



La vivienda y el agua  
son de todos

Minvivienda

# Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico

## Título K

### Gestión del Riesgo y Adaptación al Cambio Climático en los Sistemas de Acueducto, Alcantarillado y Aseo

# CONTENIDO

---

PRESENTACIÓN.....	5
INTRODUCCIÓN.....	7
CAPÍTULO 1.....	9
1. Marco Jurídico – Gestión del Riesgo para el sector de agua potable y saneamiento básico – Adaptación al Cambio Climático .....	10
CAPÍTULO 2 .....	12
2. Aspectos generales .....	13
2.1 Alcance .....	13
2.2 Definiciones .....	13
2.3 Desarrollo conceptual de la Gestión del Riesgo y la Adaptación al Cambio Climático..	18
2.4 Componentes del sistema de acueducto, alcantarillado y aseo.....	32
2.5 Definición de criterios para la categorización de obras y etapas de intervención .....	33
CAPÍTULO 3 .....	37
3 Diagnóstico del nivel de amenaza, estimación de la vulnerabilidad y medidas recomendadas .....	38
BIBLIOGRAFÍA .....	40
FICHA 1 - Estimación vulnerabilidad sísmica obras sectoriales lineales o puntuales - Impactos y medidas recomendadas .....	43
FICHA 2 - Estimación del nivel de amenaza y vulnerabilidad por la actividad volcánica - Impactos y medidas recomendadas .....	56
FICHA 3 - Estimación del nivel de amenaza y vulnerabilidad generados por inundaciones, avenidas torrenciales y otros procesos - Impactos y medidas recomendadas.....	67
FICHA 4 - Estimación del nivel de amenaza y vulnerabilidad generados por movimientos en masa - Impactos y medidas recomendadas.....	82
FICHA 5 - Estimación del nivel de amenaza y vulnerabilidad generados en temporada seca - Impactos y medidas recomendadas .....	95

# CRÉDITOS

---

Iván Duque Márquez  
**Presidente de la República**

Jonathan Tybalt Malagón González  
**Ministro de Vivienda, Ciudad y Territorio**

José Luis Acero Vergel  
**Viceministro de Agua y Saneamiento Básico**

Hugo Alonso Bahamón Fernández  
**Director de Desarrollo Sectorial**

Gloria Patricia Tovar Alzate  
**Directora de Programas**

---

**Diseño de contenido**  
Juan Diego Narváez Osorio

## Apoyo Técnico

### Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio

#### Grupo de Desarrollo Sostenible

Zayda Janeth Sandoval Núñez (Coordinadora)  
Mike Donald Bowie Mahecha  
José Edier Ballesteros Herrera

#### Grupo de Política Sectorial

Ángela María Escarria Sanmiguel (Coordinadora)  
María Elena Cruz Latorre  
Jimmy Arnulfo Leguizamón Pérez

#### Dirección de Programas

Miguel Ángel Castro Munar

## **Junta Técnica Asesora del RAS 2019**

### **Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico Dirección de Desarrollo Sectorial**

Juan Manuel Flechas Hoyos  
Karen López Guevara  
Andrea Yolima Bernal Pedraza  
Juan Diego Narváez Osorio  
Julián David Quesada Saldarriaga  
Carlos Augusto Sierra Ríos  
Eliana María González Santacruz  
Jorge Luis Montes Paredes  
Diana Alexandra Vega Parra

### **Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD)**

Diego Martín Castillo Pinilla  
Dirceu Enrique Vargas Pedroza  
Javier Eduardo Herrera Becerra  
Jorge Moisés Martelo Payares  
Claudia Ximena Ramos Hidalgo  
Sandra Marcela Ramírez Ubaté

### **Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA)**

Guillermo Ibarra Prado  
Andrés Felipe Ardila Jiménez

### **Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC)**

Ayleen Vanessa Bogoya Jerez

### **Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (ACODAL)**

Maryluz Mejía de Pumarejo  
Alberto Valencia Monsalve  
Nelson Albeiro Castaño Contreras

### **Asociación Nacional de Empresas de Servicios Público Domiciliarios y Actividades Complementarias (ANDESCO)**

Martha Lucía Durán Ortiz  
María Camila Acero Vargas

### **Universidad del Valle**

Edgar Quiroga Rubiano

### **Escuela Colombiana de Ingeniería - Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)**

María Carolina Romero Pereira

### **Consejo Gremial Nacional – Acoplásticos**

Alejandro Botero Trujillo

### **Consejo Gremial Nacional – Camacol**

Inés Elvira Wills Toro  
Orlando Miguel Polo Castro

## **Diagramación**

Sara Viviana Torres Vergara



Foto: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio

## PRESENTACIÓN

El Reglamento técnico de Agua y Saneamiento (RAS) está compuesto por una parte obligatoria, principalmente la Resolución 0330 de 2017 , y otra parte complementaria, de manuales de prácticas de buena ingeniería, conocidos como los títulos del RAS, en donde se realizan recomendaciones mínimas para formulación, diseño, construcción, puesta en marcha, operación y mantenimiento de los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo, de forma que se logre con esta infraestructura prestar un servicio con una calidad determinada.

El presente título K, incluye los lineamientos sobre gestión del riesgo que deben incorporarse en todas las etapas del ciclo de proyecto de la infraestructura requerida para la prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo.

Los referentes del presente título son: la Herramienta Metodológica para la Formulación de Programas de Gestión del Riesgo de Desastres en los Servicios de Acueducto Alcantarillado y Aseo realizada por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio y la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres; en la cual fundamenta el marco conceptual y los referentes acordes a las disposiciones de la ley 1523 de 2012 para el análisis de riesgos basado en el conocimiento del riesgo (entendido éste como la interrelación entre la amenaza y la vulnerabilidad), reducción del riesgo y manejo del desastre en los servicios de acueducto alcantarillado y aseo e igualmente, este instrumento se encuentra articulado con el Decreto 2157 de 2017.

Se hace la distinción entre los proyectos nuevos y los proyectos existentes, al igual que la categorización de las estructuras y obras de ingeniería, teniendo en cuenta el grado de exposición de las mismas. En el caso de los proyectos nuevos, se diferencian dos escenarios para los análisis de riesgos, el primero relacionado con el diseño y construcción de nueva infraestructura, el segundo, relacionado con la reposición y operación de infraestructura existente.

Dentro de la formulación de nuevos proyectos es necesario identificar y analizar la presencia de amenazas que condicionan la definición y localización de los componentes a construir, las obras complementarias para intervenir las condiciones amenazantes, así como los estudios especializados y las medidas generales y particulares que deben incorporarse al diseño, al igual que las alternativas propuestas, las cuales deben incorporar el componente de gestión del riesgo para la toma decisiones

relacionadas con la selección y viabilidad de las mismas. En el caso de los proyectos existentes, además de identificar las amenazas, se debe evaluar la vulnerabilidad del sistema y de la prestación del servicio frente a los riesgos existentes y establecer las respectivas acciones para su reducción. En este grupo, debe tenerse en cuenta las obras ejecutadas por “privados” que deben ser recibidas para la operación por parte del prestador, tal es el caso de las redes de acueducto y alcantarillado de las urbanizaciones.

En todos los escenarios es pertinente considerar que en la actualidad no es posible reducir totalmente las condiciones de riesgo, motivo por el cual se deben formular las estrategias de manejo de desastres, las cuales incluyen los planes de contingencia y emergencia, teniendo en cuenta lo estipulado en las resoluciones 0154 de 2014 y 0527 de 2018 del Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio.

**JONATHAN TYBALT MÁLAGÓN GONZÁLEZ**  
**Ministro de Vivienda, Ciudad y Territorio**



Foto: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio

## INTRODUCCIÓN

---

El Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico “RAS”, adoptado mediante Resolución No. 0330 del 8 de junio de 2017, del Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio y que en el presente documento llamaremos RAS, establece como objetivo del Título 2 (Requisitos Técnicos), *“señalar los requisitos, parámetros y procedimientos técnicos mínimos que obligatoriamente deben reunir los diferentes procesos involucrados en la planeación, el diseño, la construcción, la supervisión técnica, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de los sistemas de acueducto, alcantarillado y/o aseo que se desarrollen en la República de Colombia, con el fin de que garanticen su estabilidad, durabilidad, funcionalidad, calidad, eficiencia, sostenibilidad y redundancia”*.

Para lograr este objetivo, desde años atrás, se ha reconocido la necesidad de reducir los impactos y pérdidas generadas por los eventos de origen natural, socio-natural o antrópico (intencionales y no intencionales) en la prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y/o aseo. Teniendo en cuenta que los sistemas de prestación se encuentran expuestos durante su construcción, operación y funcionamiento a múltiples fenómenos, y que resulta evidente su vulnerabilidad, se ha considerado de gran importancia formular lineamientos metodológicos que permitan realizar análisis de amenaza y riesgo adecuados a la realidad sectorial.

La infraestructura del sector de agua potable y saneamiento básico tiene ciertas particularidades que ameritan un especial cuidado en la toma de decisiones para la selección de alternativas de trazados de obras lineales y la localización de obras puntuales (incluye las obras tipo III descritas en el Título I) con respecto a las diferentes amenazas de origen natural, socio-natural o antrópico a las que pueda estar expuesta. A continuación, se relacionan algunas:

- Las obras del sector hacen parte de las edificaciones indispensables y líneas vitales, es decir aquellas que aun ante un evento, deberían garantizar la continuidad del servicio a la población en particular el suministro de agua potable.
- Las obras lineales (aducciones, conducciones y redes de distribución de acueducto y redes de transporte de aguas servidas) pueden en su trazado atravesar zonas de diferentes características topográficas, geomorfológicas, hidrogeológicas, geológicas, de cobertura y uso del suelo, lo

que implica diferentes niveles de amenaza por fenómenos de remoción en masa. Lo anterior sumado a los fenómenos de variabilidad climática (lluvias) y niveles de amenaza sísmica de cada región en particular.

Teniendo en cuenta lo anterior, el diseñador o el gestor de proyectos por parte de la entidad responsable de la prestación y operación de los servicios de acueducto, alcantarillado y/o aseo, deberá contemplar el componente de gestión del riesgo, en particular, para el caso del presente título, en los diseños de obras nuevas puntuales o lineales, de reposición o rehabilitación de estructuras existentes.

Se considera la mejor opción, para evitar gastos innecesarios en sobrecostos de obra la selección de alternativas viables que garanticen la sostenibilidad y estabilidad del servicio, contemplar en las etapas previas de planeación y diseño de los proyectos, los análisis de amenazas.

Algunas de las medidas recomendadas que el diseñador o gestor debe considerar son:

- Involucrar el componente de gestión del riesgo, en los planes maestros de acueducto, alcantarillado y aseo.
- Garantizar en los términos de referencia para contratar diseños de obras sectoriales (nuevas, reposición o rehabilitación), que se involucren los análisis de amenazas, vulnerabilidad y probables riesgos de las obras a diseñar y aquellos que estas puedan generar en el entorno. Estos deben contemplar los tiempos requeridos, presupuestos y solicitud de personal idóneo para la ejecución de los mismos.



# 1 Capítulo

Marco Jurídico – Gestión del Riesgo para el sector de agua potable y saneamiento básico – Adaptación al Cambio Climático.

# CAPÍTULO 1

## 1. Marco Jurídico – Gestión del Riesgo para el sector de agua potable y saneamiento básico – Adaptación al Cambio Climático

La gestión del riesgo de desastres, es un proceso social orientado a la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo y para el manejo de desastres, con el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible, tal y como lo establece 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 de Riesgo de Desastres.

Con anterioridad a esta norma e igualmente con posterioridad a la misma, se han venido generando instrumentos normativos que de una u otra forma involucran al sector de agua potable y saneamiento básico en el tema de gestión del riesgo y la adaptación del sector al cambio climático.

A continuación, se relacionan algunos de esos instrumentos normativos:

**LEY 142 DE 1994.** Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos y se dictan otras disposiciones. En el artículo 11, función social de la propiedad en las entidades prestadoras de los servicios públicos. Obligaciones: 11.7. Colaborar con las autoridades en casos de emergencia o calamidad pública, para impedir perjuicios graves a los usuarios de servicios públicos.

**Decreto 1425 del 6 de agosto de 2019.** Por el cual se subroga el capítulo 1, del título 3, de la parte 3, del libro 2 del Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio, Decreto 1077 del 26 de mayo de 2015, con relación a los Planes Departamentales para el Manejo Empresarial de los Servicios de Agua y Saneamiento. En el Artículo 2.3.3.1.5.7, de la Sección V se incorpora el Plan de Gestión del Riesgo Sectorial, como instrumento de Planeación que establece las directrices que promueven la generación del conocimiento sobre el nivel del riesgo, al que se encuentran expuestos los sistemas de prestación de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo.

**Reglamento colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.** La primera reglamentación sismo resistente nacional fue expedida por el Gobierno nacional, por medio del Decreto 1400 del 7 de junio de 1984, la primera actualización, correspondiente al Reglamento NSR-98, fue expedida por medio del Decreto 33 del 9 de enero de 1998 y la segunda actualización, correspondiente al Reglamento NSR-10, se expidió por medio del Decreto 926 del 19 de marzo de 2010.

**La Resolución No. 0154 del 19 de marzo de 2014 del Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio** estableció los lineamientos para la formulación y actualización de los Planes de Emergencia y Contingencia para el manejo de desastres asociados a la prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo que deben cumplir las personas prestadoras en todo el país.

**La Resolución 0501 de 2017 del 4 de agosto, expedida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio** “Por la cual se expiden los requisitos técnicos relacionados con composición química e información, que deben cumplir los tubos, ductos y accesorios de acueducto y alcantarillado, los de uso sanitario y los de aguas lluvias, que adquieran las personas prestadoras de los servicios de acueducto y alcantarillado, así como las instalaciones hidrosanitarias al interior de las viviendas y se derogan las Resoluciones 1166 de 2006 y 1127 de 2007”

**La Resolución 844 del 8 de noviembre de 2018, expedida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio** “Por la cual se establecen los requisitos técnicos para los proyectos de saneamiento básico de zonas rurales que se adelanten bajo los esquemas diferenciales definidos en el capítulo 1, del título 7, de la parte 3, del libro 2 del Decreto 1077 de 2015”

**La Resolución No. 0527 del 23 de julio de 2018 del Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio** por la cual se modifican el artículo cuarto de la Resolución No. 0154 del 19 de marzo de 2014 y se dictan otras disposiciones, como son los parámetros para la verificación de los Planes de Emergencia y Contingencia, PECs.

**Decreto 2157 del 20 de diciembre de 2017** por medio del cual se adoptan directrices generales para la elaboración del plan de gestión del riesgo de las entidades públicas y privadas en el marco del artículo 42 de la Ley 1523 de 2012.

**La Resolución No. 1209 del 29 de junio de 2018 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible**, por la cual se adoptan los términos de referencia únicos para la elaboración de los planes de contingencia para el transporte de hidrocarburos, derivados o sustancias nocivas de que trata el artículo 2.2.3.3.4.14 del Decreto 1076 de 2015 y se toman otras determinaciones.

**Decreto 1077 del 26 de Mayo de 2015**, por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio

**ARTICULO 2.2.2.1.3.1.2 Estudios técnicos para la incorporación de la gestión del riesgo en la planificación territorial.** Teniendo en cuenta el principio de gradualidad de que trata la Ley 1523 de 2012, se deben realizar los estudios básicos para la revisión de los contenidos de mediano y largo plazo de los planes de ordenamiento territorial o la expedición de nuevos planes y en su ejecución se deben realizar los estudios detallados (Decreto 1807 del 19 de septiembre de 2014).



La vivienda y el agua  
son de todos

Minvivienda

# 2 Capítulo

Aspectos generales

# CAPÍTULO 2

## 2. Aspectos generales

### 2.1 Alcance

Con este título se pretende presentar una metodología para identificar las amenazas a las que puedan verse expuestas las estructuras que hacen parte de los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo. Estas estructuras cumplen una función en la operación, que al verse afectadas o impactadas por algún tipo de evento pueden repercutir en fallas en la continuidad y calidad del servicio, dependiendo de la función que presta en la operación, la redundancia del sistema y el nivel de respuesta del operador para recuperar el servicio. Estos aspectos se deben tener en cuenta en las fases planeación, formulación, análisis de alternativas, diseño, construcción y operación.

Además de identificar las amenazas, las vulnerabilidades y los riesgos de la infraestructura existente, es necesario identificar los riesgos sobre la población y el medio ambiente, entre otros, que se puedan generar por un mal funcionamiento de los componentes de la infraestructura, de forma aislada o como sistema.

Es necesario tener en cuenta la información sobre el impacto del cambio climático, en particular lo relacionado con los fenómenos de variabilidad climática (el Niño y la Niña), para la toma de decisiones de las medidas de adaptación que se requieran. Los ingenieros diseñadores que trabajan en el sector de agua potable y saneamiento básico, deben ser capaces de comprender e interpretar la información e identificar las necesidades propias de cada proyecto, la vulnerabilidad de los mismos y los impactos que puede generar en los sistemas la variabilidad climática.

### 2.2 Definiciones

Las siguientes son las definiciones de algunos términos que están estrechamente ligados con los análisis de gestión de riesgo de desastres (GRD) para los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo. En general, estas definiciones corresponden a los Lineamientos de Política de Gestión del Riesgo de Desastres en la prestación de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo, que en adelante se denominan Lineamientos de política.

**Adaptación:** Comprende el ajuste de los sistemas naturales o humanos a los estímulos climáticos actuales o esperados o a sus efectos con el fin de moderar perjuicios o explotar oportunidades beneficiosas. En el caso de los eventos hidrometeorológicos la Adaptación al Cambio Climático corresponde a la gestión del riesgo de desastres en la medida en que está encaminada a la reducción de la vulnerabilidad o al mejoramiento de la resiliencia en respuesta a los cambios observados del clima y su variabilidad.

**Agua potable:** Aquella que es apta para el consumo humano y cuya ingestión no tendrá efectos nocivos para la salud (Decreto 1575 de 2015).

**Alerta Temprana:** Situación que se declara a través de instituciones, organizaciones e individuos responsables y previamente identificados, que permite la provisión de información adecuada, precisa y efectiva previa a la manifestación de un fenómeno peligroso en un área y tiempo determinado, con

el fin de que los organismos operativos de emergencia activen procedimientos de acción pre establecidos y la población tome precauciones específicas para evitar o reducir el riesgo.

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

**Amenaza:** La ley 1523 de 2012 la define así: “Peligro latente de que un evento físico de origen natural, 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”.

- **Amenazas de origen Natural.** Son aquellas asociadas a la posible manifestación de un fenómeno de origen natural, que al desarrollarse puede generar transformaciones sociales, culturales y un sin número de transformaciones de la tierra y el medio ambiente. También se suelen clasificar de acuerdo con sus orígenes terrestres o atmosféricos, permitiendo identificar, entre otras, amenazas geológicas y amenazas hidrometeorológicas.
- **Amenazas de origen socio natural.** Conjunto de actividades humanas que pueden originar o detonar eventos naturales, los cuales a su vez pueden influir de manera negativa, directa o indirectamente, en las vidas o bienes de una población y sus servicios esenciales.
- **Amenazas geológicas.** Son aquellas que se originan a causa de procesos terrestres internos o de origen tectónico, tales como sismos, erupciones volcánicas y tsunamis.
- **Amenazas hidrometeorológicas.** Fenómenos originados en las condiciones climáticas, por aumento o disminución fuerte de temperatura, lluvias y velocidad de los vientos. Entre estos están los huracanes, vendavales, tormentas tropicales y eléctricas, tornados y trombas, granizadas, sequías, entre otras.

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

**Cambio climático:** Es un cambio de clima que se atribuye directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que es un agregado de la variabilidad climática natural observada en períodos comparables. (CMNUCC, 1992).

**Capacidad de respuesta (superación):** Medios por los cuales la población u organizaciones utilizan habilidades y recursos disponibles para enfrentar consecuencias adversas que puedan conducir a un desastre. En general, esto implica la gestión de recursos, tanto en períodos normales como durante tiempos de crisis o condiciones adversas. El fortalecimiento de la capacidad de reacción a menudo comprende una mejor resiliencia para hacer frente a los efectos de amenazas naturales y antropogénicas. (EIRD/ONU, 2004).

**Conocimiento del riesgo:** La ley 1523 de 2012 lo define como: “El proceso de la gestión del riesgo compuesto por la identificación de escenarios de riesgo, el análisis y evaluación del riesgo, el

monitoreo y seguimiento del riesgo y sus componentes y la comunicación para promover una mayor conciencia del mismo que alimenta los procesos de reducción del riesgo y de manejo de desastre”.

**Cotas de inundación o de desbordamiento:** Son los niveles de los ríos que se tienen de referencia para poder alertar a la población ante la probabilidad de que se presente una inundación y corresponden también con los niveles a partir de los cuales se comienzan a presentar las primeras afectaciones en zona urbanas.

**Desastre:** La ley 1523 de 2012 lo define así: “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”.

**Edificaciones indispensables:** NSR – 2010 las define como aquellos equipamientos urbanos de atención a la comunidad que deben funcionar durante y después de un sismo, cuya operación no puede ser trasladada rápidamente a un lugar alterno, tales como hospitales y centrales de operación y control de líneas vitales.

**Emergencia:** La ley 1523 de 2012 la define así: “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 de riesgo:** Representación de las condiciones de amenaza y vulnerabilidad en un territorio determinado, que configuran las pérdidas probables frente a la ocurrencia de un fenómeno en particular. Los escenarios de riesgo deben incluir por lo menos las características del fenómeno (amenaza) esperado, los factores de vulnerabilidad físico, técnico, operacional, institucional, económico y ambiental, y las pérdidas que se esperarían en la infraestructura y la población.

**Escorrentía:** proporción de lluvia que fluye sobre la superficie del terreno. (Suarez D, Jaime, 2001).

**Estrés hídrico:** Se habla de estrés hídrico cuando la demanda de agua es más alta que la cantidad disponible durante un periodo determinado o cuando su uso se ve restringido por su baja calidad. El estrés hídrico provoca un deterioro de los recursos de agua dulce en términos de cantidad (acuíferos sobreexplotados, ríos secos, etc.) y de calidad (eutrofización, contaminación de la materia orgánica, intrusión salina, etc.).

**Exposición:** Se refiere a la presencia de personas, medios de subsistencia, servicios ambientales, recursos económicos y sociales, bienes económicos e infraestructura que por su localización pueden ser afectados por la manifestación de una amenaza.

**Gases de efecto invernadero (GEI):** Son aquellos componentes gaseosos de la atmósfera, de origen natural o antropogénico, que absorben y emiten la energía solar reflejada por la superficie de la tierra, la atmósfera y las nubes. Los principales gases de efecto invernadero son el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), el metano ( $\text{CH}_4$ ) los hidrofluorocarbonos (HFC), los perflorocarbonos (PFC) y el hexafluoruro de Azufre ( $\text{SF}_6$ ).

**Gestión del cambio climático:** la Ley 1931 de 2018 establece que es el proceso coordinado de diseño, implementación y evaluación de acciones de mitigación de GEI y adaptación al cambio climático orientado a reducir la vulnerabilidad de la población, infraestructura y ecosistemas a los efectos del cambio climático. También incluye las acciones orientadas a permitir y a aprovechar las oportunidades que el cambio climático genera.

**Gestión del riesgo:** La ley 1523 de 2012 la define como 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. Es una visión estructurada para manejar la incertidumbre frente a una amenaza, cuyo objetivo principal es la reducción o mitigación y control permanente del riesgo de desastre.

**Gestión del riesgo sectorial:** Proceso social orientado al conocimiento y reducción del riesgo, y manejo de desastres asociados a la prestación de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo, como una estrategia para garantizar esquemas de prestación eficientes y sostenibles.

**Impacto:** Todo efecto causado por una actividad propuesta sobre el medio ambiente.

**Infiltración:** El agua de la lluvia al caer sobre el suelo trata de infiltrarse, desplazando el agua existente hacia abajo por macro poros, formando una especie de onda de presión de agua dentro del suelo, la cual produce un frente húmedo de infiltración.

Al inicio de la lluvia la totalidad de la precipitación se infiltra humedeciendo el suelo. La humedad en el suelo antes de la lluvia es determinante en la cantidad de infiltración porque al llover, el agua trata de penetrar al suelo humedeciéndolo y creando una capa delgada de saturación; y hasta que ésta capa no haya llegado a un punto de equilibrio no se forman una escorrentía y una corriente de infiltración, (Suárez D, Jaime, 2001).

**Intervención correctiva del riesgo:** Medidas orientadas a reducir o modificar las condiciones de riesgo existentes, a través de la reducción de las amenazas, la disminución de la exposición a fenómenos peligrosos y la reducción de las posibles pérdidas por la ocurrencia de un desastre.

**Intervención prospectiva del riesgo:** Medidas orientadas a evitar que se generen nuevos riesgos a través de procesos adecuados de planificación y diseños de proyectos y obras de infraestructura con adecuadas especificaciones técnicas y la incorporación de criterios de prevención de riesgos desde la etapa de pre factibilidad.

**Intrusión salina:** Movimiento permanente o temporal del agua salada tierra adentro, desplazando u ocupando el volumen correspondiente al agua dulce. El agua captada en un acuífero costero se contamina por efecto de la salinización cuando la zona activa de la captación se ve afectada por la zona de mezcla de ambos fluidos o por la propia agua salada. Sin embargo, no es este el único proceso de salinización, puesto que si la captación se establece en una masa de agua subterránea dulce por sobre el agua salada, puede producirse una ascensión de agua salada formando un domo o cono salino en la zona de la extracción del recurso hídrico. Otras veces esta contaminación puede provenir de infiltración de agua de otros acuíferos salinizados, que comúnmente se producen por deficiencias en la construcción y operación del pozo de extracción. (Espinosa y Molina, 2005).

**Socavación:** Consiste en la profundización del nivel del fondo del cauce de una corriente causada por el aumento del nivel de agua en las avenidas, modificaciones en la morfología del cauce o por la construcción de estructuras en el cauce como puentes, espigones, etc.

**Líneas vitales:** De acuerdo a la NSR, 2010, corresponde a infraestructuras básicas de redes, tuberías o elementos conectados o continuos, que permite la movilización de energía eléctrica, aguas, combustibles, información y el transporte de personas o productos, esencial para realizar con eficiencia y calidad las actividades de la sociedad.

**Manejo de desastres:** Según la ley 1523 de 2012, es el proceso de la gestión del riesgo compuesto por la preparación para la respuesta a emergencias, la preparación para la recuperación post - desastre, la ejecución de dicha respuesta y la ejecución de la respectiva recuperación, entiéndase: rehabilitación y recuperación.

**Microzonificación sísmica:** La NSR-2010 la define como la división de una región o de un área urbana, en zonas más pequeñas que presentan un cierto grado de similitud en la forma como se ven afectados los movimientos sísmicos, dadas las características de los estratos de suelo subyacente.

**Mitigación del riesgo:** Medidas de intervención prospectiva 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.

**Mitigación de gases de efecto invernadero:** Es la gestión que busca reducir los niveles de emisiones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a través de la limitación o disminución de las fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero y el aumento o mejora de los sumideros y reservas de gases de efecto invernadero.

**Optimización:** Proceso de diseño y/o construcción para lograr la mejor armonía y compatibilidad entre los componentes de un sistema o incrementar su capacidad o la de sus componentes, aprovechando al máximo todos los recursos disponibles.

**Plan de contingencia:** Se define como las acciones de planificación y preparación respecto a escenarios de probable afectación que se puedan convertir en una emergencia o desastre y sus posibles repercusiones.

**Plan de emergencia:** Se define como la acción de preparación para la respuesta, recuperación pos desastre, ejecución de dichas respuestas y la ejecución de la respectiva recuperación ante la ocurrencia de fenómenos peligrosos, buscando la efectividad de la actuación interinstitucional, es decir, la organización en la ejecución de las actividades necesarias para el manejo de la emergencia.

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

**Prevención de riesgo:** En la ley 1523 de 2012 se define como las 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.

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

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

**Resiliencia:** La habilidad de un sistema y sus componentes para anticipar, absorber, acomodar, o recuperarse de los efectos de un evento peligroso de una manera eficiente y oportuna, incluyendo la preservación, restauración, o mejora de su estructuras básicas esenciales y funcionales.

**Riesgo aceptable:** Son las posibles consecuencias sociales, económicas y ambientales, a partir de los escenarios de riesgo mitigable, que implícita o explícitamente una sociedad o un segmento de la misma aceptan o tolera, por considerar que son poco factibles a cambio de un beneficio inmediato.

**Riesgo de desastres:** La ley 1523 de 2012 lo define 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.

**Riesgo sísmico:** De acuerdo a la NSR-10, corresponde a la determinación de las consecuencias económicas y sociales, expresada en términos monetarios, o de víctimas, respectivamente, para el sitio de interés en función de su probabilidad de excedencia para un tiempo de exposición dado.

**Vulnerabilidad:** La ley 1523 de 2012 la define como 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.

Desde el punto de vista del cambio climático, corresponde al nivel al que un sistema es susceptible, o no, es capaz de soportar los efectos adversos del cambio climático, incluidos la variabilidad climática y los fenómenos extremos. La vulnerabilidad está en función del carácter, magnitud y velocidad de la variación climática al que se encuentra expuesto un sistema, su sensibilidad, y su capacidad de adaptación (IPCC, 2007).

## 2.3 Desarrollo conceptual de la Gestión del Riesgo y la Adaptación al Cambio Climático

A continuación, se describe el marco conceptual de la gestión del riesgo sectorial:

**2.3.1 Amenaza:** Este factor se expresa como la probabilidad de que un fenómeno de origen natural, socio-natural y antrópico se presente, con una cierta intensidad, en un sitio específico y dentro de un periodo de tiempo definido y que pueden o no generar algún tipo de impacto en el sector.

