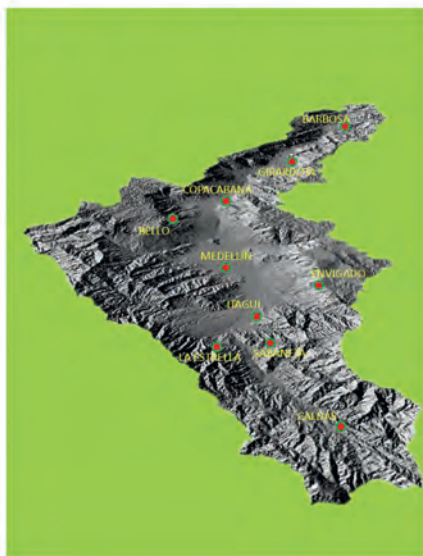
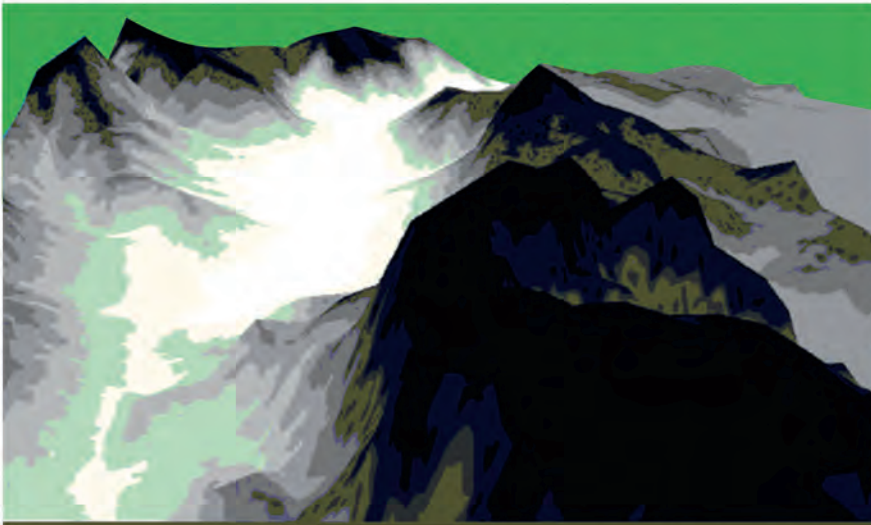


Directrices y lineamientos

para la elaboración de los estudios geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, hidráulicos, hidrogeológicos y geotécnicos para intervenciones en zonas de ladera, en el Valle de Aburrá



Directrices y lineamientos

para la elaboración de los estudios geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, hidráulicos, hidrogeológicos y geotécnicos para intervenciones en zonas de ladera, en el Valle de Aburrá

Ejecuta:

Un proyecto de:



Procedimientos técnicos y metodológicos de los estudios para intervenciones en zonas de ladera en el Valle de Aburrá.

Un proyecto del

Área Metropolitana del Valle de Aburrá
Carlos Mario Montoya Serna, Director
Francisco Zapata Builes, Subdirector de Planificación Integral

Universidad EAFIT
Juan Luis Mejía Arango, Rector

Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín
Carlos Alfredo Salazar Molina, Vicerrector

Universidad de Medellín
Néstor Hincapié Vargas, Rector

Ejecución

Universidad EAFIT, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín y Universidad de Medellín

Equipo de trabajo

Universidad EAFIT
Gloria Elena Echeverri Ramírez, Coordinadora proyecto; Pedro José Salva Martorelli, Ingeniero civil; Juan Guillermo Hincapié Aguilar, Ingeniero geólogo; Juan Carlos Botero Palacio, Doctor en estructuras; Jaime Eduardo Hincapié Aguilar, Ingeniero civil; Carlos Eduardo Parra Vargas, Estudiante de maestría.

Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín
José Humberto Caballero Acosta, Coordinador proyecto; Jaime Ignacio Vélez Upegui, Especialista en recursos hidráulicos; María Victoria Vélez Otálvaro, Especialista en hidrología; María Isabel Mesa Sánchez, Especialista en geología y suelos; Diego Armando Rendón Giraldo, Especialista en geología; Albeiro de Jesús Rendón Rivera, Ingeniero geólogo; Oscar Echeverri Ramírez, Especialista en geotecnia; Francisco Javier Nanclares Arango, Especialista en geotecnia; Claudia Elena Álvarez Saldarriaga, Ingeniera asesora; Juan David Montoya Domínguez, Ingeniero asesor; Nathalia Vanessa Uasapud Enríquez, Estudiante auxiliar.

Universidad de Medellín

Cesar Augusto Hidalgo Montoya, Coordinador proyecto; Blanca Adriana Botero Hernández, Especialista en hidráulica; Luis Javier Montoya Posada, Especialista en hidráulica; Manuel Alonso Builes Brand, Especialista en geotecnia; Juan José Montoya Monsalve, Especialista en hidrología; Rubén Darío Montoya Ramírez, Especialista en hidráulica e hidrología; Hernán Darío Torres Álzate, Abogado; Julián Darío García Ramírez, Estudiante maestría; Sebastián Palomino Ángel, Estudiante maestría.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá

Magda Marcela Restrepo Hernández, Profesional Universitaria; Julieta Cecilia Gómez Gómez, Profesional Universitaria; Sebastián Muñoz Zuluaga, Ingeniero Sanitario; Martha Magdalena Arbeláez Castro, Ingeniera Forestal; María Mercedes Quiceno Valencia, Ingeniera Civil; Rolando Albeiro Castaño Vergara, Abogado; Gabriel Yves Armand Auvinet Guichard, Revisor internacional; Hernán Martínez Carvajal, Asesor.

Interventoría

Elías Correa Villa, Especialista en mecánica de suelos y cimentaciones

Diseño y diagramación

Ricardo A. Arango Medina, Diseñador gráfico

Impresión: Impresos El Día LTDA.

Registro ISBN: 978-958-8513-64-5

Primera edición: Noviembre de 2012, Medellín

Está prohibida la reproducción parcial o total de esta publicación y mucho menos para fines comerciales. Para utilizar información contenida en ella se deberá citar la fuente.

Presentación

P

Las características geográficas y la forma como se ha ido ocupando el Valle de Aburrá, han generado condiciones de riesgo creciente para sus habitantes localizados en zonas de ladera, en retiros de corrientes y en zonas afectables por diferentes tipos de fenómenos de origen natural y antrópico.

El crecimiento acelerado de urbanización ha llevado a ocupar zonas con mayores niveles de amenaza, poniendo sectores amplios de población en condiciones de riesgo para su seguridad. Estas condiciones, manifestadas de manera grave en una serie de eventos desastrosos que afectan a todos los sectores sociales, han llevado a las autoridades territoriales a diseñar diferentes políticas de gestión del riesgo, que aplican de manera general en sus zonas de influencia.

Con la idea de buscar mecanismos que contribuyan a disminuir las condiciones de vulnerabilidad de nuevos asentamientos e intervenciones, se presenta a la comunidad, a las autoridades municipales y regionales y a los diferentes organismos de control, un instrumento que pretende mejorar la calidad de los estudios técnicos que deben hacerse para las intervenciones futuras en las laderas del Valle de Aburrá. El instrumento, por sí mismo, no garantiza la mitigación del riesgo en la región, pero sí brinda a las compañías de consultoría, a los interesados en desarrollar proyectos de ocupación de suelo y a las autoridades de gestión y control, los criterios necesarios para garantizar que los estudios que se realicen en el futuro, tengan estándares claros de calidad que, de ser aplicados durante el diseño y construcción, contribuirán a mitigar las posibilidades de que estas se vean afectadas durante su vida útil por fenómenos de carácter catastrófico como los ocurridos en la región.

Con el propósito de contribuir en la solución de la problemática, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá convocó a tres universidades de la región, con experiencia en los temas de interés, para adelantar las acciones necesarias conducentes a producir un documento que pueda ser utilizado por todos los interesados. Para esto, se conformó un grupo de trabajo interinstitucional entre, la Universidad EAFIT, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín y la Universidad de Medellín, las cuales conformaron equipos de profesores de diferentes áreas del conocimiento para que redactaran el documento que se presenta. Se contó con el soporte técnico y la articulación institucional del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA).

El documento recoge un amplio debate y a la vez propone estimular una discusión constante sobre la problemática que se presenta y que podría agudizarse con el paso del tiempo, de seguirse haciendo intervenciones sin controles de calidad técnica. Se invita a su aplicación para que en un futuro cercano se puedan incorporar los nuevos desarrollos y experiencias resultantes de la práctica cotidiana de la ingeniería regional.

Las fotografías que ilustran esta publicación fueron aportadas por los distintos integrantes del grupo de trabajo; se presentan de manera general sin hacer referencia al autor ni a la ubicación ya que su objeto no es discutir casos puntuales, y sólo se pretende que el lector tenga una información visual mínima sobre los distintos tipos de problemáticas que se presentan en el valle de Aburrá. Se seleccionaron figuras de diferentes tipos de inestabilidad, tratando de mostrar problemas de toda la región objeto de esta directriz.


CARLOS MARIO MONTOYA SERNA
Director
Área Metropolitana del Valle de Aburrá

JUAN LUIS MEJÍA ARANGO
Rector
Universidad EAFIT

CARLOS ALFREDO SALAZAR MOLINA
Vicerrector.
Universidad Nacional de Colombia sede Medellín

NÉSTOR HINCAPIÉ VARGAS
Rector
Universidad de Medellín

Introducción



El Área Metropolitana del Valle de Aburrá convocó a la Universidad EAFIT, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín y a la Universidad de Medellín con el propósito de aunar esfuerzos técnicos y académicos para elaborar una herramienta de procedimientos y metodologías que le permitan a las autoridades y a los profesionales contar con un documento unificado y ajustado a las condiciones físicas locales del Valle de Aburrá.

Este documento contiene los criterios básicos necesarios de geología, geomorfología, hidrología, hidráulica, hidrogeología y geotecnia que deben seguirse para que los estudios que se sometan a consideración de autoridades competentes, según corresponda, tengan la calidad necesaria en cuanto a temas, su articulación y nivel de profundidad.

Los elementos que conforman este documento se desarrollan en seis capítulos, dos para la introducción y el diagnóstico, los 1, 2 y 3 para el desarrollo de los temas técnicos y se finaliza con un capítulo de recomendaciones generales.

El capítulo 1 describe la secuencia de los estudios, partiendo de la definición de unidad de análisis, denominada Unidad Morfodinámica Independiente (UMI), que comprende la zona de influencia de la intervención, hasta llegar a la clasificación de aptitud geológica para el predio. Esta última clasificación permitirá tomar decisiones importantes sobre el proyecto y permitirá diseñar con mejor criterio el proceso de exploración del subsuelo, constituyéndose en la base para los estudios geotécnicos o hidrológicos posteriores según el caso.

Los capítulos 2 y 3 presentan los procedimientos para los estudios hidrológicos, hidráulicos, hidrogeológicos y geotécnicos específicos. En el 2, se parte de la definición de grado de complejidad de las intervenciones para lo cual se consideran las afectaciones que puedan llegar a tener los cauces y en las condiciones de riesgo que las obras puedan llegar a generar a las comunidades ubicadas en las zonas de influencia de estas intervenciones. De otro lado, el capítulo 3 define el nivel y profundidad de los estudios geotécnicos, discriminando con base en el criterio de

aptitud geológica de que habla el capítulo 1 y considerando los grupos de uso según el Reglamento NSR-10 en el cual se precisan algunos proyectos que son comunes en las intervenciones del Valle de Aburrá. Permite hacer una evaluación de las condiciones iniciales del predio en términos de la amenaza, considerando el factor de seguridad, la energía potencial y un criterio cinemático, lo que facilita llegar a un diseño de la intervención y las recomendaciones de control posterior.

El documento que se pone a consideración de los interesados, es el resultado de una reflexión interinstitucional e interdisciplinaria, adelantada por el grupo de unos treinta profesionales, constituido por profesores e ingenieros de varias especialidades y estudiantes de posgrado de las universidades. Participaron la Escuela de Ingeniería de la Universidad EAFIT, la Facultad de Minas de la Universidad Nacional Sede Medellín y las Facultades de Ingenierías y Derecho de la Universidad de Medellín.

Desde un punto de vista metodológico, la primera pregunta que enfrentó el grupo de trabajo fue sobre la necesidad y pertinencia de un documento con las temáticas enunciadas. Como es de esperar, se plantearon posiciones diferentes que variaban desde la negación hasta el planteamiento de criterios con carácter de norma estricta y obligatoria. Cuando se llega a la conclusión que la región metropolitana requiere directrices, lineamientos u orientaciones para el ejercicio específico de la ingeniería en los campos que nos ocupan, se discutió el alcance que estas deberían tener. El grupo exploró igualmente una amplia gama de posibilidades que variaron entre un documento que explicara detalladamente el CÓMO de los estudios, produciendo guías, manuales o protocolos hasta la posición que finalmente se adoptó de producir un documento de mínimos necesarios, centrado en el QUÉ. Es por esto que el documento no abunda en criterios metodológicos, fórmulas, tablas o referencias bibliográficas. Se considera que ningún documento de esta naturaleza, por bueno que sea, es capaz de reemplazar el criterio técnico y la experiencia de los profesionales. Hoy existe una amplia bibliografía, gran cantidad de equipos, procedimientos, software y metodologías, entre otros, disponibles en el medio técnico nacional e internacional.

Un tema que ocupó parte de la discusión fue el contexto social en el que se da este tipo de directrices, se sabe que en el área metropolitana hay intervención planificada que puede ser objeto de la aplicación inmediata de estas, pero se requiere reflexionar más sobre la forma de incidir en las intervenciones no planificadas que no se deben desconocer.

Aunque todos los elementos se discutieron de manera simultánea, un tercer aspecto que se enfrentó temprano en el proceso fue el de los

contenidos del documento. Se elaboró un temario amplio, el cual se puso a consideración de los directamente involucrados en el trabajo y de un público amplio conformado por ingenieros experimentados, funcionarios públicos involucrados directamente en la gestión del territorio y otros profesores universitarios que permitieron acotar los temas y sus alcances. En este punto es necesario expresar la gran claridad que se obtuvo de las distintas reuniones de trabajo que se realizaron con el equipo de soporte del AMVA de la Subdirección de Planificación. Fueron significativas y oportunas las discusiones que se hicieron con los funcionarios de Planeación del municipio de Medellín; su contribución fue importante y ayudó a delimitar las temáticas.

A manera de ilustración, se presentan los grandes temas que se enfrentaron desde un principio que, como se dijo antes, fueron modificados de acuerdo al avance del proceso y la participación de profesionales del AMVA y de los municipios. Fueron once los temas discutidos, los cuales se presentarán brevemente en los párrafos siguientes.

El primero fue el de los principios que servirían de base para el análisis. Se discutieron los constitucionales, legales y éticos que nos enmarcan. Se elaboró la referencia legal y normativa que sirvió también para definir, en parte, el alcance de los contenidos del documento.

La definición de los objetivos centrales se hizo rápidamente; se encontró que el propósito principal del trabajo era hacer una contribución a la mitigación de la vulnerabilidad y por tanto del riesgo de los habitantes de la región. Se hizo claridad en que un documento en sí mismo, no es una medida de mitigación pero su aplicación sí puede contribuir a la construcción de entornos más seguros.

La participación de diferentes especialidades y distintas experiencias, llevó al grupo a la necesidad de establecer un glosario, pues es frecuente que un mismo término tenga diferentes definiciones, dependiendo del campo del conocimiento. Se elaboraron varios listados y se hizo un gran esfuerzo de discusión para llegar finalmente a la conclusión de que no era necesario dentro de este tipo de directrices, aunque se reconoce que hay diferencias en la conceptualización en las disciplinas, que deben tenerse en cuenta.

Una discusión fundamental fue sobre el ámbito de los estudios. Las preguntas variaron entre si se limitarían al Valle de Aburrá en el sentido de la cuenca del río Medellín o al ámbito de la jurisdicción del AMVA. Si era para los procesos de urbanismo o aplicaba también para

lo rural, si aplicaría solo para edificaciones o por el contrario cubriría otro tipo de obras y finalmente si habría algún tipo de consideración de tipo morfológico. Se llegó a la conclusión que aplicaría en la jurisdicción del AMVA, tanto en la zona urbana como en la rural y cubriría no solo edificaciones y sus obras complementarias, sino intervenciones como construcción de obras lineales, excavaciones, disposición de escombros, construcción de llenos y de puentes, entre otros. Llegó a discutirse también si procesos como tala de bosques de cualquier tipo podría someterse a estas directrices, toda vez que durante esta actividad pueden generarse procesos erosivos y de sedimentación que pueden afectar zonas más amplias.

Un tema interesante, por la forma como se abordó, fue el de los profesionales que estarían capacitados y habilitados para desarrollar los estudios. Es práctica común que los estudios los adelante un ingeniero civil con experiencia en geotecnia o en hidrología e hidráulica según el caso. Con esta nueva concepción, que reivindica la integralidad de los estudios como una mejor aproximación al conocimiento de un objeto complejo de intervención, es necesario que se amplíe el número de profesionales que participan en estos estudios; es así como se define que los estudios geológicos y geomorfológicos deben ser adelantados por geólogos o ingenieros geólogos, los hidrológicos e hidráulicos por profesionales con experiencia demostrable y deseablemente con estudios de posgrado en el tema y por supuesto que los estudios geotécnicos deberán seguir siendo realizados por ingenieros con experiencia documentada y de ser posible, también con estudios de posgrado en esta temática. Este punto tendrá que ser discutido en el futuro con mayor atención, pues aunque las normativas vigentes en materia de reglamentación del ejercicio profesional en Colombia establecen los requerimientos mínimos para estas actividades, muchas de las universidades del país tienen programas acreditados de posgrado

en los temas que interesan aquí y cuyos egresados pueden contribuir de manera significativa.

Algunos de los temas inicialmente propuestos tuvieron que ser dejados por su complejidad o porque en el contexto legal colombiano no era posible considerarlos. En el primer caso están los de transferencia y la definición de riesgo aceptable para la región y entre los segundos está el de las sanciones por ser tema de la ley.

Los mecanismos de control fueron temas de discusión importante. Se discutió sobre la importancia de tener un organismo académico que se concentre en la investigación científica de las condiciones naturales del Valle de Aburrá y en el comportamiento de sus laderas, que reciba y analice con criterio técnico científico toda la información que se produce a diario en la región, que pueda interpretar los datos que produce el monitoreo de parámetros durante algunas intervenciones y que produzca criterios para evaluar y mejorar la calidad de los estudios que se hagan en el futuro. Tema complejo, pero necesario, en el cual deberán participar tanto las universidades como los sectores público y privado.

