

Acevedo, Diana. Valencia, Sergio y Londoño, Yudy (2022). Evaluación de los lineamientos técnicos para la implementación de la bioingeniería de suelos en la intervención sobre retiros de quebradas en la ciudad de Medellín. Cuaderno Activa, 14, 11-29.



Evaluación de los lineamientos técnicos para la implementación de la bioingeniería de suelos en la intervención sobre retiros de quebradas en la ciudad de Medellín

Evaluation of the Technical Guidelines for the Implementation of Soil Bioengineering in the Intervention on Creek Retreats in the City of Medellín

Diana María Acevedo Miranda¹, Sergio Humberto Valencia Hurtado², Yudy Andrea Londoño Cañas³

Tipo de Artículo: Investigación revisión.

Recibido: 7/07/21 **Aprobado:** 9/04/22 **Publicado:** 18/12/2022

Resumen: Los movimientos en masa por erosión en Medellín, producidos sobre los retiros de quebradas, son la consecuencia de las prácticas descontroladas en la explotación del recurso hídrico, lo que se incrementa con el asentamiento de población sobre las zonas de ladera del río Medellín. Desde la Administración municipal de Medellín se han establecido políticas orientadas a la gestión y control del recurso hídrico, así como la ejecución de obras para la intervención del suelo, con el fin de mitigar los fenómenos erosivos. La Secretaría de Medio Ambiente, como entidad municipal encargada, ha venido ejecutando proyectos de obra civil convencional como medida para mitigar el efecto de estos fenómenos erosivos. Sin embargo,

no se han utilizado técnicas de bioingeniería de suelos en este tipo de proyectos. Las técnicas de bioingeniería permiten la estabilización de suelos bajo procedimientos de revegetalización del terreno intervenido. Con el presente trabajo se busca proponer los lineamientos técnicos que permitan a los profesionales de la Secretaría de Medio Ambiente evaluar la factibilidad para desarrollar proyectos basados en las técnicas de bioingeniería de suelos aplicadas a la intervención de las problemáticas identificadas sobre los retiros de quebradas, como alternativa amigable con el ambiente, mediante criterios técnicos que permiten evaluar la viabilidad y efectividad de la obra que se va a ejecutar.

1 Especialista en prevención y atención de desastres naturales. Tecnológico de Antioquia, Institución Universitaria. Colombia, Medellín. acvdomr@gmail.com

2 Profesor Investigador. Tecnológico de Antioquia, Institución Universitaria. Colombia, Medellín. sergio.valencia@tdea.edu.co. ORCID: 0000-0002-1165-1795

3 Profesora Investigadora. Tecnológico de Antioquia, Institución Universitaria. Colombia, Medellín. yudy.londono@tdea.edu.co. ORCID: 0000-0001-8981-4067

Palabras clave: Movimientos en masa, retiros de quebradas, obras civiles de intervención, bioingeniería de suelos.

Abstract: The mass movements that have occurred on the withdrawals of gulches are the consequence of the uncontrolled practices in the exploitation of the water resource and the settlement of population in the city on the slopes of the río Medellín. The Municipal Administration of the city of Medellín has established policies aimed at the management and control of the city's water resources, as well as the execution of works for the intervention of soil to mitigate erosive phenomena. The Secretaría de Medio Ambiente, as the municipal entity in charge, has been implementing conventional civil works projects as a measure to mitigate the effect of these erosive phenomenon. With the present work, the aim is to propose technical guidelines that allow professionals from the Ministry of the Environment, to evaluate the feasibility of developing projects based on soil bioengineering techniques applied to the intervention of the problems identified with regard to creek withdrawals, as an environmentally friendly alternative, given that soil stabilization is achieved under revegetation procedures of the intervened land, which must be based on technical criteria that allow evaluating the feasibility and effectiveness of the work to be executed.

Keywords: Medellín, mass movements, río Medellín, creek removals, civil intervention works, soil bioengineering.

I. Introducción

La ciudad de Medellín, dados su localización geográfica, su ecosistema y los procesos de desarrollo comercial y social que se desarrollaron a principios del siglo XX, se convirtió en un polo de atracción poblacional. Esto desencadenó una transformación del espacio urbano en virtud del aprovechamiento de los recursos naturales, especialmente del río Medellín y sus quebradas afluentes como fuentes de agua para el consumo humano y el aprovechamiento industrial.

Los cauces de las quebradas se convirtieron en el eje del desarrollo poblacional; sin embargo, las prácticas de ocupación del espacio y el aprovechamiento del agua por parte de los habitantes de la ciudad llevaron a un progresivo deterioro de los espacios naturales.

Una de las consecuencias del deterioro de espacios naturales es la erosión, que ocurre cuando las partículas de suelo son separadas por las acciones del agua y del viento. El material erosionado queda suspendido en el agua y se sedimenta cuando encuentra las condiciones adecuadas. La erosión del suelo ocasiona desastres naturales [1] en que toneladas de suelo pueden ser lavadas y llevadas corriente abajo.

En general, el lecho de un río está formado por material no cohesivo de diferente tamaño: arenas, gravas, bolos, entre otros. En condiciones ordinarias, dicho material se encuentra en equilibrio, pero durante las crecidas, cuando el caudal sobrepasa el valor crítico de comienzo de arrastre, las partículas del fondo son transportadas por las aguas y el caudal sólido crece simultáneamente con el líquido.

Esta situación se está presentando sobre los retiros de las quebradas en la jurisdicción del municipio de Medellín. Este deterioro de espacios naturales de la ciudad ha generado una gran preocupación, por lo que la Administración municipal tiene el interés de establecer políticas de control sobre los recursos no renovables, especialmente la intervención que se está llevando a cabo sobre las quebradas y vertientes, con el fin de establecer medidas para la administración, mantenimiento y distribución de las aguas [2].

La Secretaría de Medio Ambiente realiza intervenciones en estas quebradas, mediante mantenimiento y obra nueva en los cauces, con la finalidad de prevenir situaciones de riesgo y buscar proteger los canales hidráulicos. Estas intervenciones están clasificadas con problemáticas asociadas a coberturas, canales deteriorados, desbordamientos o inundaciones, desvíos de fuentes hídricas, residuos sólidos, estructuras colapsadas, hundimientos de vías, andenes o pisos, insuficiencia de capacidad hidráulica,

invasiones de retiro, obstrucciones, movimientos en masa (socavación/erosión), entre otros [2].

Las intervenciones, por lo general, detallan aspectos como localización, objetivos, descripción del sitio de estudio, estudio hidráulico, evaluación de condiciones existentes, evaluación de alternativas, descripción de obras, cálculos, cantidades de obra, presupuesto y evaluaciones a futuro.

Las intervenciones son realizadas mediante actividades con personal propio o por contratación pública, de acuerdo con los requerimientos y especificaciones planteadas por los profesionales (ingenieros civiles, ambientales, sanitarios, hidráulicos y geólogos).

Las necesidades de intervención son consignadas, en primer lugar, en una ficha técnica. Luego se desarrollan estudios previos y pliegos de condiciones (cuando es por contratación) para ejecución de obras civiles convencionales, según la evaluación y priorización de las situaciones a intervenir. En la actualidad, las intervenciones incluyen únicamente soluciones netamente civiles, lo que deja de lado las posibilidades de desarrollo de otras alternativas [3].

La bioingeniería presenta un conjunto de técnicas que ofrecen soluciones a problemas de inestabilidad en masas de suelo, donde los ingenieros pueden encontrar un complemento adecuado a las técnicas tradicionales de estabilización que normalmente se utilizan en la ingeniería civil. Estas técnicas de bioingeniería llevan a la implementación de materiales naturales que cumplen con normativas técnicas específicas de acuerdo con su funcionalidad, resistencia, contención, rehabilitación, bajos costos, entre otros factores.

En obras civiles de construcción se utilizan las plantas como elementos estructurales para enfrentar problemas de erosión, protección, estabilización y restauración de laderas. Estas se convierten en refuerzo mecánico, drenajes hidráulicos y barreras vivas para mitigar estos fenómenos asociados al uso del suelo [4].

A diferencia de las técnicas convencionales de construcción, la bioingeniería se fundamenta en la relación que debe existir entre las características y condiciones del suelo con el clima, la flora y la fauna, la infraestructura y los seres humanos. Las diferentes aplicaciones de esta técnica muestran que la bioingeniería tiene grandes ventajas en su utilización, especialmente en la estabilización de procesos avanzados de degradación a un corto plazo, mediante obras sencillas y amigables con el medio ambiente y a un bajo costo en relación con los de las obras ingenieriles convencionales de concreto. Además, con el paso del tiempo, estas obras, con las que se instrumentaliza la vegetación presente en el entorno, permiten lograr mayor estabilización del suelo y un proceso de revegetalización más eficiente, con lo que se reduce el impacto ambiental negativo [5].