De acuerdo a su origen, las amenazas pueden ser de tres tipos (ver tabla 1):

- Naturales: Relacionadas con fenómenos físicos originados por la naturaleza y sus elementos.
- 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. Por ejemplo, un deslizamiento puede ser provocado por la erosión, por fallas en la canalización de las aguas, por asentamientos en zonas inestables, por filtraciones en estructuras (pozos, cámaras, redes) que generan la saturación del terreno, etc.
- Antrópicas: Provocadas por la actividad humana.

Tabla 1. Clasificación de las amenazas que puedan afectar el sector

TIPO	EVENTO O FENÓMENO
<b>Natural</b> Inherentes a la dinámica natural de los procesos geológicos e hidrometeorológicos	<b>Geológicas:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sismos</li> <li>- Amenaza generada en zona de influencia de actividad volcánica (con sus diferentes eventos)</li> <li>- Tsunamis</li> <li>- Intrusión de cuña salina.</li> <li>- Contaminación de fuentes por actividad hidrotermal (ej: arsénico).</li> </ul> <b>Hidrometeorológicas</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Huracanes</li> <li>- Vendavales</li> <li>- Sequias</li> </ul>
<b>Socio-naturales</b> Tienen conexión con las naturales, pero su activación o factor detonante está asociado a la actividad humana (antrópico)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inundaciones</li> <li>- Movimientos en masa</li> <li>- Crecientes súbitas o avenidas torrenciales</li> <li>- Procesos erosivos de socavación generados en corrientes hídricas</li> <li>- Ascenso del Nivel del Mar Erosión costera</li> <li>- Sequias</li> <li>- Incendios de cobertura vegetal</li> <li>- Intrusión de cuñas salinas por sobre-explotación de acuíferos</li> <li>- Sequias agravadas por la deforestación</li> </ul>
<b>Antrópicas</b> Acciones directamente	<b>Tecnológicas o Acciones no intencionales</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Derrames, filtraciones, fallas en la operación de un componente</li> <li>- Explosiones</li> </ul>

TIPO	EVENTO O FENOMENO
asociadas a la actividad humana de manera intencional o accidental	<p style="text-align: center;"><b>Acciones intencionales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Atentados a la infraestructura del (s) sistemas de AyA.</li> <li>- Atentados a terceros que afectan indirectamente la continuidad y/o calidad del servicio.</li> </ul>

La lista de eventos descrita en la tabla es de carácter informativo. Las fichas anexas a este título, solo abarcan ciertos fenómenos o eventos que se consideran pueden ser previstos en las etapas de formulación, planeación, diseño, construcción o rehabilitación de infraestructura existente. Otros eventos, por su complejidad deberán ser abordados desde la PEC de las personas prestadoras y/o desde su propio PGRD, en cuyo caso, el MVCT cuenta con los instrumentos de planificación, tales como la Resolución 0154 de 214 y 0527 de 2018, además de la Herramienta metodológica para la formulación de los PGRD.

### **2.3.1.1. Amenazas de origen natural que puedan afectar el sector – identificación de los niveles de probabilidad y posibles impactos sobre el sector**

#### **A. Sismos:**

Existen importantes fuentes de información en el país y para el sector que son de gran utilidad para determinar el nivel de amenaza sísmica, donde se localiza la región o el municipio donde opera el prestador y/o donde se localizan los diferentes componentes del sistema.

Para el caso de sismos, el Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes NSR 10, en CAPÍTULO A.2 ZONAS DE AMENAZA SÍSMICA Y MOVIMIENTOS SÍSMICOS DE DISEÑO, identifica las ciudades, municipios y zonas de acuerdo a su nivel de amenaza (Ver A.2.3. y A12.2 y Apéndices A-4 de la NSR 2010).

Si bien, en la NSR 2010 se realiza una clasificación de la amenaza sísmica para el país en tres niveles: Bajo, intermedio y alto (Ver Figura 1).

Otro aspecto a tener en cuenta en la valoración de la amenaza sísmica y sobre todo para el trabajo en las componentes de gestión de riesgo sectorial, es la intensidad y la magnitud de los sismos que tienen probabilidad de ocurrir en una región determinada.

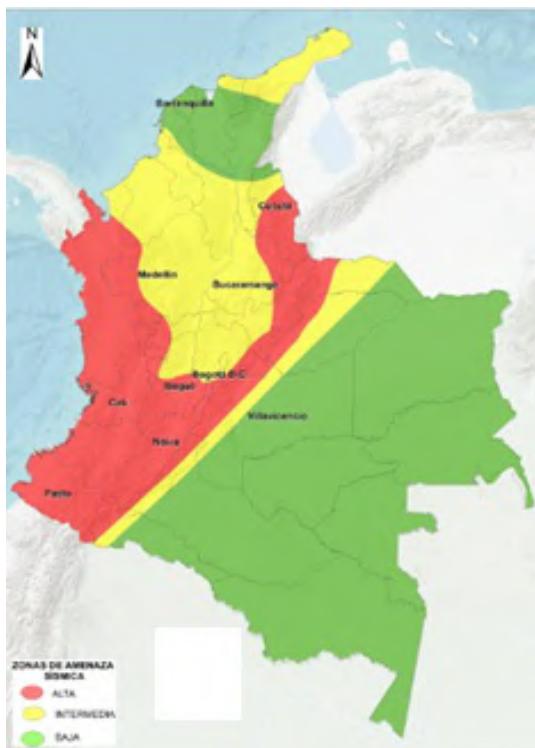
El Servicio Geológico Colombiano, elaboró en el 2015 el mapa de intensidades máximas que se ha observado en Colombia, entre los años 1644 y 2013 (Ver figura 2). Este permite visualizar de manera simple los efectos que por causa de los sismos se han presentado en al país y de igual manera visualizar a las regiones donde se han generado los efectos más devastadores, teniendo en cuenta que la intensidad, que si bien es un parámetro cualitativo, está asociada directamente a los efectos de amplificación de los suelos, la topografía entre otras, para lo cual, el formulador, el diseñador de los proyectos sectoriales o viabilizador de los mismos, debe considerar las particularidades de cada región donde opera o donde se prevé ejecutar el proyecto para garantizar la estabilidad de las obras y la sostenibilidad, continuidad y calidad del servicio.

Si se comparan las imágenes de las figuras 1 y 2, se puede apreciar una relación entre las zonas de amenaza sísmica y las identificadas en el mapa de percepción del movimiento y potencial de daño,

sin embargo, como se aprecia en la figura 2, el potencial de daño puede variar en una misma región, a pesar de la probabilidad de presentarse un sismo de igual magnitud.

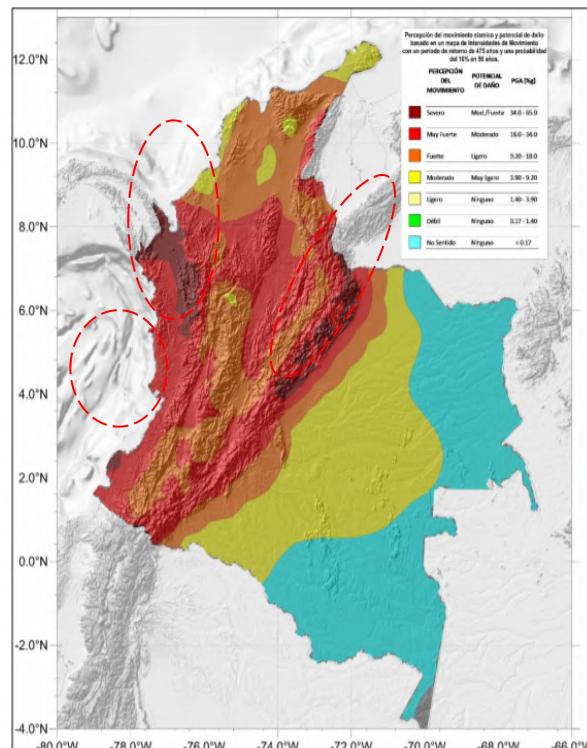
En la tabla 2, se puede ver un comparativo de la evaluación cualitativa de la clase de daños de acuerdo a la Escala Macrosísmica Europea (EMS/98) utilizada en Sarabia G., Ana Milena, 2015 y los efectos típicos de un sismo según a la magnitud de Richter.

**Figura 1. Zonas de amenaza sísmica en Colombia.**



Fuente: Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático – IDIGER, 2019

**Figura 2. Mapa de percepción del movimiento y potencial de daño.**



Fuente: Sarabia G., Ana Milena, 2015

Tabla 2. Escala de intensidad de Mercalli

INTENSIDAD Escala Macrosísmica Europea (EMS/98)	EVALUACIÓN CUALITATIVA DE LA CLASE DE DAÑOS (EMS/98)	MAGNITUD DE LA MAXIMA INTENSIDAD ALCANZADA (E. Richter)	EFECTOS CARACTERÍSTICOS DE UN SISMO DE MAGNITUD MAXIMA ALCANZADA
I - NO SENTIDO	No se siente, ni en las circunstancias más favorables.	3.5 a 4.2	Detectado solo por sismógrafos
II - APENAS SENTIDO	La vibración se percibe solo por algunas personas (1%) especialmente personas en reposo en los pisos superiores de los edificios.	3.5 a 4.2	Solo apreciado por personas muy sensibles. Algunos objetos que se encuentren en equilibrio inestable se mueven.
III – DÉBIL	La vibración es débil y se percibe en interiores sólo por unas pocas personas. Las personas en reposo sienten un balanceo o ligero temblor.	3.5 a 4.2	Similares a las vibraciones que se originan por el paso de un camión. Se siente en pisos altos si las personas están en reposo.
IV - AMPLIAMENTE OBSERVADO	El terremoto se percibe en interiores por muchas personas, pero al aire libre por muy pocas. Algunas personas se despiertan. El nivel de vibración no es alarmante. Traqueteo de ventanas, puertas y platos. Los objetos colgados se balancean.	4.3 a 4.8	Balanceo de objetos colgantes; vibran las ventanas.
V - FUERTE	El terremoto se percibe en interiores por la mayoría, al aire libre por unos pocos. Muchas personas que dormían se despiertan. Algunos escapan de los edificios, que tiemblan en su totalidad. Los objetos colgados se balancean considerablemente. Los objetos de porcelana y cristal entrechocan. La vibración es fuerte. Los objetos altos se vuelcan. Puertas y ventanas se abren y cierran solas.	4.3 a 4.8	Percibido por todas las personas; aquellos que están durmiendo se despiertan.
VI - LEVEMENTE DAÑINO	Sentido por la mayoría en los interiores y por muchos en el exterior. En los edificios muchas personas se asustan y escapan. Los objetos pequeños caen. Daño ligero en los edificios corrientes, por ejemplo, aparecen grietas en el enlucido y caen trozos.	4.3 a 4.8	Los árboles se mecen y los objetos colgantes se balancean, éstos pueden caer y ocasionar daños.
VII - DAÑINO	La mayoría de las personas se asustan y escapan al exterior. Los muebles se desplazan y los objetos caen de las estanterías en cantidad. Muchos edificios corrientes sufren	5.5 a 6.1	Las paredes se agrietan y las coberturas de yeso se caen. Hay alerta general y la gente sale de sus lugares de ocupación.

	daños moderados: pequeñas grietas en las paredes, derrumbe parcial de chimeneas.		
VIII - GRAVEMENTE DAÑINO	Pueden volcarse los muebles. Muchos edificios corrientes sufren daños: las chimeneas se derrumban; aparecen grandes grietas en las paredes y algunos edificios pueden derrumbarse parcialmente.	6.2 a 6.9	Fisuras en paredes maestras y daños en edificios poco sólidos. Los conductores de vehículos se pueden ver afectados.
IX - DESTRUCTOR	Monumentos y columnas caen o se tuercen. Muchos edificios corrientes se derrumban parcialmente, unos pocos se derrumban completamente.	6.2 a 6.9	Algunas casas se caen donde el suelo se agrieta. Los conductos subterráneos se ven afectados.
X - MUY DESTRUCTOR	Muchos edificios corrientes se derrumban.	7 a 7.3	Hay grietas importantes en el suelo. Los edificios son destruidos. Los terrenos de vertientes pronunciados se deslizan
XI - DEVASTADOR	La mayoría de los edificios corrientes se derrumban.	7 a 7.3	Puentes destruidos y pocos edificios quedan en pie. Los servicios quedan totalmente inutilizados. Hay grandes deslizamientos de tierra e inundaciones.
XII - COMPLETAMENTE DEVASTADOR	Prácticamente todas las estructuras por encima y por debajo del suelo quedan gravemente dañadas o destruidas.	Más de 8.1	La destrucción es total. El suelo tiene grandes movimientos que lanzan objetos al aire. Como resultado de esto, hay grandes cambios topográficos.

Fuente: Ajustado de Izquierdo Á., Aránzazu, 1999.

**B. Amenaza por actividad volcánica:**

- Amenazas de tipo volcánico

La fuente principal de información para este tipo evento, corresponde al programa de investigación de geoamenazas del Servicio Geológico Colombiano, el cual realiza entre otras la investigación y monitoreo de la actividad volcánica en el país. Esta entidad ha generado diferentes estudios dentro de los cuales se destacan los mapas de actividad volcánica y la zonificación de la amenaza volcánica. Estos son el resultado de estudios históricos de eventos eruptivos de los volcanes indicando diferentes zonas designadas como de amenaza alta, media y baja. Esta zonificación está basada en la potencialidad de los daños que causan los diferentes fenómenos volcánicos, considerando la posibilidad de que un área determinada pueda ser afectada por uno o varios de estos fenómenos simultáneamente.

Los fenómenos generados por la actividad volcánica que pueden generar impactos al sector son los siguientes:

- Avalanche de rocas
- Flujo piroclástico
- Flujo de Lava
- Flujos de lodo o lahar
- Gases volcánicos
- Lluvia de piroclastos

La información consolidada en este sistema de información posee una cobertura de los siguientes volcanes:

**Tabla 3. Volcanes monitoreados por el Servicio Geológico Colombiano – SGC**

No.	VOLCAN	REGION DE INFLUENCIA
1	Azufral	El Volcán Azufral, anteriormente conocido como Chaitán, vecino a la población de Túquerres, se localiza al sur de la cadena volcánica en el sector suroriental del Departamento de Nariño. En la región de influencia del volcán Azufral se localizan varios municipios entre los que se mencionan a Mallama, Sapuyes, Túquerres y Santa Cruz.
2	Cerro Bravo	Clasificación: Es un estratovolcán calderíco activo con dos calderas concatenadas de 1.5 y 1.0 km de diámetro y muy violento. Actualmente está en reposo. Localizado en el Parque Nacional de los Nevados, cerca de la ciudad de Manizales (Caldas).
3	Cerro Machín	Departamento: Tolima Municipio: Jurisdicción del corregimiento de Toche, municipio de Ibagué
4	Chiles-Cerro Negro	Los volcanes Chiles y Cerro Negro están ubicados en la frontera de Colombia y Ecuador
5	Cumbal	El complejo volcánico de Cumbal se encuentra localizado en el departamento de Nariño, al occidente de la población de Cumbal, 79 km al sur-occidente de la ciudad de Pasto
6	Doña Juana	El Volcán Doña Juana localizado en el nor-oriente del Departamento de Nariño, es considerado como uno de los volcanes activos y peligrosos de Colombia; su registro de actividad histórica nos remonta al período 1897-1936, con la ocurrencia de varias erupciones explosivas que infelizmente causaron la muerte de más de 100

		personas y grandes pérdidas económicas en su región de influencia. En la región de influencia de Doña Juana, Áimas y Petacas, se localizan varios municipios entre los que se mencionan a La Cruz, San Pablo, Belén, San Bernardo, San José.
7	Galeras	El volcán Galeras se localiza en el Departamento de Nariño, aproximadamente a 9 km al occidente de la Ciudad de San Juan de Pasto (9 km).
8	Las Áimas	Las Áimas se encuentra situado al suroccidente del país, se emplaza en el Macizo Colombiano, en el departamento de Nariño. Con una altura de 4300 msnm, Las Áimas se localiza a unos 11 Km al noreste del volcán Doña Juana y a 12 Km al suroeste del volcán Petacas, en su zona de influencia se ubican los municipios La Cruz, San Pablo, Las Mesas, La Unión, Colón, San Bernardo (Nariño), y Florencia, Bolívar y Santa Rosa (Cauca)
9	Nevado del Huila	Está localizado entre los departamentos de Cauca, Huila y Tolima.
10	Nevado del Ruiz	Departamento: Entre los límites de Caldas y Tolima Municipio: Jurisdicciones entre Villamaría y Murillo
11	Nevado de Santa Isabel	Departamento: Risaralda, Caldas y Tolima
12	Nevado del Tolima	Se encuentra ubicado en el departamento del Tolima. El principal y más fácil acceso al volcán se realiza partiendo desde la ciudad de Ibagué a lo largo de un carreteable que lleva hasta el sector de El Silencio, pasando por los corregimientos de Restrepo, Pastales y Juntas.
13	Paramillo del Cisne - Morro Negro	El paramillo del Cisne-Morro Negro está localizado en la Cordillera central de Colombia entre los complejos volcánicos del Nevado del Ruiz (al norte) y el Nevado de Santa Isabel (al sur). El Volcán Paramillo del Cisne-Morro Negro se localiza entre los departamentos de Caldas y Tolima
14	Paramillo del Quindío	Está situado sobre el eje de la Cordillera Central en el límite de los departamentos del Tolima, Quindío y Risaralda
15	Paramillo de Santa Rosa	El Volcán Paramillo de Santa Rosa se localiza en el departamento de Risaralda en el municipio de Santa Rosa de Cabal
16	Puracé	Se encuentra localizado en el departamento del Cauca.
17	San Diego	Al NE del departamento de Caldas, a 153 km al NO de Bogotá D.C. y 87 km al NE de Manizales
18	Sotará	El Complejo Volcánico Sotará se encuentra ubicado en la Cordillera Central de Colombia, en el límite entre los departamentos de Cauca y Huila
19	Romeral	Jurisdicciones de los Municipios de Neira y Marulanda, perteneciente al Departamento de Caldas

**Fuente: Servicio Geológico Colombiano – SGC. 2019.**

- Amenazas por actividad Hidrotermal

En algunos países de América del Sur, se ha detectado la presencia de arsénico en las fuentes abastecedoras de acueductos, la cual se debe a procesos de origen natural (origen geológico) o antrópico.

Para el primer caso, de acuerdo a las investigaciones realizadas por diferentes organismos, se ha detectado presencia de este elemento en las fuentes en algunos países que se localizan en la zona andina donde la actividad volcánica es evidente, tal es el caso de Argentina, Chile, México, Perú y Colombia. La presencia natural de arsénico en aguas superficiales y subterráneas está asociada al volcanismo terciario y cuaternario desarrollado en la Cordillera de Los Andes por la disolución de minerales, la erosión y desintegración de rocas. En algunos casos, los valores admisibles de este elemento pueden superar a los reglamentados en la norma nacional (Decreto 1076 de 2005 y resolución Minsalud 2115 de 2007), razón por la cual se debe tener especial cuidado para la selección de fuentes abastecedoras o fuentes alternas localizadas en zonas de actividad hidrotermal, la identificación en los mapas de riesgos este tipo de elementos que puedan afectar la calidad del agua para el consumo humano.

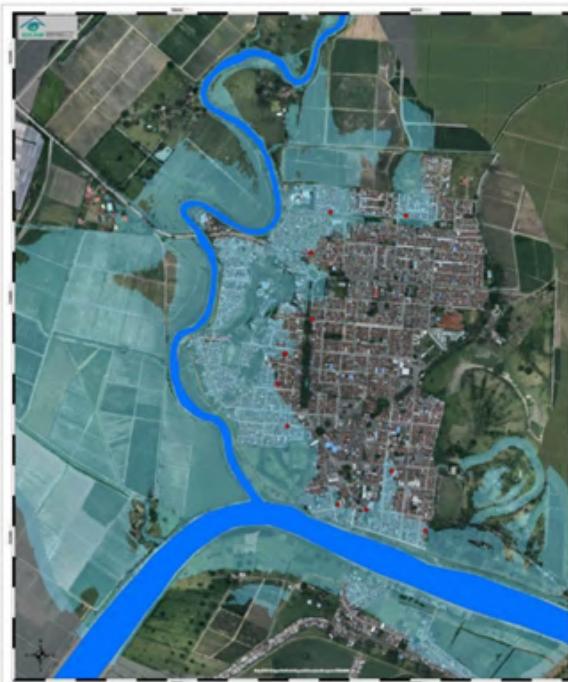
#### **2.3.1.2. Amenazas de origen socio- natural que puedan afectar el sector – identificación de los niveles de probabilidad y posibles impactos sobre el sector**

##### **A. Inundaciones, deslizamientos y procesos erosivos generados por las corrientes hídricas o marinas y drenajes urbanos:**

- Inundaciones:**

Ocurren en los valles aluviales de geomorfología plana de los ríos y quebradas, generalmente afectan grandes extensiones, pero representan pocas perdidas en el sector. Se producen por lluvias persistentes y generalizadas que generan un aumento progresivo del nivel de las aguas contenidas dentro de un cauce superando la altura de las orillas naturales o artificiales, ocasionando un desbordamiento y dispersión de las aguas sobre las llanuras de inundación y zonas aledañas a los cursos de agua normalmente no sumergidas (Fuente: IDEAM, 2018).

**Figura 3. Imagen zona amenazada por inundación en el municipio de la Virginia (Risaralda).**



Fuente: IDEAM, 2013.

- **Inundaciones asociadas a la gestión y manejo de aguas lluvias en cascos urbanos**

El crecimiento de las ciudades conlleva un continuo aumento de las superficies impermeables, lo cual está generando una grave alteración del ciclo natural del agua, aumentando los problemas relacionados con el drenaje y la gestión del agua pluvial.

Este problema se ha vuelto recurrente en nuestras ciudades debido al desarrollo urbano, intervención de cauces y canalización de drenajes, aumento en la intensidad de las precipitaciones asociadas a los fenómenos de variabilidad climática y en ciertos casos, carencia de insumos y estudios detallados para que diseños adecuados para el manejo de aguas lluvias y de escorrentía

- **Eventos torrenciales:**

Se presentan como resultado de lluvia excesiva, así como por la rotura de presas y diques. Es cada vez es más frecuente observar este tipo de eventos ocasionadas por la intervención del hombre, como consecuencia de la degradación del medio ambiente, la deforestación y el inadecuado uso de la tierra.

Por otra parte, existen eventos torrenciales propios de las condiciones de geomorfológicas de la cuenca, tales como altas pendientes y la forma de la cuenca, los cuales inciden en los tiempos de concentración del agua de escorrentía y lluvia.

Existe una diferencia considerable que deberá ser tenida en cuenta por los responsables de los diferentes procesos de planeación, formulación o diseños de proyectos sectoriales, con relación a los conceptos de inundación o de eventos torrenciales o crecientes súbitas, ya que los impactos al sector y acciones a tener en cuenta son diferentes y se deben analizar detalladamente al momento de efectuar los diseños de obras, la selección de alternativas y la construcción y operación de los sistemas.

Las causas más comunes que pueden generar una avenida torrencial son: una alta precipitación que genere una serie de deslizamientos, un deslizamiento de gran magnitud que origine represamiento en el flujo, la ocurrencia de sismos que produzcan deslizamientos, o la ocurrencia de erupciones volcánicas. Las primeras están generalmente asociadas a fuertes períodos de lluvias.

Entre las razones que existen para que los eventos torrenciales o crecientes súbitas impacten gravemente el sector, están su naturaleza casi impredecible, la rapidez a la cual ocurre, su corta duración y su largo período de retorno así como su distribución poco uniforme en el espacio y el tiempo (fuente: Montoya, 2009).

Con relación al impacto generado por las lluvias excesivas, es importante abordar el tema del cambio y variabilidad climática. A raíz de este tipo de fenómeno, se presentan lluvias más intensas en cortos períodos de tiempo, las cuales afectan de forma dramática el comportamiento natural de las cuencas como reguladoras del caudal, presentándose crecientes súbitas y desbordamientos que impactan el sector.

Igualmente, estos caudales no contemplados en condiciones normales de diseño de las obras lineales tales como colectores de aguas lluvias, generan emergencias y desastres en los cascos urbanos, tales como: inundaciones con aguas lluvias y servidas, obstrucción de vías, contaminación, entre otras.

En cuanto a los procesos erosivos generados por la dinámica natural de las corrientes hídricas, que pueden impactar el sector están:

- Socavación lateral de orillas.
- Socavación vertical de cauces.

La socavación consiste en la profundización del nivel del fondo o la erosión lateral del cauce de una corriente generada por el aumento del nivel de agua en las avenidas, modificaciones en la morfología del cauce o por la construcción de estructuras en el cauce como puentes, espigones, cimentaciones de pasos elevados, diques, etc., que generan cambio en el régimen hidráulico de la cuenca.

- **Cárcavas.**

Las cárcavas se forman en sitios de concentración de aguas. La mayoría de las cárcavas son causadas por actividades humanas. Las cárcavas tienden a formarse donde se concentran grandes volúmenes de escorrentía especialmente cuando se descargan sobre taludes de alta pendiente con suelos erosionables. Un caso común de cárcavas es la concentración de aguas ocasionada por las alcantarillas en las carreteras. Los sitios de entrega de aguas lluvias y servidas a media ladera o en taludes son muy susceptibles a la formación de cárcavas, debido a las altas velocidades del agua concentrada.

- **Erosión interna.**

La erosión interna incluye el transporte de partículas en solución, suspensión y arrastre a través de cavernas interconectadas, o ductos y tubificación (efecto de circulación del agua a través del suelo generando la erosión de las partículas más finas), o a lo largo del fondo de cimentaciones.

- **Erosión y aporte de sedimentos en las fuentes abastecedoras**

Este fenómeno está asociado a las características geo-morfológicas e hidráulicas de la cuenca abastecedora, pero igualmente se puede ver agravado o incrementado por la intervención del hombre, sobre todo en lo relacionado con los cambios de uso del suelo y cobertura vegetal, minería (material de arrastre, etc.), así como las obras que involucran intervención de cauces (presas, bocatomas, diques, muros de contención, cimentaciones de pasos elevados, entre otras).

Para el caso particular de la erosión costera, aquellas playas que se han formado por sedimentos acarreados por los ríos, presentarán erosión si se disminuyen los aportes. Ello puede deberse a la reducción en la cantidad de lluvias en la cuenca, pero lo más frecuente es una menor cantidad de sedimentos en el río debido a la construcción de presas por ejemplo. Al mismo tiempo, el azolve de los ríos en las partes bajas limita su flujo e impide que la arena vaya saliendo hacia las playas.

De igual manera, un gran aporte de sedimentos en suspensión transportados hasta la infraestructura de captación, ocasionaría contaminación del recurso, obstrucción y taponamiento de conducciones, problemas y sobrecostos en la operación de los sistemas de acueducto. Estos procesos de sedimentación afectan igualmente los embalses, lagunas o pondajes.

- **Aumento nivel del mar (ANM) – erosión costera**

Otro impacto generado por los fenómenos de variabilidad climática está relacionado con el incremento acelerado del nivel medio del mar (ANM), el cual genera tres (3) efectos amenazantes que pueden impactar el sector: La inundación progresiva y acumulativa, la erosión costera y la salinización de terrenos o intrusión salina.

Estos procesos pueden impactar de forma negativa el sector porque se pueden presentar colmatación de tuberías, destrucción de infraestructura, contaminación de acuíferos entre otras.

La actividad antrópica también puede ser una causa de la erosión en los litorales. La construcción de represas en la parte alta de los ríos, ya sea para acueductos o para sistemas de riego, aunque no existen estudios detallados para evaluar el impacto, si bien es palpable que están contribuyendo a modificar la cantidad de aportes de sedimentos a la zona costera, así como su granulometría y distribución en el tiempo (Fuente: Vides y Cortés, 2013).

**B. Movimientos en masa:**

Estos fenómenos corresponden a grandes desplazamientos de suelo, roca o mezcla de ellos en su gran mayoría generados por procesos de saturación del suelo o de los depósitos localizados en zonas de alta pendiente. Existen igualmente otros factores detonantes como son: a) Sismos (origen tectónico o volcánico) e intervenciones antrópicas sobre zonas inestables sin tener en cuenta estudios de amenazas y contemplar obras de mitigación, como en el caso de cortes de vías, excavaciones para obras lineales, filtraciones por deterioro o mal operación de infraestructura (tanques de almacenamiento, obras lineales). b) Precipitación: Generan erosión superficial, saturación de suelos, variabilidad en las presiones de poros.

En lo relacionado con el servicio de aseo, el problema puede ser más complejo en algunos casos. La disposición de residuos sólidos en rellenos sanitarios sigue siendo en la actualidad el método de disposición más utilizado en la mayor parte de los países del mundo. A pesar de que se han venido implementando nuevas técnicas, si bien es cierto que esta situación debiera dar seguridad, actualmente se siguen produciendo accidentes con impactos ambientales severos, como los registrados en el año 2016 en Santa Marta (Ver figura 4), Chile, en el, relleno de Doña Juana en la ciudad de Bogotá en Septiembre del año 1997.

Los sitios de disposición final de residuos sólidos están compuestos por estructuras complejas, construidas a partir del acomodamiento de los materiales (residuos) derivados de la recolección urbana, residencial, industrial y hospitalaria, con diferencias bastante sensibles, en cuanto al comportamiento geotécnico, en comparación con los depósitos y rellenos de material natural o previamente clasificado.

**Figura 4. Incendio en el Relleno Sanitario de Santa Marta. Chile.**



Fuente: Altabella, 2016

**C. Sequia:**

Esta amenaza socio-natural, agravada por los fenómenos de variabilidad climática, se manifiesta como períodos secos prolongados, producto de la combinación de factores naturales (hidrometeorológicos) que actúan en el suelo y en la atmósfera, con factores sociales y económicos. Generalmente, este fenómeno se relaciona con la reducción temporal y excesiva de agua y humedad disponible por debajo de la cantidad normal o esperada.

