

Propuesta de medidas de reducción del riesgo por avenidas torrenciales mediante el concepto de “Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN)” en la cuenca de la Quebrada Limas de la localidad Ciudad Bolívar de Bogotá.

Por: Diana Carolina Moreno Moreno, Mario Helberto Leal Noriega, Juan Carlos Díaz Realpe, Especialización en Gestión del Riesgo Integrada a la Planificación Territorial, Fundación Universitaria de Popayán – Colombia.

Diana Carolina Moreno Moreno. Ingeniera Civil egresada de la Universidad Nacional de Colombia, Magister en Ingeniería – Geotecnia de la misma universidad, Profesional Especializado IDIGER, Bogotá - Colombia. Correo electrónico: ingdianacm@gmail.com.

Mario Helberto Leal Noriega. Ingeniero Civil egresado de la Universidad Industrial de Santander, Magister en Ingeniería - Geotecnia de la Universidad Nacional de Colombia y Magister en Ciencias - Geofísica de la misma Universidad. Profesional Especializado Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. Bogotá - Colombia. Correo electrónico: lealmsc@gmail.com.

Juan Carlos Díaz Realpe. Arquitecto egresado de la Universidad Piloto de Colombia, Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente de la Universidad de Manizales y PhD (c) Desarrollo Sostenible de la misma universidad. Docente Fundación Universitaria de Popayán – Colombia. Correo electrónico: juan.diaz@docente.fup.edu.co.

RESUMEN

En este artículo se describe el trabajo de investigación que permitió generar la propuesta de medidas de reducción del riesgo por avenidas torrenciales,

en la cuenca de la quebrada Limas en la ciudad de Bogotá - Colombia, bajo el concepto de Soluciones Basadas en Naturaleza (SBN).

El presente estudio se realizó a partir de exploración documental y clasificación de SBN con sus enfoques y técnicas aplicables a avenidas torrenciales además del análisis de los estudios detallados de la quebrada Limas para identificar las características del fenómeno y la generación de un diagnóstico integral, permitiendo definir claramente las causas de la problemática y su asociación a las técnicas de SBN, con el fin de elaborar una propuesta alternativa a las intervenciones convencionales.

PALABRAS CLAVE: Avenidas Torrenciales, Quebrada Limas, Soluciones Basadas en la Naturaleza, Reducción del Riesgo.

INTRODUCCIÓN

La cuenca de la quebrada Limas está ubicada al sur de la ciudad de Bogotá, presenta susceptibilidad a las avenidas torrenciales y una alta intervención antrópica, lo que ha originado un escenario complejo de deterioro ambiental, económico y social, potenciando las condiciones de riesgo evidenciadas en las zonas aferentes a este cuerpo de agua.

Para estas problemáticas, se han implementado mejoras urbanas de infraestructura y medidas de reducción del riesgo centradas en soluciones de ingeniería convencional, también denominadas obras grises, pero no se han abordado las soluciones desde la perspectiva integral de cuenca que puedan coadyuvar al control y solución de las causas de las avenidas torrenciales.

Con base en esta problemática, se desarrolló un proceso de investigación que permitiera proponer medidas de reducción del riesgo mediante el concepto de Soluciones Basadas en la Naturaleza, que sean viables desde el punto de vista técnico y orientadas hacia las causas y mecanismos de ocurrencia de los fenómenos de avenidas torrenciales, beneficiando a los habitantes de la cuenca de la quebrada Limas tanto en la zona rural como urbana, propendiendo por una

intervención integral del territorio que garantice un desarrollo sostenible y posibilite el restablecimiento del ecosistema, lo que al final se traduce en un proyecto con relevancia social.

Se espera que las SBN propuestas como medidas de reducción del riesgo puedan ser tomadas como referencia para su implementación en otras cuencas con características similares en diversos territorios del país.

METODOLOGÍA

Se generó un proceso de investigación cualitativo exploratorio, con tendencia circular más que secuencial, tal como lo establece Hernández et al (2014). Se estructuraron cuatro fases (Figura 1) que abordaron los aspectos más representativos del problema, explorando en la recolección y análisis de datos existentes, así como en el formulación de un diagnóstico integral.

Figura 1. Fases de la investigación SBN en la cuenca de la Quebrada Limas.



Fuente: Elaboración propia (2022).

FUNDAMENTACIÓN

Las Avenidas Torrenciales

De acuerdo con IDIGER (2022) y Ramos et al (2021), las avenidas torrenciales son crecidas repentinas que causan aumentos súbitos del nivel de agua; este flujo rápido transita por cauces permanentes o intermitentes con pendientes altas, que puede ser generado por efecto de lluvias intensas que involucran el transporte de una mezcla de agua y un contenido significativo de sólidos en diferentes proporciones. El aporte de sólidos al flujo puede provenir de las laderas adyacentes o del lecho de los cauces; cuando el flujo alcanza zonas de baja pendiente se genera el depósito del material a lo largo de su trayectoria.

En Colombia y según IDEAM (2017), los denominados piedemontes presentan una alta susceptibilidad para que este fenómeno ocurra de manera muy frecuente; en las zonas de piedemonte de Bogotá existen 70 cuencas susceptibles a que se presenten eventos de avenidas torrenciales. Según IDIGER (2022), el 91% de estas cuencas podrían generar eventos en la zona urbana de la ciudad y el 9% en la zona rural. Debido a sus características pueden causar grandes daños ambientales, económicos y sociales irreparables.