Según lo anterior, en la Secretaría de Medio Ambiente de Medellín es necesario incluir y fortalecer estas técnicas de bioingeniería, para que sean contempladas en los procesos de intervención y se prioricen alternativas diferentes a las obras convencionales.

Con el presente trabajo se busca proponer los lineamientos técnicos con bioingeniería, mediante propuestas de criterio a evaluar, que permitan a los profesionales de la Secretaría de Medio Ambiente identificar y evaluar la factibilidad para desarrollar proyectos de bioingeniería que lleven a intervenir las problemáticas identificadas en las quebradas, principalmente las relativas a invasiones de retiro y movimientos en masa, que están asociadas a procesos de socavación o erosión.

II. Marco teórico

Colombia cuenta con una enorme riqueza en fuentes de agua, pero se han presentado dificultades en cuanto al acceso y disposición del recurso. Esto se debe a las malas prácticas destinadas al aprovechamiento del recurso, con su progresivo agotamiento y la degradación del suelo, que lleva a fenómenos relacionados con la erosión. Los estudios técnicos sobre la materia establecen que la oferta del recurso agua se ve afectada por los procesos de degradación de

las cuencas, por la disminución progresiva de la regulación natural del régimen hidrológico, que hace más prolongados los períodos de estiaje y mayores las crecientes [6].

Para la intervención sobre las quebradas en las que se identifica degradación del suelo, se cuenta con el soporte normativo e institucional: el ordenamiento de cuencas hidrográficas, aspecto fortalecido en la Ley de Desarrollo Territorial de 1997; además, la normativa que reglamenta el manejo de las cuencas hidrográficas (Decreto 1729 de 2002), que le da una especial importancia al ordenamiento ambiental y a su incorporación en los Planes de Ordenamiento Territorial. Por otro lado, las autoridades ambientales tienen responsabilidades de elaboración y asesoría, orientadas a la gestión integral del recurso agua.

En la Tabla 1 se muestran los diferentes planes que establecen la Política para la Gestión Ambiental y Territorial del Recurso Hídrico que existen en Colombia.

Tabla 1. Instrumentos de planeación relacionados con el recurso hídrico.

Elaborar	Asesorar y concretar
Plan de Gestión Ambiental Regional (PGAR)	No tiene plan asociado para estas actividades
Plan de Acción (antes Plan de Acción Trienal PAT)	Planes de Ordenamiento Territorial (POT)
Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA)	No tiene plan asociado para estas actividades
Planes de Ordenamiento del Recurso hídrico (PORH)	Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV)
Planes de Ordenación Forestal (POF)	No tiene plan asociado para estas actividades
Planes de Manejo (PM) de los ecosistemas más importantes en su jurisdicción (humedales, páramos, manglares, entre otros)	No tiene plan asociado para estas actividades

Fuente: Elaboración propia (2021)

Bioingeniería para intervenir las problemáticas identificadas en las quebradas

La bioingeniería se basa en la utilización de las plantas como elementos estructurales para enfrentar problemas de erosión, protección, estabilización y restauración de laderas. Estas se convierten en refuerzo mecánico, drenajes hidráulicos y barreras vivas para mitigar estos fenómenos asociados al uso del suelo [7]. Además, con el paso del tiempo, estas obras, con las que se instrumentaliza la vegetación presente en el entorno, permiten lograr mayor estabilización del suelo y, consecuentemente, un proceso de revegetalización más eficiente, con lo que se reduce el impacto ambiental negativo [8].

El uso de plantas o material vegetal, solo o en conjugación con materiales inertes, tiene gran utilidad para controlar problemáticas de erosión de suelos y movimientos de tierra, cumpliendo funciones de ingeniería integradas con principios ecológicos, razón por la cual puede considerarse como una rama especializada de la estabilización biotécnica [9].

Existe una escasa implementación de la bioingeniería. Asimismo, los métodos de bioingeniería no han tenido una amplia trayectoria en materia de investigación, diseño e implementación en relación con las prácticas convencionales en obras civiles aplicadas en la intervención de los problemas geotécnicos. Sin embargo, esto no los hace menos importantes, ya que pueden brindar soluciones económicas en comparación con los métodos habituales, con un menor impacto ambiental [10].

Respecto a la intervención del suelo con el propósito de mitigar los efectos nocivos relacionados con su aprovechamiento productivo, el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de España diseñó una guía procedimental aplicable a los caminos naturales (férreo, forestal, agrícola) en los que se presenten desprendimientos o movimientos de tierra. Se llevará a cabo la intervención aplicando soluciones estructurales que contemplen las técnicas de integración ambiental (bioingeniería), con el propósito de restablecer la estabilidad y el periodo de vida de cada proyecto.

En el *Manual de Aspectos Constructivos de Caminos Naturales* el Gobierno español formuló los criterios sobre los cuales debe basarse el conjunto de iniciativas orientadas al restablecimiento de la geometría de los taludes, las cuales deben contemplar que los elementos de protección y contención deberán estar integrados en el paisaje mediante el uso de técnicas blandas propias de la bioingeniería, como plantaciones de cobertura, fajas, hidrosiembras, entre otras, que deberán primar, siempre que sea posible, sobre tratamientos duros basados en estructuras (de hormigón, mampostería, gaviones, etc.) o técnicas mixtas, donde se mezclan estructuras con plantaciones [11].

La mitigación de los riesgos asociados con la pendiente y la exposición e inestabilidad de las laderas constituyen medidas que se encuentran en función de la puesta en marcha de una política orientada a la reparación de suelos y la recuperación de caminos y de paisajes naturales. Estas disposiciones privilegian la construcción de estructuras formadas por materiales existentes en la zona, que sean duraderos y que exijan bajos costes de ejecución y mantenimiento.

III. Antecedentes

Cuenca del río Medellín

Se encuentra localizada sobre una depresión profunda y alargada, que forma parte de la Cordillera Central, conocida como el Valle de Aburrá. Allí nace el río Medellín, en el Alto de San Miguel, ubicado al suroriente del municipio de Caldas (Antioquia) a una altura de 2.700 m s.n.m., donde se conforman varios afloramientos de las quebradas La Vieja, La Moladora y Santa Isabel. El territorio cubre un área de 710 ha, que, unido con las quebradas La Mina, La Salada y La Clara, dan origen al río Medellín. Esta cruza diez municipios del departamento de Antioquia: Caldas, La Estrella, Sabaneta, Itagüí, Envigado, Medellín, Bello, Copacabana, Girardota y Barbosa, los cuales conforman el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Su desembocadura alcanza el río Grande en Puente Gabino, lugar en el que convergen las aguas del río Porce [12].

Para la ciudad de Medellín, el río ha sido un referente natural y paisajístico, tanto para sus habitantes como para visitantes. Así mismo, sus corrientes venían siendo aprovechadas como fuente para el uso y consumo de la población. Sin embargo, durante el siglo XX se produjo una acelerada expansión demográfica, que se expresó en la ocupación del espacio urbano mediante la construcción de numerosas viviendas. Esto tuvo un impacto negativo sobre el recurso hídrico por las condiciones inadecuadas para su manejo y uso. A causa del auge industrial y comercial y la ocupación descontrolada de las franjas de terreno alrededor de las quebradas, el río Medellín pasó de ser un referente paisajístico a convertirse en un problema de salubridad para la ciudad [2]. En esta medida, se hizo urgente la intervención de las autoridades municipales y, para la década de 1940, ya se hablaba de los primeros proyectos de alcantarillado y la canalización del río Medellín.

El suelo, el agua y los recursos naturales en la política pública

Ha sido una necesidad apremiante establecer unas reglas de juego en las que se regule la relación integral entre lo físico, lo espacial, lo ambiental y lo económico con los aspectos sociales y culturales del territorio. Aparece así el ordenamiento territorial, que consiste en una carta de navegación que establece las herramientas y los criterios para llevar a cabo la gestión integral del territorio, con carácter de obligatoriedad [13].

Para la gestión del medio ambiente y el manejo de los recursos naturales, se creó el Sistema Nacional Ambiental (SINA), mediante la promulgación de la Ley 99 de 1993.