Hay aquí un documento novedoso por su cometido y por reunir en un solo grupo distintas disciplinas técnicas y científicas que han estudiado las condiciones del Valle de Aburrá pero de manera separada. Es un documento coherente que pretende mostrar en pocas páginas todo el conjunto de los estudios que se requieren para lograr intervenciones mejores y más seguras. Como ya se ha dicho, el documento no es una herramienta de mitigación del riesgo, pero sí puede llegar a serlo su aplicación.

Como todo documento de este carácter, puede estar sometido a la crítica constructiva de los especialistas en las distintas ramas. Hay que buscar, por tanto, mecanismos que permitan articular los resultados de su aplicación.

Contenido

PRESENTACIÓN	5
INTRODUCCIÓN	7
RESUMEN	14
DIAGNÓSTICO	16
1. PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS PARA ESTUDIOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS	22
1.1 GENERALIDADES	22
1.2 AMBITO DE LOS ESTUDIOS, ESCALAS Y DELIMITACIÓN DE LA UNIDAD DE ANÁLISIS	23
1.3 METODOLOGÍA PARA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS GEOLÓGICOS	25
1.4 PRODUCTOS DE LOS ESTUDIOS GEOLÓGICOS	27
1.5 METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS GEOMORFOLÓGICOS	28
1.6 IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS MORFODINÁMICOS	31
1.7 PRODUCTOS DE LOS ESTUDIOS GEOMORFOLÓGICOS Y MORFODINÁMICOS	34
1.8 ZONIFICACIÓN DE LA APTITUD GEOLÓGICA DEL PREDIO DE INTERÉS	34
1.9 GEOLOGÍA DETALLADA Y PLAN DE EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO	35
2. PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS HIDRÁULICOS, HIDROLÓGICOS E HIDROGEOLÓGICOS	36
2.1 OBJETIVO	36
2.2 ALCANCE	36
2.3 PROFESIONALES	37
2.4 PROCEDIMIENTOS	37
2.4.1 Acciones previas	38
2.4.2 Elaboración de los estudios	39
2.5. DISEÑO DE LAS INTERVENCIONES	49
2.5.1 Diseño de canales y cunetas para control de escorrentía	50
2.5.2 Obras hidráulicas en canales	54
2.5.3 Obras para el control de la erosión	54
2.6 CONTENIDOS MÍNIMOS DE LOS INFORMES PARA ESTUDIOS HIDRÁULICOS E HIDROLÓGICOS	54
3. PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS PARA ESTUDIOS GEOTÉCNICOS	58
3.1 GENERALIDADES	58
3.2 PROCEDIMIENTOS PRELIMINARES	59
3.2.1 Consulta de información	59
3.2.2 Reconocimiento	60
3.2.3 Programación de las investigaciones geotécnicas y de instrumentación geotécnica preliminar	60
3.3 INVESTIGACIONES DEL SUBSUELO	61
3.3.1 Descripción del proyecto	61
3.3.2 Topografía	61

3.3.3	Información geológica y geomorfológica	62
3.3.4	Información hidrológica e hidrogeológica	62
3.3.5	Investigaciones geotécnicas	62
3.4	METODOLOGÍA DE ANÁLISIS	71
3.4.1	Análisis de estabilidad estático	71
3.4.2	Evaluación de condiciones iniciales	71
3.4.3	Factores de seguridad	72
3.4.4	Análisis de estabilidad dinámica por eventos sísmicos	74
3.4.5	Probabilidad de falla	74
3.5	DISEÑO DE LA INTERVENCIÓN	74
3.6	CONTENIDO MÍNIMO DEL INFORME	74
3.7	SEGUIMIENTO DE LA OBRA	75
	RECOMENDACIONES	76
	REFERENCIAS	76
	Acuerdo Metropolitano N°9 25 de mayo de 2012	78

Lista de tablas

Tabla 1.	Nomenclatura para la caracterización de unidades geomorfológicas del Valle de Aburrá.	29
Tabla 2.	Rangos de incisión de corrientes	30
Tabla 3.	Rangos de pendientes.	30
Tabla 4.	Tipología de procesos morfodinámicos, causa y agente detonante	31
Tabla 5.	Sistema para la clasificación de movimientos en masa	32
Tabla 6.	Periodo de retorno para la estimación de lluvias de diseño para canales recolectores, alcantarillados y estructuras de control de aguas lluvias.	44
Tabla 7.	Inclinación de taludes en canales por naturaleza del terreno o material del canal	50
Tabla 8.	Inclinación de taludes en canales por naturaleza del terreno	52
Tabla 9.	Clasificación según aptitud y grupos de uso	65
Tabla 10.	Evaluación del grado de amenaza para condiciones iniciales	72
Tabla 11.	Factores de seguridad estáticos de acuerdo con los niveles de seguridad requeridos.	72
Tabla 12.	Nivel de seguridad contra pérdidas de vidas	73
Tabla 13.	Nivel de seguridad deseable para daños materiales y ambientales	73

Resumen



En este documento se presentan las conclusiones principales del trabajo adelantado durante el año 2011 por un grupo interinstitucional e interdisciplinario convocado por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA), con el objeto de producir un conjunto de directrices y lineamientos, para los procesos de intervención en laderas del Valle de Aburrá.

Se exponen las directrices sobre los contenidos mínimos que deben tener los estudios en los temas de geología, geomorfología, hidrología, hidráulica, hidrogeología y geotecnia. Para su elaboración se partió del marco normativo colombiano en sus diferentes niveles, se estudiaron algunos casos de normatividad específica existente en otras regiones del país y se analizaron algunos casos internacionales conocidos, que podían considerarse ilustrativos para el caso regional, dadas sus condiciones naturales y sociales comparables con las nuestras.

Se elaboró un diagnóstico general de las particularidades del Valle de Aburrá en lo referente a sus condiciones físicas, a la forma de ocupación de laderas y cauces, y a las prácticas de la ingeniería local. A partir de este diagnóstico se elaboraron las hipótesis principales que orientaron el trabajo y se adoptó la metodología que permitió obtener los resultados que se presentan para su aplicación.

El grupo de profesionales estuvo integrado por profesores de las Universidades EAFIT, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín y de la Universidad de Medellín con especialidad en los distintos campos que se asumieron como objeto del análisis. En su elaboración se contó con el acompañamiento de funcionarios del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, la revisión del Profesor Gabriel Auvinet Guichard, del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México y el apoyo y comentarios de otras instituciones nacionales e internacionales.

El documento consta de seis capítulos principales; las directrices y lineamientos están contenidos en los capítulos 1, 2 y 3, los cuales tratan sobre geología y geomorfología, hidrología, hidráulica e hidrogeología y geotecnia, respectivamente.

En los estudios geológicos y geomorfológicos, se discute el objetivo, el ámbito de aplicación y el tipo de profesionales que pueden adelantar

estos estudios. Se presenta la metodología para los estudios específicos y se definen los procedimientos para zonificar los predios objeto de las intervenciones; finalmente se establecen los productos mínimos que estos estudios deben entregar para la obtención de las respectivas licencias o autorizaciones según el caso. Se destaca en este capítulo 1, poder llegar hasta una clasificación de la aptitud geológica de los predios objeto de intervención, como herramienta metodológica para definir, con mayor cuidado, el plan de exploración del subsuelo que luego se detalla en los procedimientos de geotecnia.

Se describen los procedimientos mínimos requeridos para los estudios hidrológicos, hidráulicos e hidrogeológicos necesarios para evaluar y autorizar intervenciones en laderas y cauces. Se incluyen de manera coherente las normativas y lineamientos existentes en el país y la región, sobre temas sensibles como la intervención en cauces, indispensables para el manejo de las aguas de escorrentía en laderas. Se hace una clasificación de las intervenciones según su nivel de complejidad y se definen las etapas indispensables y el nivel de detalle requerido para cada uno de ellos. Se hacen consideraciones para la construcción de obras de control de aguas de escorrentía. Se hace énfasis en el principio de no intervención de los cauces y en la necesidad de restaurar los ya intervenidos de manera que permitan el flujo normal de los distintos caudales.

En lo relacionado con los estudios geotécnicos, se parte de los criterios establecidos en el Título H del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10. Se definen las etapas de los estudios, los requerimientos para la investigación del subsuelo de acuerdo con el grupo de uso de la intervención y la clasificación de la aptitud geológica del predio. Se determina la información mínima que debe incluirse en el registro de sondeos y se establecen los parámetros de muestreo e investigaciones de laboratorio. Se enuncian metodologías para el análisis de estabilidad, el factor de seguridad y la probabilidad de falla. Finalmente se hacen recomendaciones para el diseño de la intervención, se definen los contenidos mínimos del informe y se hacen planteamientos a tener en cuenta para el seguimiento de las obras en su etapa constructiva.

Diagnóstico

d

Este diagnóstico se constituye en una breve descripción de los aspectos más relevantes desde la geología, la geomorfología y la geotecnia, tratando de identificar la importancia de establecer criterios para futuros desarrollos e intervenciones, pensando en la necesidad de una ciudad región más armónica con su entorno.

El Valle de Aburrá es un valle intramontano, profundo, estrecho y ubicado en el segmento norte de la cordillera Central de Colombia. A la llegada de los conquistadores se encontró ocupado por comunidades que habían comenzado un proceso de intervención, que hoy se manifiesta por remanentes de una importante red de caminos precolombinos que lo intercomunicaban. Desde la conquista comenzó a ser habitado, pero fue en tiempos coloniales cuando se inició su ocupación definitiva mediante el desarrollo de pequeñas poblaciones separadas que servían a los propósitos de las actividades económicas coloniales, siendo la minería aluvial del río Porce la más importante.

En el siglo XVIII, cuando la capital administrativa pasa de Santafé de Antioquia a Medellín, se inicia el proceso definitivo de ocupación del valle. Crecen las poblaciones asentadas y se inicia un proceso de deforestación de sus vertientes, las cuales fueron dedicadas principalmente a la agricultura y la ganadería. En fotografías antiguas de las poblaciones del Valle de Aburrá, queda claro cómo, al principio del siglo XX, con poblados aún circunscritos a sus fundaciones iniciales, se pueden observar las laderas convertidas en potreros, con escasos relictos de bosques.

La ocupación del valle se remonta a tiempos precolombinos pero alcanza niveles importantes, en la segunda mitad del siglo XX, cuando se inician los grandes desplazamientos de población del campo a la ciudad, como consecuencia de las transformaciones económicas del país y por las condiciones de violencia.

Por tratarse de la región central de Antioquia y dadas sus condiciones favorables para el desarrollo de distintas actividades económicas, tempranamente el valle se convirtió en un atractor de población. Las ciudades de

hoy han llegado a niveles importantes de transformación de las condiciones naturales. Existe una gran ciudad conformada por un núcleo central de seis municipios y algunos asentamientos importantes separados y con fuerte tendencia de crecimiento al sur y al norte.

En la actualidad, se han urbanizado casi por completo las cuencas bajas y medias y hay presión evidente por las zonas de mayor pendiente, caracterizadas por condiciones de estabilidad más precarias, con desarrollos urbanísticos que exigen cada vez más proyectos con mayores solicitaciones de carga.

Hoy, se intervienen las pocas áreas con coberturas adecuadas para un manejo mínimo de las cuencas bajas y medias, induciendo modificaciones importantes en la dinámica natural del valle, lo que se ha traducido en un incremento en la amenaza y la vulnerabilidad para las comunidades y la infraestructura. Se ocupa un medio ambiente atractivo por sus recursos pero que igualmente tiene límites en sus posibilidades. Las pérdidas en vidas y bienes que con frecuencia alarman a la población, son indicadores de esos límites que se deben reconocer, evaluar y remediar en la intención de conseguir una urbe con buenos estándares de calidad de vida, pero sostenible en el tiempo.

En el proceso de análisis de la normativa y disposiciones legales, se encontró que estas tienen los elementos indispensables, pero que por su ámbito de aplicación nacional o por estar referidas a tipos de intervenciones particulares, dejan aspectos importantes sin considerar, como por ejemplo proyectos lineales en zonas urbanas; así mismo se encontró que la normativa no desarrolla con el grado de profundidad requerido los lineamientos para las intervenciones en laderas.

En consecuencia, dadas las características particulares del valle, este amerita consideraciones propias en el diseño de las directrices y lineamientos. Se considera que por sus condiciones geomorfológicas, geológicas, climáticas, hidrológicas y por la forma como se ha dado la ocupación se requieren énfasis particulares en los estudios.

Para el diagnóstico se indagó sobre los estudios geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, hidráulicos y geotécnicos realizados por diferentes entidades públicas, consultores y empresas particulares. Fueron seleccionados de manera aleatoria, sin ánimo de confrontar o redefinir los criterios técnicos en ellos consignados, examinando el detalle y la calidad general. Se encontró, que la información analizada es desarticulada, heterogénea y no siempre con la calidad requerida para los tipos de intervenciones que se hacen. Se aprecia una amplia dispersión de conceptos, criterios y niveles de desarrollo de los estudios. La cantidad y calidad de los disponibles, varía sensiblemente dependiendo de los sectores del Valle de Aburrá.

Se identificaron procedimientos que reflejan falencias en la unificación de criterios, así como el inadecuado uso de la terminología técnica. Hay diversidad de criterios entre autoridades locales para contratar, recibir y controlar los estudios.

Dentro de estos últimos se encontró un rango amplio de criterios para establecer los niveles de amenaza, los cuales van desde cualitativos hasta cuantitativos. Se evidenció que los estudios geológicos y geomorfológicos que son de escalas regionales, no se articulan bien con las escalas geotécnicas. Hacen falta metodologías que permitan acoplar los cambios de escala que se dan entre estas disciplinas. En el Valle de Aburrá no hay datos ni criterios propios que permitan relacionar las escalas de trabajo que involucren las particularidades físicas.

En las evaluaciones se encontró que falta un organismo calificado e imparcial en el campo de la geotecnia, que tenga como función principal la recepción e interpretación de los estudios que se presenten ante las oficinas competentes. También se encontró que hay poca difusión de las experiencias geotécnicas locales; que faltan publicaciones especializadas y que no hay un ente integrador de esta área del conocimiento a nivel local.

Se evidencia que hay poca disponibilidad de la información existente para ser consultada por el público; no existe una dependencia que consigne lo que se está produciendo con las implicaciones que esto tiene en el desarrollo del conocimiento sobre los procesos naturales en el Valle de Aburrá.

El Valle ha sido objeto de interés geológico desde fines del siglo XIX, contando con mapas integrales de su geología desde la segunda mitad del siglo XX (Botero, 1963). En la actualidad se tiene la cartografía de toda la región a escala 1:100.000 elaborada por INGEOMINAS (2005). Como un avance significativo, a través del estudio de microzonificación sísmica del valle de Aburrá (AMVA, 2007) se generó un mapa en escala

1:10.000, el cual se constituye en la información regional con mayor detalle disponible.

Desde el punto de vista físico el Valle de Aburrá es una depresión, ubicada hacia el centro de la parte norte de la cordillera Central. Está limitado en toda su extensión por varios altiplanos de edad terciaria. Tiene en promedio unos 1.000 metros de profundidad con respecto a los altiplanos; es un valle estrecho, que alcanza su amplitud máxima en el sector central, donde se ubican los municipios de Medellín y Bello. En su interior se caracteriza por una gran variedad de unidades litológicas, fallas geológicas y una geomorfología relativamente complejas.

A grandes rasgos se reconocen cinco unidades geomorfológicas mayores, que desde el altiplano hasta la llanura aluvial son: los altiplanos propiamente dichos, los escarpes erosivos regionales, la zona de filos altos y peldaños moldeados en roca, las superficies formadas en depósitos de vertiente y finalmente las planicies aluviales de dimensiones variables dependiendo del segmento del valle. Cada una de estas unidades tiene dinámicas morfológicas distintas dando lugar a procesos y problemáticas diferentes según la forma en que sean intervenidas. Un ejemplo reciente de la relación entre la dinámica de los escarpes y la forma de intervención son los deslizamientos que ocurrieron en la cuenca de la quebrada La Presidenta a finales de 2010.

En el valle se han identificado unidades litológicas con distintas respuestas a los procesos naturales y antrópicos. Afloran rocas metamórficas tipo neises, esquistos y anfibolitas, con comportamiento anisotrópico de sus propiedades mecánicas e hidráulicas lo que requiere un mayor detalle de los estudios para las intervenciones.

Las rocas ígneas intrusivas que afloran varían desde ácidas hasta ultrabásicas, dentro de las cuales se reconocen cuarzdioritas, dioritas, gabros y dunitas; generando dentro del perfil de meteorización diferentes espesores y características, por la variabilidad de su composición mineralógica y la ubicación geomorfológica. Esto se traduce en el requerimiento de un mayor número de parámetros necesarios para los estudios geotécnicos que no siempre son tenidos en cuenta.

En la parte suroccidental se han cartografiado rocas volcano-sedimentarias con una alta sensibilidad a los procesos de meteorización y susceptibles a los fenómenos de inestabilidad superficial.

Una característica importante del valle es una amplia cantidad de depósitos de vertiente, aluvio torrenciales y aluviales que le dan su aspecto particular. En las vertientes se han reconocido varios eventos de depósitos de

tipo flujos de lodo y escombros que por su edad y posición tienen aspectos geomorfológicos que varían desde fuertemente incisados y colinados hasta superficies suavemente inclinadas, con grados de consolidación y meteorización variables, disposición y tamaño de bloques erráticos, lo que hace que respondan de manera diferente a las intervenciones. La heterogeneidad en el tamaño de sus componentes no permite la evaluación convencional de sus propiedades mecánicas e hidráulicas, mediante ensayos de laboratorio, lo que implica la necesidad de hacer ensayos a escala real, instrumentar e innovar en los procedimientos de caracterización en campo, lo que hasta ahora sólo se ha hecho en pocos casos.

La base del valle está conformada por acumulaciones aluviales y aluvio-torrencales con espesores significativos. En las proximidades de las desembocaduras de los afluentes principales se han cartografiado potentes depósitos de origen torrencial, actualmente cortados por su propia corriente, dando lugar a sistemas de terrazas, en su mayoría urbanizadas. La respuesta geotécnica de estos materiales a los procesos de intervención depende del grado de variabilidad y tamaño de los materiales que lo conforman.