La cuenca de la quebrada Limas

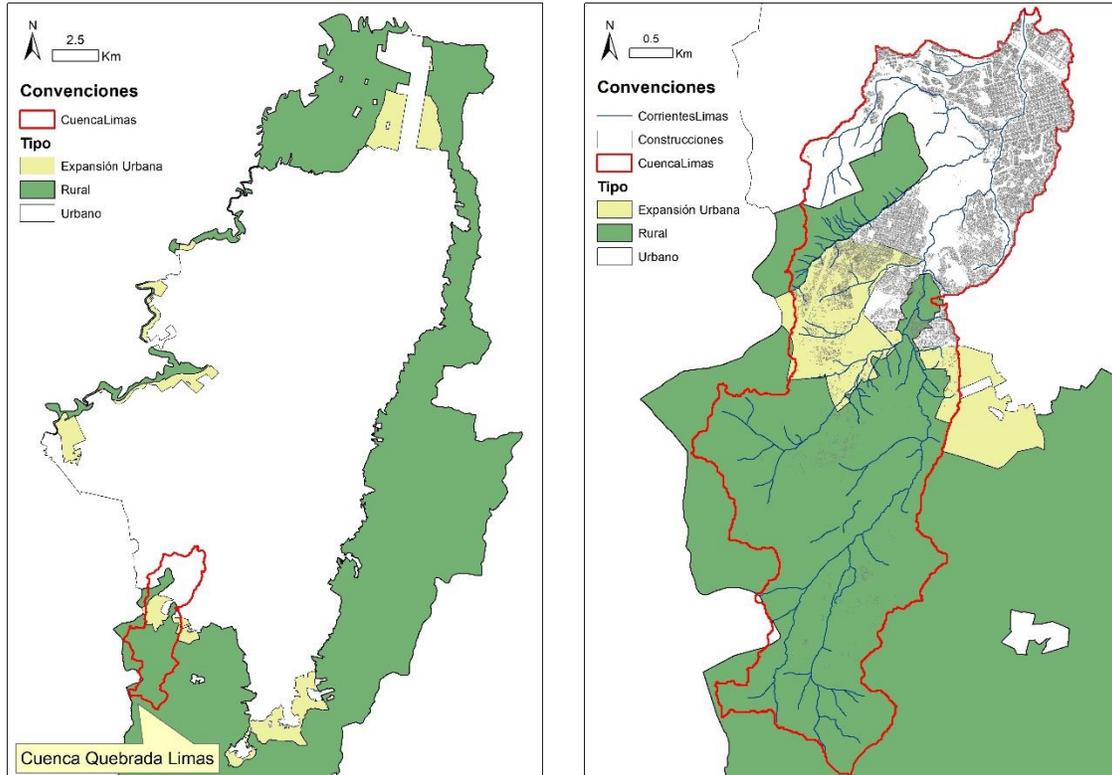
Dentro de los cuerpos de agua con eventos por avenidas torrenciales en Bogotá se destaca la quebrada Limas, ubicada en la localidad de Ciudad Bolívar, al sur de la ciudad; es una de

las principales microcuencas del río Tunjuelo, con un área de 1806 hectáreas; nace en la vereda de Quiba, en una altura aproximada de 3250 msnm, descendiendo 856 m a lo largo de una longitud de 10.5 km hasta desembocar en la margen izquierda del río Tunjuelo (Camargo, 2016). La localización de la cuenca se presenta en la Figura 2.

En la cuenca se presentan áreas rurales y en ella se asientan dos veredas, Quiba Alta y Quiba Baja, y en la zona urbana y de expansión se encuentran 31 barrios de origen informal más otros asentamientos, para una población aproximada de 186.529 habitantes de estratos 0, 1 y 2 (IDIGER, 2021).

Para la cuenca se han documentado tres eventos que han generado daños: el 12 de octubre de 2007, el 18 de noviembre de 2004 y el 24 de noviembre de 2003. El evento de mayor impacto fue el del año 2004 que generó daños en 37 manzanas de los barrios San Francisco, Sauces y Candelaria, con afectaciones a 1535 personas (DPAE, 2004); mientras que la avenida torrencial del 24 de noviembre de 2003 incluyó dentro de sus afectaciones la muerte de dos personas. En los diagnósticos técnicos de las emergencias en la quebrada Limas (DPAE 2004; DPAE 2003) se menciona que las avenidas torrenciales se materializan a manera de inundación, pero suceden simultáneamente con movimientos en masa y socavación.

Figura 2. Localización de la quebrada Limas en la ciudad de Bogotá. A la izquierda ubicación general. A la derecha ampliación de la cuenca de la quebrada Limas.



Fuente: Elaboración propia a partir de información Geográfica de IDECA e IDIGER (2022).

La principal característica de la cuenca es su alta intervención antrópica siendo el uso urbano o de expansión cerca del 30% del área de la cuenca (IDIGER, 2022), sin embargo, se ha realizado sin planificación urbana, con presión sobre los cuerpos de agua incluyendo vertimientos de origen doméstico y desechos orgánicos e inorgánicos. En la zona rural se desarrollan actividades agrícolas extensivas y en mayor medida actividades mineras, estas últimas representadas en canteras para extracción de materiales utilizados en la construcción sin un adecuado manejo de residuos, cuyos sedimentos se depositan al cauce.

Para estas problemáticas, se han implementado mejoras urbanas de infraestructura y medidas de reducción del riesgo centradas en soluciones de ingeniería convencional, también denominadas obras grises, enmarcadas en los lineamientos del ordenamiento territorial. Sólo hasta el año 2021 se hace explícito en el Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá, Decreto 555 de 2021, la obligatoriedad de implementar “Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN)” como primera alternativa a evaluar, en coherencia con la tendencia actual de orientar de manera preferente el empleo de las SBN como mecanismo de mitigación y adaptación al cambio climático

(Ayazo-Toscano y Hernández -Palma, 2021) y en forma indirecta la reducción del riesgo de desastres.

Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN)

Conceptualmente, Cohen-Shacham et al (2016), define las Soluciones Basadas en la Naturaleza como “Acciones para proteger, gestionar de forma sostenible y restaurar ecosistemas naturales o modificados, que abordan los desafíos sociales de manera efectiva y adaptativa, proporcionando simultáneamente beneficios para el bienestar humano y la biodiversidad”. Como lo indica IUCN (2018), el término SBN va más allá de los principios tradicionales de conservación y gestión de la biodiversidad, reorientando el debate sobre los seres humanos e integrando específicamente factores sociales como el bienestar humano y la reducción de la pobreza, el desarrollo socioeconómico y los principios de gobernanza.

Sobre las SBN en la planificación urbana, Figueroa-Arango (2020), indica que el concepto de Soluciones Basadas en Naturaleza se reconoce en el contexto internacional como una estrategia que usa la naturaleza para alcanzar objetivos de biodiversidad, desarrollo sostenible y bienestar humano, tanto en el entorno urbano como rural, abordando varias problemáticas que enfrentan actualmente los territorios.

De acuerdo con Ayazo-Toscano y Hernández–Palma (2021), las SBN son un término que engloba diferentes

enfoques, sintetizándolas en cuatro grandes grupos: (i) infraestructura, (ii) protección, (iii) restauración y (iv) gestión de ecosistemas, incluyendo además clases de acuerdo al elemento a abordar, tal como se resume en la Tabla 1. A su vez, cada clase tiene múltiples técnicas (no estandarizadas sino intuitivas) que permiten materializar la solución en el territorio.

Tabla 1. Clasificación de enfoques de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN).

Enfoque	Clase
Infraestructura	Infraestructura Azul-Verde
	Infraestructura Híbrida
Protección de los ecosistemas	Gestión de Áreas Protegidas
	Otras medidas efectivas de conservación
Restauración de ecosistemas	Restauración del Paisaje
	Restauración de Humedales
	Agricultura climáticamente inteligente/ agroforestería
Gestión basado en los ecosistemas	Gestión sostenible de la tierra y manejo de incendios
	Gestión integral del recurso hídrico
	Gestión integral de zonas costeras

Fuente: Elaboración propia a partir de Ayazo-Toscano y Hernández-Palma (2021).