En general la disminución de la lluvia, trae la consiguiente reducción de aguas superficiales en los cursos y la presencia de desertificación en territorios donde dicha disminución es muy prolongada en el tiempo, hasta alcanzar una pérdida definitiva de la cobertura vegetal y del suelo.

Existen eventos o fenómenos de variabilidad climática que impactan el continente en cambio o intensidades de lluvia o sequía. Para Colombia, el fenómeno El Niño es un evento climático producido por el incremento en la temperatura de las aguas en la parte central y oriental del océano Pacífico tropical. El efecto de El Niño está asociado con una disminución del volumen de lluvia y un aumento de las temperaturas del aire, especialmente en las regiones Caribe, Andina y en la parte norte de la región Pacífica; sin embargo, cada fenómeno tiene sus propias características, dado que se presenta con diferente intensidad y tiempo de duración (COMPES 3947, 2018).

El país se ha visto en la tarea de afrontar los efectos negativos de los eventos asociados a este fenómeno de variabilidad climática, especialmente en los últimos períodos donde El Niño se ha presentado con fuerte intensidad, como en los episodios vividos en 1991-1992, 1997-1998 y 2015-2016. Durante este último evento, 719 municipios de 28 departamentos presentaron algún tipo de afectación en el país, y se declararon 367 calamidades públicas por desabastecimiento parcial y racionamiento de agua (COMPES 3947, 2018). Para el periodo 2018-2019, el Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico realizó el seguimiento de los eventos que pudiesen afectar el sector por la temporada seca, registrándose una afectación en 172 municipios, de los cuales 99 presentaron afectaciones en los acueductos rurales, 44 solo en el sector urbano y 29 en el sector urbano y rural. (Fuente. VASB, 2019).

El impacto sobre el sector, en especial la reducción de caudales de las fuentes abastecedoras (superficiales y/o subterráneas), se incrementa debido a problemas en la infraestructura existente (elevado porcentaje de pérdidas, entre otras) o insuficiencia en la infraestructura de abastecimiento, al no contemplarse este tipo de amenaza en la etapa de formulación y diseño de las obras.

De acuerdo con lo anterior, es necesario realizar un proceso de definición de las necesidades de información el cual debe estar basado en un análisis de los problemas de gestión del agua relacionado con el cambio climático. Los datos y necesidades de información deben ser definidos para identificar:

- Los efectos potenciales de cambio climático sobre los recursos hídricos en regímenes naturales;
- Los requisitos de calidad y cantidad de los recursos hídricos necesarios para uso específico (agua potable);
- Los posibles impactos en este uso y funciones causados por el cambio climático;
- Las medidas adoptadas para hacer frente a los impactos o para mejorar el uso o el funcionamiento de los recursos hídricos.

### **2.3.1.3. Amenazas de origen antrópico que puedan afectar el sector – identificación de los niveles de probabilidad y posibles impactos sobre el sector**

Las amenazas de origen antrópico están relacionadas con la probabilidad de ocurrencia de un evento originada por la acción humana (de manera accidental o intencional).

Algunos ejemplos:

- Acciones violentas: atentados contra la infraestructura, como el caso de derrames de crudo ocasionados por voladuras de oleoductos o poliductos en el País que han generado la contaminación de fuentes abastecedoras.

La selección de una nueva fuente de abastecimiento: Amenazas por eventos intencionales que generan la contaminación de drenajes, ríos y quebradas son recurrentes en algunas regiones del país, tal es el caso de la cuenca del río Mira en Nariño, la cual se ve afectada por la contaminación por derrames de hidrocarburo generado por atentados al oleoducto o tomas fraudulentas (“chuzadas”), contaminación por vertimientos generados por la actividad minera o cultivos de palma.

- Accidentes industriales y contaminación.
- Incendios forestales en fuentes abastecedoras.

Las regiones identificadas como susceptibles a incendios forestales, pueden afectar en un momento dado las fuentes abastecedoras.

- Colapso en la infraestructura.

Estos eventos en general, generan la activación de los protocolos de emergencia y contingencia no desarrollados en este título, sin embargo, una vez atendida la emergencia y se evalúen las causas de los daños, surgirán conclusiones de las causas que generaron la emergencia, algunas ellas asociadas a fallas en el mantenimiento, errores humanos en la operación, materiales defectuosos, activación de eventos naturales o socio-naturales no identificados previamente. Esta información servirá de insumo (como experiencias aprendidas), para los ajustes que se requieran para futuros proyectos (reconstrucción o rehabilitación).

- Eventos tecnológicos o acciones no intencionales.

Las amenazas antrópicas pueden ser tenidas en cuenta para nuevos proyectos, como por ejemplo, selección de alternativas de optimización de sistemas de acueducto en regiones con problemas de interconexión eléctrica. Si la alternativa seleccionada (sistemas de bombeo para tanques de almacenamiento, etc.) es 100% dependiente del fluido eléctrico, el sistema no podrá garantizar la continuidad del servicio.

## 2.4 Componentes del sistema de acueducto, alcantarillado y aseo

Los componentes del sistema de acueducto, alcantarillado y aseo, corresponden a las diferentes instalaciones, obras y elementos funcionales que componen los sistemas, que para en el Título K, se asocian a los elementos normalmente expuestos o que tendrían un grado probable de exposición (en caso de diseños o proyección de obras), ante las diferentes amenazas de origen natural, socio-natural o antrópico que puedan impactarlos en cada una de las regiones donde se formulen, diseñen o se encuentren en operación.

### 2.4.1 Sistemas de acueducto

Las obras o instalaciones que generalmente componen los sistemas de acueducto son:

- Los embalses para almacenamiento de agua cruda superficial.
- Las bocatomas.
- Los pozos profundos o superficiales para captación de aguas subterráneas.
- Las líneas de aducción.
- Los sistemas de potabilización.
- Las líneas de conducción.
- Los almacenamientos de agua tratada.
- Las redes de distribución.
- Las estaciones de bombeo.

### 2.4.2 Sistemas de alcantarillado

Las obras o instalaciones que generalmente componen los sistemas de manejo de aguas residuales, son:

- Los sistemas de alcantarillado sanitario (tuberías, colectores, interceptores y estructuras de recolección y transporte de aguas servidas).
- Los sistemas de alcantarillado pluvial (transporte de aguas lluvias del municipio).
- Los emisarios finales (colectores matrices que llevan parte o la totalidad de las aguas lluvias, sanitarias o combinadas hasta el sitio de vertimiento o a las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales –PTAR-).
- Los sistemas de tratamiento de aguas residuales.
- Los emisarios submarinos.

### 2.4.3 Sistemas de aseo

- Sistema sin aprovechamiento
- Sistemas con aprovechamiento.
- Disposición final

## 2.5 Definición de criterios para la categorización de obras y etapas de intervención

Para el componente de gestión del riesgo y adaptación al cambio climático, es importante que la infraestructura que se planea diseñar o se encuentra en operación, sea evaluada teniendo en cuenta el grado de exposición de la misma ante las diferentes amenazas de origen natural, socio-natural o antrópico (intencional o no intencional), al igual que el impacto o riesgos que estas representaría para la población, el medio ambiente y las estructuras localizadas en la zona de influencia de la operación del sistema.

### 2.5.1 Criterios referentes a la naturaleza de las intervenciones de ingeniería

#### 2.5.1.1 Obras lineales:

Se trata, en general, de obras complejas por su propio carácter lineal y la necesidad de atravesar zonas con diferentes características ambientales, geológicas, geomorfológicas, topográficas y de complejidad, relacionada con las intervenciones antrópicas que se encuentren en su trazado las cuales pueden facilitar o dificultar el diseño y/o la operación del sistema y por ende, presentar diferentes niveles de vulnerabilidad y riesgo de acuerdo al grado de exposición y al nivel de amenaza identificado en cada zona.

Las estructuras que hacen parte de este grupo son:

- Líneas de aducción, conducción y distribución de los sistemas de acueducto.
- Redes de recolección, colectores, canales y emisarios subfluviales y submarinos, de los sistemas de alcantarillado.

#### 2.5.1.2 Obras puntuales:

Como su nombre lo indica, corresponde a aquellas estructuras localizadas o diseñadas en un punto fijo. A diferencia de las estructuras lineales, las condiciones ambientales, geológicas y geomorfológicas donde se localizan las obras puntuales, no tienen su complejidad y variabilidad, por lo tanto, la exposición de esta estructura ante las amenazas identificadas podrá ser menos compleja de evaluar en la etapa de diseños u operación.

En estas podemos considerar: Bocatomas, tanques de almacenamiento, desarenadores, PTAP, PTAR, bodegas, almacenes, sedes administrativas u operativas del sistema y sitio de disposición final de residuos sólidos.

### 2.5.2 Criterios referentes a las etapas de intervención a considerar asociadas al componente del Gestión del Riesgo de Desastres

Las obras y operación el sector de agua potable y saneamiento básico pueden ser afectadas por fenómenos naturales, socio-naturales o antrópicos, pero igualmente, el sector puede ser generador de riesgos los cuales deben ser contemplados en las diferentes etapas que contempla el RAS.

**2.5.2.1 Etapa de Conocimiento del Riesgo:**

Este elemento tiene como objetivo aumentar el conocimiento sobre los riesgos a los que se enfrentan la infraestructura de acueducto, alcantarillado y aseo. El riesgo es una función de tres factores: La amenaza, el grado de exposición y la vulnerabilidad de la infraestructura.

Las evaluaciones del riesgo deben realizarse con antelación para identificar las necesidades de los sistemas y prepararlas para la prevención de desastres. La evaluación de los riesgos se realiza mediante la recopilación y el análisis de datos que tienen en cuenta la variabilidad climática y la vulnerabilidad de los sistemas por el cambio climático.

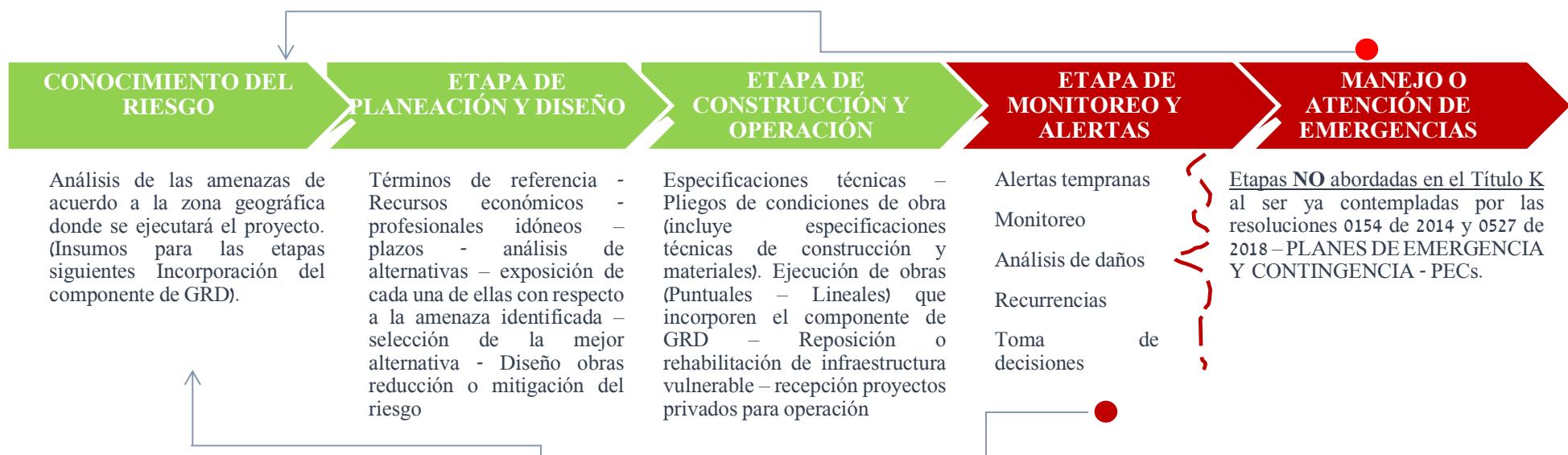
**2.5.2.2 Etapa de planeación y diseño:**

En esta etapa juega un rol importante el gestor del proyecto. La gestión del riesgo de desastres debe ser abordada y visualizada por el gestor como una variable para garantizar la sostenibilidad de la infraestructura y la continuidad del servicio.

Una gran cantidad de recursos económicos representados en tiempos, obras inconclusas, errores en diseños, reparaciones, sobre costos en obra, demandas, pérdida de ingresos por facturación, entre otras, se pierden diariamente en el sector al no contemplarse en las etapas previas de planificación y diseño el componente de gestión del riesgo.

En esta etapa, es importante que se incorpore el componente de Gestión de Riesgo de Desastres (CGRD) en los análisis de alternativas y en los términos de referencia para la contratación de los estudios y diseños de las obras definitivas.

**Figura 5.** Criterios referentes a las etapas de intervención asociadas al Componente de Gestión del Riesgo en el sector de agua potable y saneamiento básico. Las etapas identificadas como de monitoreo y las de manejo de emergencias sectoriales, pueden arrojar información valiosa para reevaluar o ajustar las intervenciones y priorización de diseños y obras. Tener en cuenta que el manejo y atención de las emergencias no son abordadas en este título, el cual precisamente tiene como objetivo, prevenir o reducir los impactos en el sector con la incorporación del Componente de Gestión del Riesgo dentro de las buenas prácticas de ingeniería y desde las etapas iniciales de planeación y formulación de los proyectos



En esta etapa, así como en la de planeación y diseño, es importante aclarar que a pesar que los títulos no son de obligatorio cumplimiento, en la normatividad actual, existe un instrumento normativo relacionado con los Planes de Gestión del Riesgo de Desastres de las Entidades Públicas y Privadas (PGRDEPP), mediante el cual se adoptan las directrices para elaborar dichos planes y a su vez identificar, priorizar, formular, programar y hacer seguimiento a las acciones necesarias para conocer y reducir las condiciones de riesgo (actual y futuro) de sus instalaciones y de aquellas derivadas de su propia actividad u operación que pueden generar daños y pérdidas a su entorno.

Aquellos proyectos u obras que requieren de Licencia Ambiental, deberán incorporar en el Plan de Manejo Ambiental (PMA), el Plan de Gestión del Riesgo de acuerdo con las consideraciones previstas en la Ley 1523 de 2012, que se soporte en el análisis y valoración de los riesgos derivados de amenazas de origen natural, socio-natural u operacional que puedan afectar el proyecto y de los riesgos que puedan generarse a causa de la ejecución de las actividades del mismo.

#### **2.5.2.3 Etapa de construcción y operación:**

El presente título no contempla la línea de manejo de emergencias, teniendo en cuenta que esta corresponde a una acción de respuesta que no está en los alcances del RAS y en sus títulos, los cuales representan un manual de buenas prácticas de ingeniería.

Para la línea de atención el prestador u operador deberá referirse a los estipulado en la Resoluciones 0154 de 2014 y 0527 de 2018 y todas aquellas que las modifiquen, complementen o sustituyan.

En las etapa de construcción u operación y todas aquellas acciones de reposición o mejoramiento de infraestructura (puntual o lineal), se debe tener en cuenta los análisis de amenazas y vulnerabilidad de la infraestructura a reponer o a rehabilitar para la toma de las decisiones o selección de la alternativa que genere el menor riesgo ante las amenazas que pueda impactarla y prevenir todas aquellas que se generen a causa de la ejecución u operación de las mismas.

El prestador debe implementar las acciones y controles necesarios para que aquellos proyectos u obras ejecutadas por privados (urbanizaciones, etc.) y que deban ser recibidos por el prestador para su operación, hayan involucrado el componente de gestión del riesgo en sus diseños y obras sectoriales ejecutadas.

#### **2.5.2.4 Servicio de Monitoreo y alerta:**

Los servicios de alerta deben tener una sólida base para la predicción y previsión y deben ser lo suficientemente fiables para operar continuamente, esto asegurará alertas precisas a tiempo para permitir la actuación, por esta razón, es necesario instalar Sistemas de Alerta Temprana –SAT-, cuando sea posible, para mejorar la capacidad de respuesta ante las amenazas.

La información recolectada en el monitoreo, sirve igualmente de insumo para la toma de decisiones que permitan complementar los análisis de las amenazas, no solo para la respuesta a una emergencia, sino también para las posibles alternativas de mitigación de riesgos, reducción de la vulnerabilidad del componente evaluado o monitoreado, y por qué no, para la reducción del nivel de amenaza en los casos que esta puede ser intervenida (ejemplo: deslizamientos, inundaciones).



# 3 Capítulo

Diagnóstico del nivel de amenaza, estimación de la vulnerabilidad y medidas recomendadas

# CAPÍTULO 3

## 3 Diagnóstico del nivel de amenaza, estimación de la vulnerabilidad y medidas recomendadas

El título K, como parte integral del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS-, pretende no solo convertirse en un manual de buenas prácticas que apoye el cumplimiento y seguimiento de normas donde obligan al sector a involucrar el componente de gestión del riesgo y adaptación al cambio climático en las diferentes etapas y procesos de formulación, diseño, construcción y operación y mantenimiento de las obras que hacen parte de los diferentes componentes del sistema, sino igualmente, para generar una conciencia en los diferentes actores de estos procesos, los cuales deberán tener en cuenta que el no contemplar el componente, continuará generando impactos negativos al sector que finalmente afectarán a la población y la estabilidad económica de los prestadores.

Lo anterior teniendo en cuenta que el impacto de un evento no contemplado en las etapas de diseño, construcción y en la gestión de la infraestructura, podría generar para la población una suspensión total o parcial de servicio y para el caso del prestador y el sector, impactos como los siguientes:

- Pérdida de recursos por facturación.
- Sobrecostos en las obras.
- Pérdida de inversiones en diseño y obras.
- Demandas.
- Afectación a terceros (infraestructura y población), con sus repercusiones económicas y legales.
- Sobrecostos por inversiones no programada en rehabilitación de infraestructura.
- Mala prensa.
- Pérdida de liquidez y capacidad de endeudamiento.

El título K, plantea un anexo con una serie de fichas, las cuales sugieren unos procedimientos de carácter cualitativo que permitirán al consultor, al gestor del proyecto o al operador, tener un contexto de los niveles de amenaza que deberá contemplar en sus estudios de detalle, al igual que el grado de vulnerabilidad que se generaría en caso de exponer alguno de los componentes en proceso de diseño,



Foto: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio

construcción u operación antes estas amenazas identificadas. A su vez, las fichas describen los impactos que los diferentes eventos podrán generar en caso de que no sean previstos en las diferentes fases del proyecto.

Finalmente, para cada evento, se describen en las fichas una serie de medidas o buenas prácticas que el responsable de la fase del proyecto en el sector debe contemplar, las cuales están dirigidas a:

- Ejecución de acciones que permitan reducir el nivel de amenaza (en los casos que sea posible).
- Ejecución de acciones orientadas a reducir el probable nivel de vulnerabilidad aceptable del componente diseñado o a reponer, ante una amenaza probable que lo pueda impactar. Lo anterior teniendo en cuenta que en algunas regiones, el nivel de riesgo no puede ser reducido totalmente.
- Contar con insumos técnicos, no solo enfocados a aspectos económicos, que permitan evaluar las alternativas de diseño definitivas que garanticen la sostenibilidad del componente y por ende del sistema.

Las fichas se encuentran en el anexo son:

- **TÍTULO K – FICHA 1** - Estimación vulnerabilidad sísmica obras sectoriales lineales o puntuales impactos y medidas recomendadas.
- **TÍTULO K – FICHA 2** - Estimación del nivel de amenaza y vulnerabilidad por la actividad volcánica impactos – medidas recomendadas.
- **TÍTULO K – FICHA 3** - Estimación del nivel de amenaza y vulnerabilidad generados por inundaciones, avenidas torrenciales y otros procesos.
- **TÍTULO K – FICHA 4** - Estimación del nivel de amenaza y vulnerabilidad generados por movimientos en masa - impactos y medidas recomendadas.
- **TÍTULO K – FICHA 5** - Estimación del nivel de amenaza y vulnerabilidad generados en temporada seca - impactos y medidas - recomendadas.

Nota: tener en cuenta que las fichas no pretenden, en ningún caso, suprimir la responsabilidad del gestor, consultor o responsable de alguna de las fases del proyecto en lo relacionado con la obligatoriedad de realizar los estudios detallados necesarios, que contempla la normatividad vigente, con el fin de garantizar la estabilidad de las obras, seleccionar las alternativas, materiales y métodos constructivos.

# BIBLIOGRAFÍA

**ACOSTA I., JAVIER.** Estudio del comportamiento de la intrusión marina en un sector del acuífero costero neógeno-cuaternario del sur de Trinidad. Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos de Villa Clara X Congreso Cubano de Hidrogeología. La Habana, Cuba: 2013.

**ALTABELLA, ESTEBAN.** Análisis del deslizamiento del relleno sanitario de Santa Marta, Chile. 13º Congreso Nacional de Medio Ambiente – CONAMA 2016. Madrid, España: 2016.

**INVEST, B.I.D.** ¿Qué es la infraestructura sostenible? - Un marco para orientar la sostenibilidad a lo largo del ciclo de vida del proyecto. Nota Técnica No. IDB – TN – 01388. Mayo de 2018.

**BATES, B.C., Z.W. KUNDZEWICZ, S. WU y J.P. PALUTIKOF:** El Cambio Climático y el Agua. Documento técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Secretaría del IPCC, Ginebra, 224 págs. Junio de 2008.

**COLLAZOS, HECTOR.** Publicaciones Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental – CEPIS. Deslizamiento de basura en el relleno sanitario Doña Juana. Santafé de Bogotá, 1998.

**CONPES 3947. CONSEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA Y SOCIAL REPÚBLICA DE COLOMBIA - DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN.** Estrategias de actuación y coordinación para reducir las afectaciones ante la eventual ocurrencia de un fenómeno de variabilidad climática. El Niño 2018-2019. Bogotá, D.C., 29 de octubre de 2018.

**CONVENCIÓN MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO – CMNUCC.** Secretaría General de las Naciones Unidas. New York, 9 de mayo de 1992.

**CONTRERAS, D.** El impacto de El Niño en Colombia. Revista Fasecolda (163), 42-46. 2016.

**EMPRESA DE OBRAS SANITARIAS DE SANTA ROSA DE CABAL - EMPOCABAL E.S.P. E.I.C.E.,** Plan de acción para la mitigación del riesgo de la calidad del agua para el consumo humano, por la presencia de arsénico en la fuente Campoalegrito (V1). Santa Rosa de Cabal, 2017.

**ESPINOSA, CARLOS y MOLINA, MARIA EUGENIA.** Estudio de intrusión salina en acuíferos costeros: Sector Costa Quebrada Los Choros, IV Región. S.I.T. Nº 109. Ministerio de obras públicas dirección regional de aguas, gobierno de chile. Facultad de ciencias físicas y matemáticas departamento de ingeniería civil, universidad de chile. Diciembre, 2005.

**ESTRATEGIA INTERNACIONAL PARA LA REDUCCIÓN DE DESASTRES, NACIONES UNIDAS (EIRD/ONU).** Vivir con el Riesgo: énfasis en la reducción del riesgo de desastre. Ginebra, Suiza. 2004.

**GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO - IPCC. Cambio climático 2007:** Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. Intergovernmental Panel on Climate Change, Ginebra, Suiza, 2007. p. 104.

**INSTITUTO DISTRITAL DE GESTIÓN DE RIESGOS Y CAMBIO CLIMÁTICO - IDIGER.** Caracterización General del Escenario de Riesgo Sísmico. Bogotá, 2019.

**INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES - IDEAM, UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.** Zonificación de amenazas por inundaciones a escalas 1: 2000, 1: 5000 en áreas urbanas para 10 municipios del territorio Colombiano. Bogotá, 2013.

**INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES - IDEAM.** Amenazas inundación, 2018. Recuperado el 5 julio 2019 de <http://www.ideam.gov.co/web/agua/amenazas-inundacion>.

**INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES - IDEAM.** Compilación y análisis de información sobre registros de eventos de emergencia y desastres asociados al clima en la región capital 1980-2010. Informe Técnico. Bogotá, 2014.

**INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES - IDEAM,** Reporte de avance del Estudio Nacional del Agua 2018 (ENA 2018). Santafé de Bogotá, noviembre, 2018.

**IZQUIERDO, Á. Aránzazu.** Intensidad Macrosímica. Artículo, Física de la tierra.155N: 0214-4557. Instituto Geográfico Nacional. 11: 237-252. Madrid. 1999.

**LEY 1523 DE ABRIL 24 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. Congreso de Colombia. Bogotá, 2012.

**MARTINEZ G. CASTRILLÓN C.** Zonificación de amenazas por inundaciones en las zonas urbana y de expansión del municipio de Jamundí (Valle del Cauca). Universidad del Valle Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente. Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Santiago de Cali, 2014.

**MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO.** Resolución No. 0330 del 8 de junio de 2017. Por la cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico - RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009. Bogotá, 2017.

**MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. UNIDAD NACIONAL PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES - UNGRD.** Herramienta metodológica para la formulación de programas de gestión del riesgo de desastres en los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo. Bogotá, Colombia, 2014.

**DE ESPARZA, M. C.** Presencia de arsénico en el agua de bebida en América Latina y su efecto en la salud pública. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS-SB/SDE/OPS). International Congress Mexico City, 20-24 June 2006  
Natural Arsenic in Groundwaters of Latin America. Mexico, 2006.

**MELO-LEÓN, S., RIVEROS, L., ROMERO, G., ÁLVAREZ-ESPINOZA, A., DÍAZ, C., y CALDERÓN, S.** Efectos económicos de futuras sequías en Colombia: Estimación a partir del Fenómeno El Niño 2015. (D. d. económicos, Ed.) Archivos de economía (466). Bogotá, D. C., Colombia. 2017

**MONTOYA J., SILVA A.** Evaluación de amenazas por avenidas torrenciales utilizando metodologías cualitativas. Revista Ingenierías Universidad de Medellín. Mayo de 2009.

**NACIONES UNIDAS.** Guía sobre agua y adaptación al cambio climático, Ginebra, Suiza, Marzo 2014.

**MNISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento Colombiano de Sismo-resistente - NSR 2010.** Viceministerio de Vivienda y Desarrollo Territorial. Dirección del Sistema Habitacional. Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismoresistentes. Bogotá, D. C., Colombia. 2010

**ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM) y ASOCIACIÓN MUNDIAL PARA EL AGUA:** Manual de indicadores e índices de sequía (M. Svoboda y B.A. Fuchs). Programa de gestión integrada de sequías, Serie 2 de herramientas y directrices para la gestión integrada de sequías. Ginebra, Suiza, 2016.

**SARABIA G., ANA MILENA.** Mapa de intensidades máximas observadas para Colombia. Dirección de geo-amenazas. Servicios Geológico Colombiano. Bogotá, D.C., Colombia. 2015.

**SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO – SGC.** Sistema de Información de movimientos en masa – SIMMA. Recuperado el 5 julio 2019 de <http://simma.sgc.gov.co/>

**SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO – SGC.** Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1: 25000. Dirección de Geoamenazas. Grupo de Evaluación de Amenaza por Movimientos en Masa. Bogotá, D. C., Colombia. 2017.

**SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO – SGC.** Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. Colección guías y manuales. Bogotá, D. C., Colombia. 2016.

**SUAREZ, D. JAIME.** Control de erosión en zonas tropicales. Instituto de Investigación sobre erosión y deslizamientos, vol. 2. Bucaramanga, noviembre de 2001.

**TRAPOTE J., ARTURO Y FERNÁNDEZ R., HECTOR.** Memoria del proyecto: Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible. Instituto Universitario del Agua y Ciencias Ambiental. Alicante, España. 2016.

**UNIDAD NACIONAL PARA LA GESTIÓN DE RIESGO DE DESASTRES – UNGRD.** Plan Nacional de Contingencia - Posible Fenómeno El Niño. Santafé de Bogotá, septiembre, 2018.

**VIDES, M., SIERRA C., CORTÉS L.**, Gestión costera como respuesta al ascenso del nivel del mar. Guía para administradores de la zona costera del Caribe. COLCIENCIAS, INVEMAR, Santafé de Bogotá, 2013.



# Anexos

## FICHA 1

Estimación vulnerabilidad sísmica obras sectoriales  
lineales o puntuales.  
Impactos y medidas recomendadas.

FICHA TÉCNICA K1	AMENAZA SÍSMICA	ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD – OBRAS SECTORIALES LINEALES O PUNTUALES (Líneas vitales – Edificaciones indispensables)
OBJETIVO	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Prever los posibles impactos sobre las obras lineales y puntuales sectoriales en las etapas de diseño, planeamiento, construcción u operación, ante la amenaza sísmica.</li> <li>● Recomendar medidas y acciones a tener en cuenta en las diferentes etapas del proyecto que permitan evitar o reducir los impactos previstos.</li> <li>● Sugerir las etapas para estimar la vulnerabilidad de las obras.</li> </ul>	

La información relacionada con el diagnóstico de amenaza sísmica y estimación de la vulnerabilidad que se encuentra en la presente ficha, solo es de carácter cualitativo y no debe ser tomada como procedimiento para suplir los estudios detallados requeridos para la planeación y ejecución de las obras sectoriales. Con la misma se busca que el gestor del proyecto o diseñador cuente con herramientas para la toma de decisiones finales de selección de alternativas que generen la menor probabilidad de daños o pérdidas, teniendo en cuenta las particularidades y heterogeneidad de cada región de nuestro País, relacionada no solo con la cercanía a zonas con actividad sísmica, sino a su geología, topografía, niveles de precipitación, entre otros factores que pueden incidir en la intensidad de los sismos, o en los impactos de los mismo sobre la infraestructura sectorial. De igual manera, los materiales utilizados en obras lineales (conducciones), pueden tener una respuesta diferente ante un sismo, dependiendo del tipo de material, diámetros, estado, tipo de suelo y pendientes del terreno.

