; Comunidad Andina. Secretaría General; CAPRADE; Apoyo a la Prevención de Desastres de la Comunidad Andina PREDECAN; Consultora Nacional Spazio Ingeniería y Medio Ambiente; 42 p. Lima; Perú.

Ley No. 46 de 1988. Diario Oficial de la República de Colombia. Por la cual se crea y organiza el sistema nacional para la prevención y atención de desastres, se otorga facultades extraordinarias al presidente de la república y se dictan otras disposiciones. Bogotá, Colombia. 2 de noviembre de 1997.

Ley No. 99 de 1993. Diario Oficial de la República de Colombia. 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. Bogotá, Colombia. 22 de diciembre de 1997.

Ley No. 142 de 1994. Diario Oficial de la República de Colombia. Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones. Bogotá, Colombia. 11 de julio de 1994.

Ley No. 388 de 1997. Diario Oficial de la República de Colombia. Por la cual se modifica la Ley 9ª de 1989, y la Ley 3ª de 1991 y se dictan otras disposiciones. Bogotá, Colombia. 18 de julio de 1997.

Ley No. 1523 de 2012. Diario Oficial de la República de Colombia. 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. Bogotá, Colombia. 24 de abril de 2012.

Marco de Acción de Hyogo para 2005-2015: aumento de la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres, (2005). Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, Naciones Unidas. Hyogo, 2005.

Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030, (2015). Tercera Conferencia Mundial de las Naciones Unidas sobre la Reducción del Riesgo de Desastres. Sendai, Miyagi (Japón), 2015.

Maya, H. M., (1992). *Catálogo de dataciones isotópicas en Colombia*. Ingeominas, Bol. Geol., 32(1-3):125-187. Santa Fe de Bogotá.

Maya, H.; González, H., (1995). *Unidades litodémicas de la Cordillera Central*. Colombia.

Mergili, Martin, Carla I. Marchant Santiago y Stella M. Moreiras., (2015). *Causas, características e impacto de los procesos de remoción en masa, en áreas contrastantes de la región Andina*. Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía 24 (2): 113-131. DOI: 10.15446/rcdg.v24n2.50211.

Moreno, M. & Pardo, A., (2003). *Stratigraphical and sedimentological constrains on western Colombia: implications on the evolution of the Caribbean Plate*, in Bartolini, R. T. Buffler, and J. F. Blickwede, eds., *The Circum Gulf of Mexico and the Caribbean: hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics*, American Association of Petroleum Geologist, memoir 79, pp. 891-924.

Morgan, R.P.C., (1986). *Soil Erosion & Conservation*. Longman. ISBN: 0-470-20671-3. Essex. England: 298 pp.

Naranjo, J.L. & Ríos P.A., (1989). *Geología de Manizales y sus alrededores y su influencia en los riesgos geológicos*. Tesis de grado. Universidad de Caldas, Manizales.

Organización de las Naciones Unidas (ONU), *Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (2015-2030)*.

Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de Villamaría “Pacífico y Sostenible 2015 – 2027”, (2017).

Page, W.D., (1986). *Geología sísmica y sismicidad del noroeste de Colombia*. Woodward-Clyde Consultants, ISA, Integral, Medellín, 156 pp.

Plan de contingencia acueducto, alcantarillado y aseo del municipio de Villamaría – Aquamaná E.S.P. (2015). En plan de gestión del riesgo para la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo 2016 – 2019. Gobernación de Caldas.

Plan de Desarrollo Municipal Villamaría 2016 – 2019, (2016).

Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres del Municipio Villamaría (PMGRD), 2017. Consejo Municipal del Riesgo Villamaría, Caldas.

Resolución No. 1096 de 2000. Diario Oficial de la República de Colombia. Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. Bogotá, Colombia. 17 de noviembre de 2012.

Resolución No. 0154 de 2014. Diario Oficial de la República de Colombia. Por la cual se adoptan los lineamientos para la formulación de los planes de emergencia y contingencia para el manejo de desastres y emergencias asociados a la prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo y se dictan otras disposiciones. Bogotá, Colombia. 19 de marzo de 2012.

Restrepo, J. J.; Toussaint, J. F.; González, H.; Salinas, R.; Murcia, A.; Núñez, A., (1982). *Compilación de edades radiométricas de Colombia*. Universidad Nacional de Colombia. Publicación Especial Geología., (7-8):201-248. Medellín.