En escenarios de gestión de riesgo, las SBN han abordado el fenómeno de inundación (Llieva, L. et al, 2018) y la planificación urbana (Figueroa-Arango 2020), pero no se evidenciaron experiencias de SBN como propuesta para reducción de riesgos por avenidas torrenciales, especialmente en áreas de alta intervención antrópica.

Reducción de Riesgos

La reducción del riesgo, según la ley 1523 de 2012, *“es el proceso de la gestión del riesgo que está compuesto por la intervención dirigida a modificar o disminuir las condiciones de riesgo existente, 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”*. Este concepto también se relaciona con el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030, adoptado en la III Conferencia Mundial para la Reducción del Riesgo de Desastres, de tal manera que se convierte en una línea de importancia para el Desarrollo Sostenible.

En avenidas torrenciales, la reducción se realiza principalmente sobre la amenaza, es decir, prevenir la ocurrencia del fenómeno, reducir la probabilidad de aporte de sedimentos al cauce y mitigar el impacto del tránsito de la corriente hacia los elementos expuestos. La actuación sobre la vulnerabilidad es limitada y no evitaría las pérdidas potenciales.

RESULTADOS

Recopilación de las tipologías de Soluciones Basadas en Naturaleza (SBN) aplicables a las avenidas torrenciales

Se realizó un trabajo de recopilación y revisión de fuentes bibliográficas donde se desarrolla el concepto de “Soluciones Basadas en Naturaleza - SBN”, tanto en el ámbito nacional como internacional, y que fuesen empleadas para apoyar el proceso de reducción del riesgo. En la Tabla 2 se presentan las quince fuentes más relevantes que aportaron técnicas de SBN.

En cada documento se plantean mecanismos de abordaje y técnicas diversas para la reducción del riesgo, para una variedad de fenómenos amenazantes, consecuencias, afectación de ecosistemas, entre otros. Es por ello que se realizó una selección, homogenización, clasificación y análisis de los documentos y técnicas que incluían específicamente fenómenos tipo deslizamientos e inundaciones, que están muy relacionados con las avenidas torrenciales.

Además, se procedió a clasificar las fuentes de información mediante la propuesta de Ayazo-Toscano y Hernández-Palma (2021), a nivel de enfoque y clase, lo cual permitió establecer los enfoques de SBN que han tenido mayor potencial para afrontar las avenidas torrenciales o sus fenómenos asociados.

Tabla 1. Recopilación de fuentes bibliográficas con Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN).

Título	Entidad / Autor	Año	Publicación	Avenidas Torrenciales
Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. ABC: Adaptación Bases Conceptuales, Marco conceptual y lineamientos.	Dirección Nacional de Planeación (DNP)	2012	Nacional	No incluye
Definición de Soluciones Basadas en la Naturaleza	World Conservation Congress (WCC)	2016	Internacional	No incluye
Soluciones Basadas en la Naturaleza. Rumbo 20.30.	Fundación Conama	2018	Internacional	No incluye
AbE, Guía de Adaptación al Cambio Climático basada en Ecosistemas en Colombia	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS)	2018	Nacional	Incluye
Adoptando Soluciones Basadas en la Naturaleza para la Reducción del Riesgo de Inundación en América Latina	Ilieva et al World Wildlife Fund, UICN, Universidad de Glasgow	2018	Internacional	Incluye
Soluciones Basadas en la Naturaleza (NBS) como una nueva manera inteligente de gestionar el urbanismo y la ingeniería clásica	Lochner et al. Proyecto europeo OPERANDUM	2019	Internacional	No incluye
Guía para la integración de las Soluciones basadas en la Naturaleza en la Planificación Urbana	Figueroa – Arango. Instituto HUMBOLDT	2020	Nacional	Incluye
Infraestructura verde y Soluciones basadas en la Naturaleza para la Adaptación al Cambio Climático.	Zucchetti et al. Climate & Development Knowledge Network (CDKN)	2020	Internacional	Incluye
Catálogo de Fichas Técnicas de Soluciones basadas en la Naturaleza	UVA y AEICE. Proyecto INDNATUR	2020	Internacional	No incluye
Norma Mundial sobre Soluciones basadas en la Naturaleza	AFD, IUCN & CEM	2020	Internacional	No incluye
Las Soluciones basadas en la Naturaleza como herramienta para mitigar el cambio climático	Arauz y Marzo. Institut Cerdà	2021	Internacional	No incluye
Enfoque de Reducción de riesgo de Desastre basado en Ecosistemas	Nieto, O. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS)	2021	Nacional	Incluye
Portafolio de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN) como mecanismo de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático en las áreas rurales de Colombia	Ayazo-Toscano y Hernández-Palma. Instituto HUMBOLDT	2021	Nacional	Incluye
Soluciones basadas en la Naturaleza en América Latina y el Caribe	Ozment et al. Banco Interamericano de Desarrollo (BID)	2021	Internacional	Incluye
Soluciones basadas en la naturaleza. El Potencial de la restauración y conservación de bosques para la Adaptación al Cambio Climático en Centroamérica	Samaniego et al. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)	2021	Internacional	Incluye

Fuente: Elaboración propia (2022).

La clasificación de los documentos por enfoques y clase se presenta en la Tabla 3, donde se observa que las medidas más recomendadas para la reducción del riesgo por avenidas torrenciales bajo el concepto de SBN están relacionadas con el (i) enfoque de infraestructura y (ii) el enfoque de restauración basada en ecosistemas.

De dichos enfoques existe un portafolio variado de técnicas y/o medidas posibles a implementar, tal como se relacionan en la Tabla 4, el cual constituye el resultado más detallado de la recopilación de SBN aplicables a avenidas torrenciales.

Tabla 3. Clasificación documental de SBN por enfoques y categorías, identificando aquellas aplicables para la reducción del riesgo por avenidas torrenciales

Enfoques y clases de las SBN		Fuentes bibliográficas revisadas	MADS (2018)	Ilieva et al (2018)	Figueroa-Arango (2020)	Zucchetti et al (2021)	Nieto, O. MADS (2021)	Ayazo et al, Instituto HUMBOLDT (2021)	Ozment et al. BID (2021)	Samaniego et al. CEPAL (2021)
<i>Infraestructura</i>	Azul-Verde	Aplica	Aplica	Aplica	Aplica	-	-	Aplica	-	
	Híbrida	Aplica	Aplica	Aplica	Aplica	Aplica	Aplica	Aplica	Aplica	
<i>Protección de los ecosistemas</i>	Gestión de Áreas Protegidas	-	Aplica	Aplica	Aplica	Aplica	-	-	-	
	Otras medidas	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Restauración de ecosistemas</i>	Restauración del Paisaje	Aplica	Aplica	Aplica	Aplica	Aplica	-	Aplica	-	
	Restauración de Humedales	Aplica	-	Aplica	-	-	-	Aplica	-	
	Agricultura inteligente y agroforestería	-	-	Aplica	-	-	-	-	-	
<i>Gestión basada en los ecosistemas</i>	Gestión sostenible de la tierra y manejo de incendios	-	-	-	-	Aplica	-	Aplica	-	
	Gestión integral del recurso hídrico	Aplica	Aplica	-	-	Aplica	Aplica	-	-	
	Gestión integral de zonas costeras	-	-	-	-	-	-	-	-	

Fuente: Elaboración propia (2022).