Ante la necesidad de regular el impacto de las obras públicas, las actividades extractivas o productivas que puedan producir deterioro grave de los recursos naturales renovables o del ambiente o introducir modificaciones considerables o notorias al paisaje, será necesario el estudio ecológico y ambiental previo y, además, obtener licencia, según lo estipulado en el Decreto 2811 de 1974, en el artículo 28°.- Derogado por el art. 118, Ley 99 de 1993. Así mismo, precederán estudios

ecológicos y se adelantarán según las normas sobre protección y conservación de suelos.

Con el documento CONPES 3550 de 2008 se definen los lineamientos generales para fortalecer la gestión integral de la salud ambiental orientada a la prevención, manejo y control de los efectos adversos en la salud resultado de los factores ambientales, como base para la formulación de la Política Integral de Salud Ambiental.

Mediante el artículo 129 del Decreto 364 de 2013, se estableció que las estrategias para el manejo, conservación y restauración de los ecosistemas serán el resultado del diagnóstico y la planificación, asegurando que estos continúen prestando los servicios que permiten a las personas adaptarse a los impactos del cambio climático. La adaptación basada en los ecosistemas tiene como meta aumentar la resistencia y reducir la vulnerabilidad de los ecosistemas y las personas ante el cambio climático, implementación prioritaria de estrategias de bioingeniería, renaturalización urbana y gobernanza y recuperación de los espacios del agua, para restablecer servicios ecosistémicos y ambientales que aumenten la resiliencia de la ciudad.

Con el propósito de establecer las herramientas con las cuales el Estado cuenta, en materia política y legal, para llevar a cabo la gestión integral del suelo y dotarse de las herramientas necesarias para aplicar medidas de control, se cuenta con un espectro normativo compuesto, en primer lugar, por los artículos de la Constitución Política de Colombia referentes a los derechos colectivos y del ambiente (Arts.78-81). Especialmente, en el artículo 80 se establece que el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales deberá ser producto de la planificación estatal, con el fin de garantizar su conservación, restauración o sustitución, la cual deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados [14].

Asimismo, en lo relativo al manejo e intervención de suelos, se tiene la Resolución 0170 de 2009 del Ministerio de Medio Ambiente (se declara como año nacional del suelo y el 17 de junio

como su día conmemorativo, Promoción de iniciativas dirigidas a la conservación, protección, restauración, recuperación y rehabilitación de los suelos), así como la Ley 1469 de 2011 (Oferta de suelo urbanizable), la Ley 1523 de 2012 (Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres), la Ley 1551 de 2012 (funcionamiento de los municipios) y la Ley 1625 de 2013 (Régimen Áreas Metropolitanas).

En los espacios urbanos en cuanto a la relación entre el uso del suelo y recursos hídrico, existe un conjunto normativo en el que se establecen los criterios para el uso, explotación, intervención, así como la conservación de cuencas como elemento fundamental de la planeación territorial. Como base fundamental para este trabajo, se cuenta con el Acuerdo 048 de 2014, en el cual se dispone de elementos técnicos y conceptuales sobre el Plan de Ordenamiento Territorial de la ciudad, relacionado con las características ecológicas y los elementos de la hidrografía urbana. En primer lugar, define la estructura y dinámica del ecosistema en función de los beneficios que brinda para la explotación económica y el aprovechamiento para la satisfacción de las necesidades vitales de sus habitantes [10]. Es preciso establecer claridades con respecto al recurso hídrico y su estructura compuesta por las quebradas y humedales con sus respectivas franjas sobre ambos lados de los cauces, las cuales constituyen un tipo especial de suelo dada su susceptibilidad a la inundación, por lo cual se precisa de intervenciones constantes.

La columna vertebral del sistema hidrográfico de la ciudad es el río Medellín, con sus corrientes naturales que recorren el suelo urbano, convirtiéndose en el eje principal de la expansión urbana. Sus corredores principales son las quebradas Santa Elena, Piedras Blancas, La Iguaná, Doña María, Ana Díaz, La Picacha, Altavista, La Guayabala y La Presidenta.

Cabe anotar que, dentro de la estructura hídrica, existen aquellos ecosistemas localizados en áreas donde las aguas se encuentran en la superficie terrestre o cerca de ella o donde los suelos están cubiertos por aguas poco profundas, conocidos como humedales. En la jurisdicción de Medellín

se encuentran la Laguna de Guarne, el Humedal Romeral, el lago del Parque Norte, el Embalse Piedras Blancas y el lago del Jardín Botánico. En estos sitios están completamente restringidas todas las actividades de aprovechamiento económico y urbanístico, salvo que se hayan adelantado estudios técnicos de factibilidad por parte de la autoridad competente [15].

Las franjas alrededor de los cuerpos de agua, denominadas retiros de quebradas, son el escenario en el que se generan las dinámicas de uso y ocupación del espacio, produciéndose fenómenos relacionados con la inestabilidad del suelo. Debido a las características de su localización y al sobrepoblamiento de estas zonas, están contempladas en el documento de revisión y ajuste al Plan de Ordenamiento Territorial. En este documento se establecen medidas de protección y control sobre estas zonas, con el fin de reducir y mitigar los riesgos de desbordamientos e inundaciones, vigilar e intervenir con el fin de estabilizar el terreno colindante de movimientos en masa y acondicionar el terreno como espacio público y para el aprovisionamiento de redes de servicios públicos [10].

Las áreas que han sido identificadas retiros de quebradas son objeto de protección, tanto de las características de su ecosistema como del recurso presente en los cuerpos de agua, de acuerdo con lo que se disponga en la planificación y organización territorial del municipio. Estas áreas se establecen para garantizar la permanencia de las fuentes hídricas naturales; por lo tanto, no podrán edificarse, ya que su fin es la protección, el control ambiental y el constituirse como faja de seguridad ante amenazas hídricas [10]. Las acciones de intervención sobre estos espacios deberán procurar la conservación, recuperación y regulación del caudal del agua y, en los casos de los nacimientos de aguas, exigen que se preserven o se restablezcan las especies de plantas, flora y fauna nativas. Al respecto, se establece que, en los espacios urbanos, los retiros de quebradas deben contar con delimitación para la protección de sus áreas, las cuales son variables teniendo en cuenta las pendientes del terreno, la valoración ambiental y paisajística, si cuentan con áreas protegidas o áreas naturales únicas reconocidas por el Sistema

de Parques Nacionales, si cuentan con los lugares reconocidos por la comunidad o determinados por expertos como balcones o miradores tanto del paisaje urbano como natural, o bien si en el lugar se localizan elementos de valor arqueológico y edificaciones de valor patrimonial y cultural [16].

Pese a los condicionamientos mencionados, el Acuerdo 048 de 2011 establece que podrán ejecutarse acciones sobre los yacimientos y retiros que componen la red hídrica de Medellín siempre y cuando sea definido un insumo técnico que defina el procedimiento, las herramientas y las condiciones, que esté incorporado al POT municipal y ajustado a la Ley 1450 de 2011, así como a las disposiciones establecidas en el Decreto 2811 de 1974 y a la Ley 99 de 1993.

Un aspecto que merece especial atención en el documento de revisión y ajuste al POT es la amenaza, prevención y gestión del riesgo por fenómenos relacionados con la degradación del suelo. Inicialmente, se identifican unas áreas de prevención del riesgo sobre movimientos en masa, las cuales son definidas como aquellas relacionadas con los ecosistemas naturales y seminaturales que contribuyen con la prevención de daños ocasionados por las amenazas.

Las áreas de amenaza y riesgo son aquellas que, por el carácter de su suelo, requieren de planes y mecanismos de protección, es decir, aquellas en las que se ha identificado un peligro de que se produzcan movimientos físicos de origen natural, como inundaciones, avenidas torrenciales o movimientos en masa, originados por la acción humana sobre el suelo, los cuales pueden ocasionar 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. Este estudio se ocupa, especialmente, de aquel fenómeno en el cual un volumen considerable de suelo, rocas, tierra o escombros se desplaza sobre las laderas por efecto de la gravedad.

Siguiendo las definiciones establecidas en el documento de soporte técnico, se identifican unas zonas de amenaza de movimientos en masa

de acuerdo con su localización, características y condiciones topográficas y climáticas. Lo anterior deberá estar determinado con base en las especificaciones técnicas que partan de lo dispuesto por la autoridad municipal y deberá estar en concordancia con lo establecido tanto en el Acuerdo 048 como en el Decreto Ley 019 de 2012 y en el Decreto Nacional 1807 de 2014, del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, o en las normas que los modifiquen o sustituyan.