El fondo se caracteriza por varias franjas con amplitudes variables, rellenas con espesas acumulaciones de sedimentos aluviales tipo gravas y arenas, en algunos sectores explotados como materiales de construcción, especialmente en el segmento norte del valle. Tienen un alto nivel freático y en términos ingenieriles se caracterizan por su buena capacidad de soporte, con baja compresibilidad pero con posible presencia de bolsas de material orgánico y paleosuelos, que pueden llevar a asentamientos diferenciales en las estructuras que se apoyen en ellos. Estos aluviones pueden incluir estratos de arena con espesores mayores a 4 m, susceptibles a fenómenos de licuación por acciones sísmicas o por incremento del gradiente hidráulico. Los depósitos finos dejados por corrientes de agua en el Valle de Aburrá, están conformados por materiales de alta plasticidad que macroscópicamente se comportan como materiales expansivos, lo que obliga a que se hagan tratamientos y diseños especiales de cimentación.

Estructuralmente el valle se caracteriza por la presencia de trazas del sistema de fallas Romeral al sur y al oeste y varias fallas del orden local al este y al norte principalmente, que no han sido suficientemente estudiadas como para establecer su posible nivel de actividad.

Los macizos rocosos que afloran en el valle presentan diferente intensidad de fracturamiento, afectando las propiedades mecánicas e hidráulicas y generando diferentes mecanismos de inestabilidad, como lo que ocurre en algunos sectores de Las Palmas. Estos parámetros, con frecuencia, no son



Erosión superficial cárcavas.

considerados en los estudios de estabilidad de laderas ni en los diseños de estructuras de contención.

Desde la geomorfología se evidencian conexiones hidrogeológicas entre el altiplano de Santa Elena y la vertiente oriental del valle, siendo ésta una de las causas por las cuales se presenta variación de la cabeza piezométrica, la cual genera diferentes fuerzas de filtración que, a su vez, se constituyen en fuerzas desestabilizadoras de la ladera. Para comprender el comportamiento del agua subterránea, espacial y temporalmente en las laderas, hacen falta modelos hidrogeológicos conceptuales y cuantitativos basados en parámetros obtenidos mediante instrumentación, con el fin de entender el comportamiento del agua subterránea.

Las características geomorfológicas del valle, unidas a la manera como se da la precipitación, el régimen de lluvias de alta intensidad en pequeñas áreas, dan lugar a crecientes súbitas y avenidas torrenciales, con alta capacidad destructiva en las cuencas bajas, donde comúnmente hay alta densidad de ocupación, inclusive en la zona de retiro obligatorio de los cauces.

1

Capítulo

Procedimientos técnicos para estudios geológicos y geomorfológicos



Desgarres localizados.

1.1 GENERALIDADES

En este capítulo se establecen los contenidos mínimos que deben presentar los estudios geológicos y geomorfológicos dentro del marco de intervención de laderas en los municipios pertenecientes al Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

Los estudios geológicos y geomorfológicos tienen como propósito principal la identificación, caracterización y descripción detallada de los distintos geomateriales, de su estado de fracturamiento, grado de meteorización, la identificación de los procesos morfodinámicos que pueden tener implicaciones en el comportamiento de las laderas y por tanto en las obras o actividades que se adelanten o existan en ellas.

La realización de estudios geológicos y geomorfológicos debe partir de los estudios regionales elaborados por las distintas entidades estatales y territoriales, los cuales serán la base para la descripción del entorno geológico y geomorfológico del proyecto y deben llegar, en su conjunto, a definir la zonificación de aptitud geológica del suelo, donde se localiza la intervención, como base para la toma de decisiones



Escarpe principal y zona de acumulación.

relacionadas con la exploración del subsuelo y las intervenciones urbanísticas que se proyecten.

Regionalmente el Área Metropolitana del Valle de Aburrá dispone de mapas geológico y geomorfológico a escala 1:10.000, elaborados en el marco del proyecto de microzonificación sísmica del Valle de Aburrá (2007). En el mapa geológico se presentan las unidades litológicas mayores, los diferentes tipos de depósitos de vertiente y aluviales y las principales fallas geológicas que afectan el territorio. En el mapa geomorfológico se presenta la división del Valle de Aburrá en unidades geomorfológicas mayores definidas y clasificadas de acuerdo con el proceso genético principal; igualmente, se presenta una división y subdivisión jerarquizada de unidades y se describen los criterios de separación cartográfica de cada una de las unidades geomorfológicas identificadas.

El interesado debe consultar, además de los mapas, las respectivas memorias que los acompañan y que permitirán ubicar el proyecto en el contexto del modelo geológico y geomorfológico regional, que debe utilizarse como base para el planeamiento

detallado de los estudios locales. De igual manera el profesional responsable debe consultar e incorporar en sus análisis los estudios de mayor detalle que puedan existir y que estén disponibles en los distintos entes territoriales o entidades con jurisdicción en la región.

1.2 ÁMBITO DE LOS ESTUDIOS, ESCALAS Y DELIMITACIÓN DE LA UNIDAD DE ANÁLISIS

Los estudios geológicos y geomorfológicos se deben enmarcar dentro de un estudio de zonificación de la aptitud geológica del predio de interés, el cual se debe planear y elaborar en diferentes etapas que comprenden:

- Recopilación de información existente.
- Fotointerpretación y uso de los sensores remotos disponibles.
- Análisis detallado de la base topográfica existente mediante la elaboración de perfiles topográficos.
- Realización de visitas de campo para el reconocimiento de las unidades litológicas y geomorfológicas.
- Descripción detallada y sistemática de afloramientos.
- Medición y análisis de estructuras geológicas.

- Levantamiento cuidadoso del perfil de meteorización y los depósitos de vertiente o aluviales involucrados.
- Identificación de los procesos morfodinámicos presentes en la zona de influencia del proyecto.

Los estudios geológicos y geomorfológicos deben estar enmarcados dentro de la unidad de análisis definida por el grupo de profesionales involucrados en el proyecto a partir de las características geológicas, geomorfológicas, morfodinámicas e hidrológicas globales, así como por la estimación de las condiciones de estabilidad del predio y sus zonas aledañas.

Para los efectos de este documento, se define la Unidad de Análisis como la Unidad Morfodinámica Independiente (UMI), entendida como la unidad del territorio que enmarca el predio de interés y que presenta un comportamiento independiente de las unidades adyacentes; dicha unidad podrá estar delimitada por divisorias de agua, drenajes o expresiones geomorfológicas. Se considera que cualquier proceso morfodinámico que se presente en el exterior no afecta su interior e igualmente, cualquier proceso morfodinámico que se presente en el interior no afecta las unidades adyacentes.

La UMI, debe ser delimitada por el grupo de profesionales contratados por el urbanizador o dueño del proyecto en las áreas de geología, geomorfología, geotecnia, hidrología e hidráulica y como mínimo a escala 1:2.500, quienes seguirán las orientaciones de las oficinas de planeación municipal o quienes hagan sus veces. Para el caso en que la intervención a realizar no pueda enmarcarse dentro de una Unidad de Análisis claramente diferenciable, el grupo de profesionales deberá presentar los argumentos técnicos que justifiquen tomar como la Unidad de Análisis, el predio de intervención o cualquier otra delimitación.

Para determinar la UMI, se deben utilizar las bases cartográficas, las imágenes y fotografías aéreas disponibles en el IGAC, INGEOMINAS, el AMVA y

los municipios del Valle de Aburrá. Todos los mapas deben ser elaborados mediante la utilización de sistemas de información geográfica y acogerse a las normas y criterios establecidos por las autoridades competentes a nivel nacional y municipal. Los mapas geológicos y geomorfológicos deben seguir los estándares de presentación de INGEOMINAS.

La identificación y delimitación de la UMI se debe realizar mediante la ejecución de las siguientes fases complementarias:

- Delimitación de la UMI mediante la ejecución de análisis estereoscópicos para los cuales se deben tomar como referencia las líneas de vuelo que cubren el Valle de Aburrá; el análisis estereoscópico para la delimitación de la UMI, debe ser realizado como mínimo a escala 1:10.000, empleando fotos aéreas temporalmente espaciadas disponibles en los municipios, la oficina de Catastro Departamental, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA), INGEOMINAS, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) o cualquier otra dependencia o institución que las facilite para el efecto. Dependiendo de la extensión del proyecto y la disponibilidad de líneas de vuelo en las entidades anteriormente mencionadas, se deberán tomar fotos aéreas con vuelos específicamente diseñados para tal fin, según los requerimientos de las oficinas de planeación municipal o quienes hagan sus veces.

La escala de las fotografías aéreas debe ser la más detallada posible, siendo recomendable, para mapas de escala 1:2.500, que las fotos de base no sean de escalas menores a 1:10.000, en promedio.

- Recorridos de campo durante los cuales el grupo de profesionales involucrados en el proyecto deberá corroborar la información obtenida en el análisis estereoscópico, así como la existencia



Pérdida de estabilidad lateral - material friable.



Sistema de contención.

o predominio de subunidades dentro de la UMI anteriormente definida; quedará a criterio del grupo de profesionales quienes deberán seguir las orientaciones de las oficinas de planeación municipal o quienes hagan sus veces, definir adecuadamente los límites de la UMI los cuales podrán ser líneas divisorias de agua, drenajes, accidentes topográficos u otros que permitan establecer el comportamiento independiente de la UMI.

- Identificación de procesos morfodinámicos activos, inactivos y potenciales tales como deslizamientos, caídas de rocas, flujos de lodo, inundaciones, avenidas torrenciales y en general toda clase de procesos de origen geológico o geomorfológico dentro de la UMI que puedan afectar la zona de interés; será responsabilidad del profesional la identificación de procesos activos, inactivos y potenciales en función de la morfología y morfodinámica que se definan para la UMI.

1.3 METODOLOGÍA PARA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS GEOLÓGICOS

La elaboración de los estudios geológicos tiene como objetivo la identificación, delimitación y descripción superficial de los geomateriales, depósitos de vertiente o aluviales y llenos artificiales de cualquier tipo que conforman la UMI y el predio de interés.

La identificación y descripción superficial de los geomateriales que conforman la UMI, debe ser realizada mediante la descripción e interpretación de los afloramientos disponibles en el área. La caracterización de los geomateriales que conforman el predio de interés debe ser realizada mediante la observación directa de muestras obtenidas a partir de sondeos, apiques y trincheras que se realicen dentro del programa de exploración.

La exploración de campo debe ser diseñada después de la recopilación y análisis de la información secundaria disponible, y debe estar orientada a la descripción e interpretación de los afloramientos disponibles en los lechos de las quebradas, en cortes y excavaciones preexistentes.

En cada afloramiento se debe hacer un levantamiento geológico detallado, que se debe registrar en la libreta de campo, la cual debe ser entregada como parte de las memorias del proyecto y que debe servir para estudios posteriores en la misma zona, para la interventoría del proyecto y para las actividades de control posterior; la libreta podrá ser almacenada por el propietario o por el consultor pero en todo caso se debe presentar una copia escaneada en anexo al informe. Las empresas de consulta o contratistas deben seguir normas de calidad para la toma de información, las cuales deben ser previamente definidas y presentadas como parte del informe geológico.

En cada uno de los afloramientos se debe describir como mínimo el tipo de roca, depósito de vertiente o aluvial, o lleno artificial de cualquier tipo, la relación espacial y estratigráfica de los materiales y su grado de meteorización. Para la descripción de depósitos superficiales, se debe indicar el tipo de depósito, la granulometría, el tipo de matriz, el grado de meteorización y la relación matriz-bloques expresada de manera porcentual.

Las estructuras geológicas tales como diaclasas, planos de estratificación, planos de cizallamiento, foliación, fracturas y fallas deben describirse según el número de familias presentes y se debe tener en cuenta densidad, continuidad, separación, rugosidad y tipo de relleno. Se debe indicar si hay circulación de agua por las fracturas. Se debe hacer el análisis geoestadístico del conjunto de datos estructurales y se debe realizar la representación del diagrama polar equiareal de frecuencia estadística.

La descripción de los perfiles de meteorización de las rocas y depósitos debe hacerse de modo sistemático,



Estructura vulnerable.

utilizando los criterios para la descripción del perfil de meteorización reconocidos en la literatura técnica. El profesional debe justificar el método empleado.

El levantamiento del perfil de meteorización debe hacerse mediante la descripción de afloramientos, cortes, trincheras, apiques o excavaciones y servirán para orientar la fase de exploración del subsuelo que se describe en el capítulo 3. Se debe ser explícito en la presentación de la información de las posibles variaciones laterales de los perfiles de meteorización de cada unidad rocosa o depósito si fuere el caso, haciendo énfasis en variabilidad del espesor de la zona meteorizada o de los horizontes que la conforman, cambios texturales, de color, indicar la presencia de estructuras heredadas y su variabilidad. El profesional debe informar situaciones particulares como llenos y acumulaciones de antiguos movimientos de masa, entre otros.

El número de afloramientos que se debe describir dependerá de la disponibilidad y de la escala del mapa; la calidad de la interpretación cartográfica será evaluada con base en el número y la distribución de los afloramientos visitados y descritos. Si no hay disponibilidad de afloramientos suficientes, el profesional dejará claro en su informe los criterios o procedimientos que se tuvieron en cuenta para realizar el modelo geológico que se presente. Aunque el modelo geológico es un procedimiento previo, este debe tener en cuenta e incorporar, en el análisis final, los datos provenientes de perforaciones, sondeos



Efectos antrópicos.

geofísicos, apiques, trincheras o excavaciones que se adelanten en la fase de exploración del subsuelo. Se considera recomendable que el profesional visite la zona del proyecto durante la etapa de construcción, e informe debidamente al propietario y a las autoridades correspondientes de posibles variaciones de su modelo; esta información será incorporada a la memoria del proyecto y estará disponible en los expedientes para procesos posteriores de interventoría y control.

1.4 PRODUCTOS DE LOS ESTUDIO GEOLÓGICOS

La realización de estudios geológicos debe presentar como mínimo los siguientes resultados-productos:

- Gráfico de localización de la zona de intervención o de interés en la o las UMI definidas como el ámbito para la elaboración de los estudios geológicos de detalle.
- Mapa geológico de la o las UMI a escala 1:2.500 o mayor según el caso particular.
- Al menos un perfil geológico interpretativo que represente la o las UMI, donde se muestren las relaciones geológicas entre los diferentes materiales identificados.
- Análisis estereográfico de los datos estructurales tomados en la UMI .
- Informe en el cual se detallen la litología, los depósitos, grado de meteorización y disposición de las discontinuidades estructurales tales como fallas, fracturas y diaclasas. Todas las unidades litológicas descritas deberán ser correlacionadas

con la nomenclatura estratigráfica utilizada corrientemente en el Valle de Aburrá por el INGEOMINAS y por el mapa geológico a escala 1:10.000 elaborado por el AMVA. Si el profesional del proyecto propone nuevas nomenclaturas para unidades ya conocidas o identificadas por primera vez en el estudio, deberá seguir las normas que para estos casos se establecen en la Guía Estratigráfica Internacional. La nomenclatura de las fallas geológicas cartografiadas deben ser la misma utilizada por INGEOMINAS o la consignada en el mapa geológico del AMVA. En caso de informar sobre nuevas fallas geológicas no reconocidas en los mapas regionales, el profesional podrá introducir nuevos nombres siguiendo la costumbre de nominarlas según la toponimia del lugar del estudio, informando sobre el tipo de falla, rumbo, buzamiento, amplitud del rasgo en afloramiento y expresión geomorfológica.

En ningún caso se aceptarán, como mapa geológico del proyecto, ampliaciones elaboradas mediante cualquier tipo de técnicas, de los mapas de escala regional o local consultados como información secundaria. Si la zona del proyecto cuenta con mapas o estudios geológicos detallados, estos podrán ser incorporados en el estudio previa revisión y aceptación por parte del profesional, quien deberá dejar consignado en el informe la fuente del mapa y las observaciones y modificaciones que se hicieron. Este procedimiento no exime al profesional de la responsabilidad por posibles fallas o complicaciones futuras que se originen en una inadecuada interpretación del modelo geológico.

Los mapas geológicos se presentarán de acuerdo con los estándares de INGEOMINAS; en caso contrario el profesional responsable debe sustentar las razones tenidas en cuenta para la adopción de forma de presentación diferente a la enunciada. El mapa geológico debe contener las unidades litológicas y depósitos identificados en campo, indicando, con la, simbología adecuada, cualquier tipo de variación textural, composicional, de meteorización, alteración o fracturamiento relevantes para el proyecto de intervención.

1.5 METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS GEOMORFOLÓGICOS

El estudio geomorfológico tendrá como objetivo principal la caracterización y cartografía de las unidades geomorfológicas, la definición de rangos de pendientes, la identificación de los procesos morfodinámicos activos, inactivos y esperados que estén localizados dentro de la UMI con incidencia directa o indirecta sobre el predio de interés.

Una vez delimitada y caracterizada la UMI donde se enmarca la zona de interés, se debe continuar con la definición de las unidades geomorfológicas que la conforman. La identificación de las unidades geomorfológicas dentro de la UMI, debe tomar como información base el mapa de unidades geomorfológicas presentado en el proyecto de microzonificación sísmica del Valle de Aburrá, a escala 1:10.000, en el cual se define de manera sistemática la distribución de unidades geomorfológicas y los rasgos morfogenéticos del Valle de Aburrá.

En caso de introducir nuevas unidades, el profesional debe argumentar técnicamente el modelo de presentación o el nuevo nombre que introduzca en su cartografía. De igual manera, en caso de que el proyecto se encuentre localizado dentro de una sola unidad de análisis para la cual no sea posible definir la existencia de la UMI, ni los procesos morfodinámicos que ocurran en esta, se dejará a criterio del profesional la pertinencia de realizar las actividades anteriormente descritas; en el informe se debe argumentar acerca de la imposibilidad técnica de enmarcar el proyecto dentro de una UMI determinada.

En la tabla 1, se muestran los principales tipos de unidades geomorfológicas y la simbología respectiva que deberá ser seguida por el equipo profesional del proyecto, extraído de la microzonificación y evaluación del riesgo sísmico del Valle de Aburrá de 2007.



Tratamientos de estabilidad.

Tabla 1. Nomenclatura para la caracterización de unidades geomorfológicas del Valle de Aburrá.