Tabla 4. Portafolio de técnicas o medidas de SBN, con enfoque de infraestructura y restauración de ecosistemas, para el escenario de riesgo por avenida torrencial.

ENFOQUE	CLASE	TÉCNICAS APLICABLES A CUENCAS CON AVENIDAS TORRENCIALES
Infraestructura	Infraestructura Azul-Verde	Parques Periurbanos
		Llanuras de inundación o áreas de amortiguamiento
		Creación de humedales para tratamiento de aguas residuales
		Creación de humedales / reservorios, para el mejoramiento de la infiltración
		Creación de humedales / jagüeyes para almacenamiento y suministro de agua
	Infraestructura Híbrida	Bioingeniería
		Parques y bosques urbanos
		Presa filtrante, diques verdes
		Sistemas urbanos de drenaje sostenible
		Revegetación con plantas de raíz profunda
		Construcción de corredores o pasos para la fauna
		Creación y mejoramiento de hábitats de fauna silvestre
		Sistema de recolección de agua lluvia (cosecha de agua)
		Perfilado de taludes, construcción de barreras y drenajes
		Manejo de aguas pluviales por medio de espacios verdes
		Restauración de laderas para evitar erosión y deslizamientos
		Estabilización de taludes con manejo de las pendientes y reconfiguración topográfica (abatimiento, terraceo, remoción de materiales de la pendiente)
		Obras de control de erosión (trinchos, zanjas, fajas, fajinas, cunetas, pozos, surcos de contorno, zanjas de infiltración, gaviones, banquetas, coberturas muertas con residuos vegetales, terrazas vivas, etc).
		Restauración de ecosistemas
Revegetación		
Regeneración natural		
Renaturalización de ríos		
Control de especies invasoras		
Reintroducción de poblaciones		
Restauración de Humedales	Mejoramiento del agua (cantidad y/o calidad)	
Agricultura climáticamente inteligente/ agroforestería	Silvopastoreo	
	Banco de semillas	
	Cultivos intercalados	
	Gobernanza de bienes comunes	
	Gestión de unidades productivas familiares	
	Diversificación de los cultivos y agricultura mixta	
	Manejo integrado de nutrientes del suelo y mejoramiento del suelo	

Fuente: Elaboración propia con información de ocho documentos base (2022).

Identificación de las causas de avenidas torrenciales en la cuenca de la quebrada Limas

Para la identificación de las causas que ocasionan el fenómeno de avenida torrencial en la cuenca de la quebrada Limas, se tomó como referencia el estudio “Evaluación de riesgo por Avenida Torrencial de la

Quebrada Limas” (IDIGER, 2020), siendo el documento técnico más reciente elaborado para este cuerpo de agua, en donde, se recopilan todos los antecedentes de eventos registrados en esta área además de esbozar las causas de la problemática existente. Este documento incluye, entre otros, los siguientes componentes: geología y

geomorfología, análisis geomorfológico y de susceptibilidad a inundaciones, geotecnia, hidrología, modelo integrado de evaluación de amenaza y análisis de vulnerabilidad física. En particular, son dos las temáticas que permiten reconocer las causas del problema:

1. Susceptibilidad Geomorfológica:

Contiene información sobre las áreas

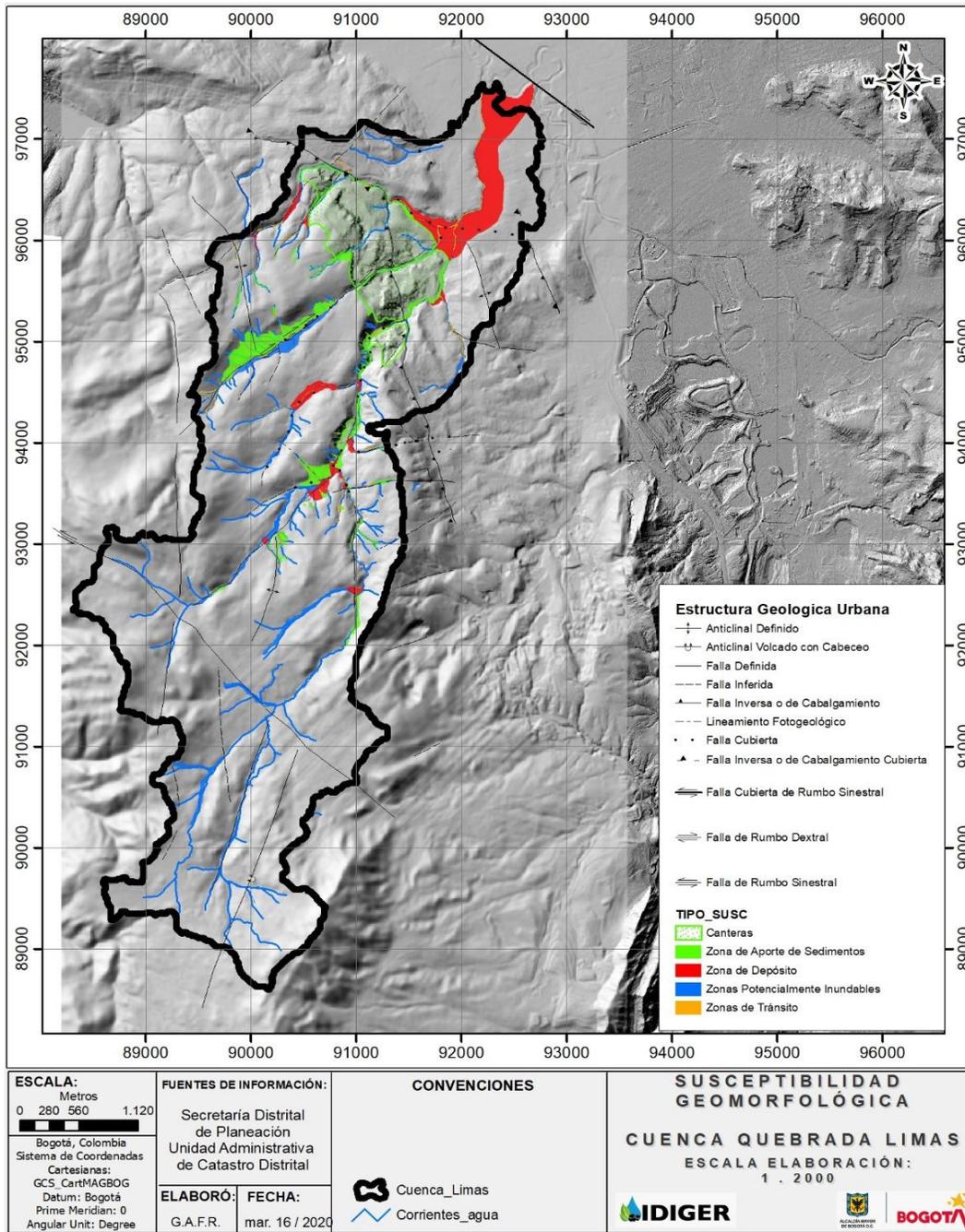
más probables para la ocurrencia del fenómeno de avenida torrencial, incluyendo zonas de tránsito y áreas de posible afectación. En la Tabla 5 se presenta la clasificación de la susceptibilidad geomorfológica asociada con avenidas torrenciales y en la Figura 3 el mapa de susceptibilidad relacionado con este fenómeno.