Dentro de la normatividad municipal, respecto al sistema hídrico, el manejo de los ríos, quebradas y otros cuerpos de agua y sus contornos, estos son considerados de acuerdo con la funcionalidad que cumplen dentro del ecosistema urbano y, por lo tanto, lo que se determina sobre su uso, conservación e intervención debe realizarse bajo la consideración de espacios públicos. Con este propósito, se establecen unas categorías en las que se encuentran, en primer lugar, aquellos destinados a la protección y conservación del recurso hídrico, garantizando el goce y disfrute de los atributos ambientales y paisajísticos, conocidos como ecoparques de quebrada; en segundo lugar, se encuentran aquellas zonas en las cuales existe alto riesgo por movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales por haber sido objeto de procesos de asentamientos humanos, las cuales deben ser intervenidas y adecuadas como espacio público.

En este sentido, se fijan criterios según los cuales se deben llevar a cabo las actividades de intervención sobre estos espacios: tomar, como punto de partida, estudios técnicos (hidrológicos, hidráulicos, geomorfológicos y geotécnicos) que tengan impacto favorable en materia social, ambiental y urbanística; poner en marcha estrategias orientadas por el restablecimiento de las condiciones naturales de los cuerpos de agua y sus cauces; ejecutar obras hidráulicas de carácter blando o intermedio. Los procedimientos en los cuales se implemente la bioingeniería de suelos sobre los retiros de quebradas deberán estar orientados a la restauración del suelo y a las condiciones hidráulicas de los lechos, así como a características naturales de los cauces de las quebradas. Otros criterios son: realizar estudios de impacto y apropiación social, ambiental

y urbanística que evalúen y determinen la adecuación o reubicación en el área de influencia de los equipamientos existentes en la faja de retiro; conservar y mejorar la cobertura vegetal existente con vegetación nativa en las fajas de los retiros a corrientes de agua (estas especies estarán acordes con las disposiciones del Manual de Silvicultura Urbana); realizar obras de estabilización de taludes cuando el retiro de las quebradas presente condiciones inseguras para la ejecución del espacio público, e implementar acciones de revegetalización de los retiros y áreas adyacentes a las quebradas.

En Colombia se han adelantado exploraciones y estudios de aplicabilidad sobre los fenómenos asociados con los movimientos en masa y el diseño de alternativas para el control de la erosión, expresados en una serie de productos académicos desde el campo de la ingeniería y las ciencias aplicadas. El trabajo de López [4] consiste en un resumen analítico sobre el estado del conocimiento y la aplicación de la bioingeniería en Colombia, en el cual se tienen en cuenta los resultados producidos y las experiencias en la mitigación de los problemas erosivos, el manejo de aguas en pendientes y la estabilización de laderas de los cauces en los campos y ciudades del país. En las principales consideraciones planteadas en este trabajo, se plantea que ciertas partes de las plantas sirven como elementos mecánicos a la estructura principal en los sistemas de protección de laderas y, con el tiempo, las raíces de las plantas incrementan el refuerzo mecánico por la mayor cohesión del suelo, disminuyen la presión de poros mediante la evapotranspiración e incrementan la resistencia de este al cortante tangencial y, con ello, la estabilidad del terreno.

Técnicas de bioingeniería

Estas estructuras, con el paso del tiempo, se convierten en refuerzo mecánico, drenaje hidráulico y barreras para prevenir y contener la erosión y los movimientos masales. En contraste con las prácticas convencionales de obra civil implementadas, la bioingeniería ofrece enormes bondades en términos de adaptabilidad al medio y genera procesos de estabilidad por medios naturales, lo que la convierte en una alternativa sostenible.

En este orden de ideas, las técnicas de bioingeniería cuentan con las condiciones técnicas y materiales necesarias para llevar a cabo su implementación como alternativa a las obras civiles, especialmente sobre retiros de quebradas, dado que instrumentalizan los elementos existentes en el entorno para mitigar y controlar la erosión.

En términos generales, los problemas de erosión y movimientos en masa son controlados tradicionalmente mediante obras mecánicas de ingeniería convencional demasiado costosas, que en ocasiones pueden superar el costo del terreno a intervenir, lo que lleva a preferir su abandono antes que realizar cualquier práctica que contrarreste el proceso de degradación. Por lo anterior se hace necesario que surjan alternativas que no desestimen su ejecución por los altos costos que acarrearán y se adopten técnicas de bioingeniería como una solución viable a los problemas presentes. Dado que los elementos presentes en el entorno natural constituyen el sustrato material para llevar a cabo los procesos de restauración ecológica y la rehabilitación del suelo, resulta viable definir estrategias de intervención, diseño, evolución y tratamiento aplicadas a suelos y agua con base en la bioingeniería. En la Tabla 2 se presentan las principales particularidades de la bioingeniería de suelo y agua.

Tabla 2. Particularidades de la bioingeniería de suelos y agua.

Característica	Transformación	Tiempo
Elemento de refuerzo	Plan raíces	Mediano y largo plazo
Materiales biodegradables	Deterioro: cambian sus propiedades mecánicas con el tiempo.	Largo plazo
Rol estabilizador	Material inerte	Inicial
	Plantas	Final
Soluciones de bioingeniería de suelos y aguas	Los sistemas generados son complejos y autoorganizados.	Permanente
El proceso de diseño no es al inicio de la intervención.	Necesita retroalimentación.	Monitoreo y mantenimiento

Fuente: [16]

El diseño de soluciones efectivas con técnicas de bioingeniería hace necesario tener en cuenta la evolución de los materiales. Esto se debe a que las plantas crecen, mientras que los elementos inertes se deterioran, alternando el rol estabilizador entre ambos materiales. La Tabla 3 ilustra las técnicas definidas para el manejo de taludes y su utilidad según problemáticas o situación.

Tabla 3. Técnicas definidas para el manejo de taludes.

Técnica	Característica	Uso
Estaquillado	Pequeños deslizamientos y asentamientos	Exceso de humedad
Faginas	Manojos de ramas y tallos atados en forma de huso	Zanjas poco profundas
Esteras de matorral	Recubrimiento de la superficie del talud con una capa gruesa de ramas atadas y entrelazadas a modo de colchón o estera, o extendidas sobre el terreno y ancladas	Orillas de ríos y arroyos
Escalones de matorral	Ramas en dirección perpendicular al perfil del talud en zanjas o entre capas sucesivas de tierra, de manera que formen una especie de terrazas	Disminuye la longitud efectiva de la pendiente y la capacidad erosiva de la escorrentía.
Estructuras de tierra reforzada	Es igual a escalones de matorral, alternando capas de tierras y ramas de poco espesor con capas mucho más gruesas de tierras de relleno envueltas en un geotextil	Capas de tierras actúan como un muro de contención, sujetando el talud. Cuando las ramas arraigan, forman masa sólida y penetran el talud anclando firmemente toda la estructura.

Fuente: [4]

Con base en el análisis del caso ecuatoriano, en el marco del proyecto Estimación de Vulnerabilidades y Reducción del Riesgo de Desastres a Nivel Municipal en el Ecuador [17], la Secretaría Nacional de Gestión del Riesgo publica el *Manual de Ingeniería Naturalística*, en el cual se establecen los ámbitos de análisis para un diseño

de una obra de ingeniería naturalística, dando la pendiente y tipo de intervención que se puede realizar. En la Tabla 4 se presentan los tipos de intervención relacionados con la inclinación del terreno (pendiente).

Tabla 4. Pendiente y tipo de intervención.

Pendiente	Tipo de intervención
0°-20°	Nada Siembras Hidrosiembras Plantación de estacas o arbustos
20°-37° / 40° M	Mantas orgánicas con siembra (o hidrosiembra) y, eventualmente, plantación de estacas o arbustos
27°-40° / 45° F	Fajas vivas, lechos de ramaje vivos, peldaños de leña, empalizadas
45°-50° / 55°	Emparrillados vivos Entramado de madera
50° / 55°-60°	Tierras reforzadas

Fuente: [17]

Descripción analítica de la bioingeniería de suelos en Colombia y Medellín

El suelo constituye el elemento esencial que se encuentra presente en todos los espacios y ecosistemas, en los cuales se conjugan diferentes factores como la flora, la fauna, el clima, grupos sociales y procesos económicos que determinan su disposición como medio y recurso. En esta medida, la conjugación de todos estos factores lo expone a la degradación. Esta degradación se presenta tanto en su estructura y características ecosistémicas como en su capacidad para la recepción y regulación de aguas, debido al grado de precipitación y a las diversas prácticas de ocupación, uso y explotación económica. Con base en la mecánica de suelos, se hace posible identificar y determinar variables como la deformación del suelo, los cambios de las presiones totales, la presión de poro o la respuesta frente a perturbaciones dinámicas. Los fenómenos o deformaciones del suelo se producen, entonces, cuando se altera la dinámica del agua y el aire, así como otros elementos sólidos como fragmentos de roca y arena, identificados como material

parental, sobre los cuales el tiempo, el relieve y el clima alteran su estructura.