Secretaría de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIRD). Términos principales relativos a la Reducción del Riesgo de Desastres. Recuperado de: <https://www.eird.org/ifrc-toolkit/docs-clave/terminologias.pdf>. Pagina consultada 15 de abril de 2019.

Sistema de información de movimientos en masa (SIMMA). Base de datos de movimientos en masa. Recuperado de <http://simma.sgc.gov.co/#/>. Paginas consultada el 9 de mayo de 2019.

Servicio Geológico Colombiano (SGC), (2014). *Memoria explicativa de la zonificación de la susceptibilidad y la amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000 plancha 206 – Manizales*. En cooperación con la Universidad Tecnológica y Pedagogía de Colombia. Sogamoso, Boyacá.

Servicio Geológico Colombiano (SGC), (2015). *Geological Map of Colombia*. Bogota D.C., Colombia.

Servicio Geológico Colombiano (SGC), (2016). *Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa escala detallada*. Convenio especial de cooperación Universidad Nacional de Colombia - Servicio Geológico Colombiano. Bogotá D.C., Colombia.

Servicio Geológico Colombiano (SGC), (2017). *Clasificación de movimientos en masa y su distribución en terrenos geológicos de Colombia*. Publicaciones especiales geológicas. ISBN: 978-958-59782-1-8. Bogotá, D.C., Colombia.

Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SNGRD), (2017). *Terminología sobre Gestión del Riesgo de Desastres y Fenómenos Amenazantes*. Comité Nacional.

Suarez, Jaime., (s.f.). *Deslizamiento técnicas de remediación, Capítulo 10*. Recuperado de: <http://www.erosion.com.co/>

Sosa, N. Luz, (2016). *Análisis de susceptibilidad a los peligros geológicos por movimientos en masa poblados de Pampamarca y Acobamba, región Huánuco*. Tesis de grado. Universidad Nacional del Altiplano. Facultad de ingeniería geológica y metalúrgica escuela profesional de ingeniería geológica. Puno, Perú.

United Nations General Assembly –UNGA, (2016). *Recommendations of the Open-ended Intergovernmental Expert Working Group on Indicators and Terminology relating to Disaster Risk Reduction*. 18 November 2016. Geneva. Traducción propia.

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), (2016) *Construcción de lineamientos para la integración de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial articulado al plan de inversiones*. Recuperado de <http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/Guia-Integracion-Gestion-Riesgo-Ordenamiento-Territorial-October2015.pdf>. Pagina consultada el 25 de abril de 2019.

Varnes, D. J., (1978). *Landslide classification*. Charles University in Prague, Faculty of Science, Czech Republic ARCADIS CZ a.s., division Geotechnika, Czech Republic.

Vargas, G., (2000). *Criterios para la clasificación y descripción de movimientos en masa*. Boletín de Geología, Vol. 22 No. 37.

J. Vega & C. A. Hidalgo, (2016). *Quantitative risk assessment of landslides triggered by earthquakes and rainfall based on direct costs of urban buildings*. *Geomorphology*, Elsevier, pp. 217-235, Julio 2016.

Webgrafía

<http://www.bcnoticias.com.co/deslizamientos-afectan-vias-de-villamaria/>
https://caracol.com.co/emisora/2018/04/02/manizales/1522631731_822896.html
<https://www.eje21.com.co/2017/12/12-viviendas-del-barrio-alto-de-la-virgen-en-villamaria-desocupadas-por-riesgo-de-deslizamiento-gobierno-de-caldas-visito-el-sector/>
<https://www.eje21.com.co/2018/04/con-un-carrotanque-de-500-galones-de-capacidad-la-alcaldia-de-manizales-apoya-emergencia-en-villamaria/>
https://esacademic.com/pictures/eswiki/77/MunsCaldas_Villa_Maria.png
https://file.ejatlases.org/docs/MapaDivisionPoliticaRural_1_villamar_a.jpg,
<https://www.rcnradio.com/colombia/eje-cafetero/derrumbe-dejo-sin-agua-habitantes-del-municipio-villamaria-caldas>

<https://es.weatherspark.com/y/22456/Clima-promedio-en-Villamar%20en-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o>