SIMBOLO	NOMBRE
CA	Colinas aisladas
CDV	Colinas en depósito de vertiente
CSR	Colinas en suelo residual
DSI	Depósitos sin incisión
ELS	Escarpe lineal superior
ESCS	Escarpes semicirculares superiores
GA	Geoforma antrópica
L	Lomo
LA	Lomos altos
LB	Lomos bajos
LLA	Llanura aluvial
LR	Lomerío
P	Picacho
PÑ	Peldaño
RMT	Rasgos morfotectónicos
SBI	Superficies con baja incisión
SSDPI	Superficies suaves en depósitos poco incidados
SSDMI	Superficies suaves en depósitos moderadamente incidados
SSDAI	Superficies suaves en depósitos altamente incidados
VSRPI	Vertientes en suelos residuales poco incidadas
VSRMI	Vertientes en suelos residuales moderadamente incidadas
TA	Terrazas aluviales

La identificación de las unidades geomorfológicas para la UMI donde se localiza el proyecto, debe ser realizado a escala 1:2.500 y debe estar apoyada en el análisis de fotos aéreas temporalmente espaciadas, a escala 1:10.000 o mayor, dependiendo de la disponibilidad.

Para la identificación de unidades geomorfológicas deberá elaborarse perfiles topográficos de manera sistemática con el fin de identificar cambios de pendiente o de forma y elaborar un mapa

de pendientes de la UMI, utilizando rangos que permitan realizar la separación cartográfica de las unidades geomorfológicas identificadas.

Las unidades previamente delimitadas deben ser corroboradas mediante recorridos de campo que permitan la visualización directa, la georreferenciación y delimitación de las mismas, así como la definición de sus características morfométricas e identificación de los procesos morfodinámicos internos y externos a ésta.

Para el caso específico del predio donde se localizará el proyecto, las unidades geomorfológicas que la conforman deberán ser identificadas y caracterizadas de acuerdo con criterios morfométricos tales como pendiente, forma de los filos o colinas, incisión de los drenajes y gradiente de las corrientes. La escala del mapa geomorfológico debe ser 1:2.500 o mayor; para ello el interesado deberá contar con el respectivo levantamiento topográfico del predio a la escala mencionada, donde se presente su georreferenciación y una adecuada distribución de curvas de nivel que permita establecer los detalles de la geoforma identificada.

En las tablas 2 y 3 se presentan los rangos de incisión de corrientes y pendientes, que se deben utilizar para la descripción morfométrica de la unidad geomorfológica identificada dentro de la UMI

Tabla 2.
Rangos de incisión de corrientes:

Incisión de drenajes (m)	Calificación
0-5	Bajo
5-10	Moderado
10-20	Alto
>20	Muy alto

Tabla 3.
Rangos de pendientes.

Pendiente (°)	Calificación
0-5	Bajo
5 -15	Moderado
15-30	Alto
>30	Muy alto

Además de los rasgos morfométricos, se deben describir otras características tales como rugosidad, irregularidades, curvatura y otras que el profesional considere necesarias para la adecuada identificación, descripción y caracterización de cada una de las unidades geomorfológicas dentro de la UMI analizada.

El estudio deberá dejar constancia de la obtención de nuevos hallazgos y nuevas observaciones geomorfológicas que por efectos de escala no se consideren en el proyecto de microzonificación sísmica del Valle de

Aburrá (2007), para ello se debe presentar de manera detallada las nuevas contribuciones que el proyecto genere para el conocimiento del territorio del Valle de Aburrá.

1.6 IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS MORFODINÁMICOS

La identificación de procesos morfodinámicos debe ser realizada con el fin de caracterizar de manera cualitativa, los diferentes eventos que afectan las condiciones de estabilidad global de la UMI y el impacto que estos generan sobre el predio de interés y las intervenciones allí proyectadas; la identificación de procesos morfodinámicos debe ser realizada mediante la interpretación de fotografías aéreas temporalmente espaciadas a escala 1:10.000 o mayor, el análisis de mapas topográficos a diferentes escalas y la consulta de registros históricos.

Una vez realizada la identificación y georreferenciación de los procesos morfodinámicos, el equipo de profesionales debe realizar recorridos de campo que permitan validar la información obtenida en dicho análisis; de esta manera se deben caracterizar los diferentes eventos de acuerdo al volumen de material, al mecanismo de falla, grado de actividad y de ser posible la identificación de los factores detonantes de los mismos.

La identificación de procesos morfodinámicos debe ser realizada a las escalas definidas para la UMI y para el predio de interés. Para la identificación y correcta descripción de los procesos morfodinámicos se debe especificar el tipo de proceso, su geometría, causas probables y agente detonante de acuerdo a lo establecido en la tabla 4. De igual manera el grupo de profesionales podrá sugerir tipos de procesos no incluidos en la tabla y los describirá según los parámetros de geometría, causa probable y agente detonante, según lo establezca el caso en particular.

Tabla 4. Tipología de procesos morfodinámicos, causa y agente detonante:

Tipo de proceso	Causa	Agente detonante
Movimiento en masa	Usos del suelo – Geológica	Lluvia – Antrópica
Erosión	Socavación lateral - Concentrada	Fluvial - Antrópica
Acumulación de sedimentos	Gravitacional – Antrópicos - Fluvial	Lluvia – Fluvial - Antrópica

Con base en los resultados obtenidos en la identificación de procesos morfodinámicos, el grupo de profesionales debe realizar una primera aproximación a la evaluación del impacto de los procesos morfodinámicos y las intervenciones proyectadas en el predio de interés en la estabilidad global de la UMI.

La identificación de los procesos morfodinámicos en la UMI, debe ser complementada con la caracterización de cada uno de los procesos morfodinámicos tales como inundaciones, avenidas torrenciales, movimientos en masa, erosión y demás procesos que eventualmente puedan afectar la zona de interés.

La clasificación de movimientos en masa debe ser realizada de acuerdo al sistema definido por Varnes, 1984, en la literatura técnica; en la tabla 5 se presenta el detalle del sistema de clasificación, el cual considera los tipos de movimiento de acuerdo a los parámetros morfológicos, el material involucrado, el mecanismo de falla y el grado de actividad.

Tabla 5. Sistema para la clasificación de movimientos en masa:

Caída	Roca	Escombros (<80% Arena y finos)	Suelo (> 80% Arena y finos)
Volcamiento	Caída de rocas	Caída de escombros	Caída de tierra
Deslizamiento	Volcamiento de Bloques		Volcamiento de bloques
	Deslizamiento de rocas Separación de rocas	Flujo de escombros	Deslizamiento de tierra Separación de tierra
Flujo	Reptación en roca Hundimiento	Flujo Avalancha Reptación en suelo Soliflucción	Flujo de arena y limo en estado húmedo Flujo de tierra Flujo de sedimentos Flujo de arena en estado seco Flujo de tierra
Complejo	Avalancha de rocas Desplome y flujo de lodos	Avalancha de Rocas Desplome y flujo de lodos	Avalancha de Rocas Desplome y flujo de lodos

El grupo de profesionales debe identificar y cartografiar procesos erosivos tales como erosión laminar, surcos, cárcavas, reptación, subsidencias por lavado de finos, socavación de orillas de corrientes, entre otros; igualmente se deben identificar y cartografiar los distintos movimientos en masa.

Si el profesional considera que dicha clasificación no se adapta a sus condiciones particulares, podrá sugerir, con la respectiva argumentación técnica, el uso de otro modelo de clasificación que considere más ajustado.

Como parte del reconocimiento de procesos morfodinámicos se deben identificar y cartografiar procesos de acumulación de sedimentos por la acción de las corrientes o por depósitos antrópicos como botaderos de escombros o desechos en las laderas y las corrientes, legales o ilegales. Se debe prestar particular atención en delimitar la presencia de modificaciones importantes de la ladera o el cauce, las tomas de acueducto, acequias de conducción y canales de vertimiento de aguas residuales. De igual manera, se debe describir y cartografiar la

existencia de cortes, llenos y obras de drenaje o contención previos al proyecto, haciendo énfasis en su función, edad y mantenimiento.

La caracterización y evaluación cuantitativa de los procesos morfodinámicos dentro del predio de interés, debe ser realizada mediante la ejecución de estudios geológicos, geotécnicos, hidrológicos e hidráulicos aplicando como mínimo las metodologías definidas en este documento. Se deja a criterio del profesional involucrado en la realización del estudio geomorfológico, la aplicación de técnicas y metodologías adicionales que permitan complementar la identificación y caracterización de los procesos morfodinámicos, las cuales deben ser debidamente aplicadas considerando las condiciones particulares de la UMI y el predio objeto de estudio.



Diferentes unidades geomorfológicas.

1.7 PRODUCTOS DE LOS ESTUDIOS GEOMORFOLÓGICOS Y MORFODINÁMICOS

La realización de estudios geomorfológicos debe presentar como mínimo los siguientes resultados:

- Mapa de pendientes utilizado en la definición de unidades geomorfológicas; los rangos de pendiente son los indicados en este capítulo.
- Mapa geomorfológico de la unidad de análisis UMI a escala 1:2.500 o mayor.
- Mapa de procesos morfodinámicos de la UMI, a escala 1:2.500.
- Mapa de amenaza por movimientos en masa definido a partir de la identificación de los procesos morfodinámicos dentro de la UMI a escala 1:2.500.
- Informe geomorfológico en el cual se describan los métodos, procedimientos y resultados de los estudios geomorfológicos.

1.8 ZONIFICACIÓN DE LA APTITUD GEOLÓGICA DEL PREDIO DE INTERÉS

Una vez elaborados los estudios geológicos y geomorfológicos para la o las UMI identificadas como área de influencia del proyecto, se deberá proceder a la elaboración del mapa de zonificación de la aptitud geológica del predio de interés, para lo cual se deben considerar cuatro tipos de zonas, de acuerdo a las características geológicas y geomorfológicas y a la complejidad de los procesos morfodinámicos identificados dentro de este y en la UMI tal y como se indica a continuación:

- Zonas aptas: Corresponden a zonas que presentan alto grado de estabilidad; no se aprecia la ocurrencia de procesos morfodinámicos activos e inactivos tales como socavación de márgenes y movimientos en masa que afecten la estabilidad global del predio de interés y de la UMI asociada; la estabilidad global de estas zonas está condicionada al tipo de intervención que se proyecte y al uso y manejo que se dé a estas y a la UMI asociada.

- Zonas aptas con restricciones moderadas: Corresponden a zonas estables dentro del predio de interés; sin embargo, su estabilidad está condicionada por la incidencia directa que presentan procesos morfodinámicos activos tales como socavación de márgenes y movimientos en masa identificados en la UMI asociada; la estabilidad global de estas zonas dependerá del manejo que se dé a los procesos morfodinámicos y al tipo de intervención que se proyecte. Se considera que las obras de estabilización proyectadas son técnica y económicamente viables.
- Zonas aptas con restricciones altas: En las cuales se evidencia la ocurrencia de procesos morfodinámicos activos tales como socavación de márgenes y movimientos en masa localizados en el predio de interés y en la UMI asociada; la estabilidad global de estas zonas dependerá del manejo que se dé a los procesos morfodinámicos y al tipo de intervención que se proyecte sobre estas. El estudio debe evaluar la viabilidad técnica y económica de las obras de estabilización proyectadas dentro del lote y la UMI asociada.
- Zonas no aptas: Son aquellas con evidente inestabilidad por la ocurrencia de procesos morfodinámicos activos tales como socavación de márgenes y movimientos en masa dentro del lote de interés y la UMI asociada; el estudio considera que las obras de estabilización proyectadas son técnicamente complejas y de alto costo con respecto a las inversiones proyectadas en la zona o predio de interés. Las zonas con restricciones normativas se considerarán como no aptas.

Como producto de esta etapa se debe presentar un gráfico o mapa de la aptitud geológica de la zona de intervención y se debe informar, detallando las consideraciones para definir la aptitud a que hace referencia este numeral.



Procesos morfodinámicos vs riesgo geotécnico.

1.9 GEOLOGÍA DETALLADA Y PLAN DE EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

Una vez definidas las condiciones de aptitud geológica de la zona o predio de interés, se debe elaborar el mapa geológico detallado a la escala definida para los estudios hidrológicos, hidráulicos, geotécnicos y urbanísticos y se procederá a definir, junto con el resto de profesionales involucrados en el estudio, el plan de exploración detallada del subsuelo. Se deben utilizar criterios como los establecidos para la realización de estudios geotécnicos. Una vez realizados o durante la

ejecución de los procedimientos de campo según el caso, el geólogo o ingeniero geólogo describirá con detalle los geomateriales encontrados.

Los productos de esta etapa son:

- Mapa geológico detallado, elaborado sobre la topografía de campo.
- Perfiles geológicos detallados.
- Informe geológico de detalle.
- Descripción geológica de las exploraciones del subsuelo.
- Libreta de campo escaneada en anexo al informe.

2 Capítulo

Procedimientos técnicos para la elaboración de estudios hidráulicos, hidrológicos e hidrogeológicos



Cauce con potencial de desbordamiento.

2.1 OBJETIVO

Presentar los criterios básicos y los requerimientos mínimos que deben reunir los estudios hidráulicos, hidrológicos e hidrogeológicos que se realicen para la conceptualización, el diseño de intervenciones en cauces o quebradas y la construcción de obras de manejo del agua de escorrentía en la intervención de laderas en el Valle de Aburrá.

2.2 ALCANCE

Partiendo de la normativa existente, de los estudios regionales y locales disponibles, y de la unidad de análisis definida en los estudios de geología y geomorfología (UMI), a los que se refiere el capítulo 1, se presenta la metodología para la elaboración de los estudios básicos requeridos en el diseño hidráulico de obras de manejo de corrientes de aguas superficiales, flujos de escorrentía y agua subterránea.

2.3 PROFESIONALES

Los estudios y diseños deben ser realizados por profesionales competentes, con matrícula expedida por el Consejo Profesional de Ingeniería, de acuerdo con la ley colombiana. Con experiencia certificada superior a dos años. Se recomienda que los profesionales tengan posgrado en hidrología o hidráulica, según el caso.

2.4 PROCEDIMIENTOS

En este numeral se describen los procedimientos que se deben seguir para los estudios y diseños de obras hidráulicas de cualquier tipo en las intervenciones de que trata este documento. La cantidad y el nivel de detalle de los estudios depende de la ubicación y del nivel de complejidad de la intervención como se indica en el párrafo siguiente; cualquier modificación al procedimiento, motivado por condiciones particulares de la intervención, debe ser debidamente justificado por el o los profesionales del grupo, sin que por esto se exima de las responsabilidades que se deriven de la falta de los estudios.

Para intervenciones en corrientes de agua superficial permanentes, intermitentes, secas o perennes, tales como modificaciones de la dirección del cauce, embalses, azudes, diques, jarillones, entre otras; cuando se intervengan zonas de retiro obligatorio de la corriente o cuando la posible falla de la obra ponga en riesgo las poblaciones o bienes adyacentes, se deben hacer todas las fases de los estudios y con el nivel que se detalla en este capítulo.

Para intervenciones en corrientes de agua superficial permanentes intermitentes, secas o perennes que no generen controles hidráulicos, como los descritos en el párrafo anterior, y no se intervenga zonas de retiro obligatorias de la corriente o cuando la posible falla de la obra no pone en riesgo población o bienes. En este caso el profesional definirá y justificará el



Tratamientos inadecuados.

nivel de detalle con que adelantará cada una de las fases establecidas en este capítulo.

En casos donde la intervención se hace en predios relacionados con corrientes de agua superficial permanente, intermitente, seca o perenne sin intervenir directamente el cauce, como cuando el predio ocupa parte de la zona de retiro establecida por la normativa vigente o por los estudios geológicos y geomorfológicos de que trata el Capítulo 1 o por el reconocimiento de campo previo que deben adelantar los responsables de los estudios de que tratan estas directrices. En estos casos el profesional o profesionales definirán y justificarán las fases y el nivel de detalle con que adelantará sus estudios.

Cuando la intervención se proyecte en predios sin corrientes asociadas o que no se enmarque en ninguno de los casos antes mencionados. El profesional o grupo de profesionales definirán y justificarán en el informe respectivo, el nivel y el tipo de los estudios requeridos.

En todos los casos, en particular en las intervenciones de mayor complejidad, el profesional o grupo de profesionales deberá justificar la conveniencia o no de hacer la intervención de que se trate, dependiendo de las normativas y directrices vigentes y de las características naturales y de ocupación de las áreas que afecten o puedan ser afectadas por la intervención.

Para los efectos de este documento se consideran cauces naturales aquellas zonas del drenaje natural con corrientes permanentes o intermitentes o incluso secas, pero que muestran evidencias geomorfológicas de modelamiento por la circulación del agua superficial. Los estudios previos de geología y geomorfología o en su defecto el reconocimiento previo que debe hacer el profesional responsable, deben definir con precisión este rasgo, cualquiera sea la clasificación que aplique.

Como principio general se tendrán en cuenta los lineamientos ambientales incluidos en las Directrices Metropolitanas de Ordenamiento Territorial (Acuerdo Metropolitano No. 15 de 2006), en especial el que propende por la preservación de los cauces de las quebradas que conforman el sistema hidrográfico de los municipios en su estado natural, cualquiera sea la clasificación de la corriente. Las intervenciones antrópicas sólo podrán hacerse cuando existan condiciones de inestabilidad, riesgo por inundaciones o cuando sea necesario incorporar nuevas estructuras al sistema de movilidad. Si por razones de necesidad o conveniencia, se requiere la intervención de uno o varios cauces, el profesional responsable debe justificar, con un análisis jurídico y técnico con el detalle al que se refiere este capítulo, sobre la absoluta necesidad de la actuación y en todo caso debe contar con la aprobación de la autoridad ambiental competente según la ubicación del proyecto o intervención.

Se entiende por necesidad, para los efectos de este documento, lo relacionado con la construcción de obras de estabilización debido a que la incisión del cauce o socavación lateral de la orilla generan condiciones de inestabilidad que ponen en riesgo la población u obras. Se entiende por conveniencia lo relacionado al desarrollo urbanístico y de infraestructura.

2.4.1 Acciones previas

Se consideran acciones previas el reconocimiento general de la zona de intervención, la consulta de la normativa específica existente, la descripción general del proyecto incluyendo parámetros ingenieriles y urbanísticos relevantes. En los casos de intervención de cauces se incluye la solicitud de términos de referencia específicos, para la aprobación de la intervención por parte de la autoridad ambiental competente, según sus respectivas jurisdicciones.

2.4.2 Elaboración de los estudios

En primer lugar se deben consultar y tener en cuenta las disposiciones establecidas en el Plan de Ordenamiento Territorial o Plan Básico de Ordenamiento Territorial según el caso, además del POMCA del río Aburrá. Si existen para el caso particular, deberán asumirse las conclusiones y recomendaciones pertinentes de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas (POMCA), los Planes Integrales de Ordenamiento y Manejo de Microcuencas (PIOM), los planes parciales, las actualizaciones de la red hídrica, los estudios técnicos previos sobre la cuenca, incluyendo los realizados antes para la obtención de permisos de intervención de cauces y licencias ambientales entre otros.