Resulta preocupante que, debido a las prácticas inadecuadas en el aprovechamiento de los suelos, en la mayor parte de los territorios se ha venido produciendo una pérdida paulatina del soporte natural, cuya recuperación exige de una intervención planeada que esté orientada a la recuperación sistemática de las condiciones orgánicas del suelo, aplicando técnicas que tengan en cuenta las particularidades o la geología, el clima, las actividades antropogénicas, la fauna y la flora presentes en los diferentes territorios. En los últimos años se ha producido en el país una serie de políticas orientadas a la gestión sostenible del suelo, entre las que se encuentran la del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [18], [19], y el IDEAM [20].

Para esta investigación se tienen en cuenta los estudios sobre los procesos erosivos, taludes y movimientos en masa que tienen lugar en diferentes escenarios donde se llevan a cabo actividades extractivas, agropecuarias o procesos de urbanización. En el análisis de los procesos de desarrollo económico y la dinámica de poblamiento en la ciudad de Medellín, los estudios han revelado que estos han estado ligados con el río Medellín, convirtiéndolo en el eje estructurante de la organización y disposición del territorio en función del recurso hídrico. Esto ha tenido repercusiones sobre el paisaje de la ciudad y, especialmente, sobre el suelo presente en las cuencas de este cuerpo de agua. Esto ha suscitado el interés por parte de Administraciones municipales y de los organismos de control por llevar a cabo acciones para mitigar y prevenir el impacto sobre las condiciones del suelo que han desencadenado en movimientos en masa en terrenos aledaños a los retiros de quebradas, causando perjuicios sobre la población que allí habita e impidiendo la disponibilidad y el aprovechamiento de los recursos ecosistémicos presentes en el espacio urbano. Para el caso de la ciudad de Medellín, se tiene como referente el trabajo de González y Ortiz [21], en el que se describe el proceso de intervención de la cuenca de la quebrada La Mansión, así como el trabajo de Betancur [2], en el que se examina el papel de

la Administración municipal en la intervención y gestión del espacio y los recursos naturales ligados con del río Medellín.

De acuerdo con el propósito de esta investigación, se contemplan los estudios en los cuales se analiza la bioingeniería aplicada a los fenómenos relacionados con la degradación del suelo, considerando sus bondades, procedimientos y aplicabilidad en la mitigación y regeneración eficiente del suelo, partiendo de la consideración del suelo como el recurso térreo por excelencia y constituye la base fundamental de las obras de ingeniería. Su clasificación depende de sus propiedades y características, tales como granulosis, plasticidad y humedad, las cuales se determinan a partir de la aplicación de estudios técnicos que permiten determinar el estado y la viabilidad de la obra que se pretende llevar a cabo, teniendo en cuenta que la estabilidad del suelo está directamente relacionada con la conservación de los elementos naturales presentes en el terreno, ya que en las áreas donde los suelos están desprovistos de vegetación se presentan ciclos de secado y humectación severos que hacen perder algunas propiedades del suelo, así como su funcionalidad y estabilidad como estructura dentro de la ingeniería [22].

IV. Metodología

Con base en una exploración analítica de la producción teórica y de estudios aplicados, se obtuvieron los elementos clave para reconocer las técnicas de ingeniería no convencional que podrían ser aplicables sobre los retiros de fuentes hídricas. Igualmente, se examinaron los criterios que actualmente se utilizan para realizar la priorización de intervenciones en quebradas y, con base en ellos, se construyó una propuesta con los criterios a evaluar para determinar en la priorización si la intervención a realizar puede ser de bioingeniería. Por último, se procede a replicar los criterios sobre un caso de priorización de la Secretaría de Medio Ambiente que actualmente se aplica, con el fin de validar su aplicabilidad.

V. Resultados y discusión

Proceso de atención a petición, queja, reclamo, sugerencia o denuncia (PQRSD) asociado a quebradas en la Subsecretaría de Recursos Naturales

Actualmente la Subsecretaría de Recursos Naturales Renovables, mediante el Equipo de Soluciones Hidráulicas, atiende las diferentes solicitudes que allega la comunidad relacionada con las quebradas de Medellín, con el fin dar cumplimiento a lo anteriormente expuesto.

Con la atención a esas solicitudes se realiza la identificación y priorización de intervenciones en quebradas, donde se determina si lo que se requiere es un mantenimiento o una obra nueva para el adecuado manejo hidráulico de los cauces y retiros de las fuentes ubicadas en el municipio de Medellín.

El proceso que se lleva a cabo comienza con la recepción de la petición, queja, reclamo, sugerencia o denuncia (PQRSD) de la comunidad, dependencia administrativa o institución que llega a la Secretaría de Medio Ambiente a través de los medios oficiales dispuestos por la Alcaldía de Medellín (www.medellin.gov.co) en la opción de PQRSD, la línea única atención a la ciudadanía 4444144 y las sedes externas, entre estas el Sótano A. de la Alcaldía de Medellín. Las solicitudes que se tienen en cuenta pueden ser verbales, electrónicas o físicas y son registradas en el denominado Sistema de Gestión Documental (SGD) Mercurio, el cual genera un consecutivo denominado radicado, que, según su origen, es externo —por parte de la comunidad— o bien puede originarse desde las mismas dependencias administrativas de la Alcaldía de Medellín [5].

Con la recepción de la PQRSD, se continúa la cadena del proceso con la tarea de delegación, en la cual el enlace designado por la Secretaría de Medio Ambiente transfiere al Equipo Técnico de Soluciones Hidráulicas los radicados externos que son de competencia de cada servidor y

están distribuidos por comunas asignadas a cada uno por el líder del equipo. Para los radicados externos ya no opera el enlace, sino que son recibidos directamente por el líder de la Unidad de Ordenamiento del Recurso Hídrico, quien delega a cada servidor según la asignación de cada comuna [23].

Esto hace parte de uno de los objetivos: ingresar con numeración principal.

Una vez se tiene la recepción y delegación de la PQRDS, la tarea que prosigue es la realización de la visita y la elaboración del Informe Técnico, que está a cargo de cada profesional al que le fue asignada la PQRSD.

Para esta tarea, se tiene que se realiza una visita de inspección ocular y, con la información recolectada en campo, se diligencia el formato denominado FICHA TÉCNICA DE VALORACIÓN PARA INTERVENCIÓN EN QUEBRADAS [3], que puede consultarse en el Sistema Integral de Gestión de la Alcaldía de Medellín (plataforma Isolución) y consta de cinco partes e identificadas con un consecutivo de cuatro dígitos:

Parte 1. Información general

En esta parte de la ficha, se referencian datos generales de la visita y de la solicitud como fecha, número de radicado, informe del Departamento Administrativo de Gestión del Riesgo de Desastres de Medellín (DAGR), coordenadas X y Y del tramo, clase de la solicitud, datos del solicitante (nombre, dirección, teléfono, correo electrónico), datos del lugar visitado (dirección, quebrada, código de la quebrada, tipo de cauce, cuenca, comuna y barrio) y descripción de la PQRSD.

De esta primera parte del formato, con el código de la quebrada se rellena automáticamente el nombre de la misma, el tipo cauce y la cuenca.

Asimismo, en esta parte se coloca un pantallazo de la cartografía tomada de MapGISV5 (mapas Medellín).

Parte 2. Descripción de las problemáticas encontradas

En la segunda parte, el formato se diligencia con la problemática, la solución propuesta y el responsable. Esta información es acompañada de registro fotográfico que muestre o evidencie lo consignado y una casilla de observaciones para los detalles que se requieran especificar.

Es de resaltar que actualmente no se tienen las descripciones a que se refiere cada problemática, ni la solución propuesta. Desde la experiencia de campo en el diligenciamiento de esta ficha y según lo indagado con los profesionales, se presenta en este trabajo una breve descripción a lo que se refiere cada opción.