## I. DIAGNÓSTICO DEL NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA PARA OBRAS Y/O ESTRUCTURAS DEL SECTOR CLASIFICADAS COMO LINEALES y PUNTUALES

Tabla 1. Ámbito de aplicación. Nivel de amenaza

Planeación, formulación y análisis de alternativas	✗
Diseño obras nuevas	✗
Obras existentes – en operación	✗
Obras lineales (Paso 1 y 2)	✗
Obras puntuales (Paso 1. Asociado norma NSR – 2010)	✗

**PASO 1: Identificación de la región – municipio donde opera el prestador o tiene su infraestructura con relación a la clasificación de la amenaza descrita en el Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes – NSR 2010**

Calificación del nivel de amenaza según la norma Colombiana de Sismo Resistencia, NSR-2010 o aquellas que la modifiquen o complementen. De acuerdo a la región o municipio donde se encuentre la infraestructura (NSR-10 - Apéndice A-4 - Valores de Aa, Av, Ae y Ad y definición de la zona de amenaza sísmica de los municipios colombianos).

Tabla 2. Niveles de amenaza en la región.

Denominación	Descripción
<b>Baja</b>	Municipio, ciudad o región identificada en la norma con bajo nivel de amenaza
<b>Media</b>	Municipio, ciudad o región identificada en la norma con nivel intermedio de amenaza
<b>Alta</b>	Municipio, ciudad o región identificada en la norma con alto nivel de amenaza

**PASO 2: Método cualitativo para evaluar la amenaza sobre las obras lineales (proyectos en etapa de diseño o en operación)**

Para el diagnóstico de los daños probables en las conducciones como consecuencias de sismos se sugiere el “Método aproximado para la estimación de daños en tuberías como consecuencia de sismos intensos”, descrito en la Guía para el análisis de vulnerabilidad “Mitigación de desastres naturales en sistemas de agua

potable y alcantarillado sanitario” de la Organización Panamericana de la Salud, (OPS, 1998), fundamentada en el caso del terremoto de Limón, Costa Rica en 1991.

El procedimiento es bastante práctico para la evaluación cualitativa de la amenaza sísmica como complemento a la información aportada por el Reglamento Colombiano de Construcciones Sismoresistentes - NSR 2010, ya que permite analizar otros factores que en el momento de un sismo influyen en la intensidad del mismo y por ende en el poder de afectación sobre las LÍNEAS VITALES existentes o proyectadas, teniendo en cuenta que para estas últimas el consultor podrá evaluar el tipo de materiales a utilizar dependiendo de la variables asociadas a las características del suelo, ya que estas inciden sobre la intensidad a nivel local. Se tienen en cuenta tres aspectos: Evaluación de la Amenaza Sísmica (Factores de Amenaza por Perfil de Suelo (**FTPS**), por Licuefacción Potencial (**FLPS**) y por Deformación Permanente del Suelo. (**FDPS**)),

**2.1 Asignar un factor por perfil del suelo – **FTPS****

Tabla 3. Factor de amenaza por tipo de perfil de suelo (FTPS).

Denominación	Descripción	FTPS
<b>Rocoso</b>	Estratos rocosos o suelo muy consolidados, con velocidades de propagación de ondas de corte en exceso a 750 m/seg.	<b>1</b>
<b>Firme</b>	Estratos de suelo bien consolidados (ejemplo: cenizas), o blandos (Llenos o saprolitos de roca) con espesor menor a 5 m.	<b>1.5</b>
<b>Blando</b>	Estratos de suelos blandos (Llenos, depósitos aluviales) con espesores con excesos de 10 metros.	<b>2</b>

Fuente. Organización Panamericana de la Salud - OPS / Organización mundial de la Salud – OMS, 1998

## 2.2 Asignar un factor de amenaza por licuefacción potencial del suelo. (FLPS)

Ejemplo: poblaciones que presentan alta susceptibilidad de sufrir el fenómeno de licuación en el Litoral de Nariño, en especial aquellas que se localizan en terrenos de reciente formación, rellenos de aserrín y madera, basuras y zonas de bajamar. Se zonificaron las cabeceras municipales Francisco Pizarro-Salahonda, Mosquera, Olaya Herrera – Bocas de Satinga, El Charco y La Tola (Fuente: Velásquez, Meyer y Peralta. Grupo Osso UNIVALLE. 2002).

Tabla 4. Factor de amenaza por licuefacción potencial del suelo (FLPS).

Denominación	Descripción	FTPS
<b>Baja</b>	Suelos bien consolidados y con alta capacidad de drenaje, estratos subyacentes sin contenido de arenas apreciable.	<b>1</b>
<b>Intermedia</b>	Suelos con moderada capacidad de drenaje, estratos subyacentes con contenido de arenas moderado.	<b>1.5</b>
<b>Alta</b>	Suelos mal drenados, niveles freáticos altos, estratos subyacentes con alto contenido de arenas, zonas deltaicas de ríos y depósitos aluviales.	<b>2</b>

Fuente. Organización Panamericana de la Salud - OPS / Organización mundial de la Salud – OMS, 1998

## 2.3 Asignar un factor de amenaza por deformación permanente del suelo (FDPS).

Tabla 5. Factor de amenaza por deformación permanente del suelo (FDPS).

Denominación	Descripción	FTPS
<b>Baja</b>	Suelos bien consolidados, terrenos con pendientes bajas, rellenos bien compactados, áreas alejadas de cauces de ríos o fallas geológicas.	<b>1</b>
<b>Intermedia</b>	Suelos consolidados, terrenos con pendientes menores al 25%, rellenos compactados, áreas cercanas a ríos o fallas geológicas.	<b>1.5</b>
<b>Alta</b>	Suelos mal consolidados (Llenos antrópicos), terrenos con pendientes superiores al 25%, áreas ubicadas muy cerca o dentro de cauces de ríos o fallas geológicas.	<b>2</b>

Fuente. Organización Panamericana de la Salud - OPS / Organización mundial de la Salud – OMS, 1998

De acuerdo a este procedimiento, el factor de amenaza sísmica (FAS) de la zona donde se localiza el componente o estructura expuesta (Lineal) es el resultado del producto:

$$(FAS) = (FTPS) \times (FLPS) \times (FDPS)$$

Fuente. Organización Panamericana de la Salud - OPS / Organización mundial de la Salud – OMS, 1998

## II. DIAGNÓSTICO DEL NIVEL DE VULNERABILIDAD SÍSMICA PARA OBRAS Y/O ESTRUCTURAS DEL SECTOR CLASIFICADAS COMO LINEALES Y PUNTUALES (COMPONENTES EXISTENTES).

Tabla 6. Ámbito de aplicación. Nivel de vulnerabilidad

Planeación, formulación y análisis de alternativas	El formulador o diseñador podrá estimar el nivel de vulnerabilidad de los proyectos o alternativas en la etapa de diseño de acuerdo a los niveles de amenaza identificados
Diseño obras nuevas	
Obras existentes – en operación	✗
Obras lineales (1)	✗
Obras puntuales (2)	✗

### 1. OBRAS LINEALES:

Para efectos de estimar el nivel de vulnerabilidad de los componente del sistema (proyectos lineales existentes para el caso de reposición o rehabilitación de infraestructuras), el diseñador o gestor del proyecto deberá tener en cuenta que, con respecto a esta amenaza, determinar el grado de exposición de las obras lineales (vías, redes de aducción, conducción, entre otras), es más complejo que en las puntuales (tanques de almacenamiento, PTAP, etc.), por la extensión de su trazado, variedad de componentes y materiales sumado a las condiciones particulares de suelo y pendiente.

En los pasos 3 y 4 se pretende mostrar al diseñador o gestor del proyecto, cómo podría comportarse ante un sismo esperado los diferentes tramos de las conducciones existentes (acueducto, alcantarillado) teniendo en cuenta diferentes variables como tipo de material, estado y diámetros encontrados. El resultado final, del ejercicio está articulado con el procedimiento inicial para estimar la amenaza en la zona donde se ejecutará el proyecto (obras nuevas o reposición de infraestructura existente) y será de utilidad no solo como insumo para los Planes de Emergencia y Contingencia sectoriales (Resoluciones 0154 de 2014 y 0527 de 2018), sino para la identificación y priorización de obras de mitigación o reducción de riesgos (ejemplo: reposición de tramos de líneas de conducción o rehabilitación sísmica de infraestructuras).

A pesar que el diagnóstico de la vulnerabilidad está directamente asociado al nivel de exposición del elemento (obra lineal o puntual) y su grado de fragilidad, variables que se identifican en la infraestructura existente, el diseñador podrá en los análisis de alternativas, tomar decisiones para la selección de materiales o trazados teniendo en cuenta los pasos propuestos a continuación.

**PASO 3: Selección del Índice Básico de Daño (IBD).**

En diversos proyectos, la vulnerabilidad de las conducciones (**líneas vitales**) a los efectos sísmicos viene expresada por el número esperado de fallas por kilómetro de longitud, parámetro asociado al nivel de fragilidad del elemento. La metodología propuesta en varios de estudios, sugiere utilizar para facilitar el diagnóstico cualitativo de la vulnerabilidad sísmica de las tuberías, emplear como referencia el número de fallas por sismo, en líneas o redes de hierro fundido (HF), para diferentes grados de la intensidad de Mercalli. En caso de que la conducción (la red) no sea en HF, se propone emplear factores de corrección, teniendo en cuenta que ante un sismo, de magnitud X en una región, la intensidad y por ende los efectos o impactos pueden variar dependiendo de la respuesta del suelo ante la onda (tipo de suelo, topografía del terreno) y de los materiales de la estructura expuesta (para el caso de obras lineales, cada tramo de la red tendría una respuesta diferente ante el sismo esperado- (fragilidad).

**3.1 Selección del índice Básico de daño (IBD) (Intensidad sísmica y factor de amenaza sísmica – FAS)**

En la **tabla 6**, se detallan los valores correspondientes a daños por: (i) propagación de ondas sísmicas únicamente y, (ii) propagación de ondas y deformaciones permanentes del terreno. Estos son denominados Índices Básicos de Daño (IBD) (OPS/OMS, 2002) y dependen del factor de amenaza sísmica (FAS) calculado en el paso 2, de la presente ficha.

Tabla 7. Índice Básico de Daño (IBD).

Intensidad de Mercalli	Índice Básico de Daño (IBD) – Fallas/Km	
	FAS < 2	FAS > 2
<b>VI</b>	0.0015	0.01
<b>VII</b>	0.015	0.09
<b>VIII (6.2 a 6.9)</b>	0.15	0.55
<b>IX</b>	0.35	4.00
<b>X</b>	0.75	30.0

Fuente. Organización Panamericana de la Salud - OPS / Organización mundial de la Salud – OMS, 1998

**3.2** En caso de que la tubería no sea de hierro fundido (HF), en la metodología recomienda emplear los factores de corrección que se dan en la tabla 7.

Tabla 8. Factor de Corrección por tipo de Material (FCM).

Material del tramo expuesto a la amenaza	Factor de Corrección por tipo de Material (FCM)
<b>Acero Dúctil (AD)</b>	0.25
<b>Hierro Fundido (HF)</b>	1.00
<b>Cloruro de Polivinilo (PVC)</b>	1.50

Material del tramo expuesto a la amenaza	Factor de Corrección por tipo de Material (FCM)
<b>Asbesto Cemento (AC)</b>	2.60
<b>Concreto Reforzado (CR)</b>	2.60
<b>*Otros: Gres, ladrillo</b>	3.00

Fuente. Organización Panamericana de la Salud - OPS / Organización mundial de la Salud – OMS, 1998  
 \*Otros: Fuente, Escenarios de Riesgo por Terremoto para Bogotá D.C., Alcaldía Mayor DPAE – UNIANDES, 2005.

**3.3** Estos factores pueden ser afectados por el estado general de la tubería y/o los años de servicio, a juicio del profesional responsable de la evaluación designado por el prestador u operador. LA OPS/OMS en su estudio, para tuberías “viejas” o en mal estado los valores correspondientes al IBD pueden incrementarse hasta en un 50%; si su estado es considerado regular, este porcentaje no tiene que sobrepasar el 25%; y para tuberías en buen estado no es necesario modificar los valores del IBD. Sin embargo, con el fin de utilizar una variable cuantitativa para “castigar” el IBD por efectos de los años de servicio y/o estado del tramo evaluado, se sugiere utilizar los parámetros que se emplearon el proyecto Escenarios de Riesgo por Terremoto para Bogotá D.C., Alcaldía Mayor DPAE – UNIANDES, 2005, los cuales se relacionan en la tabla 8.

Tabla 9. Factor de Corrección por tipo por década de construcción y/o uso de tramo de la red evaluado (FCDCS).

Década de construcción	Factor de Corrección por tipo por década de construcción y/o uso de tramo de la red evaluado (FCDCS)
<b>Desconocido</b>	1.7
<b>1930</b>	1.7
<b>1940</b>	1.6
<b>1950</b>	1.5
<b>1960</b>	1.4
<b>1970</b>	1.3
<b>1980</b>	1.2
<b>1990</b>	1.1
<b>2000</b>	1.0

Fuente. Escenarios de Riesgo por Terremoto para Bogotá D.C., Alcaldía Mayor DPAE – UNIANDES, 2005.

**3.4** Las estadísticas de daños analizadas en el proyecto de la OPS/OMS, 202, revelan que los tramos de las redes de menor diámetro tienden a ser más vulnerables. Así, para tuberías con diámetros menores o iguales a 75 mm., puede aplicarse un factor de aumento de hasta 50%; diámetros entre 75 mm. y 200 mm., se puede incrementar hasta un 25%; y para tuberías con diámetros en exceso a 200 mm., no es preciso incrementar los valores dados.

Tabla 10. Factor de Corrección por diámetro de la tubería del tramo evaluado.

Diámetro de tubo en el tramo evaluado	Factor de Corrección por diámetro de la tubería (FCDT) en el tramo evaluado
<b>&lt; = 75 mm (3")</b>	1.5
<b>&gt; 75 mm y &lt; = 200 mm</b>	1.25
<b>&gt; 200 mm</b>	1.0

Fuente. Organización Panamericana de la Salud - OPS / Organización mundial de la Salud – OMS, 1998

#### PASO 4: Estimación del No. de fallas por kilómetro

**No. Fallas/Km = Long Tramo (Km) x IBD x FCM**

\*Tener en cuenta que el índice IBD puede variar (ser “castigado”) de acuerdo a los factores de corrección que se apliquen (FCDCS y FCDT)

Para el caso de obras puntuales tales como tanques de almacenamiento, edificaciones asociadas a las PTAP, PTAR, laboratorios, entre otras, el diseñador o gestor del proyecto, para evaluar el grado de exposición y vulnerabilidad sísmica de las obras a rehabilitar, deberá ceñirse a los estipulado en la Norma Colombiana de Sismoresistencia NSR-10 y aquellas que la modifiquen o complementen.

**Tabla 11. Ejemplo de número de pérdidas por kilómetro, tomando como caso un sismo de intensidad VII.**

AMENAZA SÍSMICA DEL MPIO (NSR 2010)	CASO: Santa Rosa de Cabal (Ris)		Intensidad VIII (6,2 a 6,9 esperado)	(FAS) = [FTPS] x [FLPS] x [FDPS]						IBD			No. Fallas/Km = Long Tramo (Km) x IBD x FCM	
				DIÁMETRO	LONGITUD KM	FTPS	FLPS	FDPS	FAS	IBD FAS > 2 o < 2	FCM	FCDCS	FCDT	
3	SUEL	PENDIENTE	TIPO DE MATERIAL	DIÁMETRO	LONGITUD KM	FTPS	FLPS	FDPS	FAS	IBD FAS > 2 o < 2	FCM	FCDCS	FCDT	
	(Blando) Zona con rellenos antrópicos saturados	> 25%	AC 1970	> 75 mm y <= 200 mm	1	2	2	2	8	0,55	2,6	1,3	1,25	2,3
	(Medio) Cenizas volcánicas (Qc)	< 25%	AC 1970	> 75 mm y <= 200 mm	1	1,5	1,5	1,5	3,38	0,55	2,6	1,3	1,25	2,3
	(Duro) Roca o flujo de escombros consolidado	0%	AC 1970	> 75 mm y <= 200 mm	1	1	1	1	1	0,15	2,6	1,3	1,25	0,6
	FTPS		TIPO DE MATERIAL	DIÁMETRO	LONGITUD KM	FTPS	FLPS	FDPS	FAS	IBD	FCM	FCDCS	FCDT	
	(Blando) Zona con rellenos antrópicos saturados	> 25%	HF 2000	> 75 mm y <= 200 mm	1	2	2	2	8	0,55	1	1	1,25	0,7
	(Medio) Cenizas volcánicas (Qc)	< 25%	HF 2000	> 75 mm y <= 200 mm	1	1,5	1,5	1,5	3,38	0,55	1	1	1,25	0,7
	(Duro) Roca o flujo de escombros consolidado	0%	HF 2000	> 75 mm y <= 200 mm	1	1	1	1	1	0,15	1	1	1,25	0,2
										FSA > 2				

Fuente: Ejercicio Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico - VASB

## 2. OBRAS PUNTUALES EXISTENTES – EN OPERACIÓN:

El diagnóstico de los niveles de vulnerabilidad sísmica de las obras lineales y puntuales sugerido, no pretenden suprir los análisis detallados que debe realizar un profesional idóneo en cálculo o patología de estructuras.

Para el diagnóstico de la vulnerabilidad de obras puntuales, las cuales pueden requerir rehabilitación sísmica y por ende la formulación de nuevos proyectos y diseños, se sugieren el procedimiento siguiente:

**Paso 1.** Nivel de exposición: Asociado a la localización del elemento en alguna de las zonas o regiones identificadas en los niveles de amenazas alto, medio o bajo (ver tabla 12).

**Paso 2.** Nivel de fragilidad: Relacionado con el estado de la estructura (calidad del diseño y estado del sistema estructural actual).

**Tabla 12. Diagnóstico de carácter cualitativo – Nivel de fragilidad asociado a la calidad del diseño.**

Nivel de fragilidad (Calidad del diseño)	Periodo de construcción de la estructura				Observación
	< NSR 84	NSR 84	NSR 98	NSR 10	
<b>Crítica</b>	X				La estructura fue construida antes de la norma de sismoresistencia NSR 84 y no ha sido rehabilitada.
<b>Alta</b>		X			La estructura fue construida con la norma NSR 84 y no ha sido rehabilitada o no se evidencia reforzamientos de acuerdo a normas de vigencias posteriores.
<b>Media</b>			X		La estructura fue construida con la norma NSR 98 y/o no se evidencia reforzamientos de acuerdo a normas de vigencias posteriores.
<b>Baja</b>				X	La estructura fue diseñada y construida con la NSR 10

Fuente: Propia.

**Tabla 13. Diagnóstico de carácter cualitativo – Nivel de fragilidad asociado a la calidad del diseño.**

Nivel de fragilidad (sistema estructural actual)	Descripción
<b>Alta</b>	La estructura presenta visualmente las siguientes patologías (física, química, orgánica): socavaciones, asentamientos, grietas, corrosión, filtraciones. (Inspección visual del experto - no corresponde a un estudio detallado de la patología de la estructura).
<b>Media</b>	La estructura presenta visualmente las siguientes patologías (física, química, orgánica): humedades, asentamientos e inicio de corrosión y presencia de fisuras. (Inspección visual del experto - no corresponde a un estudio detallado de la patología de la estructura).
<b>Baja</b>	Visualmente la estructura no presenta ninguna patología física, química, orgánica. (Inspección visual del experto - no corresponde a un estudio detallado de la patología de la estructura).

Fuente: Propia.

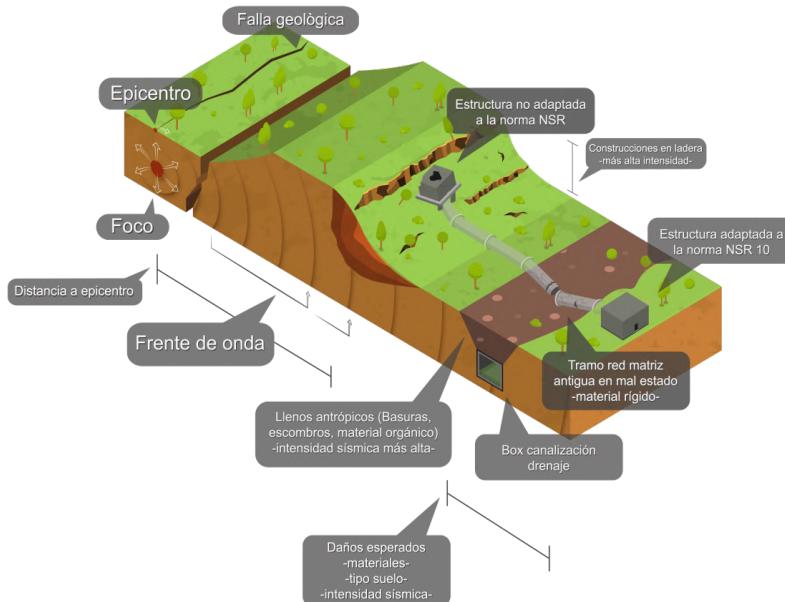
### III. IMPACTOS

- Rotura o destrucción de tramos de las tuberías de aducción, conducción, distribución y transporte (en los tres sectores) (ver imagen 1).
- Afectación parcial o total de obras puntuales (ver imagen 1).
- Consecuencias en la etapa constructiva y la operación:
  - Suspensión parcial o total del servicio.
  - Fugas las cuales podrían ser un factor coadyuvante en la detonación de movimientos de masa o procesos erosivos que generaría daños colaterales: aumento del área e infraestructura afectada, afectación de otras edificaciones y/o predios no relacionados con el proyecto, impacto sobre las personas (personal involucrado en el proyecto (en las diferentes etapas), habitantes del sector).
  - Contaminación de reservorios de agua, drenajes superficiales, malos olores por afectación infraestructura de transporte de aguas servidas.
  - Deslizamientos o movimientos en masa en taludes que conforman los llenos en los sitios de disposición final de residuos sólidos, generando a su vez contaminación de acuíferos y aguas superficiales.
  - Colapso de vías: Impacto en rutas de transporte de residuos sólidos, acceso a instalaciones.
  - Fallas en sistemas de generación de energía.

**Imagen 1. Posibles impactos de un sismo esperado en la región donde se localiza la infraestructura.**

En esta imagen se resalta como puede verse afectado el componente expuesto, teniendo en cuenta su fragilidad (materiales, adaptación a las normas vigentes) y a la amenaza sísmica la cual está igualmente varia por los efectos locales que impacta en la intensidad de onda que llega.

Fuente: Propia. Diseños gráficos: José David González Meza, 2019.



## IV. MEDIDAS RECOMENDADAS

Las medidas que se sugieren en las diferentes etapas del proyecto para prevenir los impactos generados por la amenaza sísmica en las obras lineales del sector son:

- Como lo establece La Resolución 0330 de 2017 por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico- RAS , el consultor o el responsable de la planeación del proyecto deberá garantizar que las obras que se planeen desarrollar o diseñar en aquellas regiones o municipios donde que de acuerdo al Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente - NSR – 10, se encuentran en zona de amenaza alta o intermedia (Ver Paso 1 de la presente ficha), deben resistir el sismo de diseño establecido en la zona respectiva. En aquellos Municipios donde se hayan ejecutado y aprobado los estudios de microzonificación sísmica, el consultor o gestor del proyecto deberá tenerlos en cuenta para el diseño de las obras (A.2.1.2.1 - NSR-2010).
- Teniendo en cuenta los pasos establecidos para la estimación de la vulnerabilidad de las obras lineales del sector, presentados en la presente ficha, se puede concluir que si bien existe una clasificación de la amenaza sísmica (Ver paso 1) establecida por la NSR-2010, el diseñador o gestor del proyecto podrá considerar en forma independiente para cada región en particular que los efectos sobre la infraestructura (obra lineal y complementarias) a diseñar o planear para un sismo de magnitud X están asociados a la características físicas de la estructura (en este caso: material, diámetros, estado) y a las propiedades del suelo donde se proyecte la obra (sobre todo teniendo en cuenta que los sectores rurales y zonas donde no existen estudios de microzonificación sísmica).

Para evitar o prevenir los impactos asociados a la intensidad de un sismo en una zona determinada se plantean las siguientes medidas:

- Uso de materiales dúctiles y conexiones flexibles. Evitar la utilización de materiales frágiles y rígidos poco resistentes, sobre todo en aquellos tramos donde el suelo y la pendiente del terreno aumenten la vulnerabilidad y por ende el riesgo.
- En pasos elevados e infraestructura suspendida, se debe garantizar que las estructuras de soporte y los diseños respectivos cumplan con los requerimientos de las normas de sismoresistencia actuales.
- En aquellos proyectos de diseños de renovación de redes o líneas existentes, tener en cuenta la priorización de zonas identificadas como vulnerables que puedan generar riesgos en la prestación del servicio o impactos a terceros (ejemplo: detonación de deslizamientos, colapso de vías y/o edificaciones).
- Los tramos donde a pesar de plantearse soluciones para reducir la vulnerabilidad con materiales dúctiles, el riesgo persistirá por las condiciones del suelo, pendiente del terreno, presencian de zonas geológicamente inestables, el consultor o gestor de proyecto deberá contemplar otras alternativas para reducir la vulnerabilidad tales como:

Estudios geológico – geotécnicos detallados.

Diseño de obras de contención (muros, pantallas, drenes para abatir niveles freáticos).

Diseño de pasos elevados para evitar la zona con problemas de inestabilidad o suelos poco competentes.

Cimentaciones profundas de la red o la línea (pilotes, caisson) que puedan llegar a suelos más competentes.

Los proyectos deberán contemplar en todo caso el análisis de alternativas, donde se contemple el componente de riesgos ante las amenazas de origen natural y/o socio-natural para la toma de la decisión definitiva.

- En algunos casos, el riesgo no podrá reducirse al nivel deseado, por tanto, se sugiere implementar otras acciones:

Uso de dispositivos especiales. En el caso de redes se debe incentivar el uso de dispositivos especiales que hayan demostrado sus beneficios tales como válvulas de cierre automáticas que proveen mecanismos de aislamiento automático de partes de la red y que permiten la utilización parcial del sistema sin agravar daños colaterales, o el uso de conexiones especiales que permitan el movimiento relativo entre partes del sistema sin ocasionar, daños o fugas.

Aumentar la redundancia. Evitar la dependencia a un sólo componente o grupo de componentes de la red.

Ajustar los Planes de Emergencia y Contingencia (PEC) sectoriales antes la posibilidad de la ocurrencia de este evento, de acuerdo a lo estipulado en las Resoluciones **0154/2014** y **0527/2018** y aquellas que reemplacen o complementen.

En las regiones o municipios donde el consultor o gestor deba proyectar las obras lineales o puntuales, deberá tener especial cuidado para el caso de aquellas regiones identificadas en niveles de amenaza sísmica alta o intermedia, para el diseño de las obras y métodos de excavación (túneles o brechas, zanjas), los cuales deben contemplar estudios geotécnicos detallados y diseño de los respectivos métodos apropiados que garanticen la estabilidad del proyecto y la seguridad del personal que ejecutará las obras o aquel que deberá operar o mantener en un futuro la infraestructura.

- Para los trazados de las líneas de aducción, conducción, distribución o transporte en ciertos casos, los consultores optan por realizar el diseño utilizando las vías existentes y/o puentes para el cruce de drenajes o vías (zona urbana). En ciertos casos, estas infraestructuras han cumplido su vida útil, no fueron construidas teniendo en cuenta la normatividad vigente o simplemente como ocurre en el sector rural o en algunas vías secundarias y terciarias, las estructuras presentan serios problemas de inestabilidad al ser ejecutadas sin tener en cuenta estudios y diseños detallados.

Teniendo en cuenta lo anterior se sugiere en algunos casos:

En lo posible no utilizar puentes vehiculares existentes como pasos elevados de las redes. Diseñar estructuras (pasos elevados) aislados o independientes que puedan ser concebidos para absorber las cargas y efectos de los sismos esperados en la zona de acuerdo a la normatividad vigente. De lo contrario, realizar la inspección detallada de la estructura (puente, pasos elevados existentes) con el fin de garantizar que esta no representará un aumento del nivel de vulnerabilidad de la obra

lineal que requiere ser adosada a la antigua estructura. Igualmente prever la instalación de dispositivos especiales.

Para el caso de las vías. El consultor o gestor del proyecto debe identificar aquellos sitios inestables en el tramo que será utilizado para instalar la línea los cuales no fueron contemplados en el momento de construcción de la vía. Esto requerirá de estudios geológico – geotécnicos detallados en sitios o tramos críticos, diseño de obras de contención, manejo aguas subterráneas y superficiales, pasos elevados, pilotes, entre otras. Lo anterior teniendo en cuenta que los sismos son factores detonantes de movimientos en masa y/o deslizamientos.

- Las personas prestadoras (urbanas y rurales) frecuentemente deben recibir infraestructura para su operación, infraestructura del sector que son diseñadas y ejecutadas por empresas privadas (personas naturales o jurídicas) en los proyectos de desarrollo urbano. En este caso, deben asegurarse que la infraestructura y obras complementarias que reciben, hayan sido concebidas y ejecutadas contemplando el componente de gestión y para el caso de esta ficha en particular, el tema de amenaza y vulnerabilidad sísmica.
- Para obras existentes, se sugiere mantener actualizado el catastro de la infraestructura, debidamente georreferenciado, y con la información necesaria que permita al prestador identificar los sitios y componentes vulnerables y facilitar la toma de decisiones.



# Anexos

## FICHA 2

Estimación del nivel de amenaza y vulnerabilidad por la actividad volcánica.  
Impactos y medidas recomendadas.

