

**IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS EN LA RED DEL ACUEDUCTO ACUACOMBIA
DEL MUNICIPIO DE PEREIRA**

**CAROLINA ARBOLEDA DIAZ
EDUARDO FORERO GONZÁLEZ**



**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA
MANIZALES
2016**

**IDENTIFICACION DE RIESGOS EN LA RED DEL ACUEDUCTO ACUACOMBIA
DEL MUNICIPIO DE PEREIRA**

**CAROLINA ARBOLEDA DIAZ
EDUARDO FORERO GONZÁLEZ**

Trabajo de Grado presentado como opción parcial para optar al título de
Especialista en Información Geográfica

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA
MANIZALES
2016**

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

José Edier Ballesteros Herrera, consultor del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio a Harold Mejía Geólogo Consultor, a Juan Manuel González Geólogo Consultor, a Ennuer Alexander Giraldo Administrador Ambiental y a Carolina Osorio Sánchez Administradora Ambiental, por sus importantes aportes técnicos, fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

Carolina Arboleda Díaz

A mis padres por su ejemplo y enseñanzas, a mis hermanos por inspirar mi desarrollo personal y profesional.

Eduardo Forero González

A Dios que día a día me otorga sus bendiciones, a mis padres, esposa e hijos por acompañarme y apoyarme permanentemente en este proceso y ser el objetivo fundamental de mi formación profesional.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. ÁREA PROBLEMÁTICA	16
1.1. LOCALIZACION	16
1.2. DESCRIPCION DEL PROBLEMA	16
2. OBJETIVOS	20
2.1 OBJETIVO GENERAL	20
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
3. JUSTIFICACIÓN	21
4. MARCO TEÓRICO	24
4.1 DEFINICION DE AMENAZAS	25
4.2 DEFINICION DE VULNERABILIDAD	26
4.3 ANTECEDENTES	27
5. METODOLOGÍA	31
5.1 TIPO DE TRABAJO	31
5.2 PROCEDIMIENTO	31
5.2.1 Fase 1. Recolección y análisis de la información	31
5.2.2 Fase 2. Tratamiento de la información	34
5.2.3 Fase 3. Elaboración de la cartografía básica y temática	37
6. RESULTADOS	40
6.1. DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS	40

6.2. DISCUSION DE RESULTADOS	41
7. CONCLUSIONES	43
8. RECOMENDACIONES	44
BIBLIOGRAFÍA	45
ANEXO A	47

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación Área de estudio	16
Figura 2. Ubicación del Acueducto Acuacombia	18
Figura 3. Identificación de las áreas priorizadas para estudios de detalles en zonas determinadas con amenaza alta por fenómenos de remoción en masa	22
Figura 4. Amenaza alta por movimientos en masa zona nor occidental	29
Figura 5. Mapa de Susceptibilidad ante fenómenos de remoción en masa subcuenca Combia	30
Figura 6. Identificación de las redes del acueducto de Acuacombia en el catastro de Redes	32
Figura 7. Página POT Pereira con la información cartográfica en formato .shp disponible	33
Figura 8. Presentación de la cartografía oficial del POT (Acuerdo 28 de 2015)	33
Figura 9. Mapa con la vulnerabilidad ponderada para el tipo de tubería	36
Figura 10. Mapa con la vulnerabilidad ponderada por la edad de la tubería	36
Figura 11. Mapa con la vulnerabilidad ponderada de los diámetros de la tubería	37
Figura 12. Mapa con la amenaza por fenómenos de remoción en masa en el área de estudio	37
Figura 13. Mapa de vulnerabilidad física de la red del acueducto Acuacombia	38
Figura 14. Mapa de Riesgo por deslizamiento de la red del acueducto Acuacombia, involucrando la vulnerabilidad física de la red	39
Figura 15. Riesgo por deslizamiento de la red del acueducto Acuacombia, sin involucrar la vulnerabilidad física de la red	39

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Ponderación y pesos para tipo de tubería	33
Tabla 2. Ponderación y pesos para edad de la tubería	33
Tabla 3. Ponderación y pesos para el diámetro de la tubería	34
Tabla 4 Diferencia en las áreas con clasificación de riesgo según se involucre análisis de vulnerabilidad de la red	41

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Resumen analítico	47

GLOSARIO

Amenaza: Es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno peligroso de origen natural o antrópico en un tiempo dado y en una localidad no adaptada para afrontarlo sin traumatismos. Las amenazas se pueden clasificar de la siguiente manera:

- **Amenazas Naturales:** Son aquellas que tienen su origen en la dinámica propia del Planeta Tierra. Según su origen, las amenazas naturales se clasifican en: geológicas (sismos, erupciones volcánicas, deslizamientos, avalanchas), hidrometeorológicas o climáticas (huracanes, tormentas tropicales, fenómeno climático del pacífico, incendios forestales espontáneos, inundaciones, desbordamientos)
- **Amenazas Socio-Naturales:** Son aquellas que se expresan a través de fenómenos que parecen ser productos de la dinámica de la naturaleza, pero que en su ocurrencia o en la agudización de sus efectos interviene la acción humana, como por ejemplo las inundaciones, sequías o deslizamientos, que en algunos casos se ven disparados por la deforestación, el manejo inadecuado de los suelos, el mal manejo de las cuencas hidrográficas, la construcción de obras de infraestructura sin las precauciones ambientales adecuadas, etc.
- **Amenazas Antrópicas:** Son aquellas atribuibles claramente a la acción humana sobre los elementos de la naturaleza o población, por ejemplo la contaminación del aire, agua, suelo; los accidentes en la operación de sistemas tecnológicos e industriales por mal manejo u falta de control en la operación de estaciones de gasolina, oleoductos, represas, etc.; las guerras y problemas de orden público, entre otros.

Vulnerabilidad: Es la exposición, debilidad o incapacidad de resistencia frente a las amenazas que presenta una comunidad, persona o elemento que es considerado de valor para el hombre, también se refiere a la incapacidad para recuperarse de los efectos de un desastre, lo cual no sólo depende de la convivencia con las amenaza, sino de múltiples factores presentes en la localidad.

- **Factores ambientales:** se refiere a la forma como una localidad maneja su entorno, por ejemplo, la degradación ambiental de los ecosistemas, que da lugar a amenazas como deslizamientos, inundaciones y erosión.
- **Factores físicos:** Tienen que ver con la ubicación física de los asentamientos o con las calidades y condiciones técnicas -materiales de construcción e inadecuado aprovechamiento del ambiente y sus recursos.
- **Factores económicos:** ausencia de recursos económicos para un adecuado manejo de las condiciones de amenaza, por ejemplo, las limitaciones de

recursos de algunas personas que los obliga a invadir zonas de amenaza o a construir sin las técnicas o materiales adecuados.

- **Factores sociales:** Se refieren a un conjunto de relaciones, comportamientos, creencias, formas de organización (institucional y comunitaria) y maneras de actuar de las personas y comunidades que las coloca en condiciones de mayor o menor exposición.

Riesgo: Es la probabilidad de que ocurra un desastre y se obtiene de relacionar la amenaza, o probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino, con la vulnerabilidad de los elementos expuestos. En otras palabras, es el resultado de la combinación o coexistencia de la amenaza y la vulnerabilidad.

Desastre: Es la ocurrencia efectiva de un fenómeno peligroso (amenaza), que como consecuencia de la vulnerabilidad de los elementos expuestos causa efectos adversos sobre los mismos. En otras palabras, es la manifestación de un riesgo no manejado. Normalmente se expresa en términos de pérdidas materiales y/o pérdidas de vidas.

Gestión del Riesgo: La Gestión del Riesgo es la capacidad de la sociedad y de sus actores sociales para modificar las condiciones de riesgo existentes, actuando prioritariamente sobre las causas que lo producen. Incluye las medidas y formas de intervención que tienden a reducir, mitigar o prevenir los desastres. En otras palabras, es una intervención destinada a modificar las condiciones generadoras de riesgo con el fin de reducir los niveles del mismo y eliminarlo hasta donde sea posible. Involucra además el conjunto de acciones destinadas al manejo del desastre.¹

Cuenca: Según el Decreto Ley 2811 de 1974 una cuenca es un área de aguas superficiales o subterráneas, que vierten a una red natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor, que a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar. La cuenca hidrográfica se define a partir de una línea imaginaria llamada divisoria de aguas, que es una línea que separa la superficie de tierra cuyo drenaje fluye hacia un cauce dado, de las superficies de tierra cuyos drenajes corren hacia otro cauce.

Sistema de Acueducto: Un acueducto comunitario como sistema, está conformado por la articulación de tres componentes: microcuenca abastecedora, los seres humanos de los sectores beneficiados y la infraestructura física de abastecimiento, incluyendo las viviendas conectadas a la red. Dentro de este sistema es fundamental incluir el componente administrativo desarrollado a través de una organización comunitaria o empresarial.²

¹ Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio

² GONZALEZ Juan Manuel, Análisis de riesgo en los acueductos de Sandía y Guarne, P. 11

RESUMEN

Las estructuras vitales constituyen la infraestructura sobre la cual se soporta el desarrollo de los territorios. En ese sentido, los análisis de riesgo se convierten en herramientas de vital importancia para las administraciones locales en función de priorizar las medidas enfocadas a reducir o mitigar el riesgo. Por esto, conociendo que el riesgo se configura a partir de la combinación de elementos de amenaza y vulnerabilidad, se hace necesaria la recopilación y análisis de información de calidad, la cual debe ser presentada de manera que puedan espacializarse, tanto los atributos físicos del territorio como la ubicación geográfica de los elementos objeto de estudio, por ello, el uso de los Sistemas de Información Geográfica es fundamental para el desarrollo de productos que permitan sustentar los diferentes análisis que influirán la toma de decisiones y por ende la definición de las medidas de manejo del riesgo.

En el municipio de Pereira existen áreas expuestas a amenazas de fenómenos de remoción en masa, especialmente en la zona rural, donde las infraestructuras vitales como las redes de acueducto son muy vulnerables. Dada la importancia de este tipo de estructuras para el bienestar de la comunidad, se hace necesario desarrollar estudios enfocados a conocer los posibles riesgos asociados a amenazas de diferentes tipos en infraestructuras susceptibles.