Esta parte del formato es de selección de una lista desplegable, así:

Problemática: el formato establece una lista desplegable con las problemáticas a identificar, donde se encuentra la relación que se presenta a continuación:

- Auditoría / Plan de mejora: es cuando la problemática fue detectada en un proceso de auditoría y debe ser incluida en un plan de mejoramiento para su cumplimiento.
- Afloramiento de aguas: presencia de aguas en algún lugar sin explicación aparente.
- Alineamiento: distancia de las viviendas o inmuebles a las fuentes de agua.
- Desbordamiento de la quebrada: problemáticas asociadas a inundaciones o desbordamiento de las fuentes hídricas.
- Deterioro del concreto del canal o cobertura: estructuras con deterioro, desgaste o daños que están presentando inconvenientes.
- Drenajes urbanos: estructuras por donde se conducen las aguas lluvias.
- Escorrentías: aguas lluvias sin estructuras de conducción.
- Estructura colapsada: estructuras deterioradas que se derrumbaron totalmente.
- Estructura hidráulica que no cumple requerimientos técnicos: canalización, cobertura

- o puente que presenta condición de riesgo o anormal funcionamiento.
- Humedades / Infiltraciones de agua: presencia de aguas en viviendas cercanas a fuentes hídricas que, en su mayoría, están conducidas por coberturas y se presume daño que pueda ocasionar humedades.
 - Hundimiento en vía/andén/pisos: problemática en vía, piso o andenes por desniveles en los mismos.
 - Información sobre intervención en quebradas: cuando la petición realizada busca conocer las actividades a desarrollar o ejecutadas en una quebrada.
 - Insuficiente capacidad hidráulica en canal o cobertura: estructuras hidráulicas que ya no satisfacen la necesidad.
 - Insuficiente capacidad hidráulica en el paso vial: puente que ya no satisface necesidad para transporte de agua de la quebrada.
 - Intervención en cauce o retiros (desvío, trinchos, costales, obras, etc.): intervenciones comunitarias sin permiso de la autoridad ambiental que afectan cauce o retiro de la fuente hídrica, trasladando el riesgo de un lugar a otro.
 - Movimientos en masa o erosión del talud: problemáticas asociadas a desprendimientos de suelo.
 - Obstrucción cárcamo/alcantarilla/sumidero: estructuras con dificultad para transporte del agua asociada a drenajes.
 - Obstrucción cauce/cobertura/canal: estructuras con dificultad para transporte del agua asociada a cauce (cobertura-canal).
 - Presencia de basuras o escombros por indisciplinas ciudadanas: disposición inadecuada de residuos sólidos sobre el cuerpo de agua o su zona de retiro.
 - Presencia de olores/vertimientos/contaminación: problemática asociada a olores ofensivos presuntamente por vertimientos de aguas residuales en las quebradas, ausencia de sistemas de alcantarillados.
 - Presencia de roedores y otros vectores: problemática asociada a animales transmisores de enfermedades de interés en salud pública, como roedores e insectos.
- Red Hidrográfica: inconsistencias con el trazado original de las quebradas, apareciendo en una dirección en los planos y estando, en la realidad, en otra ubicación.
 - Recomendaciones médicas en el puesto: problemáticas asociadas a los obreros de cobertura que desarrollan labores en las quebradas de Medellín y presentan restricciones médicas.
 - Roca sobre lecho: piedras de gran tamaño en el cauce de la fuente hídrica que dificultan el paso del agua.
 - Salud ocupacional: problemáticas asociadas a recomendaciones realizadas por la Unidad de Gestión del Riesgo Laboral. Situaciones de riesgo ocupacional.
 - Sedimentación del cauce: presencia de tierra en las quebradas que disminuye la capacidad hidráulica para el transporte de las aguas en un cauce.
 - Socavación de estructura o talud: pérdida de suelo en las márgenes de la quebrada (un tipo de erosión hídrica).
 - Temas administrativos obreros de coberturas: problemáticas asociadas a jornadas laborales, horas extra y compensatorios de obreros de cobertura.
 - Vegetación alta en retiros: falta de mantenimiento en zonas de retiro de quebradas.
 - Otro (descrita en observaciones): cualquier situación o problemática que no pertenezca a ninguna de las opciones anteriores.
- Solución propuesta: el formato establece una lista desplegable con las siguientes soluciones propuestas:
- Sensibilización manejo de residuos sólidos: instrucciones para el manejo adecuado de los residuos sólidos, a cargo de la Subsecretaría de Gestión Ambiental, Equipo de Residuos Sólidos.
 - Jornada de Aseo y Ornato: jornadas comunitarias, orientadas desde el Comité de Ornato y Aseo, donde la Subsecretaría de Recursos Naturales Renovables participa con la cuadrilla de obreros para realizar acciones en los lechos de la quebrada.
 - Anillado de tubería en atenor de concreto: procedimiento realizado por la cuadrilla de obreros de cobertura, que consiste en la

- reparación de tuberías, principalmente donde se unen unas con otras.
- Demolición estructura colapsada: consiste en la destrucción total de una estructura que presenta un daño parcial y representa un riesgo de obstrucción en un cauce o canal.
 - Desobstrucción de sumideros / coberturas / pasos viales: limpieza de quebradas que discurren en cobertura o de estructuras, como sumideros y puentes, que representan riesgo de obstrucción.
 - Enrocado con maquinaria: protección de margen con reacomodo de rocas.
 - Limpieza de cauce / Remoción sedimentos / Dragado / Extracción árboles con excavadora: procedimiento realizado con maquinaria, que consiste en el retiro de elementos, como residuos, sedimentos, árboles, que representan riesgo de obstrucción en los cauces de las quebradas; en este ítem, la maquinaria a usar es una retroexcavadora.
 - Limpieza de cauce / Remoción sedimentos / Dragado / Extracción árboles con vactor: procedimiento realizado con maquinaria, que consiste en el retiro de elementos, como residuos, sedimentos, árboles, que representan riesgo de obstrucción en los cauces de las quebradas; en este ítem, la maquinaria a usar es un vactor (inyección de agua a presión).
 - Limpieza de cauce / Remoción sedimentos / Dragado / Extracción árboles manual: procedimiento realizado por los obreros de cobertura, que consiste en el retiro de elementos, como residuos, sedimentos, árboles, que representan riesgo de obstrucción en los cauces de las quebradas donde no se puede usar maquinaria (retroexcavadora o vactor).
 - Muro en gaviones: construcción de estructura al margen de la quebrada para solucionar problemáticas de socavación y procesos erosivos en los retiros de quebrada. Es la única solución dada actualmente que puede acercarse a procesos de bioingeniería.
 - Reciente fundación de muros: reparación de muros aledaños a las fuentes hídricas que presentan deterioro.
 - Rehabilitación concretos en cobertura/canal: reparación de cobertura o canal de una fuente hídrica que presenta deterioro o desgaste.
 - Reposición de tubería concreto/PVC: cambio de tubería de concreto o PVC por la condición actual de la estructura, que presenta ruptura, desgaste o fuga.
 - Rocería de retiros: mantenimiento realizado a las zonas verdes de los retiros de quebradas que presentan maleza o condiciones desfavorables.
 - Voladura de rocas: procedimiento realizado en los cauces o retiros de quebrada con rocas de gran tamaño que representan riesgo de obstrucción, por lo que se hace necesario su fragmentación para retiro o reacomodo.
 - Priorizar para estudios y diseños: solución dada cuando se requiere realizar un estudio o un diseño que solucione la problemática descrita. En este punto entra la propuesta a realizar, para que se evalúe si ese estudio o diseño puede ser amigable con el ambiente.
 - Construcción ecoparque: es una solución dada cuando hay invasiones de retiro de quebradas.
 - Construcción puente peatonal.
 - Construcción sendero peatonal.
 - Instalación de pasamanos en retiro de quebradas.
 - Revegetalización/reforestación talud: es una solución poco usada en la dependencia, orientada más al paisajismo que a la propuesta de usar soluciones amigables con el ambiente.
 - Tala o poda árboles.
 - Atender problemática de descargas de aguas residuales / Lluvias al cauce: cuando se evidencian vertimientos que generan problemáticas y requieren atención de la empresa prestadora del servicio de alcantarillado.
 - Revisión de redes de servicios públicos: cuando se evidencian problemáticas de vertimientos, fugas o desgastes de tuberías que generan problemáticas y requieren atención de la empresa prestadora del servicio de acueducto o alcantarillado.
 - Traslado a otra dependencia o entidad: cuando la problemática evidenciada no puede ser intervenida por la Secretaría de Medio Ambiente o se desconoce su trámite.