Se debe consultar como mínimo, las bases documentales y de datos disponibles en las entidades oficiales de cualquier orden, que dispongan de información sobre el territorio objeto de este documento. Se deben consultar y analizar los diferentes sensores remotos disponibles, las bases de datos existentes sobre movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales. Se deben investigar las bases de datos de las bibliotecas o centros de documentación de las universidades donde se conservan trabajos de grado, tesis o informes de proyectos de investigación. De igual manera se deben consultar los datos históricos disponibles relativos a la topografía, geología y geotécnica locales y se debe tener en cuenta la información sobre las características ambientales, ocupaciones, condiciones de vecindad, cursos de agua y demás datos que permitan la visualización integral de la cuenca sobre la cual se planea la intervención.

2.4.2.1 Reconocimiento de campo

El grupo de profesionales o el profesional, según el caso, debe efectuar al menos una visita de reconocimiento, en coherencia y complementaria a la



Vertiente incisada.

de los estudios previos de geología y geomorfología, después de la cual elaborará un informe que contenga: fecha de la visita, datos básicos sobre el lugar, tipo de relieve y naturaleza de la ladera, existencia de cauces y condiciones del drenaje, tipo de vegetación, condiciones de saturación del terreno, indicios de agua subterránea, nivel de intervención del cauce y la ladera, existencia y estado de obras hidráulicas, indicación de condiciones de riesgo para vidas y bienes, tipo de ocupación existente y proyectada.

El informe debe ser complementado por una descripción detallada de la visita, incluyendo obligatoriamente un registro fotográfico y un croquis indicativo de los puntos más relevantes observados. Se debe también indicar, si es posible, el diagnóstico preliminar sobre la situación hidráulica e hidrológica de la zona de intervención y si se prevé la necesidad de diseños hidráulicos. Se debe hacer una evaluación cualitativa del potencial de inundación con base en las evidencias de campo y testimonios de la comunidad. Se debe expresar de forma cualitativa la necesidad o no de hacer una evaluación exhaustiva de sedimentos. En todo caso el informe debe tener la firma y el número de matrícula profesional de los participantes en la visita.

2.4.2.2 Programación de los estudios

Teniendo en cuenta los resultados de las acciones previas, el reconocimiento de campo y lo establecido en el capítulo 1 de este documento, se procede a definir los estudios necesarios.

Como se indicó anteriormente, el profesional o grupo de profesionales debe justificar la cantidad y profundidad de los estudios requeridos para la intervención, sin que por esta razón queden eximidos de las responsabilidades que se deriven por la falta de detalle en las investigaciones.

2.4.2.3 Estudios

Los estudios de que trata este numeral deben incluir al menos los siguientes aspectos:

Análisis de la información disponible y cartografía de la cuenca, planta y secciones topográficas del canal; estudios climatológico, hidrológico, hidráulico e hidrogeológicos.

Análisis de la información y cartografía disponibles

Se debe analizar toda la información secundaria a que se hace referencia en el párrafo inicial del numeral 2.2.

Se debe utilizar la cartográfica existente sobre la cuenca, con la mejor escala y más actualizada disponible en las oficinas públicas.

La información cartográfica del proyecto debe ser presentada de acuerdo con las disposiciones vigentes sobre la temática en la respectiva unidad territorial.

Estudio climatológico

Se deben consultar las series históricas de información climatológica de precipitación y niveles, así como las curvas de Intensidad – Frecuencia–Duración (IDF), construidas a partir de la información de tormentas. Para la precipitación e intensidad se deben seleccionar las series de las estaciones más cercanas a la zona y representativas de la hidrología de la cuenca o cuencas.



La lluvia agente detonante de movimientos en masa.

Estudios topográficos

Para estudios hidráulicos y para obras asociadas a un cauce, se debe partir de información topográfica detallada. La topografía debe incluir las obras hidráulicas existentes. Debe ser dirigida por el grupo de profesionales del proyecto, quienes deben indicar las secciones y puntos de interés necesarios, así como las dimensiones de la zona a levantar.

Para el desarrollo de este estudio, se debe realizar un levantamiento topográfico altiplanimétrico con curvas de nivel a una escala compatible con las dimensiones del tramo estudiado. En general se pueden considerar escalas 1:1.000 o 1:500, dependiendo de las dimensiones de la intervención y del nivel de detalle requerido. El levantamiento debe indicar claramente todas las construcciones existentes, vías, cursos y nacimientos de agua, afloramientos rocosos, bloques de roca y características tales como grietas, fisuras y hundimientos del terreno.

Sobre el cauce se deben levantar secciones transversales, perpendiculares a la dirección principal del flujo o eje del canal principal, haciendo énfasis principalmente en elementos geomorfológicos de los cauces o caños, buscando detallar formas tales como: llanuras de inundación, barras, cambios de pendiente, cambios de sección, meandros y obras hidráulicas. El espaciamiento entre secciones no debe superar 10 veces el ancho superior de la sección a banca llena del cauce. Donde no sea posible una determinación confiable del ancho de banca llena, la separación entre secciones no debe ser superior a 20 m. En los tramos curvos de los cauces se deben levantar, como mínimo, tres secciones transversales, sin superar una separación entre secciones de 10 m. Las secciones se deben extender hasta el paramento de las construcciones aledañas o el final del predio, o una distancia equivalente de 4 a 6 veces la profundidad de la banca llena medida desde el punto más profundo del cauce o desde un eje central. Para zonas muy planas, la extensión del levantamiento será guiada por posibles niveles de terrazas o infraestructuras. La distancia será



Estructura hidráulica transversal vs características del cauce.

definida por el diseñador, pero en ninguna circunstancia el área levantada en la topografía para la modelación podrá ser inferior a la de la mancha de inundación calculada con período de retorno de 500 años.

Las estructuras hidráulicas transversales como puentes, pontones, alcantarillas, escalones, presas de control de fondo o de retención de sedimentos, coberturas, entre otras, deben ser levantadas topográficamente en lo referente a su geometría y pendiente de fondo, así como todos aquellos rasgos necesarios para realizar los análisis hidráulicos; adicionalmente debe generarse una sección transversal a la entrada de la estructura y otra a la salida; la separación de la sección a la cara posterior o anterior de la estructura dependerá del tipo de obra. En cauces con pendiente alta en el fondo del lecho ($> 2\%$), las separaciones entre secciones puede oscilar entre 1 m y 5 m. Para cauces con pendientes bajas, las secciones deben incluir la topografía de las zonas de muy baja velocidad que se generan a la entrada y salida de las estructuras. Todos los levantamientos topográficos deben ser amarrados a la red geodésica nacional (Magna-Sirgas).



Impacto de la actividad antrópica sobre cauces.

Estudio hidrológico

Como resultado de la hidrología superficial se estiman los caudales máximos, los cuales definen los eventos de crecida para la simulación hidráulica. Estos son la base para la determinación de los niveles y velocidades de inundación y para la determinación de los diseños de las obras de manejo y control, temporales o definitivas.

Teniendo en cuenta que el crecimiento de la intervención en las laderas y cuencas del Valle de Aburrá, inducen cambios drásticos que se traducen en caudales pico mayores con tiempos de respuesta más cortos, las metodologías para estimación de caudales deben considerar estas modificaciones en la cuenca, en especial las relacionadas con cambios en el uso del suelo, que inducen condiciones de alta impermeabilidad en la parte urbana.

El procedimiento para su cálculo se debe hacer con la siguiente metodología:

- Determinar con precisión la divisoria de aguas de la cuenca hidrográfica con base en planos a escala adecuada a su área y su respectiva red de drenaje.
- Calcular los parámetros morfométricos como: área, longitud del cauce principal, cotas superior e inferior de la cuenca, cotas superior e inferior del río principal, pendiente del cauce principal y pendiente promedio de la cuenca, distancia en línea recta al punto más alejado de la cuenca, perímetro de la cuenca, longitud al centróide de la cuenca, coordenadas y cota del sitio de interés.
- Calcular el tiempo de concentración de la cuenca, usando al menos, cuatro métodos. Escoger el promedio, sin incluir aquellos que no sean apropiados dada la morfometría de la cuenca. Se deben registrar el método y los valores usados para su cálculo.
- Identificar las estaciones pluviométricas y pluviográficas de interés para los estudios de la cuenca. Mostrar la ecuación o valores usados para cada una de las intensidades de la lluvia.
- Calcular la precipitación efectiva y la distribución de la lluvia en el tiempo, para los períodos de retorno de 2.33, 10, 25, 50, 100 y 500 años, considerando el área de la cuenca.
- Estimar, mediante al menos cuatro métodos, la creciente de diseño para los períodos de retorno de 2.33, 10, 25, 50, 100 y 500 años.

Dependiendo del tamaño y características de la cuenca, los métodos recomendados para el caso de caudales máximos son: ecuación racional, hidrógrafas unitarias, regionalización de características medias, método Gradex, índice de creciente, análisis de frecuencia de registros históricos y modelos hidrológicos semidistribuidos o distribuidos. En caso de utilizar un método diferente a los enunciados, el profesional deberá justificarlo con teoría, datos y memorias de cálculo.

De acuerdo con lo establecido en el Plan de Manejo y Ordenación de la Cuenca del Río Aburrá, POMCA, para cauces con características torrenciales, los caudales obtenidos para un periodo de retorno de 100 años, deben ser mayorados en un 40%.

Para el análisis de ocurrencia de caudales máximos en cauces, es crítica una adecuada definición del período de retorno. Se deben adoptar los criterios definidos en el POMCA del río Aburrá y los POMCA o PIOM de las cuencas secundarias que los tengan. Los periodos de retorno de los caudales para la delimitación de zonas de inundación deben ser:

- Cauce a banca llena, periodo de retorno de 10 años.
- Determinación de zonas de inundación asociada a amenaza hídrica alta, periodo de retorno de 100 años. Para cauces torrenciales se debe mayorar un 40%.
- Determinación de zonas de inundación asociada a una amenaza hídrica moderada, periodo de retorno de 500 años.

Para el diseño de obras de control de escorrentía como: cunetas, alcantarillados y rondas de coronación entre otras, se recomienda la estimación de los caudales máximos a partir de lluvias con los periodos de retorno presentados en la tabla 6.



Detalle constructivo de obras de drenaje.

Tabla 6. Periodo de retorno para la estimación de lluvias de diseño para canales recolectores, alcantarillados y estructuras de control de aguas lluvias.

Características	Periodos de retorno mínimos, en años
Áreas tributarias menores que 10 ha, para niveles de complejidad bajo o medio	15
Áreas tributarias entre 10 ha y 1000 ha, con niveles de complejidad medio alto	20
Áreas tributarias entre 10 ha y 1000 ha, con niveles de complejidad alto	25
En zonas planas, montañosas o a media ladera que drenen áreas mayores que 1000 ha para cualquier nivel de complejidad	100

Fuente: Adaptado de RAS, 2000.

La hipótesis para la estimación de las lluvias máximas supone que la duración de los aguaceros pico es equivalente al tiempo de concentración de la cuenca, con un valor mínimo de 5 minutos, siendo además función del período de retorno.

El diseñador debe seleccionar las estaciones más cercanas con curva Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF); se debe considerar la importancia y complejidad del proyecto y la afectación por posibles inundaciones. Se deben tener en cuenta los cambios abruptos en la pendiente pues éstos pueden generar problemas que requieran análisis hidráulicos cuidadosos, considerando las condiciones de borde, de las pérdidas de energía por cambio de sección o pendiente y considerar la posible formación de resaltos hidráulicos; debe igualmente considerarse capacidad de erosionar en los cambios de pendiente y de dirección de la sección.

En la estimación de los caudales máximos en cauces, los métodos dependen de la calidad y cantidad

de información disponible. Existen métodos que estiman los caudales a partir de información regional, identificando patrones de comportamiento hidrológico e hidráulico como es el caso de las técnicas de regionalización. En este grupo las más comunes son: índice de crecientes, Gradex y regionalización de caudales máximos. Éstos deben ser utilizados de forma cuidadosa respetando el rango y las características morfológicas y climáticas de la cuenca, pues su aplicación debe considerar la similitud o no de las características de la cuenca o cuencas que sirvieron de modelo.

Otros métodos utilizan una serie de hipótesis relacionadas con los procesos de transformación de la lluvia en escorrentía, como es el caso de los hidrogramas unitarios sintéticos. En nuestro medio son comunes los hidrogramas de Williams y Hann, Snyder, SCS, Clark, geomorfoclimático y el método racional. Estos métodos, aunque son modelos agregados, pueden aplicarse de manera semidistribuida, dividiendo la cuenca en subcuencas y aplicando las

hidrógrafas en cada una de ellas, luego se agregan en las confluencias y por último se transita el caudal hasta la salida de la cuenca.

Existe gran cantidad de modelos y programas de cómputo disponibles en el medio, con diferentes alcances e hipótesis de partida que permiten realizar el procedimiento mencionado. El profesional debe analizar la conveniencia de usar uno u otro y sustentar apropiadamente su elección en las memorias de cálculo. La aplicación de estos programas debe tener asociado un análisis de sensibilidad de los parámetros involucrados. Cuando no se disponga de metodologías calibradas que disminuyan la incertidumbre en la estimación de los caudales, se debe ser cauteloso en la selección de los métodos y en la escogencia de los caudales.

Se puede escoger la envolvente de los caudales máximos asociados a cada periodo de retorno estimado. Cuando los resultados no provengan de un análisis de sensibilidad estimado con varios métodos de naturaleza diferente, se considera prudente la aplicación de un factor de seguridad de 2, el cual multiplicará el caudal máximo obtenido.

Cuando las series de caudales tienen registros menores a 20 años, los modelos de base física se deben calibrar. Se pueden utilizar modelos agregados siendo más recomendable usar los distribuidos. Para su aplicación se deben seleccionar escenarios de lluvia realistas, especialmente en cuencas con áreas muy grandes. Los resultados obtenidos con la aplicación de estos modelos pueden compararse con un análisis de frecuencia realizado a los datos de caudal. Puesto que estos modelos disminuyen los niveles de incertidumbre, las estimaciones del caudal máximo pueden realizarse con un factor de seguridad menor; se recomienda utilizar un factor de seguridad de 1.5, el cual multiplica el caudal máximo obtenido por la envolvente.

Cuando se dispone de series de caudal máximos instantáneos de buena calidad y con más de 20



Inestabilidad lateral de las paredes del cauce.

años de registro, el mejor método de estimación es el análisis de frecuencia. Para dicho análisis deben utilizarse los valores de caudales máximos instantáneos anuales. Se debe realizar una prueba de bondad de ajuste, para encontrar la distribución de probabilidades que mejor encaje la serie, con el fin de utilizar el factor de frecuencia más adecuado de acuerdo a dicha distribución.

Existe gran variedad de métodos para calcular el tiempo de concentración; para los fines de este documento se deben usar los siguientes:

- Para cuencas con áreas aferentes menores a 80 hectáreas, utilizar el tiempo de concentración determinándolo, según lo establecido en el RAS 2000 y sus modificaciones.
- Para áreas aferentes mayores a 80 hectáreas, se recomienda utilizar varias ecuaciones empíricas disponibles en la literatura científica; se deben incluir, al menos, cuatro estimaciones diferentes y escoger el promedio, sin considerar aquellos que no sean apropiados dado la morfometría de la cuenca. Cuando se disponga de información suficiente, se deben calcular las



Acumulación de depósitos sueltos.

isócronas o tiempos de viaje sobre el área afe-
rente y utilizar este valor para el cálculo de los
hidrogramas unitarios.

A los hietogramas de precipitación efectiva se les
debe descontar la infiltración, para luego determi-
nar el hidrograma de escorrentía directa, haciendo
uso de modelos lluvia-escorrentía. Para el cálculo de
la infiltración se deben utilizar modelos empíricos
como: Horton, SCS y Green Ampt. Se pueden utili-
zar modelos de base física con parámetros adecua-
damente calibrados para las condiciones de la cuen-
ca o relaciones estadísticas obtenidas con datos en
la zona de estudio. Si el profesional emplea métodos
diferentes, lo deberá justificar en su informe.

Para el cálculo de los caudales máximos, se podrán
utilizar técnicas de modelación más avanzadas
como: modelos distribuidos, modelos semidistribui-
dos e información procesada en sistemas de infor-
mación geográfica. Para la utilización de estos mo-
delos se debe garantizar que las hipótesis se ajusten
a las condiciones de la región o hacer las considera-
ciones de incertidumbre necesarias.

Aguas de escorrentía

Se debe estimar la cantidad de agua de escorrentía
de la ladera y de la cuenca drenante aguas arriba,
debido a que, de los resultados de estos estudios
dependerán las obras de drenaje para el control del
agua, las obras del control de la erosión, las obras
y acciones sobre los cauces y el diseño de la obra.

Se debe estimar la escorrentía superficial, que dre-
na por una zona delimitada, utilizando las metodo-
logías empleadas para el cálculo de alcantarillados:

- Método racional cuando el área de drenaje es
menor a 80 hectáreas; el caudal máximo de es-
correntía es función lineal del área tributaria
y la intensidad promedio durante el tiempo de
concentración; la lluvia se distribuye aproxima-
damente uniforme sobre el área y el coeficiente
de impermeabilidad se comporta constante du-
rante lluvias de cualquier intensidad.
- Para áreas aferentes superiores a 80 hectáreas
o en zonas donde las hipótesis contenidas en el
método racional no sean las adecuadas, se deben

utilizar modelos de cálculo como el SWMM de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos y métodos de hidrograma unitario.

Se deben identificar los procesos erosivos existentes por flujos superficiales. Se debe prevenir y tratar la erosión durante los procesos constructivos y después de finalizada la obra. Para la estimación de la carga de sedimentos, se deben utilizar métodos conocidos y debidamente justificados.

Estudio hidráulico

Cuando se realicen intervenciones en el cauce, o se tengan evidencias de procesos erosivos o cambios en los patrones de alineamiento del canal que puedan afectar las obras, se debe hacer un análisis de la morfología fluvial y del transporte de sedimentos. Dicho análisis deberá estar articulado a la información de la geología, geomorfología e hidrología.

En los informes se deberá justificar la selección de los parámetros utilizados para la modelación hidráulica tales como los coeficientes de rugosidad, las condiciones de borde, las hipótesis para la modelación, estructuras u otros cuerpos de agua que controlan el flujo, consideraciones de régimen permanente, no permanente, uniforme o variado. Se deberá indicar la metodología utilizada para la modelación y en caso de utilizar un software, indicar cuáles son las restricciones de uso y establecer si el caso analizado se encuentra dentro de éstas.