Dentro de las acciones de corto y mediano plazo por parte de la Administración Municipal frente a esta problemática, está desarrollar estudios específicos de riesgos en las zonas que presentan situación de amenazas por movimientos de remoción en masa, entre ellas el Corregimiento de Combia Baja.

El presente estudio, desarrolla un análisis de riesgo a fenómenos de remoción en masa en una de las estructuras vitales del corregimiento de Combia Baja: el acueducto Acuacombia. Adicional a ello, los resultados obtenidos proporcionan un insumo para los estudios específicos de riesgo que debe desarrollar la Administración Municipal.

Con el cruce de la información cartográfica disponible y través de la metodología presentada en este trabajo, es posible obtener los mapas que espacializan los tramos de red que presentan riesgo asociado a fenómenos de remoción en masa con el fin de priorizar las acciones de intervención que permitan reducir el riesgo disminuyendo la vulnerabilidad de las tuberías.

PALABRAS CLAVES: riesgo, acueducto, vulnerabilidad, amenaza.

ABSTRACT

Vital structures constitute the infrastructure on which the development of territories is supported. In that sense, risk analysis tools become vital for local governments according to prioritize measures aimed at reducing or mitigating the risk. For this, knowing that the risk is configured from the combination of elements of threat and vulnerability, collection and analysis of information quality is necessary, which must be submitted so that they can espacializarse both the physical attributes of territory as the geographical location of the elements under study, therefore, the use of geographic Information Systems is essential for the development of products that will support the various analyzes that will influence decision making and therefore the definition of measures risk management.

In the municipality of Pereira exist exposed areas to threats of landslide phenomena, especially in the rural zone, where the vital infrastructures like the pipes of aqueduct are very vulnerable. Given the importance of this type of structures for the welfare of the community, does necessary develop studies focused to know the possible risks associated to threats of different types in susceptible infrastructures.

Inside the actions of short and middel term by the Municipal Administration in front of this problematic, is to develop specific studies of risks in the zones that present situation of threats by landslide phenomena, between them the Corregimiento of Combia Baja.

The present study, develops an analysis of risk to landslide phenomena in one of the vital structures of the Corregimiento of Combia Baja: the aqueduct Acuacombia. Additional to this, the results obtained provide an input for the specific studies of risk that has to develop the Municipal Administration.

With the crossing of cartographic information available and through the methodology presented in this paper, it is possible to obtain maps spatialize the pipes sections that present risk associated with phenomena of mass removal in order to prioritize actions of intervention to reduce the risk by reducing the vulnerability pipes.

KEY WORDS: risks, aqueduct, vulnerability, threats.

INTRODUCCIÓN

A través de la historia, muchos asentamientos informales en la zona rural del municipio de Pereira, han resuelto por si mismos el abastecimiento de agua para su consumo, surgiendo acueductos comunitarios que han subsistido en el tiempo, de igual manera, han recibido redes de acueducto construidas en la primera mitad del siglo XX por el comité de cafeteros. En otras ocasiones, ha sido el estado quien ha promovido este tipo de organizaciones, aportando capital para que la comunidad invierta y cree su propio acueducto.

Únicamente las asociaciones de usuarios de servicios públicos que han tenido una visión empresarial y que han procurado la sostenibilidad técnica y financiera de su empresa, han logrado un crecimiento en usuarios e infraestructura lo que permite que se fortalezcan como prestadores rurales que no dependen de la intervención estatal para superar sus dificultades de operación.

Ejemplo de esta dinámica es el acueducto de Acuacombia, el cual ha llegado a ser uno de los más importantes del municipio en la zona rural, no solo por la cantidad de usuarios atendidos sino por sus continuas inversiones en infraestructura y en procesos de potabilización para el suministro de agua, sin embargo las características físicas de la zona donde se ubica, hacen especialmente vulnerables sus redes ya que se ven expuestas a diferentes tipos de amenazas por fenómenos de remoción en masa, eventos torrenciales e hidrológicos.

En el municipio de Pereira se encuentran siete prestadores del servicio de acueducto rural que cuentan con más de 2.000 usuarios y en conjunto suministran el agua para el consumo humano a 52.272 habitantes rurales (12.168 suscriptores), lo que representa el 71% de la población rural total³. Acuacombia contaba para el año 2012 con un total de 3.296 usuarios⁴ y para el año 2014 con 5.025⁵, (6.82 % de la población rural) lo que representa un crecimiento del 52.4% en tan solo 2 años.

Con base en lo anterior, y entendiendo la cantidad de usuarios que dependen de Acuacombia, se reconoce la importancia de garantizar el mantenimiento de la operación de este acueducto. Por ello, vigilar las constantes dinámicas antrópicas y naturales que pueden afectar la prestación del servicio de acueducto es de vital importancia, por lo que es necesario evidenciar las posibles amenazas que influyan en el abastecimiento, por ejemplo, reconocer las amenazas derivadas de

³ Alcaldía de Pereira, Libro 2, Sistema Ambiental, Minería y Servicios Públicos, Diagnostico POT

⁴ Diagnóstico de Acueductos Rurales 2012 – Secretaria de Planeación de Pereira

⁵ Informe Acueductos Rurales 2014 – Secretaria de Desarrollo Rural

la variabilidad y el cambio climático, o de la degradación de los ecosistemas estratégicos que proveen servicios ecosistémicos de vital importancia como la regulación hídrica, resultan fundamentales para tomar medidas desde las administraciones municipales en aras de la garantía del abastecimiento.

En ese sentido, en el año 2015 se generaron dos importantes normativas a nivel local que limitan el crecimiento urbanístico en el corregimiento de Combia e impiden la expedición de nuevas matrículas del servicio de acueducto, la primera es la Resolución 0742 del 9 de Abril de 2015 expedida por la Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER), la cual declara el agotamiento del recurso hídrico en el sector, el segundo es el Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Pereira adoptado mediante Acuerdo 028 del 2 de octubre de 2015, el cual reduce el suelo suburbano del corregimiento y limita la construcción de nuevas viviendas en consonancia con la declaratoria de agotamiento emitida por CARDER. Estos dos instrumentos normativos fueron apoyados en estudios técnicos y se constituyen como herramientas para la gestión ambiental territorial de largo plazo, que presentan objetivos que apuntan a la protección de los ecosistemas estratégicos.

El Acuerdo Municipal 028 brinda además insumos importantes para la gestión del territorio entre ellas, la cartografía actualizada presentada en formato shape y con libre acceso a través de la página www.potpereira.com; donde se define las zonas de amenaza y riesgo del municipio de acuerdo a lo establecido en el Decreto 1807 de 2014, en lo relativo a la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial, los cuales constituyen un importante insumo para el presente documento.

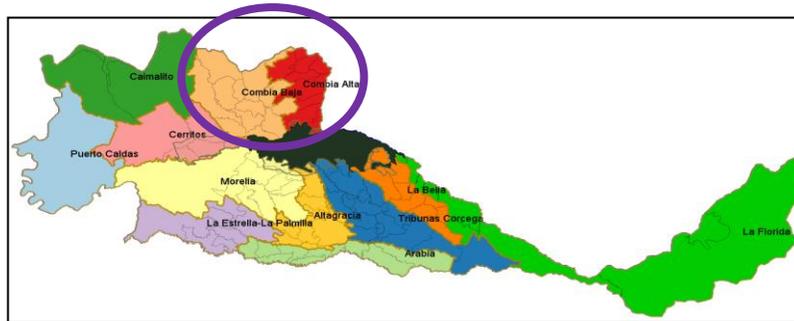
Es así como este trabajo de grado busca la identificación de riesgos en la red del acueducto Acuacombia del municipio de Pereira, utilizando información secundaria y utilizando herramientas propias de los sistemas de información geográfica para generar cartografía temática que brinde una herramienta a los entes territoriales para orientar la toma de decisiones al momento de realizar intervenciones en tramos de red que presentan condiciones de vulnerabilidad.

1. ÁREA PROBLEMÁTICA

1.1. LOCALIZACIÓN

El municipio de Pereira cuenta dentro de su división político administrativa con 12 corregimientos y 109 veredas, dentro de los cuales se encuentra el corregimiento de **Combia Baja**, constituido por 13 veredas, una extensión de 4.588,78 Ha; lo que corresponde al 8% de la extensión municipal. Este corregimiento corresponde al área de interés del presente trabajo. En la siguiente figura se puede identificar la localización del corregimiento de Combia Baja en el municipio de Pereira.

Figura 1 . Ubicación Área de estudio



Fuente: Este proyecto con base en POT 2015

1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La zona de Combia Baja, hace parte de la zona rural del municipio de Pereira, zona donde el servicio de acueducto es prestado por empresas comunitarias, las cuales no tienen la capacidad ni administrativa ni técnica de adelantar estudios o inversiones específicas que permitan optimizar la prestación del servicio.

Pese a ello, el desarrollo de este tipo de empresas, corresponde a iniciativas por parte de la comunidad rural, con el objetivo garantizar la prestación del servicio y la generación de empleo, convirtiéndose en alternativa de desarrollo.

La zona de Combia Baja se abastece del acueducto **Acuacombia**, el cual fue construido en el año de 1954 y se abastece de cinco corrientes hídricas: Quebrada Bejucos, Quebrada San Vicente, Quebrada Pavas con un caudal de concesión de 30 L/s; Quebrada Pital II con un caudal de concesión de 14 L/s, según Resolución CARDER N° 392/01; y Quebrada Monos con un caudal de concesión de 8 L/s, según resolución CARDER N° 1029/04 (Expediente N° 1783)⁶.

El estado de las microcuencas que abastecen la zona es regular, debido a que existe presión sobre el ecosistema a causa de actividades principalmente agrícolas (cultivos de café y plátano), y pecuarias (ganadería extensiva), localizadas en las zonas altas, estas actividades afectan principalmente La Quebrada Monos. Pese a ello, el acueducto tiene identificadas áreas estratégicas para la conservación y realiza prácticas de reforestación, demarcación y cerramiento en la parte alta de La Quebrada Monos, no se realiza prácticas de conservación en áreas forestales protectoras, aunque el acueducto ha generado propuestas a CARDER para trabajar en ello, ya que se considera necesario.