Tabla 5. Clasificación y características de susceptibilidad geomorfológica asociada con avenidas torrenciales.

CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS
Zonas de Cantera	<ul style="list-style-type: none"> - Las actividades extractivas influyen en la estabilidad del macizo rocoso. - Hay disposición descontrolada de los residuos (materiales estériles) en áreas aledañas a las corrientes hídricas. - La mayoría de estas actividades se llevan a cabo sin técnicas de diseño adecuadas, sin estudios previos, sin control, y abandono de las mismas sin recuperación ni restauración ambiental. - Las actividades utilizadas para el arranque del material (perforación, voladura y perfilado con excavadora) generan vibraciones sobre el terreno, fracturan el macizo rocoso (ya fracturado por las estructuras geológicas regionales y locales), y fragmentan la roca hasta un tamaño en el cual pueda ser manipulado por el sistema de cargue y transporte definido, aportando materiales a las zonas aledañas. - El aporte de materiales generado por las canteras disminuye la capacidad hidráulica de las obras y tramos canalizados en la cuenca.
Zonas de inicio y/o aporte de sedimento	<p>Se pueden producir numerosos deslizamientos de forma rápida y simultánea en épocas de lluvias excepcionales y/o sismos, en:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Zonas de laderas de alta pendiente. - Zonas muy próximas a un cauce con alta pendiente longitudinal capaz de transportarlos. - Zonas desprovistas de vegetación, con materiales tipo suelos residuales, transportados o antrópicos. - En macizos rocosos muy fracturados (mala a muy mala calidad). - Procesos erosivos tipo erosión laminar, surcos y cárcavamientos. - En zonas con erosión intensa en fondo de canales. Se incluyen los procesos de socavación del lecho y las riveras de los ríos. - Áreas de procesos morfodinámicos (movimientos en masa) con influencia directa en las quebradas. - Depósitos de basuras y escombros. <p>Las condiciones morfológicas y la pendiente longitudinal de la corriente no favorecen la ocurrencia de un deslizamiento único de gran magnitud capaz de formar un flujo de escombros.</p>
Zonas de tránsito	Corrientes hídricas de pendiente longitudinal y sección variable que favorecen la concentración de sedimentos y el transporte del flujo a grandes velocidades. Red hídrica interconectada capaz de transportar volúmenes de agua garantizando así la disponibilidad y aporte del recurso hídrico entre corrientes. También se incluyen los canales de escorrentía superficial.
Zonas de depósito	Cuando el cambio del ancho del canal es muy fuerte o se presenta una disminución fuerte en la pendiente la velocidad disminuye abruptamente y se deposita la mayoría de material sólido.
Zonas potenciales de inundación	Terrenos planos o casi planos que pueden ser inundados debido a que forman parte de la dinámica fluvial.

Fuente: Propia con información del estudio de evaluación de riesgo por avenida torrencial de la quebrada Limas (IDIGER, 2020).

Figura 3. Mapa de susceptibilidad geomorfológica por avenidas torrenciales.



Fuente: Tomado del estudio de evaluación de riesgo por avenida torrencial de la quebrada Limas (IDIGER, 2020).

2. Susceptibilidad hidráulica: De acuerdo con IDIGER (2020), existen condiciones de gran deterioro de la cobertura del suelo y una muy alta intervención antrópica con factores

como la explotación de canteras y el vertimiento de basuras, que han sido identificados como las causas principales de las inundaciones

históricas al generar obstrucciones en el cauce.

La cuenca de la quebrada Limas en su parte alta está siendo sometida a una intensa presión urbana, con ocupación y lotificación sin un proceso de planificación adecuado, aumentando de manera significativa, lo que se refleja en la generación y agravamiento de procesos erosivos.

Las intervenciones que se han realizado sobre el cauce a lo largo de los años han conducido a cambios drásticos de la dinámica de la corriente y de su comportamiento natural, fragmentando ecológicamente los cuerpos de agua. Las intervenciones por parte del Distrito han buscado la recuperación de las zonas de ronda y de manejo y preservación ambiental (ZMPA), pero aún se requiere una intervención que aborde los aspectos hidráulicos, morfodinámicos, geotécnicos, viales, ecológicos y sociales, que son necesarios para un manejo integral de la cuenca.

Bajo este panorama y de acuerdo al estudio técnico revisado, las causas que más se relacionan con la ocurrencia de avenidas torrenciales en la cuenca de la quebrada Limas son las siguientes: (i) los procesos erosivos de las laderas, (ii) el depósito de basuras y escombros al cauce, (iii) la alta presión urbana, (iv) la socavación del cauce, (v) el retiro de la vegetación, (vi) la fragmentación ecológica, (vii) las altas pendientes, (viii) las zonas de cantera, (ix) los cambios en la dinámica de la corriente y (x) los movimientos en masa.

Diagnóstico técnico integral de las condiciones de la cuenca de la quebrada Limas

Se realizó una superposición de mapas y un reconocimiento de campo, que permitió identificar los cambios a los que se encuentra expuesto este cuerpo de agua a lo largo de su recorrido en aspectos como la pendiente, el ancho del cauce, modificación de la cobertura vegetal, presión antrópica y elementos ambientales y sociales, corroborando la información de los estudios. A continuación, se describe el diagnóstico integral del territorio.

En la parte alta de la cuenca se están ocupando las franjas de expansión urbana y rural sin control, con invasión de las zonas de ronda y preservación ambiental y afectación de los ecosistemas, como se muestra en la Figura 4. Esto genera condiciones de pobreza en sus habitantes que no poseen una vivienda digna ni cuentan con servicios básicos además de estar expuestos en zonas propensas a los deslizamientos y las avenidas torrenciales.

En la parte media de la cuenca, la quebrada tiene una franja física de ronda delimitada y en ella se observan depósitos de basuras y escombros que llegan fácilmente a la corriente, como se muestra en la Figura 5. Esto genera un deterioro ambiental, social y paisajístico, con poca o nula apropiación del territorio por parte de la comunidad además de otras problemáticas como inseguridad y espacios para consumo de sustancias psicoactivas. Por otra parte, el cauce

presenta una pendiente media y un alineamiento modificado, lo que facilita

los procesos de socavación y el tránsito rápido de materiales.