El profesional deberá presentar dentro de los resultados del estudio hidráulico, los parámetros hidráulicos obtenidos en la modelación, como profundidad de la lámina de flujo, números de Froude, ancho de la sección, área mojada, velocidad media en el canal y velocidad en las márgenes, entre otros. Así mismo se deberá presentar gráficamente el perfil de flujo a lo largo del tramo de estudio y los niveles del agua y energía en algunas secciones transversales para los caudales analizados.

Adicionalmente, se deberá reportar en sus informes algunas propiedades del tramo de estudio como los patrones de alineamiento, consideraciones sobre la geomorfología fluvial en dicho tramo y la dinámica del transporte de sedimentos, con el fin de identificar o prever problemas tales como alteraciones en los patrones del cauce y procesos erosivos o de depósito de sedimentos generados por la intervención realizada. Para esta investigación de campo, se deberá contrastar lo observado en campo con información secundaria recolectada sobre crecidas e inundaciones de las corrientes a intervenir.

Se debe analizar las propiedades del canal y las laderas adyacentes considerando lo establecido en el capítulo 1; se debe estudiar la posible respuesta en el corto plazo resultado de la intervención. También se deben estudiar procesos que actualmente se encuentren activos, analizando su evolución y las características intrínsecas de la corriente para explicar procesos graduales y predecir problemas que podrían ser desencadenados por dicha dinámica.

Si previamente, durante la visita de campo o por la naturaleza de las intervenciones que se proyecten, se ha establecido cualitativamente la necesidad de hacer una evaluación exhaustiva de sedimentos, se debe realizar análisis de la dinámica del cauce y estimar la carga de sedimentos.

En zonas de ladera, se debe tener cuidado particular con el arrastre de sedimentos y los cambios del lecho generados durante crecientes. Se debe tener suficiente cuidado con la suposición de presiones hidrostáticas cuando se superan pendientes mayores al 10%.

Se debe estimar la amenaza hidráulica ante diferentes eventos de crecida en áreas aledañas a los cauces, utilizando métodos tradicionales. Es responsabilidad del profesional identificar posibles zonas de desbordamiento aguas arriba o aguas abajo del predio que puedan producir inundaciones. Se debe tener en cuenta la geometría del cauce y las modificaciones por obras.

Cuando el canal se empalma con una cobertura, el profesional debe tener en cuenta la posibilidad de obstrucción por alguna razón, incluida la longitud y curvas de la cobertura. Para este caso, el profesional debe considerar la posible ocurrencia de avenidas torrenciales.

Como principio general, las corrientes y cauces se deben restaurar a su estado natural o rehabilitarse para conseguir condiciones adecuadas de funcionamiento, en particular cuando haya amenaza para viviendas e infraestructuras.

Consideraciones específicas para intervención de cauces

Cualquier obra que se realice en el cauce de una quebrada o corriente de agua o en su franja de ribera requiere permiso de ocupación de cauces.

Dichos permisos serán diligenciados ante la autoridad ambiental competente deberá contener como mínimo: el formulario de solicitud respectivo, presentación de la obra, sus planos y memoria técnica detallada con características hidráulicas y estructurales, un cronograma de la intervención. Se deberá además anexar consideraciones sobre los impactos de la misma tanto aguas arriba y como aguas abajo, prestando especial atención a los análisis de la dinámica fluvial, en los procesos erosivos y de sedimentación generados por la obra.

En los estudios se deben listar los posibles impactos ambientales sobre la corriente por la ejecución de la intervención y las medidas de mitigación de dichos impactos.

Para el diseño de obras hidráulicas en cauces, los estudios hidrológicos deben garantizar que el canal quede con capacidad suficiente para evacuar, al menos, el caudal correspondiente a un periodo de retorno de 100 años. En cauces con comportamiento torrencial se debe mayorar en 40%.

Toda intervención de la corriente debe contar con la capacidad hidráulica adecuada y garantizar que no se



Desgarros localizados.

inducen riesgos de inundación o inestabilidades en la dinámica fluvial, tanto en su predio como en predios aledaños. No serán permitidas intervenciones que pongan en riesgo la vida u ocasionen daños a la comunidad.

En el caso de solicitud de intervención o mejoramiento de obras hidráulicas existentes, estas deberán mejorar las condiciones de las mismas y cumplir con los requerimientos vigentes.

Las intervenciones de cauces deben cumplir con las disposiciones ambientales consignadas en la Ley 99 de 1993 y en el Decreto-Ley 2811 de 1974 o los que los modifiquen o sustituyan. Debe implementarse estrategias de prevención, mitigación, corrección y compensación de los impactos ambientales negativos de dichas intervenciones, En todo caso, las obras de mitigación deberán ser ejecutadas por el urbanizador responsable o, en su defecto, por el titular durante la vigencia de la licencia.

La intervención directa sobre un cauce debe justificarse adecuadamente.

Consideraciones hidrogeológicas

Los estudios hidrogeológicos estarán encaminados a un conocimiento de los flujos y almacenamientos de agua en el subsuelo, en la zona de influencia de la obra de intervención, tanto aguas arriba como aguas abajo en la ladera. La finalidad de estos es el diseño de las obras de drenaje y disposición de agua de la obra, con criterios técnicos y asegurando el manejo adecuado de las aguas en todas las fases del proyecto.

El profesional deberá partir de los estudios hidrogeológicos existentes con el fin de estimar patrones de circulación de aguas y zonas de recarga y descarga en la ladera y estimar el efecto de la intervención. En caso de no existir estudios previos el profesional deberá adelantar los pertinentes para evaluarlos, utilizando metodologías y procedimientos

debidamente justificados dependiendo de la situación particular de la intervención.

2.5 DISEÑO DE LAS INTERVENCIONES

En este numeral se hacen consideraciones sobre los requisitos mínimos para el diseño de las obras hidráulicas que comúnmente requieren los procesos de intervención en laderas. Se hace énfasis particular en obras para el manejo de la escorrentía, puentes y algunas obras para el control de la erosión. No se proponen aspectos particulares para el diseño de intervenciones en cauces porque estas sólo podrían hacerse en condiciones muy específicas, si se tiene en cuenta que el POMCA del río Aburrá establece, por principio, que los cauces no deben ser intervenidos. De todas maneras se establece que si la intervención es en un cauce esta debe ser considerada como del más alto nivel de complejidad y por tanto requiere adelantar los estudios en todas sus fases y



Diferentes rasgos geomorfológicos.

con el mayor grado de detalle establecido en esta directriz.

2.5.1 Diseño de canales y cunetas para control de escorrentía

El objetivo es el control de la escorrentía proveniente de las obras, durante su vida útil, incluyendo la fase de construcción. El sistema de drenaje que se diseñe debe recoger los caudales de escorrentía y descargarlos adecuadamente en una fuente o sistema colector, previa verificación de la capacidad del sistema receptor y con la autorización de la entidad competente.

El esquema general de diseño para alcantarillados, cunetas y canales, incluye los siguientes pasos: información y trazado de las obras, revisión de marco legal y coordinación con autoridades ambientales y entidades operadoras de los sistemas, diseño hidro-

lógico incluyendo el cálculo de los caudales de diseño y el diseño hidráulico con detalles de accesos, estructuras de control, dimensiones y otros elementos importantes.

2.5.1.1 Consideraciones para la ubicación y trazado de las obras de drenaje

Se debe realizar un esquema general de las obras teniendo en cuenta elementos como la topografía del terreno, la ubicación de los cuerpos receptores, las limitantes impuestas por otras redes, los niveles de descarga y las condiciones geotécnicas; debe tenerse en cuenta la posibilidad de acceso a los sitios para limpieza, mantenimiento y operaciones de reparación.

Los canales que se utilizan para conducir aguas de escorrentía deben ser abiertos. De ser necesario un canal cerrado, debe cumplir la condición de flujo a

Tabla 7. Inclinação de taludes en canales por naturaleza del terreno o material del canal:

Naturaleza del terreno o material del canal	Inclinación horizontal :	
	Vertical Corte	Terraplén
Roca compacta, mampostería ordinaria o concreto	1:4	
Roca fisurada o mampostería con junta seca	1:2	1:1
Arcilla consistente		2:1
Grava gruesa	3:4	3:1
Tierra ordinaria o arena gruesa	3:2	3:1 a 3.5:1
Tierra media o arena normal	2:1 2.5:1 a 3:1	

Fuente: RAS, 2000.



Energía del cauce vs inestabilidad.

superficie libre y se debe permitir el mantenimiento, la limpieza y las operaciones de reparación del sistema. Este tipo de obras no se pueden construir sobre llenos. En caso de ser necesario, el profesional debe justificar el emplazamiento y hacer los estudios, diseños y recomendaciones específicas para garantizar la estabilidad, debido a las consecuencias de una posible falla.

Los canales se deben diseñar como un sistema a gravedad, ajustando las cotas de fondo, pendientes y secciones respectivas. Cuando los canales entreguen a cuerpos de agua naturales, se debe tener en cuenta la dinámica fluvial de la corriente y los detalles del empalme de modo que no se generen procesos erosivos ni de socavación. Se debe considerar los caudales vertidos por otros canales y colectores de aguas lluvias existentes o proyectados, dentro del sistema básico de drenaje.

La selección del material para la construcción de canales, se debe hacer con base en la topografía, las velocidades de flujo, las características del agua que va a transportar y el material de recubrimiento. En el caso de canales con recubrimientos, se debe realizar análisis económicos, consideraciones ambientales, paisajísticas y costos de mantenimiento.

2.5.1.2 Consideraciones de diseño

Dependiendo de la geometría de la red establecida, se deben determinar las áreas tributarias a cada

uno de los tramos del sistema de drenaje y estimar los caudales de diseño, de acuerdo con el nivel de complejidad de la intervención.

Para todos los casos, las estructuras hidráulicas diseñadas deberán tener la suficiencia hidráulica para evacuar el caudal de diseño, con los períodos de retorno establecidos en el numeral de procedimientos.

La forma de la sección del canal debe ser justificada en los estudios mediante uso de ecuaciones hidráulicas reconocidas en la literatura técnica. Para los casos en que se adopte una sección transversal trapezoidal o triangular, los taludes laterales dependerán de la naturaleza del terreno. Para proyectos con niveles de complejidad bajo, se puede adoptar la inclinación de los taludes presentadas en las tablas 7 y 8, en las cuales se recomiendan valores para distintos tipos de terreno, de acuerdo con el RAS 2000 y sus modificaciones. En estos casos la inclinación de los taludes de la sección transversal del canal sin revestimiento, no debe ser superior al ángulo del talud natural del terreno. Si el nivel de complejidad de la intervención es medio o alto, se deben hacer los estudios de estabilidad de laderas necesarios para lo cual se deben seguir los lineamientos establecidos en el capítulo de Geotecnia. En el análisis se debe tener en cuenta la probabilidad de erosión en canales no revestidos, incluyendo verificación de la estabilidad de la pendiente del canal en función de la profundidad de la lámina de agua y la velocidad.

Tabla 8. Inclínación de taludes en canales por naturaleza del terreno

Naturaleza del terreno	Pendiente del talud (horizontal : vertical)
Roca firme (pequeños canales)	talud vertical
Roca firme	1 : 4
Roca compacta - Revestimiento de hormigón	1 : 2
Rocas sedimentarias - Revestimiento en seco	3 : 4
Tierra vegetal consistente	1 : 1
Tierra vegetal y suelo arcillo-arenoso	3 : 2
Suelos arenosos	2 : 1
Arena fina suelta	3 : 1

Fuente: RAS, 2000

Por capacidad hidráulica del canal se entiende como el caudal máximo admisible en un canal o en una obra hidráulica, de forma tal que funcione adecuadamente. Para el diseño se acepta que dicha capacidad hidráulica se considere en condiciones de flujo estacionario y con supuestos de flujo uniforme. Se deben realizar verificaciones al diseño.

El profesional debe justificar el método de cálculo para la sección transversal de los canales. Para flujo uniforme, se pueden utilizar expresiones como las de Manning-Strickler, de Chèzy y de Darcy-Weischbach. En el caso de secciones con rugosidad compuesta, se recomienda el uso de la expresión de Strickler. Igualmente debe justificar la selección del factor de fricción o coeficiente de pérdidas por fricción.

Para el diseño de canales prismáticos, se deben utilizar las fórmulas de flujo gradualmente variado y para el diseño de la sección transversal se pueden utilizar métodos como el de la velocidad máxima permisible,



Alto riesgo geotécnico.

de la fuerza de arrastre, de la sección hidráulicamente más estable, de la sección con el máximo radio hidráulico. Para áreas tributarias grandes pueden usarse modelos de flujo no permanente y para su dimensionamiento se deben tener en cuenta los efectos de amortiguamiento en las redes y canales.

En los perfiles hidráulicos se deben considerar las pérdidas de energía en el canal por efectos locales como estructuras, cambios bruscos en el fondo o cualquier otra condición que induzca pérdidas. Se deben verificar los controles de flujo y justificar la selección de condiciones de borde asumidas para el cálculo.

Se deben analizar las condiciones de descarga del canal. Las profundidades de flujo deben garantizar que las descargas marginales al canal por colectores de aguas lluvias, se realicen por encima de las aguas máximas, de tal forma que éstas y los aliviaderos trabajen libremente.

Cuando el radio de curvatura es inferior a 20 veces el radio hidráulico, se debe hacer análisis de pérdidas de energía por curvas, así como analizar la pérdida de energía por cambios bruscos de sección y por la aparición de resaltos hidráulicos, los cuales deberán evitarse. En caso de ser necesario se deben diseñar los mecanismos de disipación.

En canales revestidos, la velocidad máxima permisible del agua debe limitarse en función de la velocidad máxima, donde la sección comienza a erosionarse peligrosamente. La velocidad máxima permisible dependerá del caudal, el radio hidráulico, el material de las paredes y el riesgo de erosión. Se pueden consultar las velocidades máximas establecidas en el RAS 2000 de tal manera que no se excedan los límites. Si la pendiente es elevada se deben diseñar canales propios para estas condiciones como las rápidas con tapa y columpio, canales con pantallas deflectoras o en su defecto escalonados. La selección del tipo de canal para pendientes altas se debe justificar técnicamente.

De ser necesario el canal debe dotarse de un tanque amortiguador en la llegada, diseñado con el criterio de disipación de energía.

En canales no revestidos, si se utilizan métodos donde se asocie la velocidad máxima y el esfuerzo cortante máximo, debe garantizarse que no se produzca arrastre de los materiales del lecho del canal.

Para minimizar los efectos de sedimentación, se debe cumplir con las velocidades mínimas permitidas para su operación. Se puede utilizar la velocidad mínima, como una función del esfuerzo cortante mínimo necesario, para producir el arrastre de las partículas que pueden sedimentarse, garantizando que estas no superen el esfuerzo cortante crítico de arrastre.

Las pendientes mínimas y máximas de los canales, se deben definir a partir de las pendientes de sedimentación y erosión respectivamente.

En el caso de caída vertical, se deben diseñar elementos de disipación de energía al final de la estructura. Si la caída es inclinada, con una pendiente que haga que el flujo pase de subcrítico a supercrítico, el canal debe construirse con un material resistente.

En todos los casos debe hacerse las previsiones apropiadas de borde libre. Cuando el canal funcione como conducto cerrado, la profundidad máxima no debe exceder el 90% de la altura del conducto según el RAS 2000.

En curvas horizontales debe hacerse las consideraciones de peraltes necesarios, con su propia justificación.

En los casos en que se presenten tramos con diferentes secciones se debe diseñar la transición de manera justificada.

2.5.2 Obras hidráulicas en canales

Debido a lo específico de cada una de las construcciones de obras en cauces, deberán seguirse los criterios establecidos por la autoridad ambiental competente para tales casos.

Las obras en los cauces deberán contar el previo permiso de ocupación de cauce, otorgado por la autoridad ambiental competente, aportando los estudios hidrológicos, hidráulicos geotécnicos y estructural, según la naturaleza de la intervención, que deberán anexarse al Formulario Único Nacional del Sistema Nacional Ambiental.

Cada diseño será evaluado por los técnicos de la autoridad ambiental competente, quienes darán un concepto técnico, acerca de la viabilidad ambiental de las obras solicitadas. En caso de que se detecten falencias a los estudios presentados, se solicitarán los ajustes especificando la información necesaria.



Taludes en intervención vial.

2.5.3 Obras para el control de la erosión

En la ladera a intervenir se debe realizar un análisis preliminar de los procesos erosivos existentes, a partir de la observación en campo de los mismos. Adicionalmente para obras de nivel de complejidad medio y alto se debe estimar la pérdida de suelo utilizando modelos distribuidos, semidistribuidos, o métodos como el de la RUSLE.

Se debe constatar si en la zona de intervención son necesarias o no, las medidas de protección para la erosión y en caso de serlo, se deben diseñar obras de control.

2.6 CONTENIDOS MÍNIMOS DE LOS INFORMES PARA ESTUDIOS HIDRÁULICOS E HIDROLÓGICOS

Para obras que no tienen corrientes asociadas y en niveles de complejidad bajo, se deben realizar estudios hidrológicos con el fin de estimar la cantidad de agua a controlar y el diseño hidráulico de las estructuras de control de escorrentía. Adicionalmente, en complemento con los resultados obtenidos en el análisis geomorfológico, se debe presentar la evaluación de posibles procesos erosivos en la ladera por escorrentía superficial.

En proyectos donde se tienen corrientes asociadas se deben realizar los estudios para el control de escorrentía y de erosión mencionados en el párrafo anterior, una delimitación de las zonas de amenaza hídrica y el análisis de la dinámica fluvial.

Obras prioritarias para la atención de emergencia (hospitales, estaciones de bomberos, entre otros), deben contar además, con la cuantificación de la amenaza.

Los profesionales en hidráulica deben consignar, en los informes que incluyen sus diseños, la entidad responsable del proyecto, el diseñador,



Alta densidad en la ocupación de laderas.

las entidades territoriales competentes, la entidad que realizará la vigilancia y control, la autoridad ambiental competente y las consideraciones de la comunidad y el constructor. Además de los datos del profesional que realiza los estudios y diseños, también debe consignar la siguiente información:

- Los estudios hidráulicos, hidrológicos y geomorfológicos deben incluir la localización del proyecto señalando las intervenciones planteadas, que muestren la red de drenaje (definiendo si las corrientes permanentes o intermitentes o incluso secas) con los respectivos retiros, la infraestructura existente y la proyectada.
- Especificar el nivel de complejidad (tal como se definió en el numeral 2.4 procedimientos).
- Justificar la conveniencia o no de hacer la intervención de que se trate, dependiendo de las normativas y directrices vigentes y de las características naturales y de ocupación de las áreas que afecten o puedan ser afectadas por la intervención.
- Especificar bases de datos, estudios, cartografía utilizada. Información hidrológica. y otros estudios detallados del predio como los geológicos, geomorfológicos y geotécnicos.
- Levantamientos topográficos realizados.