El acueducto suministra agua 100% desinfectada al corregimiento de Combia Baja, veredas: San Vicente, El Placer, La Bodega, El Pital, El Chaquiro, La Suecia, San Marino, El Pomo, Santander, Crucero de Combia, La Carmelita, La Siria y los sectores Aguas Claras, La Floresta, Oriente (Bellavista), con calidad apta para consumo humano, en la categoría “aceptable”, según la Secretaría de Salud y Seguridad Social. Respecto a la calidad del recurso, el acueducto realiza control de calidad de agua, posee catastro de redes en un 70% y de suscriptores en un 60%, y realiza micromedición en un 100% y macromedición en el circuito Monos (Falta Pital II y San Vicente.⁷ En la siguiente imagen se puede visualizar (en color rojo) la distribución del acueducto Acuacombia en el corregimiento de Combia.

⁶ Universidad Libre, Informe de catastro de Acueductos Rurales

⁷ Idem

Figura 2. Ubicación del Acueducto Acuacombia



Fuente: Este proyecto

En cumplimiento del artículo 42 de la Ley 1523 de 2012, las empresas prestadoras 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, con base en este análisis se diseñarán e implementarán 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.

Ante esta obligatoriedad normativa y la ausencia de este tipo de análisis se hace necesario realizar con la información actualmente disponible una determinación de los niveles de riesgo a los que se encuentra expuesta la infraestructura del acueducto Acuacombia de Pereira.

Se pretende así generar un mapa donde claramente se diferencian los niveles de riesgo Alto, Medio y Bajo a los que está expuesta la infraestructura con el fin que sirva como insumo para la formulación de un plan de contingencia, además para identificar las zonas donde deben priorizarse las inversiones para protección de la tubería o la reubicación de la misma.

Este análisis involucra información de geomorfología, topografía, geología precipitación, las cuales a través de un trabajo con álgebra de mapas puede

determinar el nivel de riesgo ante desastres naturales al que está expuesta la infraestructura que se analiza.

Actualmente el municipio de Pereira cuenta con información actualizada gracias al reciente proceso de revisión del Plan de Ordenamiento Territorial, además gracias al catastro de redes de acueductos rurales realizado por la Universidad Libre de Pereira, se cuenta con los shapes de las redes de acueducto en la zona rural.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Identificar los Riesgos asociados a la amenaza por movimientos en masa y a la vulnerabilidad física de las redes del Acueducto Rural del corregimiento de Combia, Acuacombia

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las amenazas por Fenómenos de Remoción en Masa en el área del acueducto de Acuacombia.
- Evaluar la vulnerabilidad física de las redes, combinando los atributos tipo de tubería, diámetro de tubería y edad de la tubería.
- Generar un mapa con la clasificación de riesgo alto, medio o bajo.
- Realizar un comparativo frente a un análisis sin la inclusión de la vulnerabilidad de las redes.

3. JUSTIFICACIÓN

Según el documento diagnóstico del Plan de Ordenamiento Territorial (Acuerdo 28 de 2015), las líneas vitales se definen como los sistemas que proveen servicios primordiales a una sociedad, el comportamiento de ésta depende del que posean sus sistemas, ya sea durante su normal operación como su respuesta y recuperación frente a una emergencia.

En el Municipio de Pereira se identifican los principales sistemas de líneas vitales que se constituyen principalmente por los sistemas de acueducto y alcantarillado, los sistemas de Energía Eléctrica, sistemas de aseo, vías y aeropuerto, los sistemas de telecomunicaciones, entre otros, que constituyen la infraestructura básica esencial del municipio, en estos sistemas se fundamenta la infraestructura física fundamental para el desarrollo del municipio, por ello, conocer su estado al igual que la identificación de las amenazas que el entorno representen para ellas, se hace fundamental para garantizar la prestación de los servicios que ellas prestan.

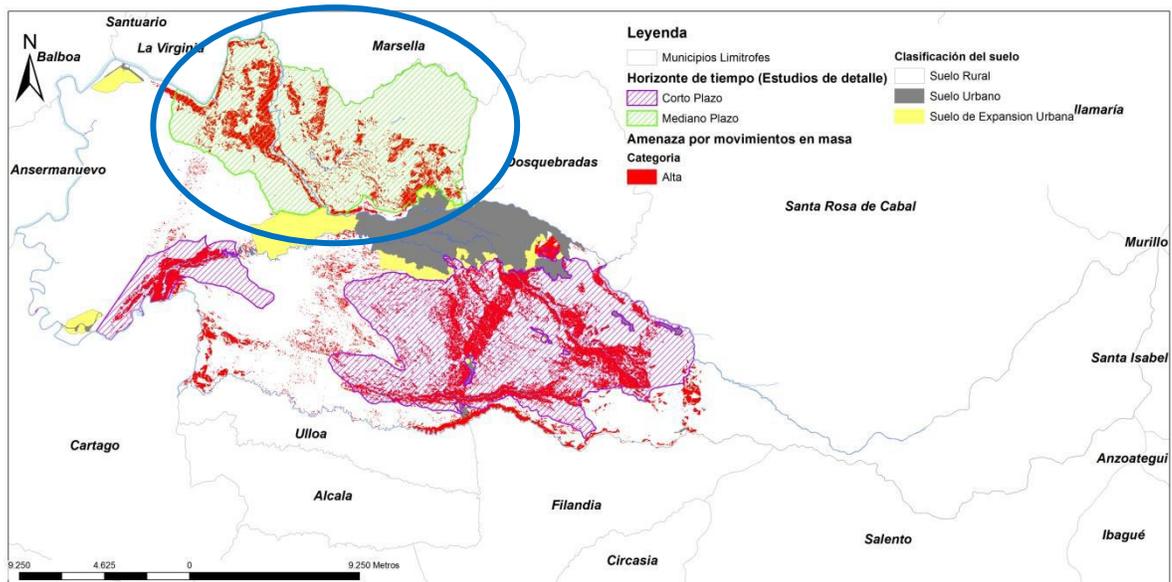
En ese sentido, la ley 1523 de 2012 *Por la cual se adopta la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones*, establece en su Artículo 42 lo siguiente: **Análisis específicos de riesgo y planes de contingencia**. Todas las entidades públicas o privadas encargadas de la prestación de servicios públicos, que ejecuten obras civiles mayores o que desarrollen actividades industriales o de otro tipo que puedan significar riesgo de desastre para la sociedad, así como las que específicamente determine la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, 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.

En sintonía con lo anterior, la Resolución 154 de 19 de marzo de 2014, *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*, hace referencia desde su artículo 1 a 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.

Partiendo de lo anterior, es importante adicionar que en el documento diagnóstico del Plan de Ordenamiento Territorial el área de Combia Baja, fue identificada como

zona en susceptibilidad alta a la amenaza por fenómenos de remoción en masa y por tanto, corresponde a una de las áreas prioritarias para estudios de detalles en zonas determinadas con amenaza alta por fenómenos de remoción en masa., como se observa en la siguiente figura.

Figura 2. Identificación de las áreas priorizadas para estudios de detalles en zonas determinadas con amenaza alta por fenómenos de remoción en masa



Fuente: POT 2015

Como se observa en la figura anterior, gran parte de la zona de Combia Baja se encuentra en amenaza alta por movimientos en masa, lo que representa una amenaza para las estructuras vitales que se ubiquen en esta zona de influencia, como las redes del acueducto Acuacombia.

Dado que en el Plan de Ordenamiento Territorial quedó establecido que estas zonas prioritarias que deben ser objeto de intervención de corto, mediano y largo plazo, la zona de Combia Baja corresponde a las áreas prioritarias de mediano plazo, como lo describe el libro 3 del documento de formulación del Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Pereira: (...) *“La delimitación y clasificación de las zonas de amenaza por fenómenos de remoción en masa y la determinación de las medidas específicas de intervención, serán establecidas por estudios a detalle realizados en las unidades priorizadas por el Municipio con el apoyo de la Autoridad Ambiental, de acuerdo al horizonte de tiempo planteado.*

Estos pueden ser elaborados al momento de desarrollar las unidades de planificación rural⁸.

Este trabajo se enfocara en la identificación de las líneas vitales relacionadas con la prestación del recurso hídrico en la zona del corregimiento de Combia Baja, generando información detallada que sirva como insumo para la construcción de otros estudios detallados de mediano plazo señalados por parte de la administración municipal como prioritarios en el Plan de Ordenamiento Territorial y contribuyendo al desarrollo de medidas de gestión del riesgo en la zona.

⁸ Tomado al pie del libro III del Documento Diagnóstico del Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Pereira

4. MARCO TEÓRICO

La gestión del riesgo se entiende como un proceso de tipo social, en concordancia con lo dispuesto en la ley marco de gestión del riesgo en el país, la Ley 1523 de 2012, compuesta a su vez, por 3 procesos: conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y manejo de desastres. La Ley 1523 de 2012, por la cual se adopta la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, define las bases para efectuar acciones para el conocimiento y reducción del riesgo.

La definición del riesgo a la luz de lo expuesto en la Ley 1523 en su Artículo 4 numeral 25 como (...) *“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”*. La amenaza es definida en el mismo artículo numeral 3 como *“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”* y posteriormente la vulnerabilidad se describe en el numeral 27 como *“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”*.⁹

La Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres con base en lo establecido en la Ley 1523 de 2012, define dos enfoques de riesgo desde la perspectiva sectorial de la prestación de los servicios públicos domiciliarios, la primera es el enfoque de **riesgo sobre el proceso de prestación de los servicios públicos domiciliarios**; la cual se enfoca sobre el estudio de factores que puedan afectar la prestación del servicio tales como las características del entorno que puedan representar en algún momento un factor de amenaza y por su parte las características de los sistemas que pueden condicionar la exposición a ciertos impactos negativos y niveles de pérdidas, la segunda se orienta a los **riesgos generados por efecto de la prestación de los servicios públicos domiciliarios sobre la sociedad**; orientada principalmente al estudio de los

⁹ Definiciones de “riesgo, amenaza y vulnerabilidad” tomadas al pie de la Ley 1523 de 2012

factores que puedan hacer más crítica la situación de desastre y que se convierten en un tema prioritario de salud pública.¹⁰

Para efectos del presente trabajo se utilizó en el enfoque de **riesgo sobre el proceso de prestación de los servicios públicos domiciliarios**, específicamente la definición de los riesgos del acueducto Acuacombia a los fenómenos de remoción en masa.