FICHA TÉCNICA K2	AMENAZA POR ACTIVIDAD VOLCÁNICA E HIDROTERMAL	ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD – OBRAS SECTORIALES LINEALES Y PUNTUALES
OBJETIVO	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Prever los posibles impactos sobre las obras lineales y puntuales sectoriales en las etapas de planeación, formulación, priorización, análisis de alternativas, diseño, u operación, ante la amenaza por actividad volcánica o hidrotermal.</li> <li>● Recomendar medidas y acciones a tener en cuenta en las diferentes etapas del proyecto que permitan evitar o reducir los impactos previstos.</li> <li>● Sugerir las etapas para estimar la vulnerabilidad de las obras o elementos expuestos.</li> </ul>	

La información relacionada con el diagnóstico de amenaza por eventos asociados a la actividad volcánica y estimación de la vulnerabilidad por este fenómeno natural que se encuentra en la presente ficha, solo es de carácter cualitativo y no debe ser tomada como procedimiento para suplir los estudios detallados requeridos para la planeación y ejecución de las obras sectoriales. Con la misma se busca que el gestor del proyecto o diseñador cuente con herramientas para la toma de decisiones finales de selección de alternativas que generen la menor probabilidad de daños o pérdidas, teniendo en cuenta las particularidades y heterogeneidad que representa cada región de nuestro País, relacionada no solo con la cercanía a zonas con actividad volcánica, sino con la variabilidad de eventos que son generados por cada tipo de volcán, la cercanía o no de los elementos del sector expuestos, no solo al cono volcánico, sino a fuentes abastecedoras de la zona de influencia o cuencas que puedan servir de canal de transporte de material (lava, flujos de escombros) que pueden impactar alguno de los componentes del sistema

## I. DIAGNÓSTICO DEL NIVEL DE AMENAZA POR ACTIVIDAD VOLCÁNICA E HIDROTERMAL PARA OBRAS Y/O ESTRUCTURAS DEL SECTOR CLASIFICADAS COMO LINEALES Y PUNTUALES.

El Servicio Geológico Colombiano – SGC, a través de sus Observatorios Vulcanológicos localizados en Manizales, Popayán y Pasto, recopila, analiza y sistematiza la información asociada con la actividad y comportamiento de los volcanes y las amenazas que generan los eventos ligados a la actividad de los mismos. En estos observatorios se registra y monitorea cualquier tipo de actividad que se detecte en las zonas, según la jurisdicción.

**Tabla 1. Ámbito de aplicación. Nivel de amenaza. Para el caso de amenaza por contaminación generada por fuentes hidrotermales o dilución de minerales, aplica para selección de fuentes de abastecimiento y diagnóstico de los niveles de amenaza en las existentes.**

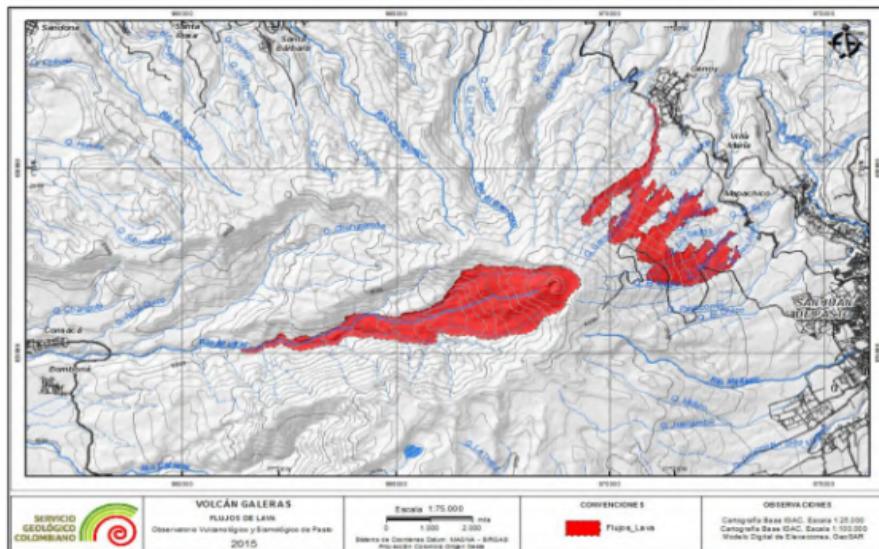
Planeación, formulación y análisis de alternativas	✗
Diseño obras nuevas	✗
Obras existentes – en operación	✗
Obras lineales	✗
Obras puntuales	✗

## 1. Amenazas de tipo volcánico

### 1.1. Flujos de lava:

Para identificar la amenaza a este evento generado por la actividad volcánica, se debe tener cuenta que a pesar para el sector se piensa que este tipo de evento es el que causa la mayor devastación, no necesariamente representan una prioridad esencial en la planificación y diseño de proyectos del sector. El Servicio Geológico Colombiano (SGC) tiene identificadas las zonas amenazadas por estos flujos y por ende no debería desarrollarse en estos sectores nuevos proyectos urbanos o industriales que implique llevar nuevas infraestructuras a estos sitios porque este tipo de evento es el que causa la mayor devastación.

**Imagen 1. Mapa amenaza flujos de lava, volcán Galeras. Se destaca como los flujos recorren aguas abajo las cuencas del área de influencia. En este tramo podrían verse afectados (en caso de existir) los componentes del sector expuestos.**



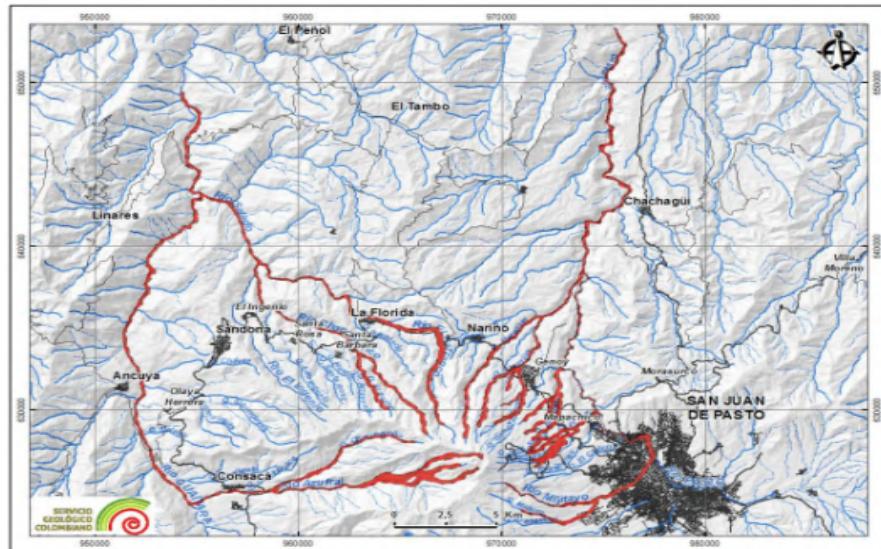
Fuente: Servicio Geológico Colombiano - SGC, 2015

## 1.2. Flujos de lodo o lahares:

Los lahares o flujos de lodo volcánicos son una mezcla de fragmentos de roca, arena, limo, arcilla y agua que se desplazan por los cauces y valles de las quebradas y ríos (ver imagen 2). Estos eventos varían en tamaño y velocidad. Un lahar en movimiento se comporta como una masa de concreto húmedo que carga fragmentos que varían desde arcilla hasta bloques de más de 10 metros en diámetro; los lahares grandes, son de cientos de metros de ancho y decenas de metros de profundidad y pueden fluir a varias decenas de metros por segundo. Los principales mecanismos de origen pueden estar asociados con la transición de flujos piroclásticos a lahares, erosión - transporte de material piroclástico suelto en laderas por agua lluvia y corrientes fluviales y por rotura de presas.

Entre los principales efectos por lahares se encuentran: arrasamiento y destrucción de vegetación, cultivos e infraestructura existentes a lo largo de su trayectoria (puentes, caseríos en las orillas de los ríos, carreteras, componentes de los sistemas de AAA, pasos elevados), Enterramiento y aislamiento pasivo y tardío de grandes extensiones de terreno (cerca los cauces y por fuera de ellos) incluida la infraestructura ubicada sobre las mismas, relleno de cauces naturales y artificiales, inundación de las regiones planas donde se abren los cañones de los ríos, inundación de áreas aledañas en el caso de presentarse represamiento de los ríos.

**Imagen 2. Mapa amenaza flujos de lodo o Lahares, volcán Galeras. Al igual que los flujos de lava, los lahares descenden por los canales (cuencas y drenajes) de la zona de influencia del volcán. Su poder destructivo es alto.**



Fuente: Servicio Geológico Colombiano - SGC, 2015

Para realizar un diagnóstico del nivel de amenaza por este tipo de evento, se deberá recurrir a la información y estudios del SGC. Una vez identificados el consultor y/o gestor del proyecto deberá contemplar las medidas necesarias para reducir o evitar los impactos que puedan afectar el proyecto (ver tabla 2).

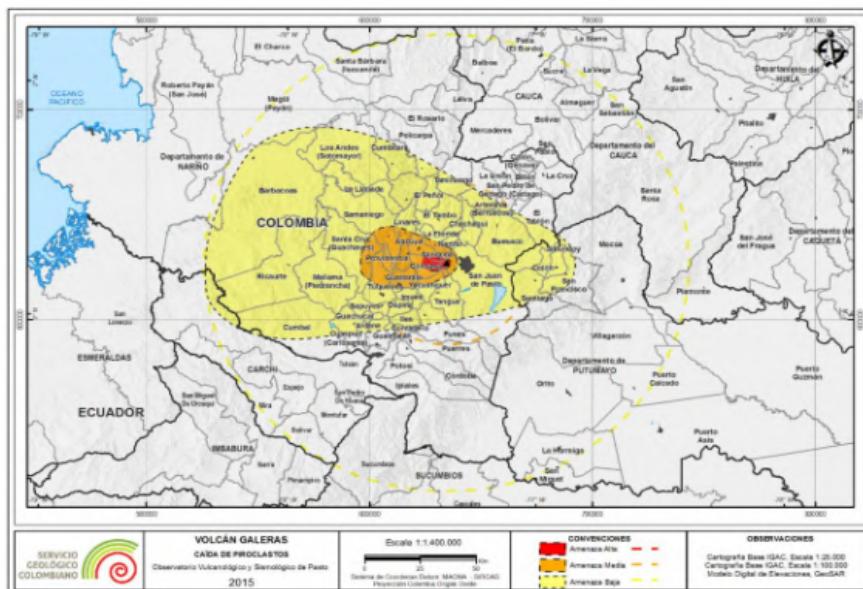
**Tabla 2. Niveles de amenaza de carácter cualitativo por flujos de lodo.**

<b>Baja</b>	1	Zonas alejadas de los valles de río y quebradas que por su altura s.n.m o distancia al volcán se encuentran con muy baja probabilidad de ser afectadas por los flujos de lodo a laharos.
<b>Media</b>	2	Zonas cuyos valles de río y quebradas donde los flujos pueden superar las alturas probables estimadas por el SGC o que estos drenajes son afluentes o tributarios de los drenajes identificados con probabilidad alta a los flujos de lodo.
<b>Alta</b>	3	Zonas generalmente asociadas a los cauces de ríos y quebradas identificadas por el SGC con probabilidad alta de ser afectadas por este tipo de evento

### 1.3. Amenaza por caída de piroclastos y cenizas:

Los volcanes lanzan a la atmósfera fragmentos de roca (piroclastos) que al caer a la superficie se denominan caídas piroclásticas. De acuerdo a su tamaño, se denominan: ceniza (menor de 2 mm); lapilli (2 a 64 mm); bloques y bombas volcánicas (mayor de 64 mm). Los fragmentos mayores son transportados por proyección balística y depositados en las partes cercanas del volcán a distancias menores a 10 km desde el punto de emisión. Los piroclastos menores (ceniza y lapilli) son transportados por el viento y llevados hasta zonas alejadas del volcán (cientos o miles de kilómetros) y depositados por efecto de la gravedad, formando capas que siguen la topografía preexistente, cubriendo en general áreas muy extensas (ver imagen 3). El espesor de piroclastos y su tamaño de grano disminuyen paulatinamente con la distancia al volcán (fuente SGC).

**Imagen 3. Mapa amenaza por caída de piroclastos, volcán Galeras. Al ser transportados por el viento, pueden ser depositados (por gravedad) a varios kms de la fuente.**



Fuente: Servicio Geológico Colombiano - SGC, 2015

Para realizar un diagnóstico del nivel de amenaza por este tipo de evento, se deberá recurrir a la información y estudios del SGC. Una vez identificados el consultor y/o gestor del proyecto deberá contemplar las medidas necesarias para reducir o evitar los impactos que puedan afectar el proyecto (ver tabla 3).

**Tabla 3. Niveles de amenaza de carácter cualitativo, por caída de piroclastos.**

<b>Baja</b>	1	Corresponde a la zona de caída de piroclastos transportados eólicamente, con espesores de depósito entre 1 cm y 0,5 mm
<b>Media</b>	2	Corresponde a la zona afectada principalmente por caída de piroclastos, con espesores de depósito entre 10 cm y 1 cm de ceniza (< 2 mm) y lapilli (2 a 64 mm), según la tendencia predominante de los vientos en el área
<b>Alta</b>	3	Zona que sería afectada principalmente por caída de piroclastos transportados eólicamente (ceniza y lapilli), con acumulaciones mayores a 10 cm.

Fuente: Adaptado al sector de las zonificaciones de amenazas por eventos volcánicos del Servicio Geológico Colombiano - SGC.

## **2. Amenazas asociadas a la actividad hidrotermal**

De acuerdo a diferentes investigaciones, la presencia natural de arsénico en aguas superficiales y subterráneas está asociado a la actividad volcánica reciente (terciario y cuaternario) en la cordillera de los Andes. Proviene de la disolución de minerales, la erosión y desintegración de rocas y por deposición atmosférica (aerosoles), (CEPIS-SB/SDE/OPS, 2006). Los procesos de este tipo de actividad volcánica, se puede evidenciar con la presencia de flujos de lava, géiseres, fumarolas, aguas termales y fenómenos geotérmicos relacionados con el volcanismo circumpacífico del llamado “Círculo de fuego del Pacífico”. Este volcanismo también ejerce influencia en algunas características de estas aguas como son pH alto, alcalinidad variable, baja dureza, moderada salinidad y presencia de boro, flúor, sílice y vanadio, (CEPIS-SB/SDE/OPS, 2006). Para la estimación del nivel de amenaza por este fenómeno natural, se propone la siguiente tabla:

**Tabla 4. Niveles de amenaza de carácter cualitativo, por caída procesos asociados a la actividad hidrotermal.**

<b>Baja</b>	1	Zona de actividad hidrotermal – volcánica que por la distancia a las fuentes termales o caudal, la capacidad de dilución (medida en campo) no representa un riesgo para la calidad del agua asociada a los elementos químicos y minerales que puedan alterar los niveles permitidos en estas zonas
<b>Media</b>	2	Zona de actividad hidrotermal – volcánica que por la distancia a las fuentes termales o caudal, la capacidad de dilución (medida en campo) representa un riesgo intermedio para la calidad del agua asociada a los elementos químicos y minerales que puedan alterar los niveles permitidos en estas zonas
<b>Alta</b>	3	Zona de actividad hidrotermal – volcánica que por la distancia a las fuentes termales o caudal, la capacidad de dilución (medida en campo) representa un riesgo alto para la calidad del agua asociada a los elementos químicos y minerales que puedan alterar los niveles permitidos en estas zonas

Fuente: Propia.

## II. DIAGNÓSTICO DEL NIVEL DE VULNERABILIDAD ANTE LA AMENAZA VOLCÁNICA

El consultor y/o gestor del proyecto podrá previamente analizar si el proyecto se localiza en una de las zonas identificadas en los estudios del SGC con cierto nivel de amenaza a los diferentes eventos o fenómenos asociados a la actividad volcánica.

Igualmente tendrá en cuenta en estos estudios, los períodos de recurrencia, área y espesores probables para finalmente definir el nivel de riesgo y la viabilidad o no del proyecto.

### Nivel de vulnerabilidad del proyecto – Flujos de lodo o Lahares

**Tabla 5.** Niveles de vulnerabilidad del proyecto ante una posible amenaza por flujo de lodo.

Baja	1	Los componentes proyectados (en etapa de diseño – incluye fuente abastecedora) o construidos se localizan en el área de actividad volcánica identificada por el SGC, pero a una cota donde es poco probable que los flujos alcancen una altura que pueda impactar dicho componente.
Media	2	Los componentes proyectados (en etapa de diseño – incluye fuente abastecedora) o construidos se localizan en el área de actividad volcánica cartografiada por el SGC, cerca de drenajes o zonas aledañas a los valles y cauces que el SGC ha identificado en la zona con alta probabilidad que dichos flujos desciendan por los mismos.
Alta	3	Los componentes proyectados (en etapa de diseño – incluye fuente abastecedora) o construidos se localizan en los cauces y sobre la cota del nivel del mar del área cartografiada por el SGC con alta probabilidad de ser afectada por este tipo de evento.

Fuente: Propia.

Es importante precisar que a pesar de que en los estudios o cartografías geológicas de una región en particular se evidencie la presencia de antiguos depósitos de flujos de lodo, escombros (lahares) asociados a la actividad volcánica (matriz de origen volcánico), no necesariamente en caso de presentarse un evento, estos alcanzarían las cotas o los niveles actuales (cartografiados), dado que la recurrencia de los eventos volcánicos es baja y en estos largos períodos de tiempo, los ríos y quebradas han socavado (erosión vertical) el cauce, generando valles profundos, y por ende niveles de inundación y acumulación diferentes.

### Nivel de vulnerabilidad del proyecto – contaminación fuente por piroclastos (cenizas, etc.)

**Tabla 6.** Niveles de vulnerabilidad del proyecto ante una posible amenaza caída de piroclastos.

Baja	1	Los componentes proyectados (en etapa de diseño) o construidos que puedan ser afectados por este tipo de evento (contaminación agua cruda o tratada – cubiertas de estructuras) se localizan en el área de actividad volcánica con probabilidad de caída de cenizas o piroclastos transportados eólicamente, con espesores de depósito entre 1 cm y 0,5 mm, los cuales
Media	2	Los componentes proyectados (en etapa de diseño) o construidos que puedan ser afectados por este tipo de evento (contaminación agua cruda o tratada – cubiertas de estructuras) se

		localizan en la zona afectada principalmente por caída de piroclastos, con espesores de depósito entre 10 cm y 1 cm de ceniza (< 2 mm) y lapilli (2 a 64 mm).
<b>Alta</b>	<b>3</b>	Los componentes proyectados (en etapa de diseño) o construidos que puedan ser afectados por este tipo de evento (contaminación agua cruda o tratada – cubiertas de estructuras) se localizan en zona que sería afectada principalmente por caída de piroclastos transportados eólicamente (ceniza y lapilli), con acumulaciones mayores a 10 cm.

Fuente: Propia.

### Nivel de vulnerabilidad del proyecto – contaminación fuente por elementos provenientes de actividad hidrotermal.

Tabla 7. Niveles de vulnerabilidad del proyecto ante una posible amenaza por actividad hidrotermal.

<b>Baja</b>	<b>1</b>	Fuente abastecedora (superficial o subterránea) localizada en zona de actividad hidrotermal – volcánica que por la distancia a las fuentes termales o caudal, la capacidad de dilución (medida en campo) no representa un riesgo para la calidad del agua asociada a los elementos químicos y minerales que puedan alterar los niveles permitidos en estas zonas.
<b>Media</b>	<b>2</b>	Fuente abastecedora (superficial o subterránea) localizada en zona de actividad hidrotermal – volcánica que por la distancia a las fuentes termales o caudal, la capacidad de dilución (medida en campo) representa un riesgo intermedio para la calidad del agua asociada a los elementos químicos y minerales que puedan alterar los niveles permitidos en estas zonas
<b>Alta</b>	<b>3</b>	Fuente abastecedora (superficial o subterránea) localizada en zona de actividad hidrotermal – volcánica que por la distancia a las fuentes termales o caudal, la capacidad de dilución (medida en campo) representa un riesgo alto para la calidad del agua asociada a los elementos químicos y minerales que puedan alterar los niveles permitidos en estas zonas

Fuente: Propia.

## III. IMPACTOS

### Amenazas de tipo volcánico

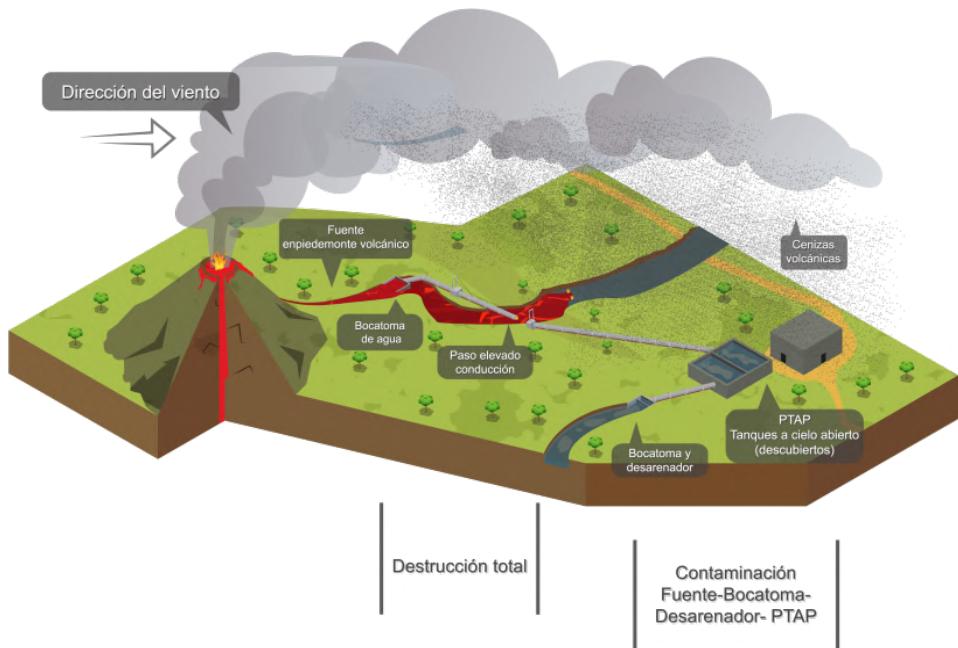
- Destrucción de los componentes de la infraestructura.
- Interrupción en el servicio por fallas del fluido eléctrico, de las vías de acceso y vías de comunicación.
- Obstrucción de drenajes o de la conducción de agua por cenizas.
- Deterioro de la calidad del agua cruda de fuentes superficiales por cenizas y otros materiales volcánicos. (Flúor, metales pesados).

- Se puede producir contaminación en plantas de filtros o de tratamiento de agua potable, por caída de ceniza volcánica sobre los estanques de coagulación, decantación o de los filtros, contaminando el agua o inutilizando los filtros con la propia ceniza que puede arrastrar el agua.
- Incendios forestales o de estructuras.
- Fallas en las estructuras civiles por acumulación de cenizas
- Incremento en los requerimientos del tratamiento de agua para consumo humano
- Interrupción en la operación por incremento de sólidos

### Amenazas por actividad magmática y/o hidrotermal

- Contaminación de las fuentes abastecedoras superficiales y subterráneas por presencia de elementos como el arsénico.
- La población más afectada es la que se encuentra dispersa en el área rural, la cual consume agua sin ningún tratamiento y desconoce el riesgo al que está expuesta

**Imagen 4.** Posibles impactos generados por la actividad volcánica sobre infraestructura o la calidad del agua. En la parte superior se muestra la infraestructura expuesta (bocatoma – conducción) ante la amenaza por flujos torrenciales, lahares (ver imágenes 1 y 2). Este debido a nivel destructivo, arrasaría cualquier estructura. En la parte inferior y derecha de la imagen, se localiza una fuente abastecedora, la estructura de captación, tanques en la PTAP a cielo abierto. Debido a la distancia del (nivel de exposición) componente a la amenaza por flujos de lava (lahares, etc) no se prevé riesgos, sin embargo, la actividad volcánica puede generar piroclastos que de acuerdo a su tamaño, pueden ser desplazados por el viento por varios kilómetros (ver imagen 3), generando contaminación de fuentes o aguas almacenadas, colapso de techos por acumulación, etc.



Fuente: Propia. Diseños gráficos: José David González Meza, 2019.

## IV. MEDIDAS RECOMENDADAS

Las medidas que se sugieren en las diferentes etapas del proyecto para prevenir los impactos generados en el sector por fenómenos provocados por la actividad volcánica en los proyectos y por ende en la continuidad y calidad del servicio son:

- Una vez identificado que el proyecto se localiza en una zona donde el SGN cuenta con estudios de amenaza por actividad volcánica, en las etapas de planeación, formulación, análisis de alternativas, diseños u operación, se sugiere considerar en algunos casos, la ejecución de estudios detallados para prevenir los impactos y diseñar las obras complementarias o evaluar las alternativas. Es importante tener en cuenta que los períodos de recurrencia de los eventos volcánicos son altos (decenas a cientos de años), variable que debe tenerse en cuenta para la toma de decisiones.
- En el caso de zonas amenazadas por flujos de lava o piroclastos, debido al impacto que generan y su poder destructivo, en la etapa de operación el prestador deberá contemplar este tipo de evento en sus Planes de Emergencia – PEC -, teniendo en cuenta lo estipulado en las Resoluciones 0154 de 2014 y 0527 de 2018 y aquellas que las modifiquen o complementen.
- Ciertas actividades volcánicas generan flujos de lodo o lahares los cuales descienden por los drenajes de la zona de influencia, la cual generalmente están identificadas en los estudios y zonificaciones del SGC. El consultor o gestor del proyecto deberá considerar :

Replantear en los diseños la localización de obras puntuales como bocatomas, desarenadores, PTAP, tanques de almacenamiento, PTAR y sitios de aprovechamiento, tratamiento y disposición final de residuos sólidos.

Evaluar de ser posible otra fuente de abastecimiento que no se localice en el área amenazada.

En aquellos cruces fluviales o subfluviales de las obras lineales del sector, tener en cuenta en los diseños las alturas de los niveles de flujo probables y poder erosivo de los mismos para los cruces subfluviales. En algunos casos las alturas de los flujos y poder destructivo son prácticamente no mitigables, pero en otros dependiendo de factores geomorfológicos de la cuenca, volúmenes del flujo y alturas, se podrán prever.

- Caída de piroclastos o cenizas:

Medidas físicas como la Instalación de cubiertas en sitios identificados como críticos de las plantas de tratamiento de agua para el consumo (PTAP), plantas de tratamiento de aguas residuales y otras estructuras del sector que pudiesen verse afectadas por la carga que pueda ejercer sobre las mismas, la acumulación en techos y/o cubiertas.

Reforzamiento de techos y cubiertas de estructuras.

- Contaminación por caída de cenizas: En las zonas identificadas con algún nivel de amenaza por caída de ceniza, se recomienda evaluar de acuerdo a las zonificaciones y estudios aportados por el SGC, el potencial de caída de este material, espesores probables, entre otros. De acuerdo a esto evaluar si se requieren diseñar alternativas de pre-tratamiento y tratamiento en la PTAP en el proyecto.

El diseño e implementación de alertas tempranas por contaminación del agua se deberá contemplar tanto para el diseño como para la operación del sistema.

Este tipo de eventos deberá estar contemplado en el mapa de riesgos de acuerdo a lo reglamentado en la Resolución 0549 de 2017 o aquellas que la modifiquen o complementen.

- Contaminación actividad hidrotermal y magmática en zona de influencia del proyecto (ejemplo: arsénico):

En la etapa de concepción del proyecto y selección de la fuente abastecedora, se recomienda contar con el mapa de riesgo por contaminación de la fuente por este tipo de elementos en aquellas zonas donde existe actividad magmática e hidrotermal. Una vez localizado el foco, ubicar o reubicar la captación aguas arriba de la fuente contaminante.

Evaluar fuentes alternas.

En el diseño de los componentes de pre-tratamiento y tratamiento en la PTAP, implementar el tipo de tratamiento que permita garantizar la calidad del agua potable de acuerdo a lo reglamentado por el Decreto 1575 del 2007 y sus demás normas reglamentarias o aquellas que las modifiquen o complementen.



# Anexos

## FICHA 3

Estimación del nivel de amenaza y vulnerabilidad generados por inundaciones, avenidas torrenciales y otros procesos.  
Impactos y medidas recomendadas.

FICHA TÉCNICA K3	AMENAZA POR INUNDACIÓN, EVENTOS TORRENCIALES Y OTROS PROCESOS	ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD – OBRAS SECTORIALES LINEALES Y PUNTUALES
OBJETIVO	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Prever los posibles impactos sobre las obras lineales y puntuales sectoriales en las etapas de planeación, formulación, diseños, análisis de alternativas construcción y operación, ante la amenaza por inundaciones, eventos torrenciales, procesos erosivos generados por las corrientes hídricas y ANM.</li> <li>● Recomendar medidas y acciones a tener en cuenta en las diferentes etapas del proyecto que permitan evitar o reducir los impactos previstos.</li> <li>● Sugerir las etapas para estimar la vulnerabilidad de las obras.</li> </ul>	

## I. DIAGNÓSTICO DEL NIVEL DE AMENAZA POR INUNDACIONES, EVENTOS TORRENCIALES Y OTROS PROCESOS EROSIVOS GENERADOS POR LAS CORRIENTES HÍDRICAS SOBRE LAS ESTRUCTURAS DEL SECTOR CLASIFICADAS COMO LINEALES Y PUNTUALES Y LA OPERACIÓN DEL SECTOR.

Tabla 1. Ámbito de aplicación. Nivel de amenaza

Planeación, formulación y análisis de alternativas	✗
Diseño obras nuevas	✗
Obras existentes – en operación	✗

El tipo de eventos que contempla esta ficha, en su gran mayoría están asociados o son detonados por fenómenos hidrometeorológicos, en particular por fuertes y prolongados períodos de lluvias y para el caso de aquellos generados por el Ascenso del Nivel del Mar - ANM, este último asociado al cambio climático.