Figura 4. Presión urbana sobre el cauce en transición de zona rural a urbana. Vista hacia aguas arriba. Coordenadas: 4°32'33.01" N 74°9'29.82" W



Fuente: Elaboración propia (2022)

Figura 5. Depósito de basuras en zona urbana. Vista hacia aguas abajo. Coordenadas: 4°33'19.29" N 74°9'4.73" W.



Fuente: Elaboración propia (2022)

En la zona media también se identificaron condiciones naturales de alta pendiente, áreas de cantera con explotación no tecnificada, así como movimientos en masa de mediana y pequeña magnitud que generan aporte de sedimentos. Un aspecto particular observado en la zona de cantera es la presencia de asentamientos informales en las áreas ya explotadas, configurando un escenario de riesgo de mayor complejidad y condiciones sociales desfavorables. Estas áreas no restauradas han generado fragmentación ecológica con deterioro de la fauna y flora y por tanto no proveen servicios ecosistémicos o paisajísticos a los barrios adyacentes, como lo muestra en la Figura 6.

Es notable que en los barrios de la cuenca media se han generado proyectos urbanos de movilidad como vías, transmicable, plazoletas y

corredores urbanos, pero las laderas contiguas a los cauces no han sido objeto de gestión.

Hacia la cuenca baja, se adelantó reasentamiento y adecuación de predios, recuperando la zona de ronda, pero las áreas no se han fortalecido en los componentes ecosistémicos y sociales.

Ahora bien, en la zona rural no se identificaron actividades agrícolas o ganaderas intensivas que estén asociadas a las causas de las avenidas torrenciales.

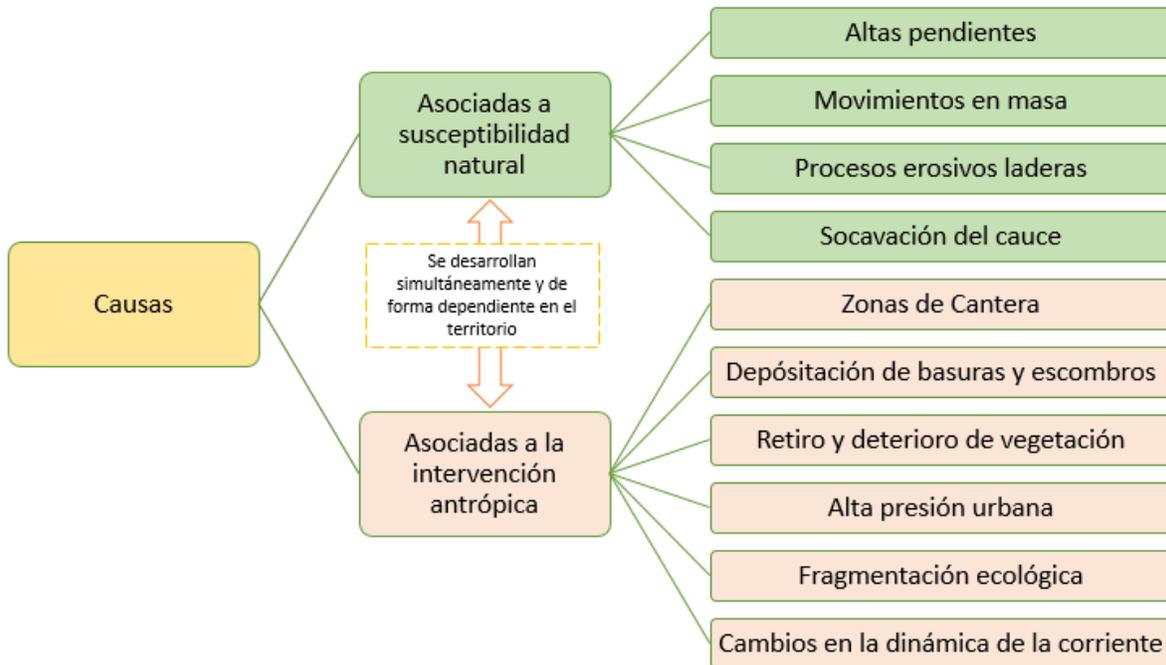
En este contexto y dada su correlación con el estudio técnico antecedente, en la Figura 7 se presenta la clasificación de las causas relacionadas con la ocurrencia de las avenidas torrenciales en la cuenca de la quebrada Limas.

Figura 6. Altas pendientes, canteras y movimientos en masa en cercanías al cauce. Vista panorámica. Coordenadas: 4°33'09.28" N 74°9'17.832" W



Fuente: Elaboración propia (2022).

Figura 7. Clasificación de causas identificadas que guardan relación con la problemática de avenidas torrenciales en la cuenca de quebrada Limas.

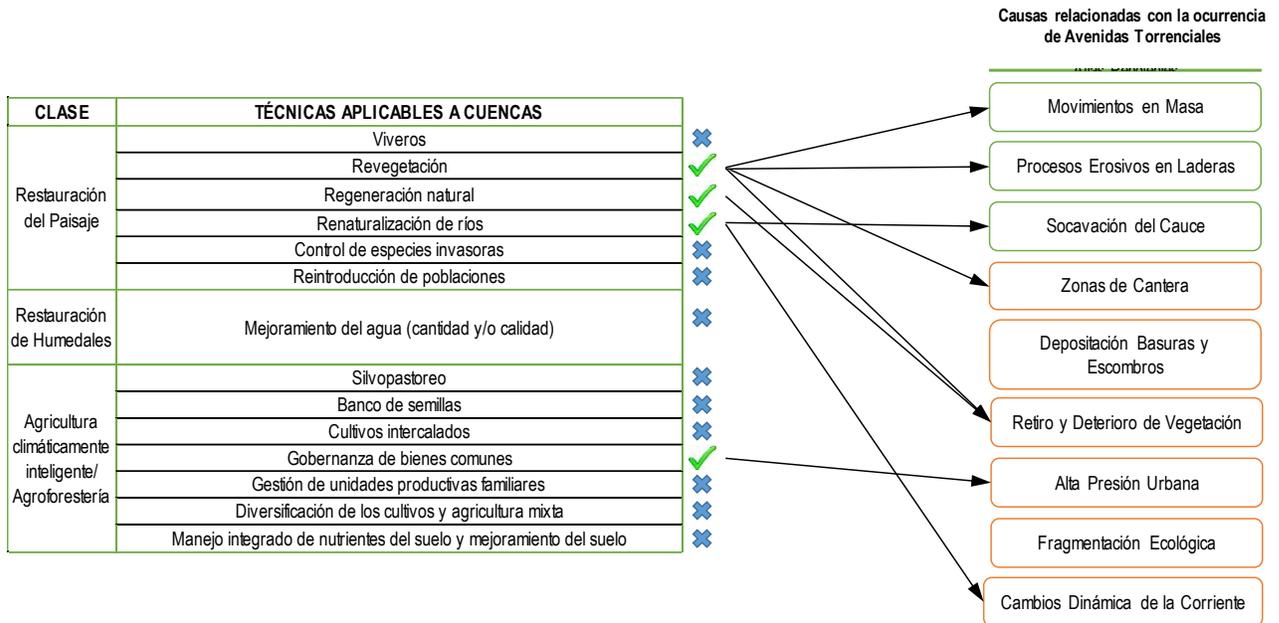


Fuente: Elaboración propia (2022).