En el proceso de definición del riesgo es de vital importancia reconocer que los sistemas de prestación de los servicios públicos en sus diferentes componentes se encuentran en constante interacción con el medio en el cual se emplazan, de tal forma que las características de ese entorno pueden representar en algún momento un factor de amenaza y por su parte las características de ese sistema pueden condicionar la exposición a ciertos impactos negativos y niveles de pérdidas.

Dentro de los fenómenos que pueden representar amenazas para el sistema se encuentran los de origen natural (sismos, huracanes, vendavales, actividad volcánica), los socio-naturales (sequía, inundaciones, avenidas torrenciales, fenómenos de remoción en masa, desertificación e incendios de cobertura) y los antropogénicos (contaminación), acciones violentas, interrupción del fluido eléctrico, entre otras acciones de intervención directa del ser humano). (UNGRD, 2014)

4.1. DEFINICIÓN DE AMENAZAS

Para configurar escenarios de riesgo, como se planteó anteriormente, es importante determinar los niveles de amenaza y vulnerabilidad. En ese sentido, la información disponible respecto a las amenazas por fenómenos de remoción en masa, corresponde a estudios oficiales desarrollados por la Administración Municipal. Los fenómenos de remoción en masa -FRM- corresponden a amenazas de tipo socio-natural y se definen como desplazamientos de masa de tierra o rocas por una pendiente, en forma súbita o lenta. De acuerdo con sus características, velocidad de movimiento, magnitud y material transportado, los fenómenos de

¹⁰ Tomado de la "Herramienta Metodológica para la Formulación de Programas para la Gestión del Riesgo de Desastres en los Servicios de Acueducto, Alcantarillado y Aseo", desarrollada por la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres –UNGRD-2014.

remoción en masa se clasifican en: 1) Erosión lineal (laminar, surcos, y cárcavas), 2) Deslizamientos (planares, rotacionales y en cuña); 3) Derrumbes; 4) Reptación; 5) Flujos; 6) Caídas de bloques; y 7) Solifluxión. Los primeros cuatro corresponden a movimientos lentos y los tres restantes a movimientos rápidos. Este tipo de proceso afecta principalmente las líneas de aducción, conducción y aquellas estructuras construidas a media ladera, interrumpen los servicios afectados en forma dramática (UNGRD, 2014)

La información sobre -FRM- requerida para el presente trabajo se encuentra en los mapas en formato shape oficiales del Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Pereira, suministrados por la Secretaría de Planeación de la Alcaldía de Pereira.

4.2. DEFINICIÓN DE VULNERABILIDAD

Las condiciones de vulnerabilidad de estos sistemas no están aisladas de las condiciones sociales, económicas y ambientales del entorno en el que se sitúan, la Infraestructura de servicios públicos suele presentar un mayor nivel de exposición a las amenazas en las zonas donde se encuentran asentamientos en condiciones de precariedad, especialmente en las áreas marginales de las ciudades y en las zonas rurales se presenta una mayor ocurrencia de fenómenos peligrosos que pueden afectar, tanto los sistemas de prestación de servicios públicos domiciliarios, como a la población misma. (UNGRD, 2014).

Para el caso de Acuacombia, la información disponible suministrada por la administración municipal a través del convenio con la Universidad Libre, consta de mapas en formato shape con el trazado de las redes del acueducto, con información específica de material del tubo (PVC, asbesto-cemento y hierro galvanizado), antigüedad de la tubería y diámetro del tubo. Lo cual permite hacer un análisis detallado de la susceptibilidad o fragilidad de la estructura frente a los fenómenos de remoción en masa.

En ese sentido, es importante conocer algunas de las definiciones utilizadas en la gestión del riesgo de desastres y así tener claridad en las etapas y alcances del estudio.

4.3. ANTECEDENTES

Al acueducto Acuacombia se le han formulado especialmente desde la Academia, la Autoridad Ambiental y la Administración municipal, estudios y planes que ayudan a mejorar el conocimiento y a administrar de manera adecuada la infraestructura asociada a este.

Dentro del libro diagnóstico del Plan de Ordenamiento Territorial 2015-2027 de Pereira se hace una identificación del estado de las líneas vitales referentes a la prestación del servicio de acueducto y alcantarillado

Los servicios de acueducto y alcantarillado hacen parte de las líneas vitales y las diferentes instalaciones que sirven para la administración y control de los mismos, corresponden a construcciones indispensables, las cuales, aun en periodos de emergencia o desastres deber continuar su funcionamiento en forma normal y en caso tal de generarse algún evento que las pudiese afectar, se deberá restablecer el servicio en el menor tiempo posible con el fin de generar el mínimo impacto a la comunidad.¹¹

Las empresas responsables por el suministro de agua en el Municipio de Pereira, serán las encargadas de verificar los posibles daños que se puedan presentar al ocurrir un evento, en toda su estructura, en las tuberías, estaciones de bombeo y reservorios y presentar el informe respectivo a la Dirección Operativa de Prevención y Atención de Desastres -DOPAD.¹²

Un importante antecedente para este proyecto fue el estudio de amenaza realizado para el POT de Pereira siguiendo los lineamientos del decreto 1807 de 2014.

La evaluación de la amenaza por movimientos en masa para el área rural del municipio de Pereira, se basó en el método heurístico, modificado y ajustado, del propuesto por Ramírez y González en 1989. Inicialmente esta metodología, adaptada de los autores anteriores, fue utilizada por la Oficina Municipal para la Prevención y Atención de Desastres de Pereira – OMPAD para elaborar los mapas de riesgo geotécnico de los inventarios de viviendas localizadas en zonas de alto riesgo, en el año 2001. Una metodología similar fue utilizada en el “Estudio y diseños de obras de protección y mitigación del Riesgo del Canal de Aducción Nuevo Libaré a la Altura del Cruce por la Quebrada La Bella” realizado para la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Pereira S.A. E. S. P, en el año 2001.

¹¹ Alcaldía de Pereira, Libro II diagnostico POT, 2015

¹² Idem

Para el tema específicamente, se utilizó la metodología desarrollada por el Servicio Geológico de Colombia (SGC), en el año 2013, para determinar la amenaza por movimientos en masa de la Plancha 208, Honda – Dorada, a escala 1:100.000.

Una vez digitalizada la información de cada mapa temático, el grupo de trabajo del POT de Pereira, de acuerdo con su experiencia en este tipo de análisis y con la información secundaria obtenida, le asigna pesos a los diferentes condicionantes de cada variable o mapa. Partiendo de esta información, se inicia la aplicación de la metodología propuesta para la evaluación de la amenaza; los mapas o variables se generaron a partir de información secundaria utilizando la herramienta SIG.

El método busca determinar inicialmente, la amenaza que presentan las diferentes zonas a generar movimientos en masa, basado en parámetros o factores naturales y antrópicos; posteriormente, se involucran los diferentes detonantes, como sismos y precipitaciones, para calcular la amenaza total mediante la siguiente ecuación:

$$A = St f (P + Li + SU + UCAS + Geo + Fa.) + Ds + Dp$$

En donde:

A = Amenaza por movimientos en masa

St = Susceptibilidad del terreno a los movimientos en masa

P = Inclinación de la pendiente

Li. = Litología

SU = Suelos Edafológicos

UCAS = Uso y cobertura actual del suelo

Geo = Geomorfología

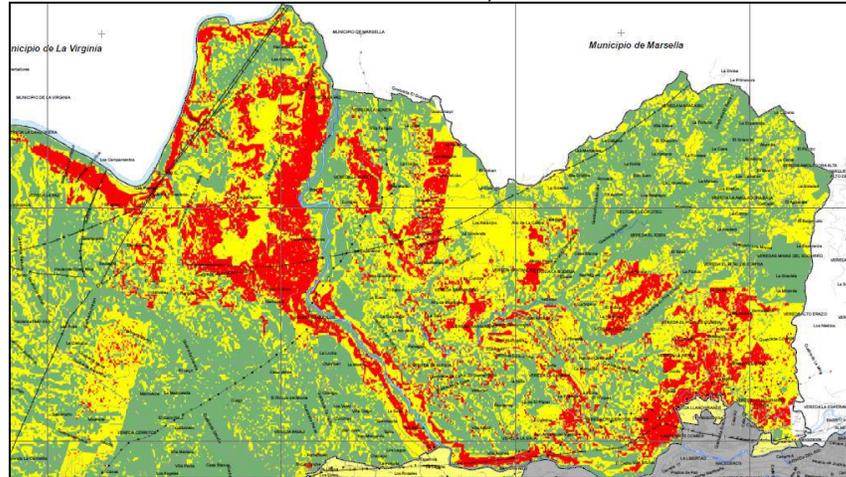
Fa = Fallas

Ds = Detonante por Sismo

Dp = Detonante por Precipitación

De la aplicación de esta metodología, se obtuvo uno de los mapas más importantes del POT, ya que permitió sustentar la decisión de reducción del suelo sub urbano y además fue fundamental para el desarrollo de este trabajo.

Figura 4. Amenaza alta por movimientos en masa zona nor occidental (Subregiones de los corregimientos de Combia y Estación Pereira, cuenca baja del Río Otún).



Fuente: Alcaldía de Pereira, Metodologías y resultados estudios básicos gestión del riesgo, POT 2015.

Otro de los antecedentes fundamentales fue el informe final del convenio 836 de 2009 suscrito entre la universidad Libre Seccional Pereira y la Alcaldía del municipio de Pereira, cuyo objeto fue: Consolidar el catastro de redes y usuarios de los sistemas de acueducto y alcantarillado comunitario de la ciudad de Pereira existentes a la fecha, en un sistema de información geográfico bajo el programa ArcGis.