La fuente de información, como punto de partida, para que los consultores y/o gestores del proyecto realicen un diagnóstico del nivel de amenaza ante los eventos que contemplan la presente ficha al momento de abordar los proyectos (en las diferentes etapas: formulación, diseño, construcción y operación) son: El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, el Servicio Geológico Colombiano - SGC, los Planes y Esquemas de Ordenamiento Territorial particulares de cada región.

El IDEAM cuenta en la actualidad con mapas de amenaza por inundación a diferentes escalas desde nacionales (1: 500.000 y 1: 100.000) hasta escalas locales (1: 5.000), La información detallada se puede encontrar accediendo al siguiente link:

[www.siac.gov.co/inundaciones](http://www.siac.gov.co/inundaciones); <http://www.ideam.gov.co/geoportal>.

**Amenaza por inundación:** Teniendo en cuenta que las inundaciones son procesos naturales recurrentes propios de la dinámica de los ríos y quebradas, que ocurren cuando el caudal de una corriente supera la capacidad de su cauce y desborda lentamente las márgenes en la mayoría de los casos asociados a temporadas de lluvia. Si bien se puede describir como un proceso natural, la interferencia humana (antrópica) en los sistemas hídricos puede aumentar o generar las inundaciones como por ejemplo el cambio del uso del suelo cuando se transforma un área rural en un área urbana aumentando la escorrentía y la velocidad de descarga en las corrientes, la deforestación, las canalizaciones, entre otras.

**Amenaza por crecientes súbitas o eventos torrenciales:** Los eventos hidrológicos torrenciales por la variación del estado normal del clima, consisten en la ocurrencia súbita de caudales pico de corta duración y gran velocidad, que transitan a lo largo de canales en cuencas hidrográficas de montaña, generalmente acompañados de empalizadas, arrastres de escombros y rocas lo que genera impacto mayor al sector, en comparación con las inundaciones.

Como se describe en la Ficha K5 – Sequias, generalmente, en los proyectos de diseño, rehabilitación o reposición de obras del sector, que requieran análisis hidráulicos de cauces y regímenes de lluvias para evaluar los períodos de retorno, parten de la base de que el recurso hídrico y dichos regímenes de lluvia son relativamente constantes a mediano y largo plazo. Estos registros históricos y comportamientos de los mismos, representan un insumo importante para el diseño y proyección de las obras, entre otras: diseño y localización de bocatomas, trazado de líneas de aducción, conducción o distribución (respectando rondas hídrica o retiro preventivo de las zonas identificadas con niveles de amenaza por inundación), localización de obras puntuales (PTAP – PTAR – Tanques de almacenamiento – Sitios de disposición final de residuos sólidos) fuera de las zonas con niveles de amenaza alto o moderado por inundación y diseño de obras de colectores urbanos para manejo de aguas lluvias o servidas.

Sin embargo, los fenómenos meteorológicos en particular aquellos asociados a la variabilidad climática y al cambio climático, como el aumento excesivo de lluvias en combinación con las condiciones particulares de la cuencas de alta montaña (geología y geomorfología y morfodinámica) generan la necesidad de contemplar en los diferentes proyectos y diseños, medidas de adaptación dirigidas a reducir los impactos y garantizar la continuidad y calidad del servicio, sobre todo para el análisis de amenaza por eventos torrenciales, los cuales generalmente se confunden con los que se desarrollan para evaluar las amenazas por inundaciones.

La información que se presenta en la tabla 2, corresponde solo a un ejemplo, el cual representa una visión general de los niveles de amenazas probables por inundación a tener en cuenta para las intervenciones y decisiones que se deban realizar en las diferentes etapas del proyecto, incluyendo los

estudios detallados de amenaza ante este tipo de eventos. Las estimaciones y cálculos de probabilidad de recurrencia de los eventos generados por inundación, contemplan los siguientes períodos de retorno: 2,33, 5, 10, 25, 50 y 100 años. Estos períodos de retorno permitirán facilitar los análisis para toma de decisiones de métodos de intervención, alternativas, análisis costo-beneficio de las obras, materiales, escenarios de intervención en el corto, mediano y largo plazo, entre otras.

En las etapas del proyecto, es conveniente tener en cuenta que el poder destructivo de las avenidas torrenciales y/o crecientes súbitas y su impacto sobre la infraestructura son superiores al de las inundaciones lentas.

En un análisis de susceptibilidad para que ocurra un evento asociado a crecientes súbitas (eventos torrenciales) se deben adicionalmente evaluar tres condiciones:

- **Susceptibilidad Geológica:** Deben existir los materiales susceptibles a desprenderse y moverse.
- **Susceptibilidad Geomorfológica de la cuenca:** Deben existir las condiciones de pendiente, ancho y características geomorfológicas de la cuenca que permitan la ocurrencia de una avalancha.
- **Probabilidad de un evento detonante:** Deben existir las condiciones para que se pueda producir un evento activador de la avalancha. Lluvias extraordinarias. Deshielo, sismos, etc.

**Tabla 2. Niveles de amenaza de carácter cualitativo por inundaciones y/o eventos torrenciales.**

Baja	1	Esta zona está delimitada por la línea de inundación producida por el desbordamiento del río, quebrada, afluentes o drenajes urbanos (intervenidos o no), los zanjones tributarios, calculada para los caudales de la creciente con un periodo de retorno entre 2,33 y 100 años; presenta una profundidad de agua menor o igual a 0,3 metros y una velocidad del flujo menor de 0,5 m/s; se considera que esta creciente puede generar daños leves en la infraestructura y bienes y servicios de la población.
Media	2	Esta zona está delimitada por la línea de inundación producida por el desbordamiento del río, quebrada, afluentes o drenajes urbanos (intervenidos o no), los zanjones tributarios, calculada para los caudales de la creciente con un periodo de retorno entre 2,33 y 100 años; presenta profundidades de agua entre 0,3 metros 0,7 metros y velocidades del flujo entre 0,5 m/s y 0,8 m/s; se considera que esta creciente puede generar daños moderados en la infraestructura y bienes y servicios de la población.
Alta	3	Esta zona está delimitada por la línea de inundación producida por el desbordamiento del río, quebrada, afluentes o drenajes urbanos (intervenidos o no), los zanjones tributarios, calculada para los caudales de la creciente con un periodo de retorno entre 2,33 y 100 años; presenta una profundidad de agua mayor a 0,7 metros y una velocidad del flujo mayor a 0,8 m/s; se considera que esta creciente puede generar daños severos en la infraestructura y bienes y servicios de la población.

Fuente información amenazas: MARTINEZ G. CASTRILLÓN C., 2014. Tomar solo como parte del diagnóstico de la zona a intervenir con proyecto. No se excluye la exigencia de estudios detallados.

**Amenaza por procesos erosivos de origen hidráulico:** El flujo del agua genera el desprendimiento por erosión, transporte y depósito de material (suelo, roca, etc.) por la acción de la fuerza o energía del fluido (en este caso el agua) en movimiento.

Este fenómeno genera impactos en las estructuras, que deben ser previstos al momento de diseñar obras (puntuales o lineales), tales como pasos elevados, muros de contención para protección de los componentes del sistema, pilas o columnas de puentes, bocatomas, entre otras.

**Susceptibilidad a la erosión interna:** Los factores que pueden iniciar un proceso de erosión interna son:

- Presencia de llenos no compactados (zanjas o brechas para instalar tuberías).
- El agrietamiento del terreno por cambios de humedad.
- Pérdida de la cobertura vegetal.
- La presencia de capas impermeables dentro del perfil del suelo.
- Los gradientes hidráulicos internos muy altos.
- La solubilidad del suelo.
- Fugas y filtraciones provenientes de redes (acueducto o alcantarillado) o tanques de almacenamiento en mal estado.

**Lluvias intensas que generan caudales en cascos urbanos los cuales superan la capacidad hidráulica de la infraestructura:** Zonas susceptibles asociadas a drenajes urbanos intervenidos, zonas verdes que servían de áreas de infiltración canalizadas, canalizaciones y colectores diseñados con capacidades hidráulicas inferiores a las requeridas de acuerdo a las condiciones naturales de la zona antes de ser intervenidas.

**Amenazas por Ascenso del Nivel del Mar - ANM:** Las costas colombianas y en especial las del Caribe, debido al cambio climático, sumado a los efectos de los fenómenos de variabilidad climática, tales como tormentas tropicales, mares de leva entre otras, están amenazadas ante el aumento progresivo del nivel medio del mar – ANM. El nivel de amenaza de la zona o región donde se elaboran los estudios, diseños u obras están asociados al tiempo esperado que dure la zona inundada, la altura sobre el nivel del mar de la zona, del régimen de mareas predominante, de la presencia o no de barreras naturales (geoformas costeras, vegetación, entre otras) y artificiales (diques u otras obras de protección) que impidan o retarden el ingreso del agua.

## II. DIAGNÓSTICO DEL NIVEL DE VULNERABILIDAD POR INUNDACIÓN, EROSIÓN HÍDRICA Y OTROS EVENTOS ASOCIADOS

Tabla 3. Ámbito de aplicación. Nivel de vulnerabilidad

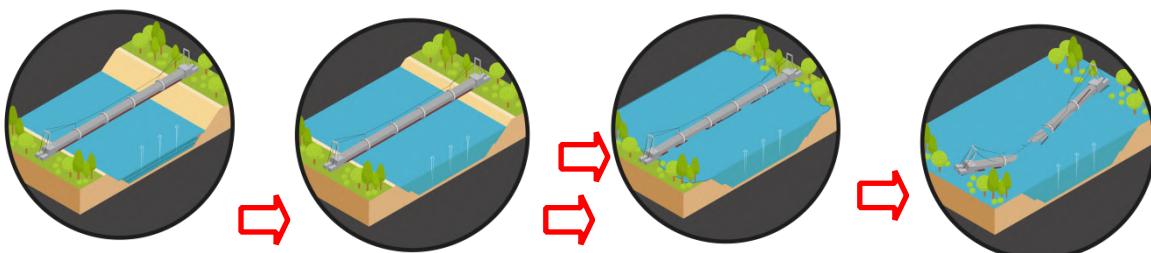
Planeación, formulación y análisis de alternativas	El formulador o diseñador podrá estimar el nivel de vulnerabilidad de los proyectos o alternativas en la
--	--

Diseño obras nuevas	etapa de diseño de acuerdo a los niveles de amenaza identificados
Obras existentes – en operación	✗
Obras lineales (1)	✗
Obras puntuales (2)	✗

En las diferentes etapas del proyecto, se sugiere previamente analizar si las obras que se pretenden diseñar o ejecutar o las existentes que requieren rehabilitación u optimización, se localizan en una de las zonas identificadas con algún nivel de amenaza por inundación, eventos torrenciales u otro de los descritos en la presente ficha. Los estudios previos normalmente son generados por las entidades u organismos tales como: IDEAM, Servicio Geológico Colombiano – SGC, Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) o igualmente por los entes territoriales en sus POT, EOT. Es importante aclarar que el título K y sus fichas corresponden a manuales de buenas prácticas y no eximen al responsable del proyecto (en las diferentes etapas) de realizar los estudios detallados de amenaza respectivos y evaluar el proyecto y alternativas teniendo en cuenta el resultado de dicho análisis, es decir amenaza con proyecto, análisis de vulnerabilidad y riesgos de cada alternativa propuesta.

Para el diagnóstico del nivel de vulnerabilidad de la infraestructura nueva o existente, se debe evaluar los posibles niveles de exposición e impactos de las obras (lineales o puntuales) a diseñar o existentes generados por el tipo de amenaza descrita en la presente ficha. Este análisis deberá hacer parte de las variables requeridas para la selección de la alternativa propuesta. En caso de que en la alternativa propuesta (su trazado para obras lineales o localización para obras puntuales) no se logre reducir completamente el grado de vulnerabilidad ante este tipo de amenaza, se recomienda contemplar en sus diseños (obras nuevas o rehabilitación u optimización de obras existentes), todas las obras complementarias requeridas para mitigar el riesgo en aquellos puntos o tramos expuestos.

**Imagen 1.** Secuencia ascenso nivel de las aguas (inundación lenta o evento torrencial) y su impacto sobre estructura que soporta línea de conducción, distribución de agua potable o transporte e aguas servidas. Este ejemplo, pretende mostrar casos de diseños de obras en los cuales no se contempló el análisis detallado de la amenaza y la selección de una alternativa con menor grado de vulnerabilidad.



Fuente: Propia. Diseños gráficos: José David González Meza, 2019.

### **III. IMPACTOS**

#### **Inundación y eventos torrenciales**

- Destrucción total o parcial de captaciones, aducciones, desarenadores localizadas en ríos y quebradas.
- Daños en estaciones de bombeo cercanas a cauces.
- Afectación o impacto en barcazas, incluyendo los componentes de bombeo.
- Obstrucción y colmatación de componentes por arrastre de sedimentos, basuras, escombros.
- Pérdida de captación por cambio de cauce del afluente.
- Rotura de tuberías expuestas en pasos de ríos y quebradas.
- Contaminación del agua en las cuencas.
- Suspensión de energía eléctrica, corte de caminos y comunicaciones.
- Introducción de agua marina en los acuíferos continentales, lo que implica la disminución de agua subterránea o su contaminación.
- Daños en las instalaciones de saneamiento básico y dificultad para el desarrollo de prácticas clave de higiene.

El violento incremento de los caudales de los ríos ocasiona la destrucción total o parcial de las líneas de captación de agua, bombas, líneas de conducción, tanques de almacenamiento, etc., imposibilitando el abastecimiento de agua a las poblaciones.

Las inundaciones y/o avenidas torrenciales afectan las lagunas de tratamiento primario. Inundación zonas de disposición final de residuos sólidos.

El arrastre de sedimentos hacia las partes bajas, en numerosas cuencas sujetas a procesos de degradación, produjo diferentes impactos sobre los sistemas:

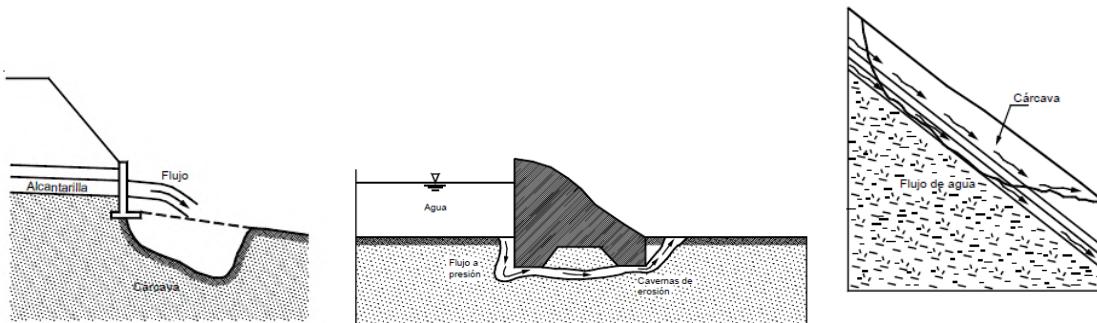
Obstrucción de obras de aducción de agua potable; taponando las redes de alcantarillado; arrastre, destrucción total o parcial de líneas de conducción cortando o limitando el abastecimiento; cambios bruscos en la calidad fisicoquímica de los afluentes por incremento de los contenidos sólidos rebasando la capacidad de diseño de las instalaciones para la potabilización de las aguas de consumo humano.

#### **Socavación – Erosión hídrica**

En los ríos con presencia de meandros en sus partes bajas, y donde ocurrieron cambios de cauces, se puede presentar la pérdida de las captaciones de agua originando suspensión total o parcial del suministro de agua.

La socavación de los suelos generada por los ríos y otros tipos de drenajes o entregas de aguas lluvias y servidas, pueden afectar las tuberías, erosión en las zonas de entrega e inestabilidad en los soportes y cimentaciones de otras instalaciones e incluso impactos en predios privados, viviendas, etc. (ver figuras 1 a 3).

**Figuras 1 a 3. Formación cárcavas por erosión entregas alcantarillado. Esquema de erosión interna por debajo de presas en concreto, diques, etc. (ej.: bocatomas). Esquema de en zanjas de conductos enterrados en alta pendiente (obras lineales).**



Fuente: Suárez D., 2001

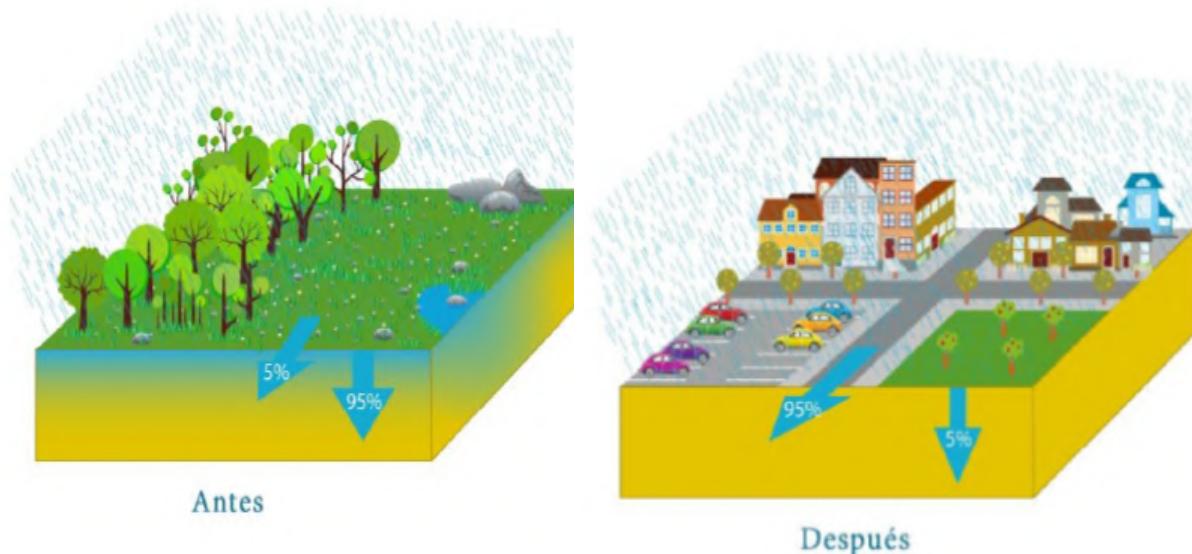
Las fugas no detectadas en las redes de acueducto, alcantarillado y estructuras de almacenamiento de agua, al igual que problemas en el diseño y construcción de las brechas dentro de las cuales se instalan las conducciones, en particular, el manejo de aguas sub-superficiales pueden generar socavación al interior del suelo y formación de cavernas (oquedades) que a futuro ocasionan el colapso de las infraestructuras del sector y las localizadas en la zonas de influencia del evento, tales como vías, edificaciones, viviendas y terrenos privados.

- Sedimentación dentro de la estructura y aguas arriba de esta. La estructura genera por sí misma un represamiento del flujo y/o puede ser obstruida por troncos de árboles o por bloques de roca.
- Socavación por flujo concentrado en las estructuras de apoyo descubiertas y cimentadas en la zona susceptible a la socavación, no identificadas en los diseños.
- Erosión y aporte de sedimentos en la fuente abastecedora

## Inundaciones asociadas a la gestión y manejo de aguas lluvias en círculos urbanos

En nuestros municipios, debido al desarrollo urbano, las estructuras de drenaje para el manejo de aguas lluvias y combinadas presentan con mayor recurrencia desbordamientos en tiempos de lluvias de alta intensidad, generando inundaciones en los círculos urbanos. Esto se debe entre otras causas a que el desarrollo de las ciudades trae consigo (generalmente) la impermeabilización de zonas urbanas, reduciendo la capacidad de absorción o infiltración natural del suelo (ver figura 4) como elemento regulador y por ende la capacidad de los colectores.

Figura 4. Esquema que muestran la disminución de la infiltración en zonas urbanizadas (Impermeables)



Fuente: Trapote J., 2016

## Sitios de disposición final de residuos

En los rellenos sanitarios se pueden presentar problemas complejos de erosión y sedimentación que pueden generar a futuro deslizamientos, contaminación de fuentes y obstrucción de drenajes. Esta problemática se asocia a los flujos de agua y líquidos provenientes de los lixiviados.

### Amenazas por Ascenso del Nivel del Mar - ANM:

- Cuñas salinas en zonas deltaicas: Contaminación de acuíferos costeros.
- Erosión costera: Impactos perjudiciales moderados generados por las inundaciones y las mareas, e impactos perjudiciales fuertes generados por el retroceso de la línea costera, que conllevan al deterioro de las vías de acceso e infraestructuras lineales o puntuales.
- El ascenso del nivel del mar puede dejar a la población sin acceso a agua potable.

## IV. MEDIDAS RECOMENDADAS

Una vez estimados los posibles impactos de las inundaciones, de los eventos torrenciales o los procesos erosivos de las corrientes hídricas y del ANM sobre los diferentes componentes de los sistemas de prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo, se deben priorizar las medidas que permitan una reducción del riesgo bien sea por la vía de intervenir la vulnerabilidad, o bien, intervenir las condiciones de amenaza en los casos que esto sea posible.

- Mantener actualizado el catastro de redes y de infraestructura sectorial, esto está directamente relacionado con la infraestructura expuesta ante cualquier amenaza, y permite tomar decisiones oportunas en caso de posibles daños en la operación del sistema, valorar la redundancia del mismo, e identificar sitios críticos en aquellos casos donde se presenten recurrencia de daños en alguno de los componentes.
- El análisis hidrológico es uno de los trabajos previos más importantes para el diseño de obras de control de erosión, independientemente de su tamaño o de su costo. Ese análisis es importante para determinar los caudales máximos y velocidades máximas de la corriente; las cuales son indispensables para determinar las fuerzas de erosión, debidas al flujo de agua. Si no se conocen con precisión y confiabilidad, las intensidades máximas de precipitación y escorrentía y los caudales máximos de las corrientes, no es posible diseñar adecuadamente obras para controlar la erosión (Suarez D, Jaime, 2001).
- Evitar la amenaza: Esta medida consiste en que la alternativa seleccionada no este expuesta a la amenaza evaluada (para el caso de esta ficha: inundación, evento torrencial, erosión hídrica y ANM), es decir se reduce la vulnerabilidad de la misma. Para los proyectos u obras puntuales como bocatomas en cuencas torrenciales, esta medida es compleja y costosa. Para proyectos lineales, en los tramos expuestos antes las amenazas que contempla esta ficha, puede plantearse esta medida, tal es el caso de pasos elevados que permitan que el componente este fuera de la zona amenazada por el evento (inundación y/o avenida torrencial). Otra medida podría ser la relocalización solo del tramo expuesto (construcción de variantes), cambio de cotas (por encima del nivel del inundación o de un evento torrencial), pasos subfluviales.
- Por parte del Gestor, velar que en los términos de referencia y pliegos de condiciones para diseños o construcción de obras nuevas (puntuales o lineales), de rehabilitación o reposición, se incorpore los aspectos técnicos y recursos del componente de gestión de riesgos, al igual que el personal idóneo en la áreas correspondientes de acuerdo al tipo de amenaza evaluado y necesidades del proyecto. En obras puntuales o lineales (nuevas o existentes que requieren rehabilitación o reposición) que se localicen o pretendan localizar en zonas de amenaza por inundación, eventos torrenciales y procesos de erosión hídrica (incluye ANM), el consultor deberá contemplar los estudios detallados de amenaza ante estos tipos de fenómeno y para la selección de la alternativa definitiva, debe en cada una de ellas evaluar el elemento expuesto (componente a diseñar, rehabilitar o reponer) ante esta amenaza es decir la vulnerabilidad y el riesgo (con y sin obras de mitigación).
- Aumentar la redundancia. Evitar la dependencia a un sólo componente o grupo de componentes que en caso de sufrir daños pueda reducir sensiblemente la capacidad de atención de la demanda

del servicio. Para tal efecto se sugiere establecer índices o indicadores para calificar el grado de redundancia de los diferentes componentes o del sistema mismo, de acuerdo con el cual pueden identificarse las partes críticas del sistema y priorizarse las medidas y obras necesarias para aumentar la redundancia y minimizar la vulnerabilidad.

- Uso de dispositivos especiales. En el caso de redes (conducciones, aducciones, redes de transporte o distribución), se sugiere implementar el uso de dispositivos especiales tales como válvulas de cierre automáticas que proveen mecanismos de aislamiento automático de partes de la red y que permiten la utilización parcial del sistema sin aumentar los daños colaterales generados por la destrucción parcial de alguno de los tramos expuestos (ejemplo tramos de cruces a través de pasos elevados de ríos). El uso de conexiones especiales que permitan el movimiento relativo entre partes del sistema sin ocasionar daños o fugas (tramos en zonas de actividad sísmica alta o media).

**Imagen 2. Secuencia socavación lateral de orillas y su impacto sobre estructura.** En este ejemplo, se aprecia que en la etapa de diseño no se contempló la amenaza, ni el nivel de vulnerabilidad de la estructura, sin embargo, se logra ejecutar la medida de mitigación antes de que el proceso de socavación culmine con afectar la cimentación de una de las columnas que soporta el paso elevado.



Fuente: Propia. Diseños gráficos: José David González Meza, 2019.

## Control erosión cárcavas

La intervención en un área afectada por este tipo de proceso erosivo, requiere inicialmente identificar la causa del proceso (una de ellas puede ser malas entregas en los descoches del alcantarillado, problemas en el manejo de las aguas de escorrentía, entre otras), cálculos de caudal del agua que entra a la cárcava (este está afectador por topografía, cobertura vegetal, geomorfología de la cuenca y tipo de suelo). Otro aspecto a evaluar la alternativa de mitigación o reducción del riesgo generado por este proceso, es el de identificar las condiciones hidráulicas para estabilizar en fenómeno.

### Algunos de las alternativas de estabilización sugeridas por expertos en el tema son:

- Cambio de curso de los flujos de agua que generan el carcavamiento.

- Canalización de corrientes.
- Diseño y construcción de estructuras de disipación de energía.
- Revestimiento y/o protección de los fondos de las cárcavas.
- Tener en cuenta que las obras que requieran intervención de cauces, requieren el trámite de permisos de la autoridad ambiental respectiva (referirse al título I del RAS).

Erosión en cárcavas de conductos enterrados (alta pendiente): Este fenómeno puede controlarse por medio de barreras de materiales resistentes a la erosión que sirven de elemento disipador interno de energía y evitan la continuidad de las posibles cavernas en formación. Estas barreras se complementan con lechos filtrantes y tubos colectores que recogen el agua interna y la sacan a la superficie del terreno.

#### **Diseño y construcción de pasos elevados (Obras Lineales)**

Las diferentes etapas del proyecto (formulación, diseños, análisis de alternativas, obras nuevas o rehabilitación u optimización de obras existentes) se sugiere tener en cuenta para la obra proyectada o aquellas alternativas que requieren la utilización de estructuras existentes (adosar conducciones o redes a puentes, pasos elevados existentes):

- Es esencial que, el sitio donde se proyecte implantar el proyecto (tramo) o rehabilitar la estructura existente, el río o drenaje posea estabilidad fluvial (tanto para inundaciones como para eventos torrenciales).
- Un drenaje identificado como inestable puede obligar a obras de encauzamiento importantes;
- Se sugiere seleccionar los tramos rectos, y en lo posible estrechos para disminuir costos de la obra.
- El dimensionamiento de la altura: las características de la cuenca, principalmente en relación al material que pueda arrastrar en caso de crecientes (eventos torrenciales). Estimar mediante un estudio hidrológico los períodos de retorno, los cuales serán asociados a la importancia de la alternativa.

#### **Protección de la entrega de canales para mitigar procesos erosivos**

- Las entregas o descoches de alcantarillado requieren especial cuidado para prevenir la formación de procesos erosivos que finalmente van a causar la destrucción o deterioro de los componentes del sistema. Se sugiere prever estructuras de transición para absorber el impacto inicial del flujo y reducir la velocidad a un nivel que no erosionen las áreas receptoras del flujo.
- En todos los casos se sugiere reducir la velocidad del agua, teniendo en cuenta el tipo de suelo y la cobertura existente.

Protección de área o franjas del área de influencia de obras lineales en zonas susceptibles a procesos erosivos

**Tabla 4. Medidas recomendadas para protección de franjas en áreas de influencia de obras lineales.**

<b>Tipo de obra</b>	Cortacorrientes.
<b>Objetivos</b>	Disminuir la longitud de recorrido y velocidad del agua.
<b>Características</b>	Canales o diques transversales al derecho de vía para recolectar y conducir lateralmente el agua.
<b>Tipo de obra</b>	Canales longitudinales.
<b>Objetivos</b>	Colección, manejo y entrega de las aguas recolectadas
<b>Características</b>	Canales revestidos en suelo-cemento, concreto o vegetación.
<b>Tipo de obra</b>	Entrega de canales
<b>Objetivos</b>	Disipar la energía del agua en la entrega.
<b>Características</b>	Ampliación de los canales, bloques disipadores o estructuras de disipación.
<b>Tipo de obra</b>	Protección de la superficie de la franja
<b>Objetivos</b>	Control de la erosión por golpeo de la lluvia, laminar, en surcos y cárcavas.
<b>Características</b>	Obras de bioingeniería o de biotecnología.
<b>Tipo de obra</b>	Control de erosión interna en las zanjas de ductos.
<b>Objetivos</b>	Controlar las corrientes de agua que se forman a lo largo de las zanjas.
<b>Características</b>	Cortacorrientes internos y subdrenes.
<b>Tipo de obra</b>	Pasos subfluviales
<b>Objetivos</b>	Proteger el ducto de la erosión producida por la corriente.
<b>Características</b>	Zanjas profundas, elementos de protección dentro de las zanjas y estructuras laterales junto a la corriente.
<b>Tipo de obra</b>	Manejo de corrientes transversales.
<b>Objetivos</b>	Control de la erosión en las cañadas y drenajes.
<b>Características</b>	Estructuras de control lateral y de fondo de las corrientes.