Propuesta de SBN que contribuyen a la reducción del riesgo por

avenidas torrenciales en la quebrada Limas.

Figura 9. Correlación entre el portafolio de SBN con enfoque de restauración de ecosistemas y las causas de avenidas torrenciales para la cuenca de quebrada Limas.



Fuente: Elaboración propia (2022).

Restauración de laderas y revegetación: A desarrollar en las zonas de cantera con el objetivo técnico de evitar aportes de materiales estériles al cauce (sedimentos) y abordar la fragmentación ecológica. Por su ubicación pueden integrarse a las áreas de ronda facilitando la restauración ambiental y ecológica; estas obras pueden generar además empleos para habitantes de la zona en el corto, mediano y largo plazo (mantenimiento de la vegetación), y pueden proveer servicios ecosistémicos.

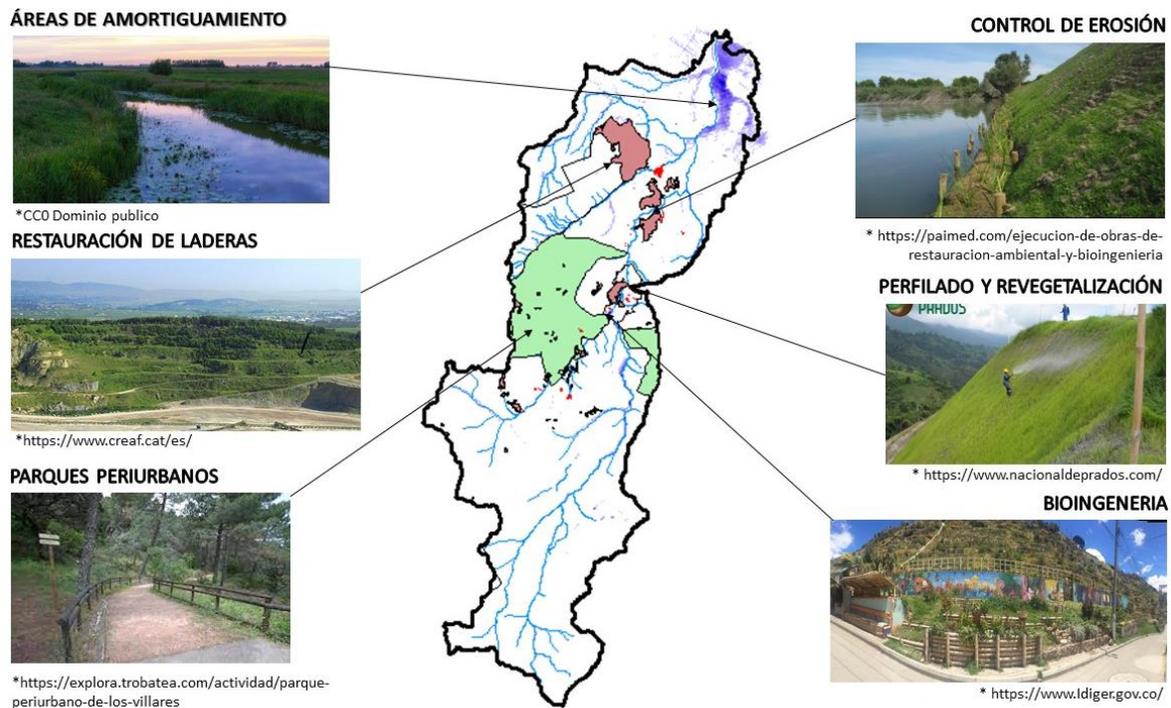
Bioingeniería, obras de control de erosión y estabilización de taludes con manejo de la pendiente y reconformación topográfica: A desarrollar en las áreas de inestabilidad (movimientos en masa) y aporte de sedimentos (erosión). Este tipo de intervenciones contribuyen a la

generación de empleos directos e indirectos.

Áreas de amortiguamiento: A desarrollar en las zonas de depósito de la cuenca baja, buscando recuperar los espacios naturales del agua. Según lo observado en campo, ya se realizaron esfuerzos por reasentar la población con mayor exposición, por lo que las SBN se enfocarán en revegetación natural para proveer servicios ecosistémicos, construcción de corredores de fauna, y mecanismos de fortalecimiento de la gobernanza.

Gobernanza de bienes comunes y apropiación del territorio: Es una SBN transversal a las propuestas anteriores e indispensable para incorporar el bienestar social. En la Figura 10 se representaron esquemáticamente las SBN propuestas para la cuenca.

Figura 10. Propuesta esquemática de SBN para avenidas torrenciales en la cuenca de quebrada Limas.



Fuente: Elaboración propia (2022).

CONCLUSIONES

La recopilación y revisión de documentos permitió identificar que el concepto de SBN se ha trabajado y desarrollado internacionalmente en los últimos seis años y se ha introducido en el contexto nacional con portafolios de medidas y técnicas enfocados hacia la adaptación al cambio climático, la gestión de ecosistemas y la planificación urbana, sin embargo, son pocos los documentos de portafolios de SBN dirigidos a la reducción del riesgo, sin encontrar medidas para escenarios por avenidas torrenciales. La clasificación de medidas relacionadas con movimientos en masa e inundaciones, como eventos que convolucionan para la ocurrencia de avenidas torrenciales, fue el mecanismo para lograr un listado de

SBN aplicables con gran potencial para el manejo de cuenca.

A partir de la susceptibilidad geomorfológica e hidráulica descrita en los estudios detallados se identificaron las principales causas generadoras de avenidas torrenciales en la quebrada Limas, que aunadas a las condiciones sociales y ambientales evidenciadas en territorio, permitieron generar un diagnóstico integral que muestra un intervención de cuenca de forma no planificada y sin control, la cual ha potenciado la susceptibilidad natural permitiendo la configuración de un escenario complejo que conlleva a agravar las dificultades sociales y económicas de la población y aumenta el deterioro paisajístico y ecosistémico.

Las SBN propuestas están basadas en un análisis sistemático de correlación entre las causas del fenómeno y las técnicas aplicables para su intervención, lo que permitió realizar el abordaje de reducción de riesgo de la mano de una gestión integral del territorio como estrategia de desarrollo sostenible. Este proceso metodológico abre la posibilidad de aplicación en otras cuencas que presenten el fenómeno de avenida torrencial ya que permite priorizar las causas de mayor impacto e incorporar las condiciones particulares de cada territorio.