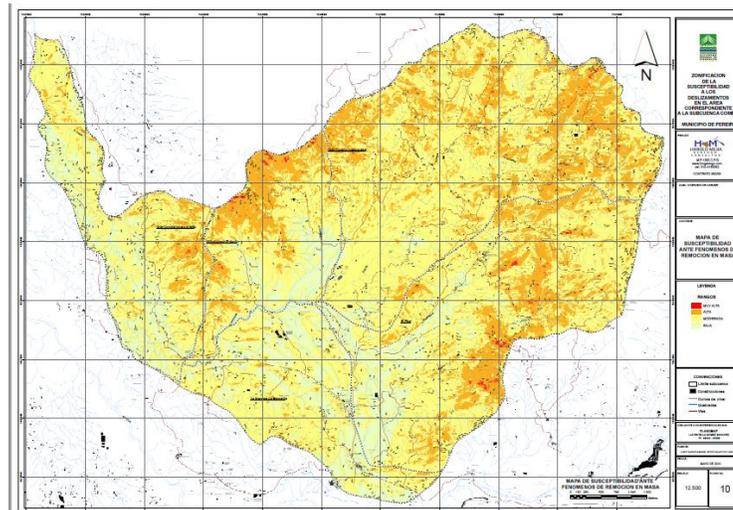
Es muy importante destacar que hasta la fecha, la cartografía generada en este convenio no ha sido utilizada para generar información temática que permita mejorar la gestión ante la prestación del servicio de acueducto rural, ya que en las secretarías de Desarrollo Rural, Salud y Seguridad Social y Planeación, no existe el personal capacitado para el procesamiento y análisis de estos datos.

La Corporación Autónoma Regional de Risaralda CARDER, realizó en el año 2010 la Evaluación y zonificación de la susceptibilidad a los deslizamientos en el área correspondiente a la subcuenca Combia mediante el contrato No. 982 de 2009.

En este estudio se obtuvieron importantes conclusiones e importante cartografía temática relacionada con los deslizamientos de la zona, en la zona de estudio se inventariaron 175 deslizamientos tipificados en diferentes categorías, de las cuales la de mayor frecuencia es el flujo de residuos que alcanzó un porcentaje del 37%, seguido de los deslizamientos tipo rotacional y flujo de suelos respectivamente.

El 36% de los procesos de remoción en masa (62 en total) diagnosticados coinciden con la categoría de uso cultivos: café con diferentes asociaciones. En ellos se destaca el 19% (representado en 34 procesos) que pertenece a la categoría café con plátano como cultivo permanente o semipermanente. Tal cifra contrasta con el 74% (un total de 129 procesos) de los procesos diagnosticados con el uso del suelo pre-existente (cartografía CARDER). Ello se explica en función de que el 28% de diferencia ha sufrido un cambio de uso del suelo, igualmente impactante en términos de susceptibilidad de ocurrencia de procesos de remoción en masa para la zona. Tales cambios de uso (inicialmente café) han sido sustituidos por pastos (con diferentes asociaciones) y otros cultivos.

Figura 5. Mapa de Susceptibilidad ante fenómenos de remoción en masa subcuenca Combia.



Fuente: CARDER, zonificación de la susceptibilidad a los deslizamientos en el área correspondiente a la subcuenca Combia.

5. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este trabajo se utiliza principalmente herramientas relacionadas con los sistemas de información geográfica con el fin de facilitar la visualización de la amplia información disponible tanto cartográfica como temática, de tal manera que al poder visualizarla y realizar los respectivos cruces y análisis, se pueden obtener nuevos datos relevantes para facilitar la toma de decisiones administrativas y gerenciales desde el punto de vista técnico, con el fin de disminuir la vulnerabilidad o reducir la exposición de la infraestructura de conducción de agua en el acueducto de Acuacombia en el municipio de Pereira.

Principalmente se toma información secundaria la cual no ha sido aprovechada por parte de los diferentes actores públicos o privados, el principal insumo es el catastro de redes y usuarios realizado por la Universidad Libre de Pereira en convenio con la Alcaldía de Pereira, seguidamente están los mapas de amenazas elaborados para el proceso de revisión del Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Pereira (Acuerdo 28 de 2015).

5.1 TIPO DE TRABAJO

Este proyecto es un trabajo de aplicación de las herramientas de los sistemas de información geográfica para facilitar el análisis espacial de las amenazas, vulnerabilidad y riesgo propios de un sistema de acueducto, la metodología aquí utilizada puede ser extrapolada para hacer este tipo de análisis a cualquier infraestructura lineal como vías, poliductos, gaseoductos siempre y cuando se cuente con información secundaria que permita estimar las amenazas propias del terreno bien sean geológicas o hidrológicas, al igual que la vulnerabilidad de la infraestructura a analizar.

5.2 PROCEDIMIENTO

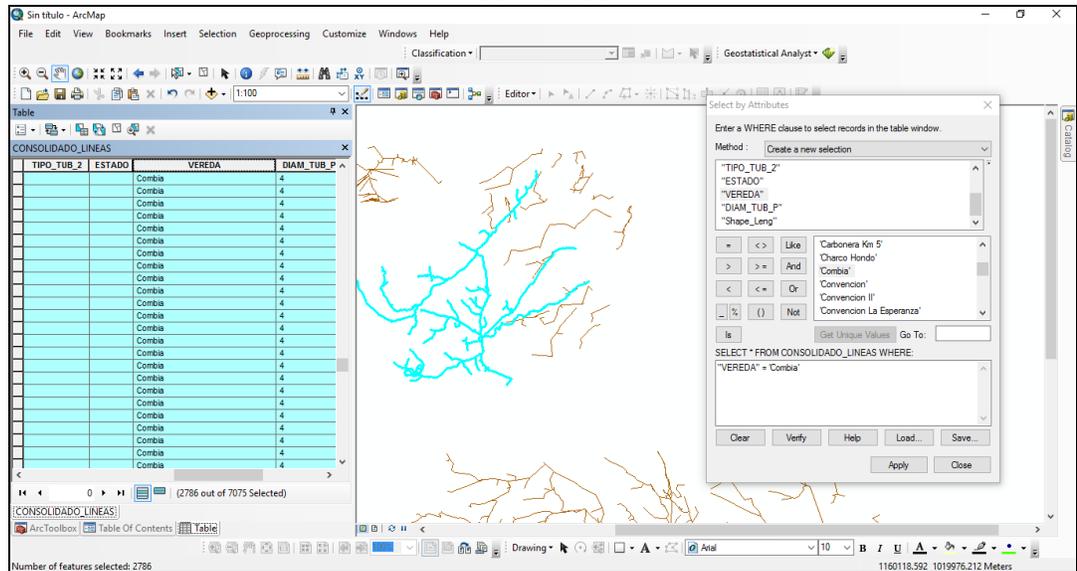
A continuación se describe una a una las fases que se siguieron para abordar metodológicamente este proyecto.

5.2.1 Fase 1. Recolección y análisis de la información. En esta fase se realizó una investigación de la información disponible y de la pertinencia de la misma para el desarrollo del proyecto.

- **Actividad 1.** Se recopiló el resultado del convenio entre la alcaldía del municipio de Pereira y la Universidad Libre Seccional Pereira, realizado en el

año 2010 cuyo objeto fue “consolidar el catastro de redes y usuarios de los sistemas de acueducto y alcantarillado comunitario de la ciudad de Pereira existentes a la fecha, en un sistema de información geográfico bajo el programa Arcgis”.

Figura 6. Identificación de las redes del acueducto de Acuacombia en el catastro de Redes



Fuente: Este proyecto

De la capa que contiene las redes de acueductos rurales del municipio de Pereira elaborada por el convenio realizado con la Universidad Libre, se selecciona la red correspondiente a la vereda de Combia (Acueducto Acuacombia) con el fin de trabajar en este proyecto solamente con las redes asociadas a este acueducto.

Debido a que en el trabajo de la Universidad Libre, las redes se encuentran presentadas como líneas, se realizó un “Buffer” con el fin de obtener los mapas de diámetro, edad y tipo de tubería, este buffer fue de 20 metros con el fin de visualizar cada uno de los tres aspectos mencionados.

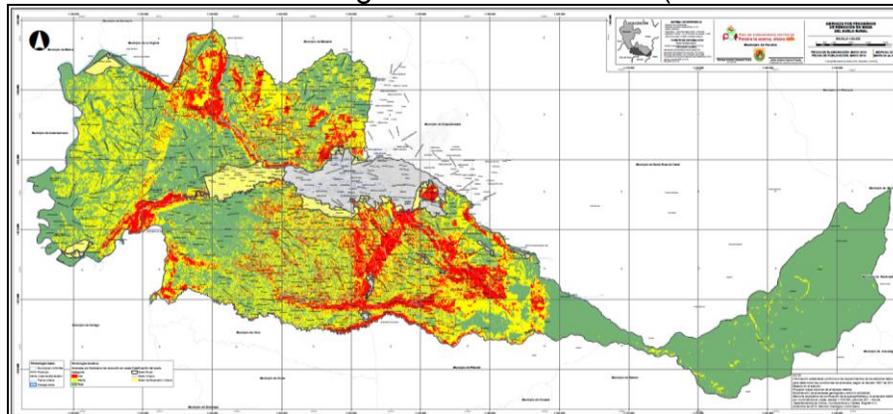
- **Actividad 2.** Se recopiló la información relacionada con el componente de riesgo del Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Pereira (Acuerdo 28 de 2015)

Figura 7. Página POT Pereira con la información cartográfica en formato .shp disponible



Fuente: Este proyecto (www.potpereira.com)

Figura 8. Presentación de la cartografía oficial del POT (Acuerdo 28 de 2015)



Fuente: Este proyecto (www.potpereira.com)

La cartografía disponible en este POT cumple con los requisitos y características establecidos en el Decreto Nacional 1807 de 2014 "Por el cual se reglamenta el artículo 189 del Decreto Ley 019 de 2012 en lo relativo a la incorporación de la

gestión del riesgo en los Planes de Ordenamiento Territorial y se dictan otras disposiciones”.

5.2.2 Fase 2. Tratamiento de la información. En esta fase se realizó un ajuste a la cartografía obtenida con el fin de poder aplicar la metodología que permite la determinación de los tramos del acueducto expuestos a riesgo, considerando la vulnerabilidad del mismo según los materiales, la edad y el diámetro de la tubería.

Actividad 1. Se edita la información de la capa del catastro de redes del acueducto Acuacombia y se establecen pesos para determinar la vulnerabilidad de las redes según su diámetro, edad y material, Se inserta un nuevo campo en la tabla de atributos con los valores definidos para cada una. Este paso es muy importante ya que este campo es de vital importancia para la calificación de característica por atributo y conseguir la clasificación final de la vulnerabilidad a través del álgebra de mapas.