Responsable: el formato establece una lista desplegable con los siguientes responsables:

- EPM: Empresas Pública de Medellín E.S.P.
- Área Metropolitana: Área Metropolitana del Valle de Aburrá
- DAGRD: Departamento Administrativo de Gestión de Riesgo de Desastres
- Corantioquia: Corporación Autónoma Regional de Antioquia
- Departamento Administrativo de Planeación
- Secretaría de Infraestructura
- Secretaría de Gobierno
- Secretaría de Seguridad
- Subsecretaría de Servicios Públicos
- Secretaría de Salud
- Silvicultura
- Equipo de Soluciones Hidráulicas
- Equipo de Estudios y Diseños
- Inspección
- Corregiduría

Datos de intervenciones realizadas en quebradas

A continuación, se realiza una contextualización con algunos datos de interés relacionados con las intervenciones realizadas por la Secretaría de Medio Ambiente en cuanto al abordaje de las problemáticas presentadas en las quebradas de Medellín:

- En los últimos 5 años, se han atendido 3.369 solicitudes, del 2015 al 31 de diciembre de 2019, período en que se han priorizado 438, de las cuales 366 han sido calificadas con 80 puntos o más: 325 de mantenimiento y 60 para estudios y diseños (información suministrada por el líder del Equipo de Soluciones Hidráulicas de la Secretaría de Medio Ambiente).
- De las intervenciones realizadas, se tiene que para mantenimiento ninguna ha aplicado o usado técnicas de bioingeniería para estudios y diseños, según revisión de los Planes Anuales de Adquisiciones y los procesos de contratación asociados a estos entre 2015 y 2019.
- Año 2019: De 6 contratos consultados, se tienen 2 contratos para profesionales hidráulicos, 3 con no intervención de procesos de bioingeniería y uno de interventoría. Uno de los contratos

- contempló obras de paisajismo; mencionaba construcción de trinchos de pared simple, suministro y aplicación de tierra abonada en trinchos para plantas ornamentales y construcción de obras de urbanismo.
- Año 2018: De 10 contratos consultados, se tienen 2 contratos para profesionales hidráulicos, 9 con no intervención de procesos de bioingeniería y uno de interventoría. Uno de los contratos no corresponde a atención de PQRSD en quebradas, sino que es de la Unidad de Estructura Ecológica, Equipo de Silvicultura, y contempla intervenciones paisajísticas en retiro de quebrada.
- Año 2017: De 12 consultas realizadas, según Plan Anual de Adquisiciones, se tienen 9 contratos con no intervención de procesos de bioingeniería según estudios previos, 2 contratos no encontrados y uno de interventoría.
- Año 2016: De 9 procesos consultados, se tienen 4 contratos sin información y 5 con no intervención de procesos de bioingeniería según estudios previos.
- Año 2015: No hay información de PAA; por tanto, no hubo procesos de contratación a buscar.

Propuesta de criterios a evaluar para determinar si la bioingeniería se puede aplicar en la solución a problemáticas en retiros de quebrada

Una vez identificada la falencia de la inclusión de alternativas amigables con el ambiente en las soluciones dadas a las problemáticas detectadas en las quebradas de Medellín, se realizó el análisis detallado del procedimiento realizado por la Secretaría de Medio Ambiente, identificando un rasgo general y un impacto constante en los retiros de las fuentes hídricas de jurisdicción de Medellín. Proponiendo considerar las técnicas de bioingeniería basadas en estudios aplicados y realizando un rastreo analítico del resultado de la investigación, se propone incluir dentro del proceso de atención y priorización de las intervenciones realizadas en las quebradas de Medellín los siguientes criterios, que permitan incluir en los estudios y diseños soluciones diferentes a las convencionalmente usadas:

En la atención de PQRSD de quebradas, se propone evaluar los siguientes criterios para valoración de intervención con bioingeniería: cauce natural o canal, procesos erosivos, protección de infraestructura, características del suelo, manejo de aguas y pendiente (inclinación del terreno), características del suelo, grado de longitud o pendiente, vegetación, infraestructura y diagnóstico de la problemática, para lo cual se deberá adicionar a la FICHA TÉCNICA DE VALORACIÓN PARA INTERVENCIÓN EN QUEBRADAS un ítem de calificación de pertinencia de bioingeniería de suelos.

Este nuevo ítem de calificación de pertinencia de bioingeniería de suelos pretende valorar si la intervención a realizar es susceptible para la aplicación de técnicas con bioingeniería de suelos. Solo se calificará en caso de que la fuente hídrica esté discurriendo en terreno natural o canal; no se califica en fuentes cuyo trayecto es por cobertura.

El mecanismo de valoración que se propone establece una valoración por puntos, donde se asignan 5 puntos a cada criterio, en caso de ser seleccionado, y 0 puntos en caso de no ser seleccionado, y 0 puntos en caso de seleccionar la columna "no" (condicionante al seleccionar con "X" en la columna de "sí" o "no"), con excepción del criterio de protección de infraestructura, que, en caso de ser "sí" en la respuesta, automáticamente califica como "No aplica para intervención con bioingeniería de suelos", debido a que existe una estructura a comprometer, situación que más adelante, cuando se tenga más experiencia con el uso de las alternativas propuestas, podrá considerarse.

Para aplicar a bioingeniería de suelos, se deberá tener todos los criterios calificados con el condicionante "X" en la columna "sí", en cuyo caso el formato establecería "Aplica para intervención con bioingeniería de suelos", que comprendería los siguientes criterios:

¿La intervención a realizar debe proteger alguna infraestructura (vías, andenes, puentes, muros de contención, estructura hidráulica)?

Este criterio podría ser descartable para definir si se puede o no aplicar técnicas de bioingeniería de suelos en la problemática detectada como solución propuesta en atención a la PQRSD de quebradas. Principalmente busca detectar si hay vías, andenes, muros de contención o estructuras hidráulicas construidas con anterioridad que generan mayor compromiso e involucran responsabilidad. Según lo consultado, las técnicas de bioingeniería de suelos son confiables; sin embargo, teniendo en cuenta que la Secretaría de Medio Ambiente no las ha usado, lo recomendable es que, en un inicio, sean utilizadas en lugares que no comprometan otras estructuras para así ir documentando y adquiriendo experiencia de dónde pueden o no aplicarse y garantizando siempre la integridad de las obras ya construidas.

¿Se observa ausencia de cobertura vegetal, árboles o arbustos en los retiros de la quebrada?

Este criterio pretende determinar si la problemática está asociada a ausencia de sistemas de amarre naturales. Es de recordar que la bioingeniería de suelos involucra técnicas de ingeniería civil con plantas para buscar estabilidad de taludes. En el control de los procesos erosivos y las remociones en masa, es fundamental evitar la destrucción del suelo; para ello, se debe conservar la vegetación existente, toda vez que es parte de la solución.

¿Se observa deslizamiento, movimientos en masa del talud, procesos erosivos en los márgenes de la quebrada? [Erosión ligera (surcos), moderada (surquillos) severa (laminar) muy severa (terraceroparte vacía)].

Este criterio define al detalle que la solución planteada deberá estar orientada a la solución de procesos erosivos en el terreno o talud observado y evaluado. Para llegar a este criterio se tuvo en cuenta lo planteado en las Tablas 5 y 8.

¿Se observa baja capacidad de infiltración, textura fina, problemas de drenaje?

Este criterio está relacionado con el origen del criterio anterior (procesos erosivos). No bastará solo con hacer una estructura civil y sembrar plantas, sino que se deberá contemplar el diseño de obras de drenaje que ayuden a mitigar el proceso erosivo por escorrentía.

El control de la erosión de taludes de alta pendiente puede realizarse con técnicas cuya finalidad consiste en generar una capa de protección de los suelos contra los efectos mecánicos del agua y evitar, con el tiempo, el arrastre de sedimentos. Algunas de estas técnicas son: hidrosiembra, estructuras vegetalizadas (también conocidas como cribas vivas), geomallas, biomantos, mateado con hileras de bambú, capas de enramados con o sin refuerzo, cubiertas vivas.

¿El suelo es de textura arcillosa, estructura migajosa y su color oscuro?

Estas características del suelo son tomadas como propiedades de los suelos.

Por otra parte, teniendo en cuenta los criterios establecidos por Gallego y Villada [24] y Angarita y Reyes[5], es necesario tener en cuenta las características específicas del suelo y las propiedades vegetales que permitan evaluar si el suelo es apto para plantas y si estas podrían desarrollarse rápidamente en este y ofrecer los servicios ecosistémicos de agarre en el terreno. Es posible que este criterio no se cumpla, lo que requeriría una observación a la recomendación de solución propuesta que incluya adecuación de terrenos. De acuerdo con Díaz [8], las efectividades de los procesos de solución biomecánica dependen del manejo de los elementos de la naturaleza y de los criterios científicos con los que se cuente, de manera que las variedades de materiales usados en las aplicaciones para el control de erosión han tenido como principios la paja y el material orgánico y muchos de los diseños utilizados buscan retener el suelo en el sitio y facilitar el restablecimiento de la vegetación

¿La pendiente del retiro de quebrada es menor a 60°?