Fuente: Suarez D., 2001

### **Rellenos sanitarios:**

En la formulación, diseño, selección de alternativas o rehabilitación de sitios de disposición final de residuos sólidos, existe una variable que dificulta su manejo la cual está asociada a los tiempos de operación que finalmente corresponden a la construcción por etapas del relleno, que implica que las obras de reducción o de monitoreo se deben planear para cada una de las etapas del proyecto. En Suarez D., 2001, se sugieren una serie de ítems a tener en cuenta en la etapa de diseño.

- Impermeabilización del fondo del relleno.
- Muro o berma perimetral al relleno para controlar la salida de residuos o de agua contaminada.
- Impermeabilización superior del relleno.
- Refuerzo de la superficie superior del relleno.
- Capa de suelo encima de la impermeabilización para permitir el establecimiento de vegetación.
- Sistema de recolección del agua de escorrentía encima del relleno, la cual se considera que no está contaminada.
- Sistema para desvío de las aguas de escorrentía provenientes de áreas por fuera del relleno.
- Sistema de manejo de aguas para compensar el aumento de picos de escorrentía debidos a la instalación del relleno.
- Control de erosión de la superficie superior del relleno.
- Bermas para el manejo de aguas de escorrentía y control de estabilidad para movimientos en masa.
- Planta de tratamiento de aguas de lixiviados provenientes del relleno.
- Sistema de manejo del gas metano producido por el relleno.

**Ascenso del Nivel del Mar e intrusión de cuñas marinas en acuíferos y otros contaminantes:**

En zonas costeras susceptibles a fenómenos asociados al ascenso del nivel del mar (ANM) y a la intrusión de cuñas salinas (por sobre explotación del recurso) y que se requiera búsqueda de fuentes alternas, el gestor del proyecto deberá seguir las instrucciones de la autoridad ambiental en la región donde pretende desarrollar el proyecto y de los estudios del Servicios Geológico Colombiano (SGC).

Se deberán por tanto promover y adelantar estudios de prefactibilidad de búsqueda y ubicación de nuevas fuentes alternas, con el objetivo de caracterizar el comportamiento de la intrusión marina en el sector elegido, así como la calidad del agua para su futuro uso en el consumo humano.

Al momento de culminar con los procesos y requisitos de la autoridad ambiental el gestor y/o diseñador deberá tener en cuenta las medidas de mitigación necesarias para evitar la contaminación del pozo y/o el colapso del mismo.

**Otras medidas asociadas a la adaptación al cambio climático**

- El consultor o diseñador deberá incluir los escenarios de cambio climático con el objeto de tomar decisiones informadas acerca de las proyecciones frente a la reducción o aumento de las

precipitaciones en la zona de construcción de la infraestructura asociada al agua potable y saneamiento básico.

- Así mismo una acción crítica para reducir los riesgos de un diseño construido, es desarrollar tareas de operación y mantenimiento para poder cumplir los objetivos de vida útil y desarrollo del proyecto según lo establecido en su diseño y asegurar la resiliencia del proyecto ante cambios a largo plazo en las precipitaciones y temperaturas.
- El consultor o diseñador deberá abordar el riesgo climático categorizando las diferentes tecnologías de acuerdo con su resiliencia supuesta o prevista, y luego excluir las que se consideren de riesgo alto.
- La adaptación a través de obras de Infraestructura se enfoca en aumentar la capacidad de adaptación de las construcciones considerando que son de vital importancia para el desarrollo de las actividades humanas en términos económicos y productivos. Se parte de la premisa de que las infraestructuras están operando bajo condiciones climáticas muy diferentes a las que se tuvieron en el momento de su diseño.
- Es importante mencionar que estos enfoques de adaptación no son excluyentes, se consideran complementarios e incluso se piensa que el impacto de las medidas de adaptación es mucho mayor cuando se combinan todos ellos. Por otro lado, hay que tener presente que no importa cual enfoque sea utilizado para la adaptación, su propósito siempre va dirigido a reducir la vulnerabilidad y mantener o aumentar la resiliencia de los ecosistemas y las personas.



# Anexos

## FICHA 4

Estimación del nivel de amenaza y vulnerabilidad generados por movimientos en masa.  
Impactos y medidas recomendadas.

FICHA TÉCNICA K4	AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA	ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD – OBRAS SECTORIALES LINEALES Y PUNTUALES
OBJETIVO	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Prever los posibles impactos sobre los proyectos y las obras lineales y puntuales sectoriales en las etapas de planeación, formulación, análisis de alternativas, diseños, construcción, rehabilitación u operación, ante la amenaza por fenómenos de remoción en masa.</li> <li>● Recomendar medidas y acciones a tener en cuenta en las diferentes etapas del proyecto que permitan evitar o reducir los impactos previstos.</li> <li>● Sugerir las etapas para estimar la vulnerabilidad de las obras</li> </ul>	

## I. DIAGNÓSTICO DEL NIVEL DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA SOBRE LAS ESTRUCTURAS DEL SECTOR CLASIFICADAS COMO LINEALES Y PUNTUALES

El diagnóstico del nivel de amenaza por fenómenos de remoción en masa debe tenerse en cuenta para las diferentes etapas del proyecto (desde la planeación y formulación de los proyectos, pasando por los diseños y selección de alternativas, hasta la operación o diseño de obras de rehabilitación u optimización de estructuras existentes). Es importante evaluar la zona o región donde se prevén ejecutar los proyectos o donde opera el prestador, sobre todo en aquellos casos donde se proyectan ejecutar o intervenir obras lineales, las cuales en su trazado (actual o proyectado) pueden atravesar áreas o terrenos con diferentes niveles de amenaza y por ende requerirán diferentes niveles de detalle en los estudios de la amenaza y en las medidas de mitigación o reducción de riesgos.

Existen varias metodologías utilizadas para el diagnóstico de la amenaza por fenómenos de remoción en masa que pueden ser aplicadas al sector. Cualquier metodología adoptada requiere en principio del diagnóstico de la evaluación secundaria a nivel regional y local que de una luz sobre los niveles de amenaza identificados en la zona de interés, los cuales servirán de insumos para las primeras fases de los proyectos (Planeación y formulación). Algunas de las fuentes de información son:

**Servicio Geológico Colombiano – SGC:** el Servicio Geológico Colombiano – SGC, cuenta con el Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA), el cual dispone de una base de datos de movimientos en masa ocurridos en el territorio nacional desde 1917. En esta base de datos hay dos niveles de información: catálogo histórico e inventario de movimientos en masa. El catálogo histórico contiene fecha de reporte y del evento, localización geográfica, clasificación del movimiento y daños, información cuya fuente son los medios de comunicación y los entes territoriales de gestión de riesgo. En el inventario de movimientos en masa hay información técnica levantada en campo sobre movimientos en masa, en la cual se incluyen además datos relacionados con el tipo y actividad del movimiento en masa, su morfometría, material involucrado, causas, daños, entre otros. Estos datos se encuentran registrados en el Sistema de Información de Movimientos en Masa – SIMMA,

sistematizado por el Servicio Geológico Colombiano – SGC y disponible en su portal web (Disponible en <http://simma.sgc.gov.co/>).

**IDEAM:** Entidad que genera y suministra información hidrológica, meteorológica y ambiental para la definición de políticas públicas y toma de decisiones relacionadas con el desarrollo sostenible y la prevención de los efectos de cambio climático, entre otras los pronósticos y alertas regionales por deslizamientos en temporada de lluvia.

**CORPORACIONES AUTÓNOMAS:** Las autoridades ambientales en algunas regiones han avanzado en los POMCAS de las principales cuencas, en los cuales se encuentran la evaluación de amenazas identificadas en las mismas.

**MUNICIPIOS:** A través de los POT, PBOT o EOT.

Para los diagnósticos con un mejor nivel de detalle, se propone la metodología planteada por el Servicio Geológico Colombiano – SGC en la Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa publicada en el año 2016. Si bien la guía está orientada a la realización de los estudios de detalle a nivel municipal como se establece en el Decreto 1807 de 2014, esta incluye aspectos específicos para las redes de servicios públicos y se constituye en referente muy importante para los ejercicios de diseño y construcción de sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo frente a las amenazas por movimientos en masa.

En las etapas iniciales de los proyectos sectoriales (planeación, formulación y análisis de alternativas) se sugiere para estimar los niveles de amenaza, la elaboración de estudios básicos (1: 5000). Estos permitirán definir las zonas de condición de amenaza y prever las condiciones de riesgo para la infraestructura proyectada. En aquellas zonas identificadas en los estudios básicos con niveles de amenaza media o alta y que se tengan proyectadas obras (lineales o puntuales. Incluye aquellas que sean proyectadas por el sector privado para posterior entrega al prestador para su operación) o que existan este tipo de obras donde se requiere estudios detallados de amenaza a escala 1: 2000 o mayores dependiendo del componente y tipo de obra (lineal o puntual).

La tabla siguiente, presenta los posibles niveles de amenaza por deslizamiento, teniendo en cuenta los Factores de Seguridad resultado de los análisis detallados. Los niveles de amenaza y factores seguridad fueron retomados de la Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa publicada en el año 2016 y los comentarios y observaciones fueron adaptados para la presente ficha con temas sectoriales.

**Tabla 1. Niveles de amenaza. Modificado de SGC, 2016. SMR: aplicación del sistema de clasificación de macizo rocoso “SMR” para obtener los posibles mecanismos de falla que se pueden presentar en la zona. El índice SMR presenta una clasificación geo-mecánica, útil para realizar una evaluación preliminar de la estabilidad de un talud en un macizo rocoso.**

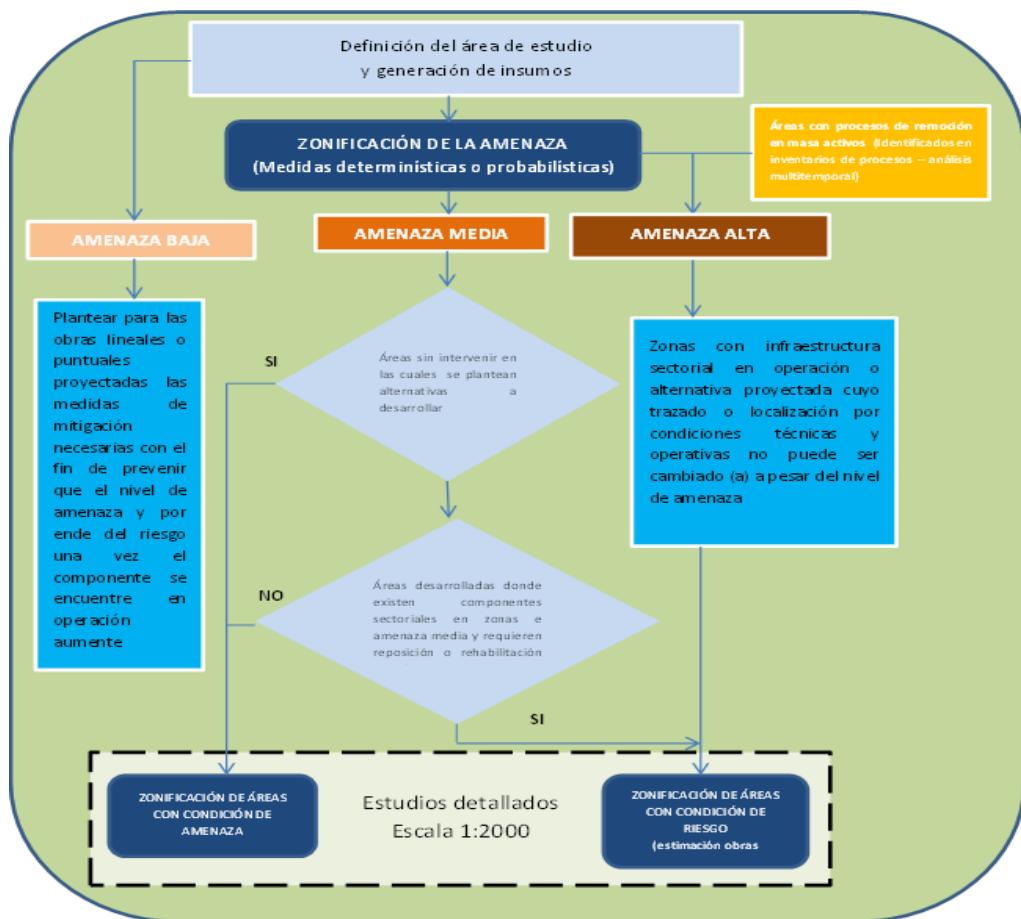
Baja	1	Taludes o laderas (suelos blandos o roca) en la zona de influencia del proyecto sectorial (obra puntual o lineal) cuyos factores de seguridad resultado del análisis detallado de la amenaza es: <b>FS &gt; 1.5</b> (suelos blandos) o <b>SMR &gt; 60</b> (roca).
Media	2	Taludes o laderas (suelos blandos o roca) en la zona de influencia del proyecto sectorial (obra puntual o lineal) cuyos factores de seguridad resultado del análisis detallado de la amenaza se encuentra entre los intervalos: <b>1.1 &lt; FS &lt; 1.5</b> (suelos blandos) o <b>41 &lt; SMR &lt; 60</b> (roca).

Alta	3	Taludes o laderas (suelos blandos o roca) en la zona de influencia del proyecto sectorial (obra puntual o lineal) cuyos factores de seguridad resultado del análisis detallado de la amenaza es: <b>FS &lt; 1.1</b> (suelos blandos) o <b>SMR &lt; 40</b> (roca).
------	---	---

Si bien en la tabla 1 se describen los niveles de amenaza de acuerdo a los factores de seguridad (FS para suelo o SMR para roca), en la zona potencialmente inestable, donde se prevé implantar el proyecto o donde se localiza la obra lineal o puntual, la zona de influencia debe abarcar no solo la zona potencialmente inestable, sino la zona con probabilidad de ser afectada por el deposito del material deslizado (para mayor ilustración, ver imagen 16).

Para una mejor comprensión se presenta el esquema metodológico ajustado para la elaboración de estudios básicos de amenaza (fuente: SGC. 2016). El ajuste se centra en el lenguaje adaptado al sector (agua potable y saneamiento básico) debido a que gran parte de las metodologías propuestas, están dirigidas al sector vivienda.

**Figura 1. Esquema metodológico modificado para la elaboración de estudios básicos de amenaza y definición de zonas para la elaboración de estudios detallados.**



Fuente: Servicio Geológico Colombiano - SGC, 2016.

Las metodologías seleccionadas para la estimación del nivel de amenaza por remoción en masa, deben involucrar los análisis de los factores detonantes, tales como sismos, lluvias, nivel freático y la infiltración de aguas en el suelo (agua proveniente de fugas de redes, tanques, mal manejo de descargas de aguas lluvias o alcantarillado, lixiviados, etc.). Estas variables inciden directamente en la estabilidad de los taludes.

Hay otros factores que pueden generar riesgos a las obras por problemas de inestabilidad, que si bien no hacen parte de los análisis de amenaza por estabilidad de laderas, si están asociados a factores geotécnicos y tectónicos que en obras de gran magnitud (Tipo III - proyectos, obras y actividades descritas en los artículos 8 y 9 del Decreto 2820 de 2010, los cuales están sujetos a licencia ambiental. Ver Título I. Componente Ambiental el RAS), que el consultor debe tener en cuenta para los diseños y selección de alternativas e igual la viabilidad de los proyectos. Muchas regiones en nuestro País, se encuentran afectadas por el trazado de fallas, en algunos casos activas. La actividad de las mismas y su efecto sobre las rocas que se encuentran en el contacto entre estas requieren de estudios especializados. Generalmente estas zonas de contacto de falla están conformadas por material triturado (zonas de cizalla) donde las propiedades geomecánicas de los macizos rocosos pueden comprometer la estabilidad a futuro de los proyectos (túneles, represas, embalses, entre otros). Esta problemática en algunos casos no es evaluada en los proyectos, en algunos casos debido a que el concepto de "falla" se asocia a zonas de inestabilidad de laderas, que pueden ser probablemente mitigados con obras de ingeniería convencionales.

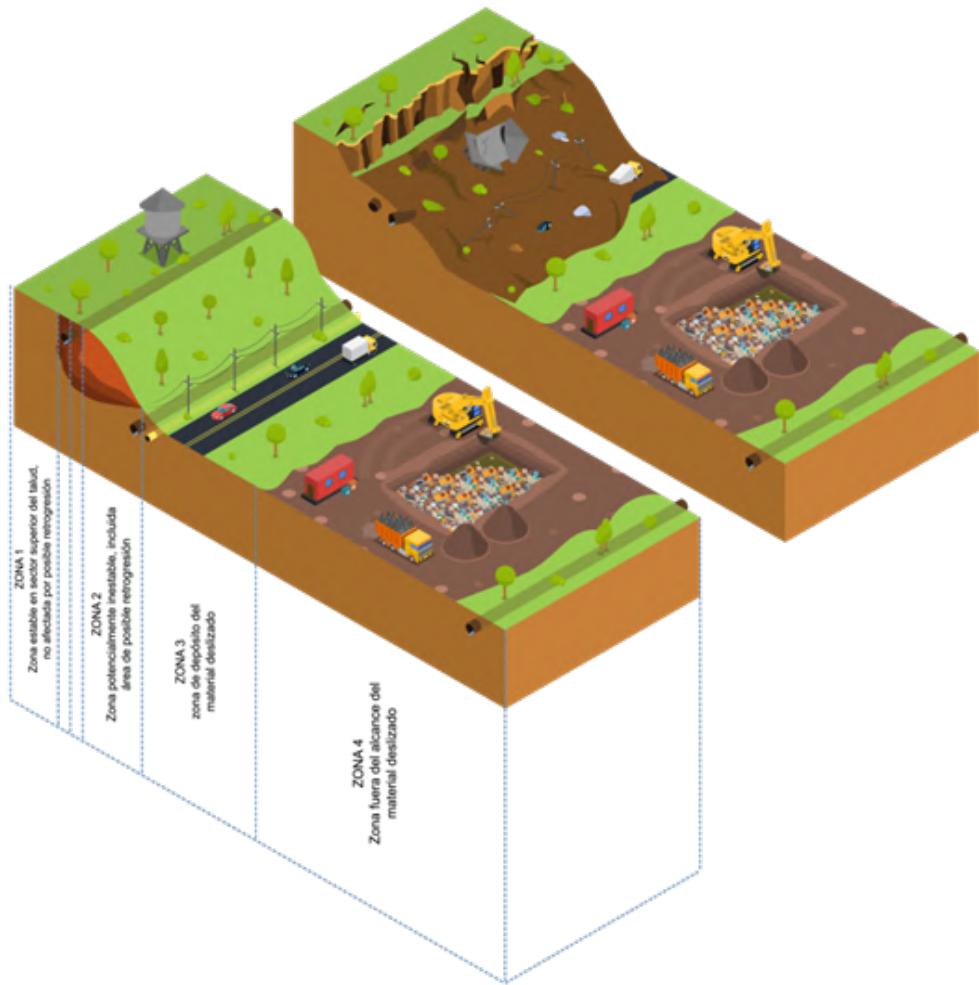
## **II. DIAGNÓSTICO DEL NIVEL DE VULNERABILIDAD ANTE LA AMENAZA POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA**

Para la selección de alternativas (infraestructura nueva o reposición o rehabilitación de la existente) es importante evaluar el nivel de exposición que tendrán los componentes en las zonas identificadas con niveles de amenaza bajo, medio o alto por fenómenos de remoción en masa. Este análisis deberá contemplar los posibles impactos que las obras proyectadas generen sobre las condiciones originales del terreno y sobre el área de influencia del proyecto, es decir, en caso tal de que la alternativa seleccionada pueda aumentar el nivel de amenaza inicialmente evaluado. Esto implicará posiblemente la búsqueda de nuevas alternativas o el diseño de las obras de mitigación del riesgo necesarias. Sería muy importante que este ejercicio se contemplara igualmente en los procesos de viabilización de proyectos o en las etapas de Viabilidad y disponibilidad inmediata de servicios públicos para proyectos de urbanización (Artículos 3 y 4 del Decreto 3050 de 2013).

A continuación, se presenta un esquema de los posibles niveles de exposición de los componentes del sector (Imagen 1), ante un deslizamiento que pueda afectar diferentes estructuras sectoriales (La clasificación de las zonas 1 a 4 de exposición se retoma del manual del Servicio Geológico Colombiano - SGC, 2016. Las imágenes y esquemas son propios del autor). Los componentes expuestos en las zonas 2 y 3 (zona potencialmente inestable y zona de depósito del material deslizado) tienen mayor probabilidad de ser afectados (riesgo alto), mientras que en la zona 4 (zona fuera del alcance del material deslizado) la infraestructura no sería impactada por el evento.

El grado de exposición y fragilidad de los elementos en zonas de fallas o zonas de cizallamiento para obras puntuales o lineales deberán ser analizados en los diseños y en las etapas previas de viabilización de los proyectos. Estos análisis se sugiere sean efectuados por equipos multidisciplinarios de profesionales con suficiente experiencia en las ramas de la geología, geotecnia, cálculo de estructuras, hidrogeología e hidráulica.

**Imagen 1. Zonas de exposición de los elementos sectoriales ante un deslizamiento (Zonas 1 a 4).** En esta imagen se resalta como puede verse afectado el componente expuesto, teniendo en cuenta su fragilidad (materiales, adaptación a las normas vigentes) y el grado de exposición de los mismos ante la amenaza. El bloque diagrama inferior representa la condición normal con la infraestructura existente o proyectada (implantación) y el bloque diagrama superior (derecha) esquematiza los impactos sobre la infraestructura una vez el fenómeno se activa.



Fuente: Propia. Diseños gráficos: José David González Meza, 2019

Tabla 2. Zonas de exposición de los elementos ante un deslizamiento (Modificado. SGC, 2016).

ZONA	DESCRIPCIÓN	DAÑOS ESPERADOS	CRITERIO DE INTENSIDAD O MAGNITUD
1	Obras puntuales o lineales sobre la zona estable en la parte superior del talud, sin posibilidad de afectación por retrogradación.	No se esperan daños a causa de los movimientos en masa.	
2	Obras puntuales o lineales sobre una ladera potencialmente inestable o potencialmente afectados por efectos de retrogradación.	Colapso o daños instantáneos debido a pérdida de soporte en la zona de retrogradación.  Asentamientos diferenciales, Inclinaciones y agrietamientos asociados con movimientos lentos; colapso de la estructura asociado con movimientos rápidos.	Velocidad del movimiento Actividad del deslizamiento Cantidad de desplazamiento Desplazamientos verticales
3	Obras puntuales o lineales en la trayectoria del movimiento en masa o en la zona de depósito del material deslizado.	Daños localizados por impacto, colapso total, obstrucción, enterramiento, entre otros.	Velocidad del movimiento Distancia de viaje Presiones laterales Impactos (volúmenes y energía cinética) Alturas de acumulación de material
4	Obras puntuales o lineales fuera del alcance del movimiento en masa y su área de depósito.	No se esperan daños debidos a los movimientos en masa.	

Para el caso de rellenos sanitarios o sitios de disposición final de residuos sólidos el nivel de vulnerabilidad, no solo radica en el grado de exposición del sitio seleccionado con respecto a una probable zona identificada como de amenaza por deslizamiento o de inestabilidad asociada a problemas geotécnicos o zonas fallas. Las propiedades ingenieriles de los materiales y sistema utilizado para la disposición final de los mismos son muy variables y el análisis del comportamiento geotécnico llega a ser muy complejo, debido entre otros aspectos a: resistencia de los materiales (materia orgánica, plásticos, vidrio, papel, madera, metal, textiles, etc.), presiones internas de agua, lixiviados y gases, compresibilidad, porosidad y conductividad hidráulica.

Para comprender mejor los niveles de vulnerabilidad y riesgos que se manejan en los rellenos sanitarios o sitios de disposición final de los residuos sólidos, se relacionan algunas consideraciones a manera de lecciones aprendidas, de las posibles causas o factores detonantes que generaron la activación de deslizamiento del relleno de Doña Juana (Bogotá) en 1997, el cual ocasionó graves impactos al proyecto y al medio ambiente. Esta información fue recopilada del informe presentado por el Ing. Eduardo Barbosa Cordeiro (Fuente: Collazos, H. 1998):

- *"El drenaje de los líquidos no funcionó correctamente, pues los filtros quedaron parcial o totalmente llenos".*
- *"Existiendo la recirculación de lixiviados en el interior de la masa y no existiendo su salida, el líquido se fue acumulando en los vacíos del Relleno Sanitario, haciendo subir la posición del nivel de la superficie libre y aumentando las presiones neutras".*
- *"No se consideró la existencia de super - presión hidrostática a partir de la compactación de la basura dispuesta derivada en parte, por la carga de cada celda y de las que están superpuestas. Es necesario recordar que, en los primeros cinco años de vida de un Relleno Sanitario normal, la compactación que ocurre es del orden del 90% del total".*
- *"La recirculación de los lixiviados funcionando ininterrumpidamente y siendo incorporados a la masa, como recomienda el proyectista, en todos los niveles de las celdas, con presiones superiores a 100 kPa (15 psi) introdujo sobre presiones hidrostáticas muy elevadas, en el interior de la masa y de todos sus niveles".*
- *"La falla del sistema de drenaje se derivó de la concepción inadecuada del funcionamiento de los filtros principales (Barbosa)".*
- *"La importancia de la ocurrencia de grandes cantidades de presión de fluidos y de gas en los desechos sólidos es que ello condujo a altas presiones de poros dentro del relleno lo cual disminuye las fuerzas resistentes sobre las superficies del deslizamiento y aumenta la masa y el impulso de la masa de la basura (Geosyntec)".*
- *"El talud del Relleno Sanitario se deslizó debido a las elevadas presiones intersticiales causadas por el aumento del volumen del líquido recirculado y no drenado de la masa del Relleno Sanitario y por los gases de origen bioquímico en contacto con los lixiviados (Barbosa)".*
- *"La infiltración y la generación de lixiviados excedían la habilidad hidráulica de los materiales internos para conducir los líquidos a los drenajes de fondo (Sadat)".*

### III. IMPACTOS POTENCIALES

Las afectaciones más comunes se presentan en:

- Proyectos lineales y puntuales en laderas con fuerte pendiente con problemas de inestabilidad geológica no identificados en la etapa de diseño.

- Proyectos lineales como líneas de conducción de agua cruda, cuyo trazado se realiza “aprovechando” la margen de antiguas vías por lo general secundarias que fueron construidas sin contemplar análisis de amenazas.
- Obras lineales en cascos urbanos (interceptores de aguas servidas) en laderas de drenajes urbanos de fuerte pendiente y comúnmente conformadas por llenos antrópicos.
- Sitios de disposición final de residuos sólidos.
- Obras puntuales como tanques de almacenamiento en laderas de fuerte pendiente. En algunos casos detonados por infiltración de aguas a través de fisuras o juntas de las estructuras.

Esta problemática puede ser consecuencia igualmente del impacto generado al realizar o proyectar los trabajos de corte y relleno a una ladera con el objetivo de adecuar el terreno para la construcción de las obras lineales o puntuales sin un previo estudio de las aguas superficiales y subterráneas.

**Los efectos esperados como consecuencia de deslizamientos en zonas donde se encuentran ubicados los componentes de los sistemas de agua potable, alcantarillado y aseo son:**

- Cambios en las características físico/químicas del agua cruda que dificultan su tratamiento por aporte de sedimentos generados por deslizamientos en las cuencas, aguas arriba de las captaciones.
- Destrucción total o parcial de obras puntuales y lineales ubicadas en la zona potencialmente inestable (ver figura 2) o en la zona de la trayectoria o depósito final del material deslizado.
- Destrucción parcial o total de sitios de captación localizados en la zona de la trayectoria o depósito final del material deslizado, o en la trayectoria de los flujos de lodo o escombros generados por represamientos agua arriba de las bocatomas. Estos represamientos en su gran mayoría se generan por deslizamientos en las laderas de las cuencas en temporada de lluvias o detonados por eventos sísmicos.
- Impactos indirectos debido a la obstrucción de vías de acceso, caminos, servicio eléctrico y comunicaciones. Las obstrucciones en vías de acceso pueden afectar entre otras la continuidad del servicio de recolección basuras, el suministro de insumos para el tratamiento de agua.
- Vertimientos no previstos ni controlados de aguas servidas provenientes de las redes de transporte o de estructuras de las PTAR afectadas.
- Taponamiento de los sistemas de alcantarillado por acumulación de lodo y piedras.
- Taponamiento de bocatomas, tanques desarenadores o canales de aducción.
- Afectación de infraestructura y edificaciones que no hacen necesariamente parte del sector, con las graves consecuencias que puede traer para el prestador y el municipio, asociadas a demandas y costos de las indemnizaciones y reparaciones.

- Accidentes laborales en la etapa constructiva como es el caso de excavaciones y brechas para instalación de redes de conducción, distribución o transporte de aguas residuales en laderas inestables, donde en la etapa de diseño no se contemplaron los estudios de suelo y recomendaciones para manejo de taludes y prevención de riesgos laborales.

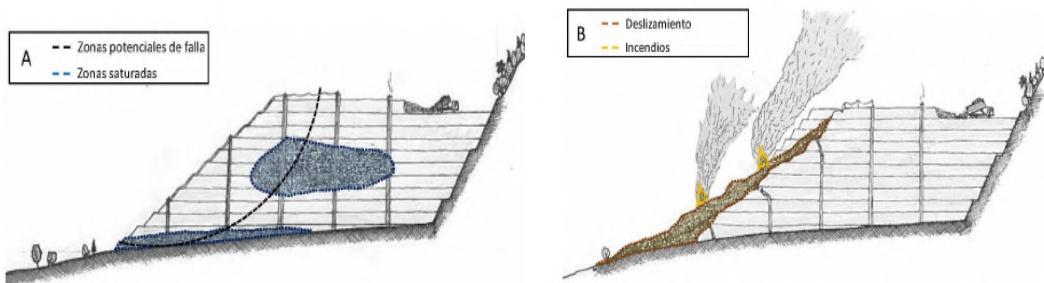
**En sitios de disposición final de residuos o rellenos sanitarios:**

- Deslizamientos al interior del relleno.
- Contaminación de cuerpos de agua superficial y subterránea.
- Obstrucción de vías.
- Cierre del sitio de disposición final lo que implica, suspensión total o parcial del servicio con los impactos negativos sobre la población, el medio ambiente, sobre costos para el prestador, deterioro de la imagen corporativa.
- Explosiones e incendios.