Las ponderaciones realizadas a cada atributo al igual que los pesos asignados a cada valor, corresponden a consultas realizadas con expertos en redes de acueducto y riesgo que asesoraron este proceso desde la Secretaria de Planeación de la Alcaldía de Pereira, fue claro que el principal factor que incide en la vulnerabilidad física de las redes es el material en la que está construida, seguido de la edad de la red y por último su diámetro, los valores asignados se presentan en las siguiente tablas.

Tabla 1. Ponderación y pesos para tipo de tubería

Tipo de tubería	50 %
Material	Peso
Asbesto Cemento	3
Hierro Galvanizado	2
PVC	1

Fuente: Consulta a expertos en este proyecto

El material que presenta mayor vulnerabilidad física es el Asbesto cemento, seguido por el hierro galvanizado y por último el PVC, por esto, se le asignan estos pesos a cada uno.

Tabla 2. Ponderación y pesos para edad de la tubería

Edad tubería	35 %
Años	Peso
50	3

25	2
10	1

Fuente: Consulta a expertos en este proyecto

Se concluyó en consulta con los expertos, que la antigüedad de las redes incide directamente en su grado de vulnerabilidad, por tanto las redes más antiguas tienen un peso mayor que las más recientes.

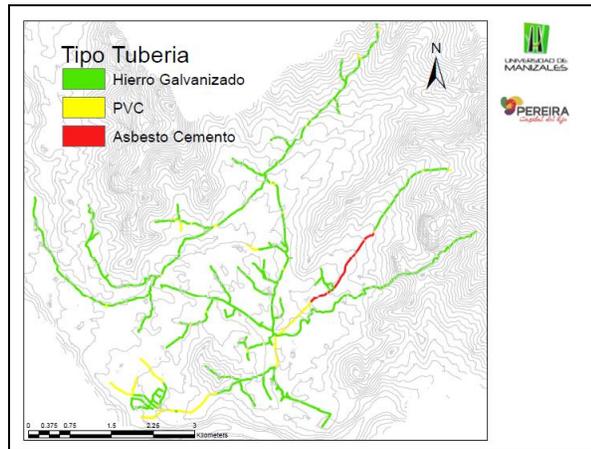
Tabla 3. Ponderación y pesos para el diámetro de la tubería

Diámetro de la tubería en pulgadas	15 %
Ø	Peso
$\frac{3}{4}$	3
1	3
1 $\frac{1}{2}$	3
1 $\frac{1}{4}$	2
2	2
2 $\frac{1}{2}$	2
3	1
4	1
6	1

Fuente: Consulta a expertos en este proyecto

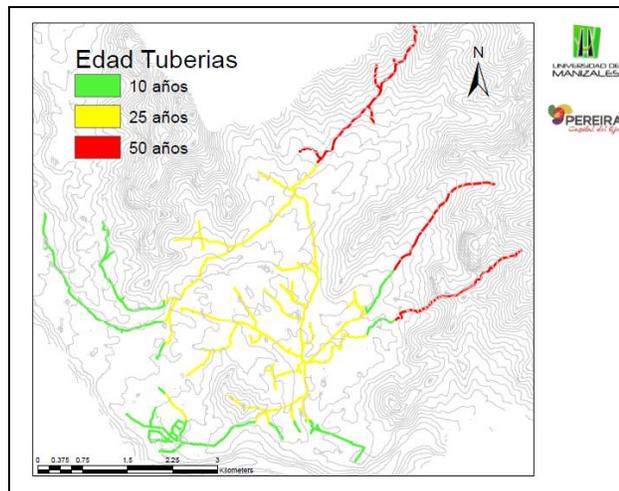
Ya que del diámetro de la tubería dependen los procesos constructivos usados en su instalación, se concluyó que los mayores diámetros presentan menos vulnerabilidad pues fueron instalados con procedimientos de obra civil más estrictos, mientras que los menores diámetros pudieron ser instalados de manera artesanal y anti-técnica.

Figura 9. Mapa con la vulnerabilidad ponderada para el tipo de tubería



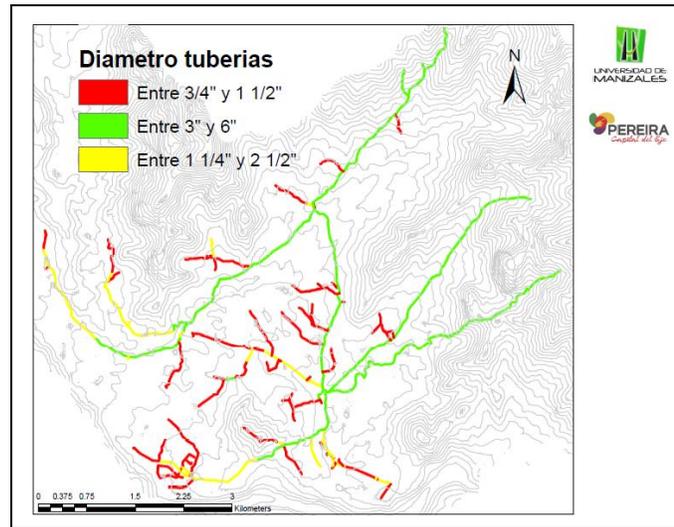
Fuente: Este proyecto

Figura 10. Mapa con la vulnerabilidad ponderada por la edad de la tubería



Fuente: Este proyecto

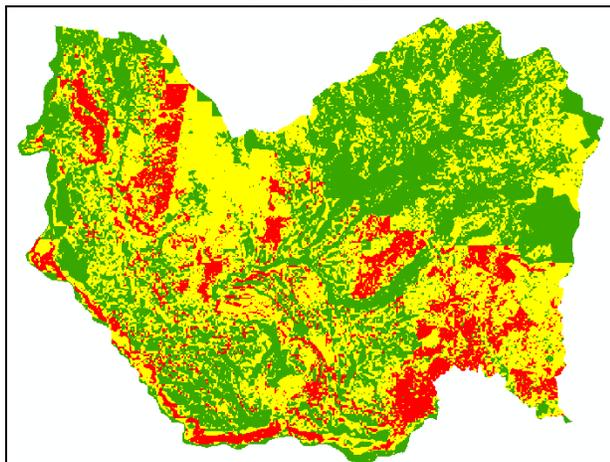
Figura 11. Mapa con la vulnerabilidad ponderada de los diámetros de la tubería



Fuente: Este proyecto

Actividad 2. Se edita el mapa de amenazas por fenómenos de remoción en masa rural del Plan de Ordenamiento territorial, en este mapa se encuentran las amenazas discriminadas en tres categorías: alta, media y baja. Dado que la información de interés se encuentra en los corregimientos del Combia alta y Combia baja, se procede a delimitar el área con la ayuda de la herramienta "geoprocessing", "clip". Una vez obtenido el mapa de la zona de estudio, se procede a convertirlo a formato raster con el fin de obtener una capa que pueda ser cruzada con el mapa raster resultante del cruce de los mapas anteriores que determina la vulnerabilidad física del acueducto.

Figura 12. Mapa con la amenaza por fenómenos de remoción en masa en el área de estudio



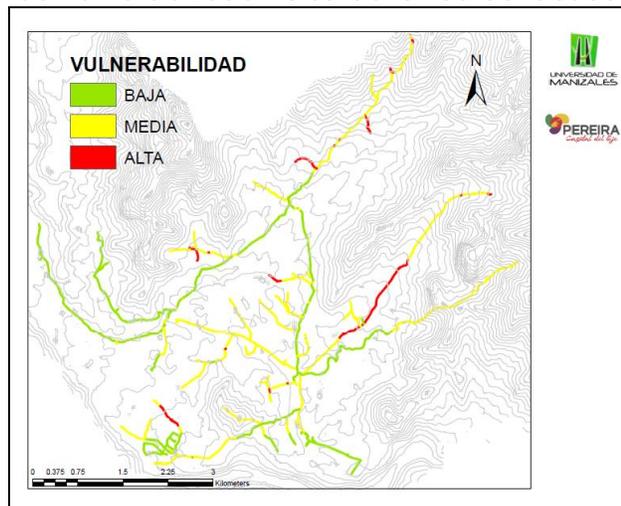
Fuente: Este proyecto, basado en mapa de amenaza Rural del POT de Pereira

5.2.3 Fase 3. Elaboración de la cartografía básica y temática. Para la elaboración de la cartografía se utilizan los mapas antes descritos, principalmente los que indican la vulnerabilidad de cada componente de la red del acueducto Acuacombia y el mapa de amenaza generado para el Plan de Ordenamiento Territorial. Esta información se trabaja con la herramienta “Raster Calculator” del álgebra de mapas en el Arc Tool Box del programa Arc Gis 10.2.

Actividad 1: Determinación de Vulnerabilidad física del acueducto basado en las características de las tuberías. Se procede a la determinación de los niveles de vulnerabilidad física de las redes, respecto a su diámetro, edad de la tubería y tipo de material del tubo. Este procedimiento se desarrolla con la ayuda de la herramienta “Raster Calculator” del “Map Algebra” “Spatial Analyst Tools” del Arc tool box.

Se pondera cada una de las capas raster obtenidas para alimentar el álgebra de mapas, se estableció previamente que el tipo de tubería es la cualidad más significativa para determinar la vulnerabilidad, por lo tanto tiene un peso del 50%, la edad de la tubería con un 35% y el diámetro con un 15%.

Figura 13. Mapa de vulnerabilidad física de la red del acueducto Acuacombia.