Los informes finales de hidrología deben contener como mínimo la siguiente información:

- Identificación y delimitación de las divisorias de aguas de las cuencas hidrológicas, con las fuentes de datos utilizadas, mapas de usos de suelo, suelos, áreas drenantes, análisis de frecuencia de datos de caudales medidos si existen, parámetros morfológicos importantes de las cuencas. Informe de las visitas de campo en los cuales se haga explícita la necesidad o no de efectuar estudios de amenaza por inundación, evaluación de sedimentos. Justificar adecuadamente la necesidad o conveniencia de construir obras hidráulicas.
- Periodos de retorno seleccionados y criterios de selección.
- Caudales máximos estimados, con sus respectivos hidrogramas, refiriendo los métodos, y los hallazgos, con una adecuada justificación de todos los coeficientes utilizados. Supuestos y limitaciones, métodos hidrológicos utilizados y sus respectivos cálculos.
- Caudales que serán considerados en los diseños, caudales picos, análisis de crecientes históricas y su relación con dichos caudales picos. Caudales máximos para diseños y control de inundaciones e hidrogramas para diseño y control de inundaciones si es del caso.

- Análisis de cambios esperados en la parte alta de la cuenca y sus posibles efectos sobre el régimen hidrológico.
- Se debe estimar la amenaza hidráulica ante diferentes eventos de crecida en áreas aledañas a los cauces, cuando sea pertinente.

Los informes finales de hidráulica de cauces y canales abiertos deben contener como mínimo la siguiente información:

- Informe de las visitas de campo en los cuales se haga explícita la necesidad o no de efectuar estudios de amenaza por inundación, evaluación de sedimentos y la necesidad de construir obras.
- Verificación de los procesos erosivos asociados a la escorrentía superficial.
- Parámetros de diseño, como caudales pico y niveles históricos reportados de la elevación del agua. Curvas nivel-descarga si existen.
- Secciones transversales usadas en la determinación del nivel del agua y su ubicación, con el perfil del Talweg.
- Plano con localización de las secciones y perfiles.
- Coeficientes de rugosidad utilizados por secciones y su justificación, condiciones de borde de la modelación, selección del tipo del régimen (permanente, no permanente, uniforme, variable), tipo de flujo (subcrítico, supercrítico).
- Métodos hidráulicos utilizados para obtener la elevación del agua del canal diseñado o programa utilizado, supuestos y limitaciones.
- Resultados obtenidos en la modelación para cada una de las secciones modeladas, como velocidades, profundidad del agua, número de Froude, esfuerzos cortantes, radio hidráulico, energía total del flujo, etc. Secciones transversales con nivel de flujo.
- Determinación de los materiales propuestos para el lecho y las bancas del canal.
- Elevación del agua y velocidades medias para el diseño y la verificación de las llanuras de inundación. Diseño de curvas horizontales

y verticales. Verificación de las velocidades máximas y mínimas. Diseño de estructura de disipación de energía. Diseño de obras de control de socavación.

- Análisis del canal existente y comparación de las mejoras intervenciones propuestas si es del caso, análisis de la respuesta en el corto plazo resultado de la intervención.
- Recomendaciones constructivas y para el mantenimiento de las intervenciones proyectadas.
- Si se utilizó algún programa para la realización de la modelo hidráulica entregar los archivos bases de la simulación.
- Propiedades del tramo de estudio como los patrones de alineamiento, consideraciones sobre la geomorfología fluvial en dicho tramo y la dinámica del transporte de sedimentos. Propiedades del canal y las laderas adyacentes.

Los informes finales con el diseño hidráulico de obras menores para el control de escorrentía deben contener como mínimo la siguiente información:

- Verificación de los procesos erosivos asociados a la escorrentía superficial.
- Criterios y consideraciones de diseño.
- Cálculos hidráulicos de las cunetas.
- Verificación de flujo libre en las cunetas, análisis de controles de flujo y estructuras de descarga.
- Cálculo de la profundidad del agua.
- Verificación de no ocurrencia de inundación.
- Recomendaciones constructivas y para el mantenimiento.

Los informes finales de hidráulica, con el diseño hidráulico de puentes y pontones deben contener como mínimo la siguiente información:

- Verificación de los procesos erosivos asociados a la escorrentía superficial.
- Parámetros de diseño, velocidades y niveles.
- Cálculos de flujo por debajo del puente y capacidad hidráulica.



Acumulación de material removido.

- Secciones transversales usadas en la determinación del nivel del agua y su ubicación, con el perfil del Talweg.
- Plano con localización de las secciones y perfiles.
- Coeficientes de rugosidad utilizados por secciones y su justificación, condiciones de borde de la modelación, selección del tipo del régimen (permanente, no permanente, uniforme, variado), tipo de flujo (subcrítico, supercrítico).
- Métodos hidráulicos utilizados para obtener la elevación del agua del canal diseñado o programa utilizado, supuestos y limitaciones.
- Resultados obtenidos en la modelación para cada una de las secciones modeladas, como velocidades, profundidad del agua, número de Froude, esfuerzos cortantes, radio hidráulico, energía total del flujo, etc. Secciones transversales con nivel de flujo.
- Verificación de velocidades.
- Comprobación de no ocurrencia de controles de flujo y de inundaciones.
- Estimación de remanso aguas arriba.
- Elevación del agua y velocidades medias para el diseño y la verificación de las llanuras de inundación.
- Diseño de curvas horizontales y verticales.
- Verificación de las velocidades máximas y mínimas.
- Diseño de estructura de disipación de energía.
- Diseño de obras de control de socavación.
- Análisis del canal existente y comparación de las intervenciones propuestas si es del caso, se debe estudiar la posible respuesta en el corto plazo resultado de la intervención.
- Cálculos de socavación.
- Recomendaciones constructivas y para el mantenimiento.

3 Capítulo

Procedimientos técnicos para estudios geotécnicos

3.1 GENERALIDADES

De acuerdo con el Reglamento NRS-10 en su numeral H.2.2.4. ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE LADERAS Y TALUDES, los análisis de estabilidad de laderas y taludes deben estar incluidos en el estudio geotécnico preliminar o en el definitivo. Se deben hacer de acuerdo con lo exigido en el capítulo H.5 y deben considerar las características geológicas, hidráulicas y de pendiente del terreno local y regional, para lo cual se debe analizar los efectos de procesos de inestabilidad aledaños o regionales, que puedan tener incidencia en el predio objeto de estudio. En este capítulo se adoptan y complementan las exigencias de la Norma NSR-10 para estudios de estabilidad de laderas y taludes.

Para efectos de este documento, el proceso de estudio y diseño de laderas se debe realizar en las siguientes etapas:

- Procedimientos preliminares. Son de carácter obligatorio y buscan el conocimiento de las características del sitio, la consulta de mapas y levantamientos disponibles, la verificación de restricciones legales y ambientales, la elaboración de un informe de visita, la evaluación de la necesidad de implementación de medidas de emergencia y la programación de investigaciones geológicas y geotécnicas.
- Investigaciones. Incluyen estudios geológico,



Estructura en riesgo.



Diferentes unidades geomorfológicas.

geomorfológico, topográfico, hidrológico, hidráulico, hidrogeológico y geotécnico. Abarcan levantamientos locales, toma de datos, ensayos de campo y de laboratorio, así como el uso de instrumentos adecuados para establecer el modelo geológico y geotécnico.

- **Diseño.** Es la caracterización del perfil geológico-geotécnico de una sección o más, incluyendo la definición del modelo de cálculo con los respectivos parámetros, diagnóstico y concepción del diseño con posibles alternativas y las respectivas etapas de ejecución.

En la fase preliminar se debe elaborar un pre-diseño, con la finalidad de evaluar los presupuestos y presentar alternativas constructivas. En este caso, es obligatoria la definición de todos los elementos evaluados y utilizados en la concepción del anteproyecto, siendo recomendable la ejecución de un número mínimo de sondeos de reconocimiento y el levantamiento topográfico.

En sitios con inestabilidad, se deben estudiar los procesos inductores de esta y todas las demás posibilidades de desestabilización; se deben incluir recomendaciones para posibles acciones de emergencia.

3.2 PROCEDIMIENTOS PRELIMINARES

3.2.1 Consulta de información

Se debe recopilar información de los datos históricos disponibles relativos a la topografía, geología y datos geotécnicos locales, además de información sobre ocupaciones, condiciones de vecindad, cursos de agua, historia de deslizamientos y características que permitan la visualización integral de la ladera en estudio. El levantamiento incluye consulta de mapas regionales o sectoriales de riesgo y de susceptibilidad de movimientos en masa, así como los mapas geotécnicos y geológicos, cuando estos

existan. La consulta de esos mapas debe hacerse en las instituciones u organismos nacionales, departamentales, metropolitanos o municipales competentes. Se deben complementar con los estudios disponibles en universidades, en tesis e informes de investigaciones.

Verificación de las restricciones legales y ambientales de todo orden, para la ejecución de obras y las interferencias con edificaciones, ductos, cables y otros elementos existentes, enterrados o no.

3.2.2 Reconocimiento

Sin detrimento de lo establecido en la normativa local que aplique, en edificaciones cuya implantación se proyecte realizar total o parcialmente sobre una ladera o que se encuentren al borde o al pie de una de ellas, el ingeniero especialista en geotecnia con la asesoría de un geólogo o ingeniero geólogo, debe realizar un análisis de estabilidad de los taludes que representen una amenaza para la edificación y diseñar las obras y medidas necesarias para lograr un nivel de estabilidad aceptable en términos de los factores de seguridad establecidos en la Norma NSR-10 y los que se establecen en este documento. Para el caso particular de laderas, se debe realizar el inventario de los procesos que reflejen inestabilidad del terreno e incorporarlos a los análisis de las condiciones de estabilidad.

Después de la visita, se debe emitir un informe con los datos básicos sobre el lugar, fecha de la visita, tipos de ocupación y de vegetación, condiciones de drenaje, tipo de relieve y naturaleza de la ladera, geometría, existencia de obras de contención y su estado actual, condiciones de saturación del suelo, indicios de agua subterránea, naturaleza de los materiales, posibilidad de movimiento, tipología de posibles movimientos, identificación de elementos en riesgo.

El informe debe ser complementado por una descripción detallada de la visita, incluyendo,

obligatoriamente, un registro fotográfico y un croquis indicativo de los puntos más relevantes observados. Se debe hacer, de ser posible, el diagnóstico preliminar sobre las causas de la inestabilidad ocurrida y las probables. El informe de la visita debe estar firmado y con el número de la matrícula de los profesionales responsables de este.

3.2.3 Programación de las investigaciones geotécnicas y de instrumentación geotécnica preliminar

Con base en la información disponible en los numerales 3.2.1 y 3.2.2 y de los estudios geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, hidráulicos e hidrogeológicos elaborados, según lo descrito en los capítulos 1 y 2, se deben programar las investigaciones geotécnicas y la instrumentación para consolidar el informe. Los detalles de las investigaciones geológicas y geotécnicas, así como la instrumentación de campo, se describen en el numeral 3.3 de este capítulo.



Vía colapsada.

3.3 INVESTIGACIONES DEL SUBSUELO

Con base en los estudios geológicos y geomorfológicos de que trata el capítulo 1, se definen las secciones transversales y longitudinales que representan la ladera con el más alto grado de fidelidad posible, las características topográficas y el estudio geológico y geotécnico de la ladera, este último, con énfasis en la estratigrafía y las propiedades geomecánicas de los materiales.

Las investigaciones y levantamientos de carácter general, necesarios para el desarrollo de un proyecto geotécnico para edificaciones se enumeran en el Título H de la Norma NSR-10.

El perfil geológico y geotécnico obtenido de las investigaciones del subsuelo, comprendiendo las capas de suelo y roca, con sus características físicas y mecánicas, es un elemento necesario para el estudio y diseño de estabilización de laderas y taludes.



Corte de adecuación.

Para los análisis de estabilidad de laderas y taludes de excavación, se debe tener en cuenta la geometría del terreno antes y después de cualquier intervención, la distribución y características geomecánicas de los materiales del subsuelo que conforman el talud, las condiciones hidrogeológicas e hidráulicas, las sobrecargas de las obras vecinas, los sistemas y procesos constructivos y los movimientos sísmicos.

3.3.1 Descripción del proyecto

La descripción del proyecto debe tener como mínimo: nombre, localización del proyecto y de los trabajos de campo, personas de contacto por parte del contratante y del contratista, descripción general del proyecto, sistema estructural, magnitud de las cargas, levantamiento topográfico, urbanismo, tipo de edificación, niveles de excavación y sótanos, alturas de terraplenes, etapas constructivas, en la medida de lo posible, infraestructura, localización de las redes de servicios, construcción y tipo de cimentación de construcciones vecinas, entre otras.

3.3.2 Topografía

Debe ser dirigida por el grupo de profesionales del proyecto, quienes deben indicar las secciones y puntos de interés necesarios, así como las dimensiones de la zona a levantar.

Para desarrollar este estudio se debe realizar un levantamiento topográfico altiplanimétrico, con curvas de nivel a una escala compatible con las dimensiones de la ladera. En general, se pueden considerar escalas 1:1.000 ó 1:500, dependiendo de las dimensiones del predio y del tipo de intervención. El levantamiento debe indicar el contorno de las zonas deslizadas, si las hay, las construcciones existentes, vías, cursos y nacimientos de agua, afloramientos rocosos, bloques de roca y características tales como grietas, fisuras y hundimientos del terreno.



Elementos de estabilidad.

3.3.3 Información geológica y geomorfológica

La información geología y geomorfología de que trata el capítulo 1 de este documento, debe ser complementada con levantamientos locales, con el propósito de determinar las principales características litológicas, estructurales, estratigráficas e hidrogeológicas relevantes para el sitio en estudio. La obtención de estos datos debe servir de insumo para el plan de investigaciones geotécnicas de campo y de laboratorio.

El estudio geotécnico debe incluir una descripción de la geología y geomorfología del terreno, observación del estado mecánico de los materiales en el que se encuentran y posiciones de niveles de aguas subterráneas. Esta actividad debe estar a cargo del geólogo o ingeniero geólogo del proyecto y se realizará según lo establecido en el capítulo 1.

3.3.4 Información hidrológica e hidrogeológica

Se debe recabar información sobre el régimen de lluvias locales y el régimen hidráulico de los flujos de agua, caudal y velocidad, en la ladera de estudio. También se deben investigar y registrar nacimientos de agua permanentes o sujetos a variaciones estacionales, con el objeto de identificar las formas de drenaje subterráneo; debe tenerse en cuenta lo considerado en el capítulo 2.

3.3.5 Investigaciones geotécnicas

El objetivo de las investigaciones de campo, es obtener el perfil geotécnico para orientar el modelo de cálculo de estabilidad y constituye un elemento obligatorio para el estudio de estabilidad del talud o ladera. Dentro de las investigaciones de campo se

incluyen las exploraciones, ensayos de campo, los muestreos y los ensayos de laboratorio.

3.3.5.1 Exploración de campo

La exploración de campo debe ser lo suficientemente detallada para que permita determinar las propiedades geotécnicas del subsuelo. Para esto se deben realizar sondeos como se describen más adelante en este documento y en la tabla 9.

La profundidad, cantidad y tipo de sondeos se deben determinar con base en la aptitud geológica del suelo y en los grupos de uso de las intervenciones.

Se debe describir en detalle la localización de las perforaciones, apiques, trincheras, equipos utilizados y localización del nivel freático medido durante las perforaciones y en los días siguientes.

Los sondeos pueden ser realizados usando técnicas geofísicas y métodos directos como apiques, trincheras y perforaciones u otros procedimientos reconocidos. Los métodos tienen las siguientes características:

- Directos. Corresponden a los procesos con acceso directo al terreno, tales como pozos, sondeos con barreno, perforación por percusión, perforación a rotación, penetrómetros, medidores de torque, medidores de presión de poro o succión, entre otros

El número de sondeos debe ser tal que permita una interpretación adecuada del terreno, especialmente de las regiones potencialmente inestables o que serán afectadas por las obras a realizar. En el caso de un proceso con toma de muestras, estas deben ser almacenadas y mantenidas por el ejecutor, con identificación de su localización en planta y profundidad, y estar a disposición del solicitante por lo menos durante cuatro meses después de terminada la etapa exploratoria.

Los testigos de roca obtenidos de los sondeos por rotación, deben ser clasificados por el geólogo o ingeniero geólogo, quien identificará el tipo de roca, grado de alteración y nivel de fracturación y clasificará el macizo por métodos geomecánicos.

Los muestreos de suelo deben ser descritos por un geólogo (origen, textura, color).

El monitoreo del nivel del agua se debe verificar una vez finalizado el sondeo, con el objeto de identificar la posición estabilizada del nivel freático después de la perforación.

- Geofísicos. Son procedimientos que identifican las propiedades del subsuelo a partir de correlaciones físicas, tales como velocidad de propagación y reflexión de ondas, resistividad eléctrica y otros.

Los tipos de investigación se eligen para caracterizar un perfil que abarque todas las áreas posibles de movimiento, así como los factores determinantes, como superficies potenciales de ruptura, niveles de agua, discontinuidades geológicas y otros.

La descripción de las columnas estratigráficas y la realización de los sondeos se deben hacer de acuerdo con las normas vigentes para tal fin y deberán ser validadas por un geólogo o ingeniero geólogo. Las más utilizadas en Colombia son la INVE-108-07, para perforación por rotación y la INVE-111-07, para perforación con percusión y ensayo de SPT.

Cantidad y profundidad de la exploración

El plan de exploración debe ser especificado por el geotecnista responsable y debe ser lo suficientemente detallado, en relación con el tipo, cantidad y profundidad de los sondeos. Es válido cualquier tipo de investigación o exploración que proporcione información fiable para la elaboración

del modelo de análisis, tanto desde el punto de vista geométrico como paramétrico.

La terminología que se adopte en la clasificación de los materiales debe incluir la clasificación geológica del perfil de suelo y ceñirse a lo definido en las normas NTC o INVE, correspondientes.

El número, tipo y profundidad de los sondeos y perforaciones se deben determinar en función a la variabilidad esperada para el terreno, según clasificación de la aptitud geológica descrita en el capítulo 1 y el grupo de uso del proyecto.