Un ejemplo de este tipo de impactos fue el que se presentó en el relleno Sanitario de Santa Marta, Chile, documentado por Altabella, E. 2016.

*“Este deslizamiento, sumado a lo contaminación de cuerpos de agua (superficiales y subterráneas), destrucción de celdas e infraestructura para el manejo de las mismas, generó incendios. Los días posteriores a la extinción del incendio se paralizó durante 15 días la extracción de biogás, esta acción pudo incrementar la presión intersticial en el interior de la masa de residuos desestabilizando de nuevo la estructura. Otro riesgo que se tuvo que asumir al detener la extracción de biogás fue que el metano acumulado y la combustión espontánea de parte de la masa deslizada generaron explosiones o incendios en cualquier punto de la zona afectada”.* (Ver figuras 2 y 3).

**Figuras 2 y 3. Esquemas deslizamiento conceptual deslizamiento del relleno sanitario de Santa Marta, Chile.**



Fuente: Altabella, E. 2016

## **IV. MEDIDAS RECOMENDADAS**

Una vez estimados los posibles impactos y los niveles de vulnerabilidad de la infraestructura proyectada (alternativas) o existente ante la amenaza por fenómenos de remoción en masa, se deben priorizar las medidas que permitan una reducción del riesgo bien sea por la vía de intervenir la vulnerabilidad, o bien, intervenir las condiciones de amenaza en los casos que esto sea posible.

- Mantener actualizado el catastro de redes y de infraestructura sectorial, esto está directamente relacionado con la infraestructura expuesta ante cualquier amenaza, y permite tomar decisiones oportunas en caso de posibles daños en la operación del sistema, valorar la redundancia del mismo, e identificar sitios críticos en aquellos casos donde se presenten recurrencia de daños en alguno de los componentes.
- Evitar la amenaza: Esta medida consiste en que la alternativa seleccionada no este expuesta a la amenaza evaluada (para el caso de esta ficha: amenaza por fenómenos de remoción en masa), es decir se reduce la vulnerabilidad de la misma. Para proyectos lineales, en los tramos expuestos antes la amenaza que contempla esta ficha, puede plantearse esta medida, tal es el caso de pasos elevados o cambio de trazado que permita que el componente este fuera de la zona amenazada por el evento. Otra medida podría ser la relocalización solo del tramo expuesto o de la obra puntual expuesta.
- Velar que en los términos de referencia y pliegos de condiciones para diseños o construcción de obras nuevas (puntuales o lineales – incluyendo especificaciones técnicas de materiales), de rehabilitación o reposición, se incorpore los aspectos técnicos y recursos del componente de gestión de riesgos, al igual que el personal idóneo en las áreas correspondientes de acuerdo al tipo de amenaza evaluada y necesidades del proyecto.

Equipo multidisciplinario: Geólogo o ingeniero geólogo, ingeniero civil o geólogo con especialidad o maestría en geotecnia, ingeniero civil con especialidad o maestría en estructuras y profesional en hidráulica o ingeniería sanitaria.

- Implementar procedimientos que garanticen que en las etapas de viabilización de proyectos o en las etapas de viabilidad y disponibilidad inmediata de servicios públicos para proyectos de urbanización (Artículos 3 y 4 del Decreto 3050 de 2013), se incorpore el componente de gestión del riesgo.
- Aumentar la redundancia. Evitar la dependencia a un sólo componente o grupo de componentes que en caso de sufrir daños pueda reducir sensiblemente la capacidad de atención de la demanda del servicio. Para tal efecto se sugiere establecer índices o indicadores para calificar el grado de redundancia de los diferentes componentes o del sistema mismo, de acuerdo con el cual pueden identificarse las partes críticas del sistema y priorizarse las medidas y obras necesarias para aumentar la redundancia y minimizar la vulnerabilidad.
- Las etapas de planeación, formulación y selección de alternativas deben servir para garantizar que en los presupuestos definitivos para los diseños de la alternativa seleccionada (obras nueva o rehabilitación de infraestructura existente) existan los recursos económicos, plazos e ítems necesarios (ejemplo: ensayos de laboratorio, perforaciones, topografía, exploración geotécnica

directa e indirecta) para los análisis detallados de los niveles de amenaza y diseño de obras de mitigación requeridas.

- Los estudios de exploración geotécnica y ensayos requeridos deben estar ajustados a lo estipulado en el capítulo H de la norma NSR-10 y en las disposiciones y recomendaciones sobre aspectos geotécnicos del RAS.
- Los análisis detallados de los niveles de amenaza por fenómenos de remoción en masa generalmente contemplan la evaluación de las siguientes variables:
  - Geología general de la zona de interés.
  - Formaciones superficiales y unidades geológicas de ingeniería (UGI)
  - Usos del suelo y cobertura.
  - Geomorfología: pendientes, geoformas, inventario de procesos erosivos.
  - Topografía detallada de la zona con niveles de amenaza identificados: curvas cada 50 cm.
  - Hidrología e hidrogeología: aguas superficiales, de escorrentía y aguas subterráneas, teniendo en cuenta su incidencia sobre la amenaza.
  - Exploración geotécnica directa e indirecta: La directa incluye sondeos, toma de muestras, ensayos de laboratorio. La indirecta está relacionada con métodos geofísicos.
  - Zonificación geotécnica.
  - Zonificación de la amenaza: esta requiere ser evaluada con y sin los factores detonantes (lluvias y sismo esperado).
  - Zonificación de la vulnerabilidad (con y sin proyecto). Para proyectos nuevos, se recomienda evaluar de manera conceptual (implantación del proyecto), la incidencia de las obras sectoriales proyectadas sobre los niveles de amenazas identificados.
  - Zonificación del riesgo (con y sin proyecto). Para proyectos nuevos, se recomienda evaluar de manera conceptual (implantación del proyecto), el comportamiento y niveles de riesgo de las estructuras proyectadas.
  - Medidas de reducción o mitigación del riesgo. Análisis de alternativas y diseño obras definitivas. Se recomienda evaluar el costo/beneficio de las obras, incluyendo la reducción de riesgos en el proyecto.
- Las obras lineales requieren especial cuidado, teniendo en cuenta que estas pueden en su trazado recorrer múltiples zonas con características geológicas y geotécnicas diferentes, para lo cual puede requerirse variación en los alcances de la exploración geotécnica y áreas de estudio. Los estudios

para los análisis de amenaza no deben limitarse a la franja de servidumbre (derecha de vía, corredora de vial o franja de trazado) ya que como se muestra en la imagen 1, la zona inestable puede abarcar un área mayor.

- En el capítulo H de la norma NSR-10 y en las disposiciones y recomendaciones sobre aspectos geotécnicos del RAS se describen los parámetros para los procedimientos de la exploración geotécnica, toma de muestras y ensayos de laboratorio requeridos, sin embargo, es importante reiterar algunos aspectos:
  - En proyectos lineales las perforaciones deberán realizarse en cada cambio de litología o formación superficial, zonas con cambios de pendiente, zonas con procesos erosivos identificados en el análisis multitemporal y trabajo de campo.
  - Algunas medidas estructurales y no estructurales orientadas a reducir el riesgo son:
    - Manejo de aguas superficiales y subterráneas: Orientas a prevenir fenómenos de erosión, presión de poros en el talud entre otras. Zanjas de Coronación.
    - Subdrenes Interceptores.
    - Subdrenes horizontales para abatimiento de niveles freáticos.
    - Pozos Verticales de Drenaje: Los pozos verticales de drenaje son perforaciones verticales abiertas que tratan de aliviar las presiones de poros, cuando los acuíferos están confinados por materiales impermeables.
    - Abatimiento de pendiente.
    - Construcción de bermas (terraceo).
    - Muros de contención.
    - Anclajes.
    - Pilotes: Las líneas de aducción, conducción o redes matrices de distribución a los largo de su recorrido pueden atravesar zonas inestables. En estos casos no solo el factor sismo puede servir de detonante de los movimientos en masa, el golpe de ariete ocasiona vibraciones que pueden afectar la conducción o detonar un deslizamiento. En estos puntos críticos se sugiere reforzar la cimentación de las redes.



# Anexos

## FICHA 5

Estimación del nivel de amenaza y vulnerabilidad generados en temporada seca.  
Impactos y medidas recomendadas.

FICHA TÉCNICA K5	AMENAZA EN TEMPORADA SECA	ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD – SECTORIAL
OBJETIVO	<ul style="list-style-type: none"><li>● Prever los posibles impactos sobre las obras lineales y puntuales sectoriales en las etapas planeación, formulación, diseño, selección de alternativas u operación, ante la amenaza por temporada seca.</li><li>● Recomendar medidas y acciones a tener en cuenta en las diferentes etapas del proyecto que permitan evitar o reducir los impactos previstos.</li><li>● Sugerir las etapas para estimar la vulnerabilidad del servicio ante este tipo de evento.</li></ul>	

## I. DIAGNÓSTICO DEL NIVEL DE AMENAZA POR TEMPORADA SECA SOBRE EL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO

El término sequía puede hacer referencia a la sequía meteorológica (periodo prolongado de precipitación bastante inferior al promedio), hidrológica (lluvias deficientes por periodo prolongado sobre los abastos de agua que ocasionan caudales fluviales bajos en ríos, lagos y aguas subterráneas), o medioambiental (combinación de las anteriores) (Bates, 2008).

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, como instituto técnico científico del Sistema Nacional Ambiental (SINA) es la fuente oficial de información ambiental y autoridad nacional en el área de hidrología y meteorología, por tanto, la fuente oficial para la identificación a nivel nacional de las alertas por impactos de los fenómenos de variabilidad climática.

Lo anterior, no exime al profesional encargado de la planeación, formulación o diseño de los proyectos de la responsabilidad de evaluar las fuentes de información que le permitan analizar en detalle el nivel de amenaza por sequía para la zona o región donde se desarrolla el proyecto, en particular aquellos que contemplan: diseño, reposición o rehabilitación de bocatomas, pozos de agua subterránea (como fuente abastecedora), diseño de interceptores y sistemas de transporte de aguas residuales y descargas a fuentes receptoras (para aquellos municipios que aun carezcan de soluciones de tratamiento de aguas servidas) y diseño o mejoramiento de sitios de disposición final de residuos sólidos.

Algunas de las fuentes de información que se sugieren son:

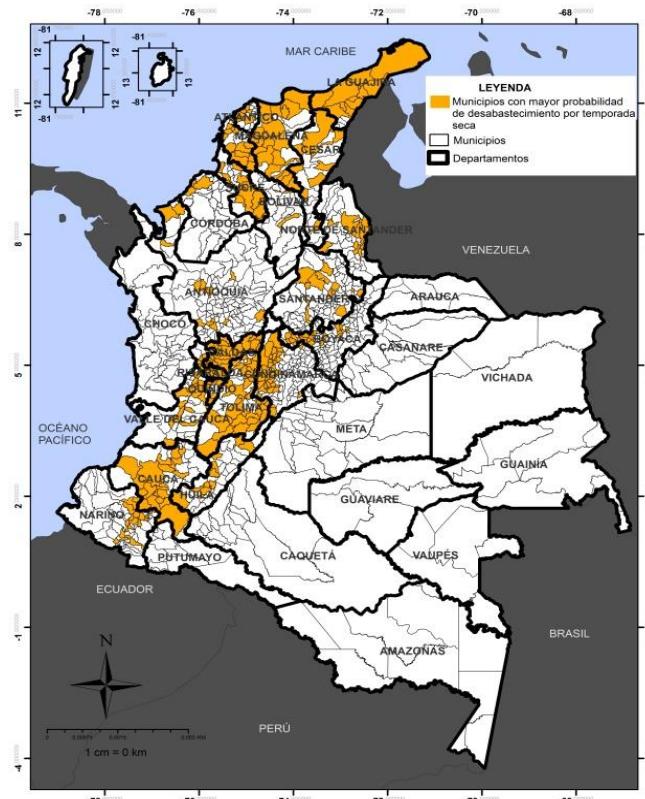
- Redes de estaciones y monitoreo hidrológicas y/o hidrometeorológicas.
- Identificar los antecedentes de este tipo de amenaza en la zona donde opera el sistema de prestación del servicio o bien, en la zona donde se proyecta implementar. Estos antecedentes pueden consultarse en las bases de datos de registros históricos de desastres a nivel local o en los registros consolidados a nivel nacional (DesInventar, UNGRD).

- Estudio Nacional del Agua 2018, liderado por el IDEAM, se identifican 391 municipios susceptibles al desabastecimiento en temporada seca, distribuidos en 24 departamentos. Igualmente, esta entidad emite reportes que deben ser tenidos en cuenta para la planeación y formulación de los proyectos, como es el caso de los mapas de zonificación frente a la alteración del régimen de lluvias en las diferentes regiones.

En las diferentes etapas del proyecto, se debe contemplar para la evaluación de la amenaza y el análisis de alternativas de los proyectos que se encuentran en etapa de diseño (obras nuevas o reposición), que, en el País, los regímenes de lluvias y sequía, se ven alterados por fenómenos de variabilidad climática como es El Niño, el cual en Colombia se asocia con las alteraciones en el ciclo hidrológico generando un déficit hídrico. Esto implica estudios la realización de suficientes estudios hidroclimatológicos para determinar la oferta de agua frente a las necesidades que se requieren atender, como es el caso de búsqueda de fuentes alternas de abastecimiento en aquellas regiones y poblaciones afectadas por los períodos de temporada seca.

Existen algunas regiones en el País, en las que históricamente se ha reportado emergencias por desabastecimiento en temporada seca en los acueductos de los cascos urbanos. En el Estudio Nacional del Agua (ENA 2018), liderado por el IDEAM, se identifican 391 municipios susceptibles al desabastecimiento en temporada seca, distribuidos en 24 departamentos.

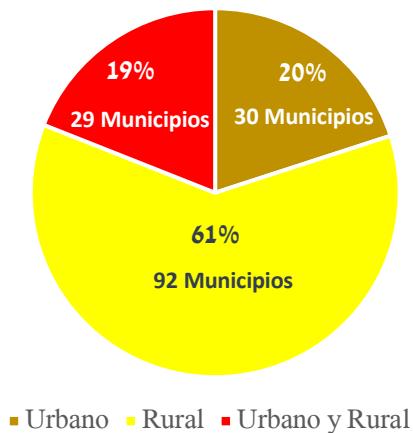
**Mapa 1. Identificación 391 Municipios susceptibles al desabastecimiento por temporada seca.**



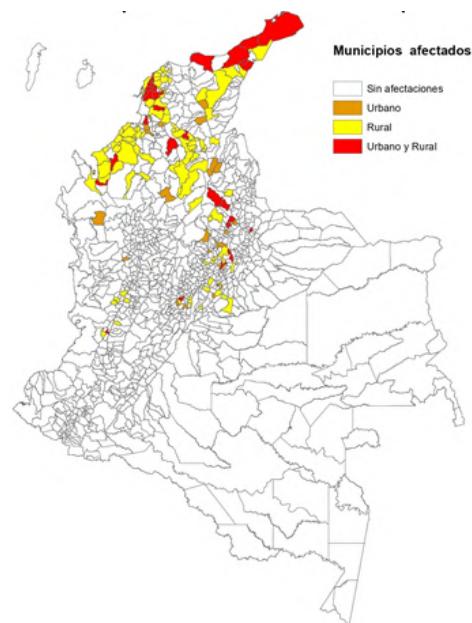
Fuente: VASB, 2018.

El Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico (VASB) llevó a cabo el seguimiento de las emergencias reportadas por la temporada seca en el marco del documento CONPES 3947 del 2018, el cual a la fecha 26 de julio de 2019, arrojó un total de 151 municipios distribuidos en doce (12) Departamentos, con algún tipo de afectación tanto en el sector urbano como rural (ver figuras 1 y 2. Mapa 2).

**Figura 1.** Trazabilidad seguimiento temporada seca. CONPES 3947 de 2018. En la gráfica se destaca la vulnerabilidad del sector rural ante este tipo de fenómeno.



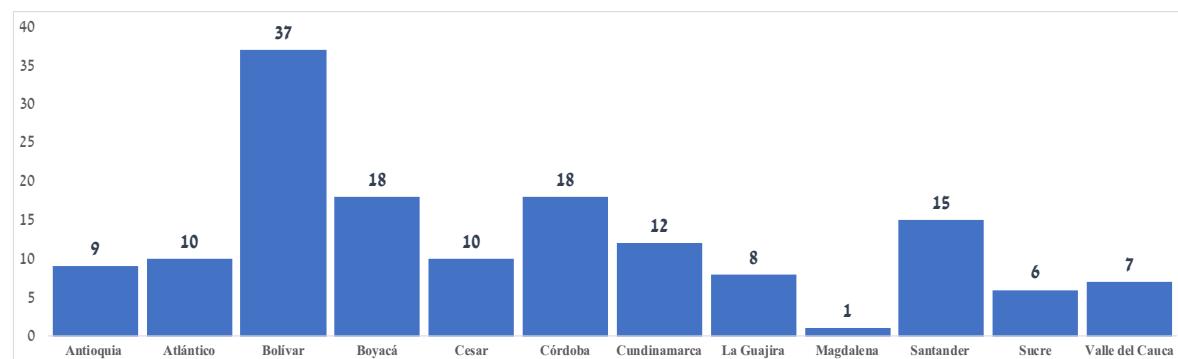
**Mapa 2.** Seguimiento desabastecimiento y racionamiento por temporada seca. CONPES 3947 de 2018. La región caribe y los departamentos de Santander, Cundinamarca y la región del Urabá Antioqueño han sido las más afectadas.



Fuente: Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico - VASB, julio de 2019.

Fuente: Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico - VASB, julio de 2019.

**Figura 2.** Trazabilidad seguimiento temporada seca. CONPES 3947 de 2018. La región caribe y los departamentos de Santander, Cundinamarca y la región del Urabá Antioqueño han sido las más afectadas.



Fuente: Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico - VASB, julio de 2019

## II. DIAGNÓSTICO DEL NIVEL DE VULNERABILIDAD DEL SECTOR POR TEMPORADA SECA

Si bien en temporada seca no se prevé afectación directa sobre la infraestructura por este fenómeno (sin descartar que se puedan presentar otro tipo de eventos, asociados a lluvias extremas que aun en esta temporada pudiesen generar inundaciones, eventos torrenciales o deslizamientos ), el mismo impacta a los sectores en términos de calidad y continuidad, por tanto, el gestor y/o diseñador del proyecto (obras nuevas o reposición de infraestructura), debe para la selección de la alternativa definitiva (incluye formulación del proyecto y/o ajuste de planes maestros de acueducto, alcantarillado y aseo), evaluar el nivel vulnerabilidad y riesgo asociado a la continuidad y calidad del servicio por temporada seca teniendo en cuenta las obras y proyectos que se estén diseñando y como estos contribuyen o no a garantizar la prestación del servicio en condiciones óptimas, a pesar de que el territorio donde se proyectan las mismas se encuentre en una región identificada con amenaza alta o moderada ante este tipo de eventos (variabilidad climática – temporada seca).

Para el diagnóstico de la vulnerabilidad de la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento básico, ante los déficits severos de lluvias (temporada seca) que afectan el caudal de las fuentes abastecedoras (superficiales o subterráneas) y de las fuentes receptoras se sugiere tener en cuenta lo siguiente:

- A nivel de proyectos nuevos, se debe analizar la vulnerabilidad de la fuente (s) abastecedora seleccionada o aquellas que se tienen como alternativa. realizando estudios detallados de la hidroclimatología y la hidrogeología de la región; así mismo, la posibilidad de plantear el problema o alternativas desde un punto de vista regional.
- Los hábitos y la cultura de la población objeto del proyecto: Los análisis deben ir orientados a plantear soluciones reales de acuerdo necesidades de agua potable por parte de la población para efectos de reducir vulnerabilidad frente a la sequía.
- Niveles máximos de agua no contabilizada (Pérdidas Técnicas), teniendo en cuenta que la susceptibilidad al desabastecimiento en temporada seca se debe no solamente a un acceso limitado al recurso por déficit en la oferta o reducción en la precipitación, sino igualmente por un elevado y no controlado porcentaje de pérdidas técnicas las cuales están asociadas principalmente a fugas en los componentes de aducción, conducción o distribución, almacenamiento y en las conexiones domiciliarias. Baja capacidad de reserva en tanques de almacenamiento.
- Estado de las fuentes receptoras de aguas servidas en temporada seca.
- Procesos de disposición y manipulación de residuos sólidos.
- Localización y características de los municipios, centros poblados o comunidades que se verían beneficiadas con el proyecto, en particular aquellos ubicados en zonas identificadas con problemas o dificultades de abastecimiento en temporada seca, lo anterior teniendo en cuenta las posibles demandas del recurso no previstas, por ejemplo aquellas generadas por la población flotante (turismo, migraciones masivas a nivel interno o externo).

- Localización (nivel de exposición) de las fuentes de abastecimiento existentes (superficial o subterránea) en zonas o regiones con déficit de precipitación.
- Localización (nivel de exposición) y estado de las fuentes alternas de abastecimiento proyectadas (superficial o subterránea) en zonas o regiones con déficit de precipitación.
- Ausencia de fuentes alternas de abastecimiento (superficial o subterránea).
- Condiciones naturales de la región donde opera el prestador o donde se pretende diseñar los nuevos proyectos, que dificultan la ubicación de fuentes alternas de abastecimiento.
- Municipios costeros, con poco potencial de explotación de fuentes alternas subterráneas o superficiales, entre otras.
- Municipios o regiones con posibles fuentes alternas contaminadas o en cuencas con problemas geológicos (cuencas torrentiales, geotécnicamente inestables, amenazadas por algún evento de actividad volcánica, erosión fuerte generadora de gran cantidad de sedimentos) que podrían hacer inviable técnica y económicamente la alternativa de fuente alterna propuesta.

### **III. IMPACTOS**

En numerosas regiones del país, como el caso de la región Caribe, los efectos del cambio climático (en particular la temporada seca) sobre los recursos de agua dulce podrían afectar al desarrollo sostenible y poner en riesgo, por ejemplo, la reducción de la pobreza y la disminución de la mortalidad infantil. Incluso con una gestión óptima del agua, es muy probable que no sea posible evitar sus efectos negativos sobre el desarrollo sostenible.

Las proyecciones indican que el aumento de la temperatura del agua y de la intensidad de precipitación, sumado a unos períodos de caudal bajo más prolongados, potenciarían muchas fuentes de polución del agua, en particular sedimentos, nutrientes, carbono orgánico disuelto, patógenos, plaguicidas, sal y temperatura. En áreas semiáridas y áridas, es probable que el cambio climático acentúe la salinización de las aguas subterráneas poco profundas, debido a un aumento de la evapotranspiración, (Bates, B.C., 2008).

En áreas costeras, el aumento del nivel del mar podría tener efectos negativos sobre el drenaje del agua de tempestad y la evacuación de aguas de desecho y podría acentuar la intrusión de agua salada en las aguas subterráneas dulces de los acuíferos costeros, afectando así negativamente a los recursos de agua subterránea.

El flujo subterráneo en acuíferos poco profundos forma parte del ciclo hidrológico, y resulta afectado por la variabilidad y el cambio climáticos por efecto de procesos de recarga y por la intervención humana en numerosos lugares. Los niveles subterráneos de numerosos acuíferos del mundo han experimentado una tendencia decreciente durante los últimos decenios, aunque ello se debe, por lo general, al bombeo de agua subterránea a un mayor ritmo que la recarga, y no a una disminución freática relacionada con el clima, (Bates, B.C., 2008).

En resumen, los impactos esperados en el sector para este tipo de amenaza son:

- Desabastecimiento.
- Contaminación de fuentes hídricas urbanas en zonas de vertimientos de aguas servidas y por ende generación malos olores.
- Gastos no programados para el prestador en medidas y acciones para la atención de posibles emergencias por desabastecimiento.
- Mala imagen de la empresa antes sus usuarios.
- Contaminación por malos olores en sitios de disposición final de residuos sólidos.
- Salinización de acuíferos en zonas costeras.
- Impacto en la recarga natural de acuíferos.
- En ciertas áreas, la escasa disponibilidad de agua ocasionará la sobreexplotación de las aguas subterráneas, que conllevará un mayor costo del abastecimiento de agua para todos los usos, debido a la necesidad de bombear aquella a una mayor profundidad y desde lugares más lejanos.

## **IV. MEDIDAS RECOMENDADAS**

Generalmente, en los proyectos de diseño, rehabilitación o reposición de obras del sector, en particular los de acueducto y alcantarillado, se parte de la base que el recurso hídrico permanece constante a mediano y largo plazo, por tal razón los registros y bases históricas del comportamiento de los regímenes de lluvias, caudales entre otros representan un insumo importante para el diseño y proyección de las obras. Sin embargo, los fenómenos meteorológicos en particular aquellos asociados a la variabilidad climática, entre ellos el déficit o el aumento excesivo de lluvias, generan una variación drástica y margen de incertidumbre en las estimaciones y cálculos para los diseños actuales.

Las medidas de adaptación, reducción o mitigación destinadas a asegurar la calidad y continuidad de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo en condiciones normales y en temporada de sequía o déficit de lluvia requieren en las diferentes etapas del proyecto (formulación, selección de alternativas, diseños u optimización no rehabilitación de obras existentes), de la implementación de medidas integrales (estructurales y no estructurales). Para el caso por ejemplo de la oferta del recurso hídrico para el suministro de agua a la población, se tiene: aumentos de la capacidad de almacenamiento, planteamiento de alternativas de infraestructura regional, extracciones de los cursos de agua, y transvases, etc.

Las opciones orientadas a la oferta implican por lo general una mayor capacidad de almacenamiento o de extracción de los recursos hídricos y, por ello, pueden tener impactos para el medio ambiente que deberán ser tenidos en cuenta en las diferentes etapas del proyecto. Algunas opciones pueden ser incompatibles con las medidas de mitigación, ya que implican un alto consumo energético, por ejemplo, en el caso de la desalinización o del bombeo (Ver Título I del RAS – Componente Ambiental), o simplemente su dependencia de ciertas fuentes de energía, llevan a que las alternativas seleccionadas

no sean sostenibles, tal es el caso de aquellas regiones y municipios donde existen aún problemas de interconexión eléctrica, dificultad de acceso y suministro de otras fuentes como gasolina, ACP o gas. Estas variables y dificultades deben ser evaluadas desde el componente de gestión del riesgo de los proyectos.

Sistemas que permitan la reutilización de aguas servidas: Las aguas servidas tratadas pueden ser reutilizadas o descargadas, aunque la reutilización es la alternativa más conveniente para los riegos agrícolas y hortícolas, la piscicultura, la recarga artificial de acuíferos y otras aplicaciones industriales (para mayor detalle sobre temas de reúso, remitirse al Título I del RAS – Componente Ambiental).

Otras medidas sugeridas:

- Habilitación de fuentes alternas de abastecimiento (superficiales o subterráneas) en los municipios susceptibles al desabastecimiento de agua por temporada seca, considerando el componente de Gestión del Riesgo para la selección de la alternativa.
- Una de las maneras más rápidas de incrementar la disponibilidad de agua consistiría en minimizar las pérdidas técnicas de las redes aducción, conducción y distribución al igual que las posibles fugas en los componentes de almacenamiento.
- Para el sector rural, en general con fuerte impacto en la prestación del servicio de acueducto en temporada seca, medidas como el diseño o implementación de sistemas captación de aguas lluvias (abastos), pequeñas presas o embalses que permitan la regulación del recurso y el beneficio regional en las zonas rurales.
- Desalinización: Los métodos de tratamiento de agua son una opción que permitiría resolver los problemas de aumento de la salinidad en los lugares amenazados, como las áreas costeras muy urbanizadas que dependen de acuíferos sensibles a la intrusión salina. Los costos de la desalinización deben juzgarse en comparación con el costo de prolongación de las conducciones y, en su caso, de reubicación de las instalaciones de tratamiento para conseguir acceso a un agua dulce.
- Reforestación de cuencas que surten los acueductos, para garantizar el mantenimiento de los caudales.
- Sectorización total de las redes de conducción y distribución de agua cruda y agua potable,
- Instalación de macro y micro medidores. En temporada seca, se verá afectado el caudal de las fuentes abastecedoras, sin embargo esto implica en todos los casos que el caudal captado se reduzca hasta generar emergencias por desabastecimiento. En algunos municipios, estas emergencias se ven asociadas por la gran cantidad de pérdidas técnicas no detectadas por fugas en las redes de distribución (toma fraudulenta o deterioro de la infraestructura).
- Vigilancia periódica y monitoreada para que los rellenos sanitarios o la disposición final de los residuos sólidos se haga sin generar malestar en la comunidad debida a olores desagradables.

- Establecer regímenes, tarifarios de acuerdo a la norma y establecer una buena cultura de pago entre los usuarios.
- Para la habilitación de fuentes alternas (subterráneas), se requieren estudios detallados de los acuíferos para identificar capacidades, calidad del agua y planificar de manera adecuada su explotación, teniendo en cuenta las exigencias de la autoridad ambiental.
- Gestión de la recarga de acuíferos a fin de almacenar el excedente de agua estacional.
- Situar y utilizar los filtros apropiados para mantener el rendimiento en el material no consolidado (pozos de sondeo).
- Desarrollar fuentes y almacenamiento complementarios y de reserva.