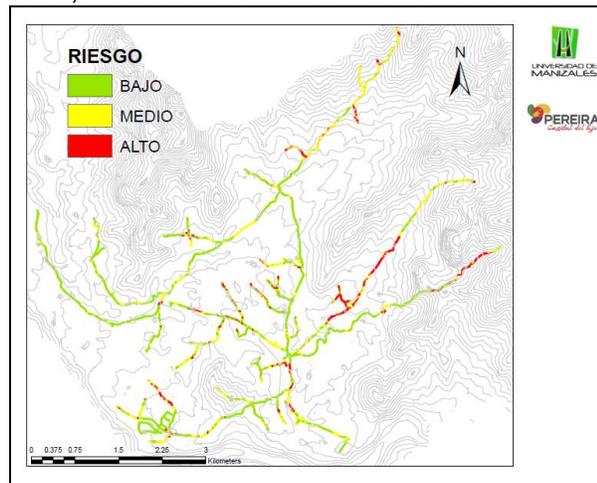


Fuente: Este proyecto

El mapa resultante tiene valores entre 1 y 2.7, por lo tanto se realiza una reclasificación para determinar tres rangos de vulnerabilidad alta, media y baja, a los cuales se les asigna pesos de 3, 2 y 1 respectivamente.

- **Actividad 2: Obtención del mapa de Riesgo.** Se asignan pesos de 60% para el raster amenaza por fenómenos de remoción en masa y 40% para la vulnerabilidad física de las redes, y se ejecuta el álgebra de mapas una vez más para obtener el mapa de riesgo de las redes del acueducto Acuacombia, se reclasifica, obteniendo valores de riesgo alto, medio y bajo

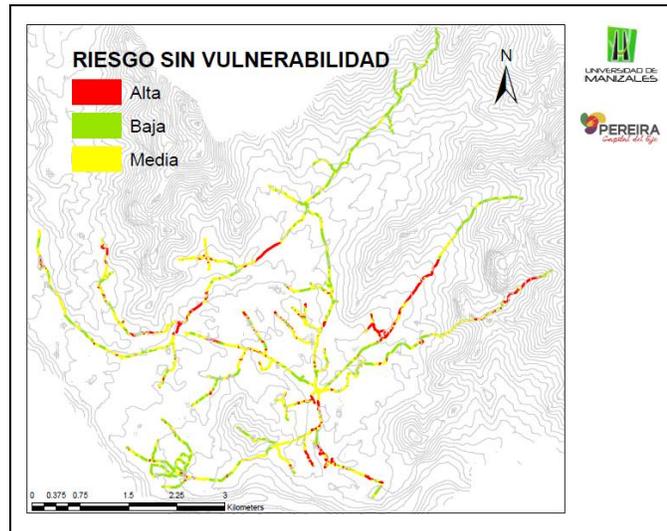
Figura 14. Mapa de Riesgo por deslizamiento de la red del acueducto Acuacombia, involucrando la vulnerabilidad física de la red



Fuente: Este proyecto

- **Actividad 3: Obtención del mapa de Riesgo Comparativo.** Se realiza un mapa de riesgo del acueducto, sin tener en cuenta el análisis de vulnerabilidad hecho a las redes, con el fin de estimar las diferencias frente al proceso realizado en este trabajo.

Figura 15. Riesgo por deslizamiento de la red del acueducto Acuacombia, sin involucrar la vulnerabilidad física de la red



Fuente: Este proyecto

En este mapa solo se tiene en cuenta la presencia de la amenaza por deslizamiento y la existencia de la red, sin incluir los criterios para definir la vulnerabilidad de la misma ante la materialización de un fenómeno por remoción en masa.

6. RESULTADOS

6.1 DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS

El mapa que determina los niveles de riesgo en la red del acueducto de Acuacombia indica de una manera más precisa los tramos de la red que pueden verse afectados por fenómenos de remoción en masa, lo que permite una priorización de inversiones y obras y por ende reducir la vulnerabilidad del sistema y así aumentar su resiliencia.

Como resultado se obtuvieron 5 mapas temáticos que contienen la información requerida para la toma de decisiones respecto al manejo del riesgo en el acueducto Acuacombia, permitiendo así establecer de manera clara y precisa el horizonte de inversiones en esta empresa, beneficiando su estabilidad financiera.

Mapas de Susceptibilidad

Los tres primeros mapas se relacionan con la fragilidad del acueducto frente a tres variables: diámetro, edad de la tubería y tipo de material.

En estos tres mapas se puede evidenciar de forma independiente estas tres variables y sirven para priorizar las medidas a tomar frente a cada una de ellas.

Mapa de Vulnerabilidad

Este mapa presenta la configuración de tres variables asociadas a la susceptibilidad del acueducto, respecto a la evaluación de tres elementos físicos de su estructura. En este mapa se pueden reconocer las áreas más vulnerables en términos físicos, y en conjunto con el mapa de amenazas suministrado por el municipio de Pereira, permiten configurar el mapa de riesgos del Acueducto.

Mapa de Riesgo

En este mapa se configuran los elementos anteriores, combinando los atributos asociados a la vulnerabilidad física y a los elementos de amenaza por fenómenos de remoción en masa de la zona de estudio. En este se identifican los tramos del acueducto en riesgo alto, medio o bajo, los cuales son de vital importancia en términos de priorización de las medidas de intervención para la reducción del riesgo en las redes del Acueducto Acuacombia.

6.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El riesgo es el resultado de la configuración de elementos de amenaza y vulnerabilidad, obteniendo áreas o tramos donde se identifican los diferentes grados de clasificación del riesgo. En ese sentido, es importante reconocer como la variabilidad de estos dos elementos pueden alterar de forma significativa la determinación del riesgo. Para el caso del acueducto Acuacombia, objeto de análisis del presente trabajo, se contó con información cartográfica básica para el análisis de riesgo, la cual se convirtió en insumo para la generación de nueva información, resultado de un análisis cartográfico y técnico, utilizando la herramienta Arcgis 10.2, permitiendo el desarrollo de un insumo indispensable para influir en la toma de decisiones, no sólo por parte de la administración del Acueducto si no por parte de la Administración Municipal.

Tabla 4. Diferencia en las áreas con clasificación de riesgo según se involucre análisis de vulnerabilidad de la red

CLASIFICACION RIESGO	AREA SIN VULNERABILIDAD	AREA CON VULNERABILIDAD	DIFERENCIA	VARIACION
ALTO	356778	275886	-80892	-29%
MEDIO	940545	627966	-312579	-50%
BAJO	812763	1206405	393642	33%

Fuente: Este proyecto

El resultado final involucrando el análisis de vulnerabilidad identifica 275.886 m² del área de influencia de la tubería con riesgo alto, 627.966 m² con riesgo medio y 1.206.405 m² con riesgo bajo. En la tabla anterior se puede apreciar el comparativo frente a un análisis de riesgo sin involucrar la vulnerabilidad de la red, puede verse como se reduce en un 29% el área de influencia con riesgo alto, en un 50% el área con riesgo medio por el contrario aumenta en un 33% el área con riesgo bajo

En este punto es importante tener en cuenta que en los estudios realizados a la fecha en los acueductos rurales del municipio de Pereira, no se han realizado los análisis detallados de elementos indispensables como la vulnerabilidad, que afectan directamente el nivel de riesgo de las infraestructuras y permiten tener un panorama más preciso, redundando en una mejor toma de decisiones. Este trabajo incluye por primera vez información sobre la vulnerabilidad de los elementos expuestos, identificando un área en riesgo alto mucho menor al área en riesgo alto estimada sin los análisis de vulnerabilidad, por lo tanto estas áreas deben ser objeto de especial intervención por parte de la administración municipal y del mismo acueducto, es decir, se requiere de menores recursos para intervenir

las zonas en riesgo alto a la luz de este trabajo. Por otro lado, el hecho de incluir elementos de susceptibilidad de las estructuras como la edad de la tubería, el diámetro y el material, permiten un análisis más acertado de la vulnerabilidad de la estructura del acueducto frente a su propia exposición a la amenaza por movimientos de remoción en masa, y por ende, al análisis final de riesgo.

7. CONCLUSIONES

- La aplicación de esta herramienta en otros sistemas de acueductos rurales permite a los tomadores de decisiones realizar una priorización de sus inversiones para la reposición, cambio o mitigación de la amenaza a la que se encuentran expuestos, redundando en un beneficio en la prestación del servicio para los suscriptores como en una mejora financiera al reducir los costos.
- Involucrar el análisis de vulnerabilidad física de la infraestructura permite mejorar la identificación de zonas de riesgo, pues de mejora la comprensión de las variables que intervienen y se pueden focalizar de mejor manera los recursos.
- La vulnerabilidad asociada a las redes del acueducto de Combia para efectos de este trabajo involucran variables como tipo de tubería, edad y diámetro, ya que esta era la información disponible en el catastro de acueductos rurales realizado por la universidad Libre de Pereira, sin embargo con el fin de precisar y afinar más este instrumento, se puede complementar con el atributo de exposición de la tubería, ya que a la fecha no se sabe cuáles tramos se encuentran enterrados y cuales expuestos, lo que configuraría un nuevo mapa de vulnerabilidad mucho más preciso y ajustado y por lo tanto mejoraría el mapa de riesgo.
- Debido a que al involucrar el factor de vulnerabilidad de las redes al análisis de riesgo, se pudo observar una disminución en las áreas con riesgo alto y medio y un aumento en las áreas con riesgo bajo, se puede concluir que en general la red del acueducto de Acuacombia presenta poca vulnerabilidad y tiene un estado aceptable.
- La identificación precisa de las zonas en riesgo alto del sistema de tuberías del acueducto del corregimiento de Combia, por medio del análisis cartográfico, facilita la formulación de instrumentos como los planes de contingencia¹³ de una manera más detallada, definiendo sus actividades de manera puntual y en un horizonte de tiempo más corto.