Las SBN identificadas como medidas de reducción de riesgo son una alternativa complementaria a las intervenciones convencionales u obras grises que se han realizado en la cuenca, mostrando que la gestión del riesgo debe propender por la articulación integral entre el ecosistema, las necesidades comunitarias y la planificación territorial, lo que se ve reflejado en el bienestar de los habitantes, así como la reducción de sus vulnerabilidades. Esto requiere impulsar la capacitación y el trabajo interdisciplinar profesional que se traduzca en proyectos que puedan ser implementados por las administraciones locales.

Las SBN planteadas bajo los enfoques de infraestructura y restauración de ecosistemas, se caracterizan por abordar múltiples causas de las avenidas torrenciales y proveer servicios para la población: Los parques periurbanos y los parques y bosques urbanos pueden generar uso

controlado y activo del suelo; la bioingeniería, las obras de control de erosión, la reconformación topográfica y la restauración de laderas abordan la mitigación del riesgo; las áreas de amortiguamiento buscan reducir la exposición; por último y de manera transversal, la gobernanza de bienes comunes y la apropiación del territorio son indispensables para incorporar el bienestar social. Aunque cada SBN aporta a diferentes propósitos, la combinación entre ellas es fundamental para lograr una acción de reducción de riesgo integral en la cuenca.

REFERENCIAS

AFD, IUCN & CEM (2020). Norma Mundial sobre Soluciones basadas en la Naturaleza

Arauz C. y Marzo, M. (2021). Las Soluciones basadas en la Naturaleza como herramienta para mitigar el cambio climático. Institut Cerdà. Barcelona.

Ayazo - Toscano, R & Hernández - Palma, A. 2021. Portafolio de soluciones basadas en la naturaleza (SbN) como mecanismo de mitigación y adaptación al cambio climático en las áreas rurales de Colombia. Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander Von Humbolt.

Camargo, L. 2016. La quebrada Limas como laboratorio para el reconocimiento de los sistemas acuáticos lóticos y su afectación por el impacto antrópico. Tesis de Maestría. Universidad Nacional del Colombia. Bogotá.

Cohen-Shacham, E., G. Walters, C. Janzen & S. Maginnis (eds). 2016. Nature-based solutions to address global societal challenges. Gland, Switzerland: IUCN - Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.

Dirección de Prevención y Atención de Desastres – DPAE. 2003. Diagnóstico técnico de emergencias No. 1836. Bogotá.

Dirección de Prevención y Atención de Desastres – DPAE. 2004. Diagnóstico técnico de emergencias No. 2197. Bogotá.

Figuroa-Arango, C. 2020. Guía para la integración de las soluciones basadas en la naturaleza en la planificación urbana. Primera aproximación para Colombia. Alexander von Humboldt Stiftung, Ecologic Institute, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Berlín.

Fundación CONAMA (2018). Soluciones Basadas en la Naturaleza. Rumbo 20.30, Congreso Nacional del Medio Ambiente, Madrid.

Hernández, R., H., Fernández, C. y Baptista, Pilar. 2014. Metodología de la investigación. McGraw-Hill. Sexta edición.

IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2017. Guía metodológica para la elaboración de mapas de inundación. Bogotá.

IDIGER Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático, 2020.

Evaluación de riesgo por avenida torrencial de la quebrada Limas. Bogotá.

IDIGER Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático, 2021. Análisis de vulnerabilidad física por avenida torrencial en la quebrada Limas. Bogotá.

IDIGER Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático, 2022. Caracterización de escenarios por avenidas torrenciales. En: <https://www.idiger.gov.co/riesgo-por-avenidas-torrenciales>.

IUCN – Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, 2018. Soluciones basadas en la naturaleza. Congreso Nacional del Medio Ambiente, Madrid.

Ilieva, L., McQuistan, C., Van Breda, A., Rodriguez, A., Guevara, O., Cordero, D., Podvin, K. y Renaud, F, 2018. Adaptando soluciones basadas en la naturaleza para la reducción del riesgo de inundación en América Latina.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, MADS.. AbE, Guía de Adaptación al Cambio Climático basada en Ecosistemas en Colombia. Dirección de Cambio Climático, Bogotá.

Lochner, A., Sorolla, A., Mota, B., Rueda, I., Sorolla, G. (2019). Soluciones Basadas en la Naturaleza (NBS) como una nueva manera inteligente de gestionar el urbanismo y la ingeniería clásica. Proyecto Europeo Operandum. Cataluña.

Nieto, O. 2021. Enfoque de Reducción de Riesgo de Desastre basado en Ecosistemas. Aproximación conceptual y metodológica para su implementación en Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Ozment, S., M. Gonzalez, A. Schumacher, E. Oliver, G. Morales, T. Gartner, M. Silva, G. Watson y A. Grünwaldt. 2021. «Soluciones basadas en la naturaleza en América Latina y el Caribe: situación regional y prioridades para el crecimiento». Banco Interamericano de Desarrollo e Instituto de Recursos Mundiales Washington, DC.

Plan de Ordenamiento Territorial – POT. Bogotá Reverdece. 2022-2035. Decreto 555 de 2021. Secretaría de Planeación. Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.

Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático, 2012. ABC: Adaptación Bases Conceptuales, Marco conceptual y lineamientos. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Ramos, A. M., Reyes, A. A., Munévar, M. A, Ruiz, G. L., Machuca, S.V., Rangel, M. S., Prada, L. F., Cabrera, M. Á., Rodríguez, C. E., Escobar, N., Quintero, C. A., Escobar, J. A., Giraldo, J.D., Medina, M. S., Durán, L.,

Trujillo, D.E., Medina, D F., Capachero, C. A., León, D., Ramírez, K. C., Pérez, M. A. 2021. Guía metodológica para zonificación de amenaza por avenidas torrenciales. Servicio Geológico Colombiano y Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.

Samaniego, J., Alatorre, J. y Van Der Borgh, R. 2021. Soluciones basadas en la naturaleza: El potencial de la restauración y conservación de bosques para la adaptación al cambio climático en Centroamérica. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Santiago de Chile.

UVA & AEICE. Catálogo de fichas técnicas de soluciones basadas en la naturaleza (2020). Proyecto INDNATUR. Valladolid.

World Conservation Congress -WCC, 2016. Definición de soluciones basadas en la naturaleza, Resolución-069-SP.

Zucchetti, A, Hartmann, N, Alcantara, T, Gonzales, P, Cánepa, M, Gutierrez, C (2020). Infraestructura verde y soluciones basadas en la naturaleza para la adaptación al cambio climático. Prácticas inspiradoras en ciudades de Perú, Chile y Argentina. Plataforma MiCiudad, Red AdaptChile y KlikHub. Climate & Development Knowledge Network (CDKN). Lima.