Este criterio garantiza que la técnica de bioingeniería de suelos que se use sea apropiada, toda vez que, según la teoría, estas técnicas tienen mejores resultados en pendientes menores a 60°, pudiendo así garantizar que la valoración realizada para determinar si pueden o no aplicarse estas técnicas en la problemática identificada sea apropiada.

VI. Conclusiones

- El control de la erosión y los procesos de socavación en quebradas no necesariamente deben enfocarse en la intervención de obras civiles convencionales, sino que pueden plantearse alternativas más amigables con el ambiente, como lo son las técnicas de bioingeniería de suelos, cuyas características y uso son aplicables a los retiros de quebradas, entre las cuales están las faginas, escalones de matorral, muro de criba vegetado, sistemas de drenaje, zanjas de drenaje, sellamiento de grietas, trinchos vivos escalonados, filtros vivos y terrazas vivas.
- Se plantea como una alternativa viable y eficiente a la Secretaría de Medio Ambiente de Medellín diseñar una estrategia que permita la concordancia entre Plan de Desarrollo y los instrumentos de planeación, como el POMCA, que están relacionados con protección, conservación y manejo de las quebradas y con el objetivo de ejecutar acciones para mitigación del riesgo del manejo hidráulico de las quebradas, minimizando el impacto que se pueda generar por avenidas torrenciales de las quebradas, toda vez que la bioingeniería de suelos, como ya se ha mencionado, es una solución aplicable a los retiros de quebradas que busca la protección y conservación de los recursos y, asimismo, aporta a la mitigación de riesgos ocasionados por procesos erosivos.

VII. Referencias

- [1] D. R. Gámez Estrada, B. A. Pertuz Méndez, J. F. Daza Carrasca, L. C. Tapia Vela y E. E. Rojas Martínez, "Caracterización geotécnica y vulnerabilidad por movimientos en masas entre la vereda de Puente Quemao y el corregimiento de San Francisco de Asís, en El Copey, Cesar", *Ingeniare*, no. 22, pp. 37-57, 2017 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.22.1341>
- [2] J. Betancur Hernández, "El agua en Medellín. Una historia local y ambiental de los usos e intervenciones del río Medellín y algunos de sus afluentes: Iguañá, Santa Elena y Piedras Blancas (1880-1961)", Tesis de maestría. Medellín, 2015. Repositorio Institucional Universidad Nacional de Colombia [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/57052>
- [3] D. M. Montoya Velilla, secretaria de Medio Ambiente, "Acta de informe de gestión (Ley 951 de marzo 31 de 2005)", Alcaldía de Medellín, 12 de abril de 2021.
- [4] A. López Clavijo, "Estado del conocimiento sobre el uso de la bioingeniería en procesos erosivos en Colombia", Trabajo de grado. Manizales, 2020. Repositorio Institucional Universidad Militar Nueva Granada [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10654/35742>
- [5] M. T. Angarita Socadagui y M. A. Reyes Calderón, "Diseño e implementación de obras de bioingeniería en la vereda Las Lajas del municipio Supatá - Cundinamarca como una alternativa para el manejo de aguas de escorrentía y recuperación de suelos degradados", Trabajo de grado. Bogotá, D.C., 2018. Repositorio Universidad de La Salle [En línea]. Disponible en: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/749/
- [6] Viceministerio de Ambiente, *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Bogotá, D.C.: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010 [En línea]. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/documento-entidad/politica-nacional-para-la-gestion-integral-del-recurso-hidrico/>
- [7] L. F. Hernández Bernal y E. B. Suescún Castellanos, "Manual de obras de bioingeniería en zonas de laderas con procesos de remoción de masas para altitudes superiores a 3000 m.s.n.m. El caso de la localidad de Sumapaz-Bogotá D.C", Trabajo de grado, Bogotá, 2016. Repositorio Universidad Católica de Colombia [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10983/8459>
- [8] C. Díaz Mendoza, "Alternativas para el control de la erosión mediante el uso de coberturas convencionales, no convencionales y revegetalización", *Ingeniería e Investigación*, vol. 31, no. 3, pp. 80-90, 2011 [En línea]. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ingein/article/view/26390>
- [9] F. A. Centeno Pulido, "Nuevas tendencias de la geotecnia para las obras de tierra, la estabilización de taludes y el control de la erosión", en XVII Seminario Venezolano de Geotecnia. Del Estado del Arte a la Práctica [En línea]. Disponible en: <https://docplayer.es/25427388-Xvii-seminario-venezolano-de-geotecnia-del-estado-del-arte-a-la-practica.html>
- [10] L. E. Quezada, "Estabilización de taludes con métodos de bioingeniería", en Cuarto Coloquio de jóvenes neologistas, Primer Encuentro de Profesores, Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, octubre de 2015 [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/27450653/Estabilizaci%C3%B3n_de_taludes_con_m%C3%A9todos_de_bioingenier%C3%ADa_Slope_stability_with_bioengineering_methods
- [11] Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, "Estabilización de taludes", en *Manual de Aspectos Constructivos de Caminos Naturales*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2020, pp. 117-153 [En línea]. Disponible en: <https://cpage.mpr.gob.es/producto/manual-de-aspectos-constructivos-de-caminos-naturales/>
- [12] Área Metropolitana del Valle de Aburrá, *Atlas Metropolitano*. Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2010 [En línea]. Disponible en: https://www.metropol.gov.co/planeacion/Documents/Atlas_Metropolitano.pdf

- [13] Congreso de la República de Colombia (28 de junio de 2011). Ley 1454 de 2011, Por la cual se dictan normas orgánicas sobre ordenamiento territorial y se modifican otras disposiciones. D.O. No. 48115.
- [14] Constitución Política de Colombia. Gaceta Constitucional No. 116, 20 de julio de 1991.
- [15] Concejo de Medellín (17 de diciembre de 2014). Acuerdo 48 de 2014, Por medio del cual se adopta la revisión y ajuste de largo plazo del Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Medellín y se dictan otras disposiciones complementarias. G.O. No. 4267.
- [16] J. I. Vélez, C. C. Rave, H. Caballero, L. F. Montes, D. Escobar, A. Arango A., A. Cuadrado A. y R. A. Smith, "Definición de retiros en cuencas urbanas". Preparado para presentación en el XVI Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología, Armenia, Quindío, 29-31 de octubre de 2004 [En línea]. Disponible en: https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/8601/DA_3815.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [17] C. Crocetti, R. Ferrari y A. Petrone, *Proyecto "Estimación de Vulnerabilidades y Reducción del Riesgo de Desastres a Nivel Municipal en el Ecuador". Manual de Ingeniería Naturalística*. Quito: PNUD, CRIC y Plan Internacional Ecuador, 2012.
- [18] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, *Política para la gestión sostenible del suelo*. Bogotá, D.C.: MinAmbiente, 2016.
- [19] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, *Política Nacional para la Gestión Integral Ambiental del Suelo (GIAS)*. MinAmbiente, 2013 [En línea]. Disponible en: <https://observatorio.epacartagena.gov.co/politica-nacional-para-la-gestion-integral-ambiental-del-suelo-gias/>
- [20] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales y Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, *Estudio nacional de la degradación de suelos por erosión en Colombia*. Bogotá, D.C.: IDEAM, 2015 [En línea]. Disponible en: <https://observatorio.epacartagena.gov.co/estudio-nacional-de-la-degradacion-de-suelos-por-erosion-en-colombia/>
- [21] L. F. González Martínez y L. C. Ortiz Tobón, "Directrices de intervención sobre el espacio público: quebrada La Mansión, Comuna 8 de Medellín", *Revista Soluciones de Postgrado*, vol. 1, no. 2, pp. 105-118, 2008 [En línea]. Disponible en: <https://revistas.eia.edu.co/index.php/SDP/article/view/291>
- [22] G. Duque Escobar y C. E. Escobar Potes, *Geomecánica*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia, 2016 [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/57121>
- [23] Alcaldía de Medellín (19 de junio de 2016). Acuerdo 003 de 2016, Por el cual se adopta el plan de desarrollo municipal 2016-2019 "Medellín cuenta con vos". G.O. No. 4383.
- [24] A. L. Gallego Torres y M. L. Villada Gallego, "Evaluación de las especies vegetales utilizadas en la implementación de cinco obras piloto para la reducción del riesgo por deslizamiento en la cuenca alta del río Cauca", Trabajo de grado. Popayán, 2012. Repositorio Universidad del Cauca [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.unicauca.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/443>