13 Todas las empresas prestadoras de servicios públicos se encuentran en la obligación de presentar y actualizar los planes de contingencia según lo establecido en el artículo 42 de la Ley 1523 de 2012

8. RECOMENDACIONES

- Realizar recorridos de campo por el sistema de redes con el fin de identificar los tramos de tubería expuestos y así afinar este instrumento.
- Análisis de riesgo posteriores pueden además involucrar la vulnerabilidad social y administrativa, pues es claro que la comunidad ejerce presión sobre la infraestructura mediante prácticas culturales tales como cultivos con maquinaria cerca a la red, derivaciones ilegales y perforaciones de los tubos, asentamientos ilegales en laderas que pueden desestabilizar los taludes, además de la vulnerabilidad administrativa que impide tener una adecuada gestión en todos los puntos de la red.
- La implantación y desarrollo de una cultura de la prevención y mitigación en el interior de la empresa permitirá que la adopción de medidas de mejoramiento de las estructuras potencialmente vulnerables se ejecuten en forma progresiva y planificada, tanto en periodos de calma como de alerta.
- Existen por otro lado, otras medidas (sobre todo preventivas) que comprenden la organización institucional para atender situaciones de emergencia (incluida la formulación de un plan de emergencia), el mantenimiento preventivo, la capacitación profesional en nuevos métodos operativos y la realización de convenios con otras entidades. Estas medidas, normalmente, no requieren mayores inversiones para su aplicación.
- Es de importancia determinar, en caso de falla, las áreas que quedarán sin servicio así como los tramos de acueductos y tuberías que requerirán de reparación y la identificación de las piezas especiales (válvulas, derivaciones, etc.) ya que constituyen puntos vulnerables del sistema.
- La intensidad y la distribución de los daños que llegan a soportar las tuberías son función principal de la geología de la zona y del material de la tubería. Las fallas en la construcción y diseño, aun cuando en muchas ocasiones están más íntimamente ligados al funcionamiento del sistema que a los aspectos físicos del mismo la suma de estas variables son la causa de muchas emergencias.

BIBLIOGRAFÍA

- ALCALDIA DE PEREIRA, Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Pereira. Documento Diagnóstico Libro 2 Componente General. Pereira, 2015, p. 73.
- ALCALDIA DE PEREIRA, Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Pereira. Documento Diagnóstico Libro 3 Componente Rural. Pereira, 2015, p. 119.
- ALCALDIA DE PEREIRA, Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Pereira. Metodologías y resultados estudios básicos gestión del riesgo. 2015, p. 8
- ALCALDIA DE PEREIRA, SECRETARÍA DE DESARROLLO RURAL. Situación actual de acueductos Rurales del Pereira. Pereira, Colombia. Agosto de 2014
- ALCALDIA DE PEREIRA, UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA. Informe final convenio 836 de 2009- Catastro de redes y usuarios de los acueductos rurales del municipio de Pereira. Pereira, Risaralda. 17 de diciembre de 2010
- CONGRESO DE LA REPÚBLICA Ley 1523 de 24 de abril de 2012. Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones. Bogotá, Colombia. Diario Oficial No. 48.411 de 24 de abril de 2012
- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE RISARALDA. Resolución 0742 de 2015. Por la cual se establece la reglamentación de corrientes y se declara el agotamiento del recurso en la subcuenca quebrada Combia y otros afluentes de la quebrada y otros afluentes de la quebrada y se dictan otras disposiciones. Pereira, Risaralda. 9 de abril de 2015
- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE RISARALDA. MEJÍA, Harold. Contrato 982 de 2009, Evaluación y Zonificación de la Susceptibilidad a los deslizamientos en el área correspondiente a la Subcuenca Combia. Pereira, Risaralda. Mayo de 2010
- MINISTERIO DE VIVIENDA, AMBIENTE Y TERRITORIO. Resolución 0154 de 19 de marzo de 2014. 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.

MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO, UNIDAD NACIONAL DE GESTIÓN DE RIESGO DE DESASTRES. Herramienta Metodológica para la Formulación de Programas para la Gestión del Riesgo de Desastres en los Servicios de Acueducto, Alcantarillado y Aseo. Bogotá, Colombia. Octubre de 2014

REPÚBLICA DE COLOMBIA. Decreto 1807 de 19 de septiembre de 2014. Por el cual se reglamenta el artículo 189 del Decreto Ley 019 de 2012 en lo relativo a la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial y se dictan otras disposiciones. Bogotá, Colombia. 2014

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO, 2013. Memoria explicativa de zonificación de la susceptibilidad y la amenaza relativa por movimientos en masa, escala 1:100.000, plancha 207 – Honda, departamentos de Tolima, Cundinamarca y Caldas. 153 P. + Mapas.

ANEXO A RESUMEN ANALÍTICO

Título del proyecto	IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS EN LA RED DEL ACUEDUCTO ACUACOMBIA DEL MUNICIPIO DE PEREIRA
Presidente	ARBOLEDA DIAZ, Carolina. hefzibba@gmail.com Administradora Ambiental. Contratista. Secretaría de Planeación, Alcaldía de Pereira FORERO GONZÁLEZ, Eduardo fore8@hotmail.com Ingeniero Ambiental. Profesional Universitario. Secretaría de Planeación, Alcaldía de Pereira
Tipo de documento	Trabajo de grado
Referencia documento	ARBOLEDA DIAZ, Carolina; FORERO GONZÁLEZ, Eduardo. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS EN LA RED DEL ACUEDUCTO ACUACOMBIA DEL MUNICIPIO DE PEREIRA. Pereira, Risaralda. 2016, p. 51 Trabajo de Grado presentado para optar al título de Especialista en Información Geográfica. Universidad de Manizales – Caldas. Facultad de Ciencias e Ingeniería. Especialización en Sistemas de Información Geográfica.
Institución	Especialización en Sistemas de Información Geográfica, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Manizales – Caldas
Palabras claves	Líneas vitales, riesgos, acueducto, vulnerabilidad, amenazas.
Descripción	Este trabajo tiene como propósito desarrollar un análisis de riesgo para el Acueducto Acuacombia, de la zona rural del municipio de Pereira, apoyados en las herramientas SIG, cuyos resultados pueden ser utilizados como insumo para los estudios de riesgos prioritarios de la zona.

Fuentes

ALCALDIA DE PEREIRA, Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Pereira. Documento Diagnóstico Libro 2 Componente General. Pereira, 2015, p. 73.

ALCALDIA DE PEREIRA, Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Pereira. Documento Diagnóstico Libro 3 Componente Rural. Pereira, 2015, p. 119.

ALCALDIA DE PEREIRA, Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Pereira. Metodologías y resultados estudios básicos gestión del riesgo. 2015, p. 8

ALCALDIA DE PEREIRA, SECRETARÍA DE DESARROLLO RURAL. Situación actual de acueductos Rurales del Pereira. Pereira, Colombia. Agosto de 2014

ALCALDIA DE PEREIRA, UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA. Informe final convenio 836 de 2009- Catastro de redes y usuarios de los acueductos rurales del municipio de Pereira. Pereira, Risaralda. 17 de diciembre de 2010

CONGRESO DE LA REPÚBLICA Ley 1523 de 24 de abril de 2012. Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones. Bogotá, Colombia. Diario Oficial No. 48.411 de 24 de abril de 2012

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE RISARALDA. Resolución 0742 de 2015. Por la cual se establece la reglamentación de corrientes y se declara el agotamiento del recurso en la subcuenca quebrada Combia y otros afluentes de la quebrada y otros afluentes de la quebrada y se dictan otras disposiciones. Pereira, Risaralda. 9 de abril de 2015

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE RISARALDA. MEJÍA, Harold. Contrato 982 de 2009, Evaluación y Zonificación de la Susceptibilidad a los deslizamientos en el área correspondiente a la Subcuenca Combia. Pereira, Risaralda. Mayo de 2010

MINISTERIO DE VIVIENDA, AMBIENTE Y TERRITORIO. Resolución 0154 de 19 de marzo de 2014. 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.

MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO, UNIDAD NACIONAL DE GESTIÓN DE RIESGO DE DESASTRES. Herramienta Metodológica para la Formulación de Programas para la Gestión del Riesgo de Desastres en los Servicios de Acueducto, Alcantarillado y Aseo. Bogotá, Colombia. Octubre de 2014

REPÚBLICA DE COLOMBIA. Decreto 1807 de 19 de septiembre de 2014. Por el cual se reglamenta el artículo 189 del Decreto Ley 019 de 2012 en lo relativo a la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial y se dictan otras disposiciones. Bogotá, Colombia. 2014

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO, 2013. Memoria explicativa de zonificación de la susceptibilidad y la amenaza relativa por movimientos en masa, escala 1:100.000, plancha 207 – Honda, departamentos de Tolima, Cundinamarca y Caldas. 153 P. + Mapas.

Contenido

El documento se constituye de componentes propios de identificación de la zona de estudio, componentes teóricos donde se describen los marcos normativos y conceptuales en los que se fundamenta el desarrollo

del trabajo, una metodología basada en estudios oficiales en materia, donde se toma como insumo la información oficial del municipio de Pereira sobre las zonas expuestas a amenazas por fenómenos de remoción en masa, un análisis de vulnerabilidad de las redes del acueducto y un posterior estudio de riesgos con sus respectivos productos cartográficos.

Metodología

La metodología utilizada en el presente estudio, es una adaptación de la utilizada para la elaboración de los mapas de riesgo del Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Pereira. Contiene un análisis de la vulnerabilidad de redes del acueducto Acuacombia combinado con la información de amenazas a fenómenos de remoción en masa del municipio de Pereira, y el posterior análisis de riesgo, todo con su respectivo producto cartográfico. Finalmente se hace un análisis con los resultados de riesgos en dos momentos, uno incluyendo el análisis de vulnerabilidad y el otro no lo incluye, con el fin de mostrar la calidad de la información arrojada por los dos tipos de análisis y sus repercusiones en términos de inversiones de recursos para el manejo de riesgos.

Conclusiones

- Involucrar el análisis de vulnerabilidad física de la infraestructura permite mejorar la identificación de zonas de riesgo, pues de mejora la comprensión de las variables que intervienen y se pueden focalizar de mejor manera los recursos.
- La vulnerabilidad asociada a las redes del acueducto de Combia para efectos de este trabajo involucran variables como tipo de tubería, edad y diámetro, ya que esta era la información disponible en el catastro de acueductos rurales realizado por la universidad Libre de Pereira, sin embargo con el fin de precisar y afinar más este instrumento, se puede complementar con el atributo de exposición de la tubería, ya que a la fecha no se sabe cuáles tramos se encuentran enterrados y cuales expuestos, lo que configuraría un nuevo mapa

de vulnerabilidad mucho más preciso y ajustado y por lo tanto mejoraría el mapa de riesgo.

- Debido a que al involucrar el factor de vulnerabilidad de las redes al análisis de riesgo, se pudo observar una disminución en las áreas con riesgo alto y medio y un aumento en las áreas con riesgo bajo, se puede concluir que en general la red del acueducto de Acuacombia presenta poca vulnerabilidad y tiene un estado aceptable.