Grupos de uso

Todas las intervenciones de laderas y taludes se deben clasificar dentro de uno de los siguientes grupos de uso. Estos grupos son los definidos en la Norma NSR-10 a los que se precisan tipos de proyectos no incluidos y que para el caso se consideran importantes.

- Grupo IV: Edificaciones indispensables

Son aquellas edificaciones de atención a la comunidad que deben funcionar durante y después de un sismo u otro evento catastrófico y cuya operación no puede ser trasladada rápidamente a un lugar alternativo. Este grupo debe incluir:

- (a) Todas las edificaciones que componen hospitales, clínicas y centros de salud que dispongan de servicios de cirugía, salas de cuidados intensivos, salas de neonatos y/o atención de urgencias.
- (b) Todas las edificaciones que componen aeropuertos, estaciones ferroviarias y de sistemas masivos de transporte, centrales telefónicas, de telecomunicación y de radiodifusión.
- (c) Edificaciones designadas como refugios para emergencias, centrales de aeronavegación, hangares de aeronaves de servicios de emergencia.

- (d) Edificaciones de centrales de operación y control de líneas vitales de energía eléctrica, agua, combustibles, información y transporte de personas y productos.
- (e) Edificaciones que contengan agentes explosivos, tóxicos y dañinos para el público.
- (f) Estructuras que alberguen plantas de generación eléctrica de emergencia, los tanques y estructuras que formen parte de sus sistemas contra incendio, y los accesos, peatonales y vehiculares de las edificaciones tipificadas en los literales a, b, c, d y e del presente numeral.
- (g) Vías de carácter nacional o primario para el área metropolitana.
 - (i) Zonas con obras de infraestructura cuya falla conlleve al cierre total o parcial de las vías de acceso a alguna obra tipificada en los literales a, b, c, d y e del presente numeral.
 - (j) Las tuberías para abastecimiento de agua potable y tuberías de aguas residuales, tuberías principales de gas domiciliario.
 - (k) Puentes sobre el río Medellín y afluentes principales.

- Grupo III: Edificaciones de atención a la comunidad

Este grupo comprende aquellas edificaciones y sus accesos, que son indispensables después de un temblor o evento catastrófico para atender la emergencia y preservar la salud y la seguridad de las personas, exceptuando las incluidas en el grupo IV. Este grupo debe incluir:

- (a) Estaciones de bomberos, defensa civil, policía, cuarteles de las fuerzas armadas, y sedes de las oficinas de prevención y atención de desastre.
- (b) Garajes de vehículos de emergencia.
- (c) Estructuras y equipos de centros de atención de emergencias.
- (d) Guarderías, escuelas, colegios, universidades y otros centros de enseñanza.
- (e) Aquellas del grupo II para las cuales el propietario

- desea contar con seguridad adicional.
- (f) Vías secundarias y obras complementarias que puedan causar obstrucción en caso de su falla.
- Grupo II: Estructuras de ocupación especial.
 - (a) Edificaciones en donde se puedan reunir más de 200 personas en un mismo salón.
 - (b) Graderías al aire libre donde pueda haber más de 2000 personas a la vez.
 - (c) Almacenes y centros comerciales con más de 500 m² por piso.
 - (d) Edificaciones de hospitales, clínicas y centros de salud, no cubiertas en A.2.5.1.1. de la NSR-10.
 - (e) Edificaciones donde trabajen o residan más de 3000 personas.
 - (f) Edificios gubernamentales y aquellas otras que las autoridades competentes designen como tales.

- (g) Las vías de acceso a estos lugares y otras que puedan causar el cierre de las mismas en caso de fallar.
- Grupo I: Estructuras de ocupación normal.

Todas las obras cubiertas por el alcance de esta Norma, pero que no se han incluido en los Grupos II, III y IV.

Número mínimo de sondeos y profundidad para estudios geotécnicos de laderas

En la tabla 9 se especifica la clasificación para la determinación del número mínimo de sondeos y profundidad requeridos para las distintas categorías de uso con base en aptitud.

Tabla 9. Clasificación según aptitud y grupos de uso

Grupo de uso	Aptitud			
	Apto(AA)	Apto con restricción moderado (RM)	Apto con restricción alta (RA)	No apto (NA)
IV	AA-IV	RM-IV	RA-IV	NA-IV
III	AA-III	RM-III	RA-III	NA-III
II	AA-II	RM-II	RA-II	NA-II
I	AA-I	RM-I	RA-I	NA-I



Aspectos morfodinámicos.

- Proyecto en zona geológica apta y de uso de grupo IV (AA-IV).

Para los tipos de proyectos de grupo IV clasificados como (a) hasta (f), se regirá por las especificaciones contenidas en el punto H.3.2. de la Norma NSR-10.

En los proyectos de tipo lineal que clasifican entre la (g) y (j) se requiere un mínimo de pares de sondeos en cada perfil transversal a la vía, ubicados en las zonas más críticas como por ejemplo depresiones y sitios de mayor altura de corte. La profundidad de los sondeos debe ser dos veces la altura del lleno y dos veces y media la altura del corte, medidos en ambos casos a partir del nivel del terreno original.

En el caso de puentes correspondientes al tipo (k), se deben realizar los sondeos necesarios para disponer de perfiles de análisis en cada apoyo, según la dirección de la pendiente.

- Proyecto en zona geológica apta y de uso de grupo III (AA-III).

Para los tipos de proyectos de grupo III clasificados como (a) hasta (e) se regirá por las especificaciones contenidas en el punto H.3.2. de la Norma NSR-10.

En los proyectos de vías secundarias y obras complementarias que clasifican como (f) se requiere un mínimo de pares de sondeos en cada perfil transversal a la vía, ubicados en las zonas más críticas como por ejemplo depresiones y sitios de mayor altura de corte. La profundidad de los sondeos debe ser dos veces la altura del lleno y dos veces y media la altura del corte, medidos en ambos casos a partir del nivel del terreno original.

En el caso de puentes correspondientes al tipo (k), se deben realizar los sondeos necesarios para disponer de perfiles de análisis en cada apoyo, según la dirección de la pendiente.

- Proyecto en zona geológica apta y de uso de grupo II (AA-II).

Para los tipos de proyectos de grupo II clasificados como (a) hasta (f) se regirá por las especificaciones contenidas en el punto H.3.2. de la Norma NSR-10. En los proyectos de vías de acceso y obras complementarias que clasifican como (g), se requiere un mínimo de pares de sondeos en cada perfil transversal a la vía, ubicados en las zonas más críticas como por ejemplo en depresiones y sitios de mayor altura de corte. La profundidad de los sondeos debe ser dos veces la altura del lleno y dos veces y media la altura del corte, medido en ambos casos partir del nivel del terreno original.

- Proyecto en zona geológica apta y de uso de grupo I (AA-I).

Para todos los tipos de proyectos del grupo I, se regirán por las especificaciones contenidas en el punto H.3.2. de la Norma NSR-10.

- Proyecto en zona geológica apta con restricción moderada (RM-IV, RM-III, RM-II y RM-I)

A las exploraciones planteadas para cada uno de los grupos de la zona apta AA, se le deben aumentar sondeos de observación directa, como: trincheras, apiques y pozos; todos con toma de muestra y ensayos de campo. En este caso se deben aprovechar los afloramientos naturales y cortes para toma de muestras.

- Proyecto en zona geológica con restricción alta (RA-IV, RA-III, RA-II y RA-I)

Adicional a lo exigido para los grupos AA y RM, las exploraciones y los sondeos se deben realizar con muestreo continuo, aún por debajo de la superficie activa o potencial de falla y adicionar la instalación de inclinómetros y piezómetros.

- Proyecto en zona geológica no apto NA

Para proyectos de uso de grupo III y IV ubicados en zonas de aptitud, no aptas NA, se recomienda su relocalización por fuera de ella. Para los proyectos pertenecientes a los grupos I y II ubicados en zonas no aptas, se deben cumplir todos los requerimientos de exploración para restricción alta, más la realización de medidas que conduzcan a la reclasificación de aptitud no apta, a algunas de las clasificaciones aptas. Si la profundización de los estudios no permite modificar la aptitud del sitio, no se deben adelantar las obras.

3.3.5.2 Información mínima que se debe incluir en los registros de los sondeos

- Identificación del sondeo.
- Georeferenciación de sondeos.
- Cota de la superficie del terreno en el sitio de sondeo.
- Profundidad del sondeo.
- Nivel freático medido durante el sondeo y en los días sucesivos a ella.
- Nombre del director de la cuadrilla.
- Fecha de inicio.
- Fecha de terminación.
- Condiciones climáticas en el periodo de perforación.
- Método de perforación: percusión, lavado, rotación con aire, lodo o agua, entre otros.
- Diámetro de la perforación.
- Marca, referencia y capacidad de los equipos de sondeo.
- Descripción detallada del perfil estratigráfico obtenido con base en las muestras.
- Descripción de las muestras: Las muestras se deben describir en cuanto a color, litología, nivel de meteorización, textura, fábrica, tamaño de partículas, forma o angulosidad de las partículas, gradación, minerales presentes, estructura, materia orgánica, porosidad, consistencia, resistencia, humedad, expansividad, dispersividad y orientación para el caso de muestras en roca.



Edificaciones en riesgo geotécnico.

- Número de referencia y profundidad de cada muestra.
- Resultados de los ensayos de campo realizados en el sondeo.
- Porcentaje de muestra recuperada.
- Sistema de muestreo utilizado.
- Índice de calidad en las muestras de roca.

3.3.5.3 Muestreo

Se debe realizar un plan de muestreo que permita caracterizar el perfil del suelo y definir el programa de laboratorio, además debe incluir el tipo, cantidad, ubicación y profundidad de las muestras. El muestreo debe ser representativo de las capas, estratos u horizontes de suelo a que correspondan.

En cualquier caso, las muestras se deben empacar y manipular de forma tal que se preserven las condiciones de humedad natural y se evite la contaminación.

El transporte requiere atención especial con el fin de evitar vibraciones, caídas o accidentes que alteren las características originales de la muestra,

en particular las inalteradas. Cualquier anomalía en el empaque o transporte se debe hacer constar en el propio empaque de la muestra e informada al laboratorio en el momento de la entrega. En general, se deben adoptar los procedimientos recomendados en las normas NTC e INVE según el caso.

3.3.5.4 Investigaciones de laboratorio

Las investigaciones de laboratorio tienen como objetivo la caracterización físico-mecánica de cada uno de los materiales que conforman el perfil de suelos y rocas de la ladera. Los ensayos obligatorios se deben orientar a definir:

- Clasificación (granulometría y límites de consistencia).
- Contenido de humedad.
- Pesos unitarios, gravedad específica.
- Parámetros de resistencia al corte.
- Compresibilidad.
- Permeabilidad.

La no realización de estos ensayos, debe ser justificada por el profesional, quien asumirá la

responsabilidad de la elección de los parámetros de cálculo para el proyecto. Modificaciones sólo se admiten en los siguientes casos:

- Existencia previa de resultados de ensayos en cantidad suficiente en el área de estudio, que permitan adoptar parámetros con base en la experiencia local.
- Cuando predominan situaciones donde la realización de ensayos no añade mucho a la cuantificación de los parámetros de cálculo. Ejemplos de esto son laderas o taludes con una preponderancia de bloques de roca, laderas rocosas.

Todos los datos usados, así como sus análisis se deben presentar en el informe del estudio.

3.3.5.5 Caracterización de taludes en roca

En el caso de taludes rocosos o laderas con bloques de roca, se debe realizar un levantamiento incluyendo: fotografías aéreas o convencionales de todo el conjunto obtenidas mediante fotomontaje, con el fin de permitir la visualización de toda el área de estudio; un registro detallado de los elementos inestables con fotos y una planta de localización de cada foto; perfiles esquemáticos indicando las dimensiones de los elementos inestables, aptitud y propiedades mecánicas e hidráulicas de las discontinuidades estructurales.

3.3.5.6 Secciones de análisis

Para los análisis de estabilidad, se requiere contar con las secciones de análisis definidas de acuerdo con la aptitud geológica, a las que se deben incorporar los resultados de la investigación de campo y laboratorio.

Cuando la irregularidad morfológica o litológica del terreno así lo indique, se debe contar por lo menos



Intervención vial.



Escarpe en suelo residual.

con una sección en cada zona homogénea definida en el modelo del área de estudio, en donde, a criterio del profesional, exista posibilidad cinemática de que se presenten procesos de inestabilidad.

3.3.5.7 Presiones de poro

De acuerdo con el Reglamento NSR-10, para el análisis y diseño de taludes, se debe evaluar el efecto del agua en la disminución del esfuerzo efectivo del suelo y de la resistencia al corte. Para esto se debe aplicar una o varias de las siguientes metodologías:

- Red de flujo: necesaria en el caso en que la cabeza piezométrica no corresponde con la superficie del nivel freático.

- Nivel freático: en el caso en que la cabeza piezométrica corresponde con la superficie de la tabla de agua, por encontrarse esta última a presión atmosférica.
- R_u , cociente entre la presión de poros y el esfuerzo vertical total. Este valor puede variar para el mismo material, dependiendo de su posición relativa respecto a la superficie de agua y del terreno. Por tal motivo, se recomienda calcular tantos valores como sean necesarios, de acuerdo con la complejidad del problema.

Se debe dar preferencia al cálculo de la presión de poro a través de una red de flujo o por la definición de un nivel freático, respecto a la aplicación del factor R_u .



Soluciones para estabilidad de taludes.

En la medida de lo posible se deben utilizar modelos acoplados que consideren condiciones de flujo no saturado y la infiltración por precipitación.

3.4 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

3.4.1 Análisis de estabilidad estático

Se debe utilizar un método de cálculo y análisis de reconocida validez y aplicación, proporcional a la magnitud del problema potencial.

El análisis de estabilidad se debe efectuar considerando como mínimo métodos basados en el equilibrio límite, mediante el cálculo de los factores de seguridad utilizando metodologías de análisis internacionalmente aceptados.

Los mecanismos de falla usados en el modelo se deben definir a partir de lo identificado en el estudio geológico y geomorfológico del capítulo 1, incluyendo todos los mecanismos de falla posibles, tales como: caídas, volcamientos y deslizamientos entre otros. Se deben considerar en los análisis, aspectos como grietas de tensión, sobrecargas y fenómeno de erosión. En general se recomienda el uso de múltiples métodos, específicamente el de los métodos llamados rigurosos para los análisis de equilibrio límite.

Se debe hacer evaluaciones con análisis de estabilidad a corto y largo plazo, teniendo en cuenta las consideraciones del caso, en términos de esfuerzos totales o efectivos.

En caso de utilizar drenes como elemento de mejoramiento, se debe presentar y sustentar los cálculos realizados e implementados en el diseño definitivo.

En los análisis se debe considerar los niveles freáticos y las cargas de presión identificadas durante la exploración. Cuando se disponga de piezómetros se debe incorporar el efecto de variación temporal de las presiones de poro.



Deslizamiento sobre la vía.

3.4.2 Evaluación de condiciones iniciales

Se debe hacer la evaluación de las condiciones iniciales del predio en términos del grado de amenaza, con base en el factor de seguridad, la energía potencial y la velocidad del movimiento, como se establece en la tabla 10.

Tabla 10. Evaluación del grado de amenaza para condiciones iniciales

Factor seguridad	Altura del talud menor a 4 m		Altura del talud 4 a 10 m		Altura del talud mayor a 10 m	
	Falla súbita	Falla lenta	Falla súbita	Falla lenta	Falla súbita	Falla lenta
Menos de 1.25	Medio	Bajo	Alta	Medio	Alta	Alta
Entre 1.25 -1.5	Bajo	Bajo	Medio	Bajo	Alta	Medio
Mayor a 1.5	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Bajo

3.4.3 Factores de seguridad

Los diseños elaborados a partir de lo regulado en este documento deben cumplir factores de seguridad definidos según las pérdidas probables. Como factor de seguridad para el diseño estático se debe adoptar el mayor valor que se obtenga al considerar la tabla 11.

Tabla 11. Factores de seguridad estáticos de acuerdo con los niveles de seguridad requeridos.

Nivel de seguridad contra pérdidas de vidas	Alto	Medio	Bajo
Nivel de seguridad deseable para daños materiales y ambientales			
Alto	1.5	1.5	1.4
Medio	1.5	1.4	1.3
Bajo	1.4	1.3	1.2

Los niveles de pérdidas de vidas y de seguridad deseables para daños materiales y ambientales se determinan como se describe en las tablas 12 y 13.

Tabla 12. Nivel de seguridad contra pérdidas de vidas

Nivel de seguridad	Criterio
Alto	Áreas con intenso movimiento y permanencia de personas como edificaciones públicas, residenciales o industriales, estadios, parques, plazas, y demás sitios, urbanos o no, con posibilidad de concentración de un elevado número de personas. Carreteras de tráfico intenso
Medio	Áreas y edificaciones con movimiento y permanencia restringida de personas, ferrocarriles y carreteras de tráfico moderado
Bajo	Áreas y edificaciones con movimientos y permanencia eventual de personas, ferrocarriles y carreteras de poco tráfico

Tabla 13. Nivel de seguridad deseable para daños materiales y ambientales

Nivel de seguridad	Criterio
Alto	Daños materiales: Lugares próximos a propiedades de alto valor histórico, social o patrimonial, obras de gran tamaño y áreas que afecten servicios vitales Daños ambientales: Lugares sujetos a accidentes ambientales graves, tales como los próximos a oleoductos, bombas de gasolina, tanques de almacenamiento (combustible, tóxicos), escombreras, depósitos de relaves, rellenos sanitarios y plantas industriales con productos tóxicos
Medio	Daños materiales: lugares próximos a propiedades de valor moderado Daños ambientales: Lugares sujetos a accidentes ambientales moderado
Bajo	Daños materiales: lugares próximos a propiedades de bajo valor Daños ambientales: Lugares sujetos a accidentes ambientales reducidos

3.4.4 Análisis de estabilidad dinámica por eventos sísmicos

Con base en la Norma NSR-10, la región metropolitana del Valle de Aburrá, está catalogada como zona de amenaza sísmica intermedia, excepto los municipios de La Estrella y Caldas, que se encuentran en zona de amenaza alta, por lo que para efectos de análisis sísmicos y diseños de estabilidad de laderas y taludes, se debe seguir lo prescrito en dicho reglamento en los literales A.2.4.1.1, H.5.2.5, H.5.2.6. y H.5.2.7. A juicio del consultor y del dueño del proyecto, se podrán utilizar las aceleraciones definidas en el estudio de microzonificación sísmica del Valle de Aburrá o del Municipio de Medellín. En todo caso el factor de seguridad debe ser mayor que 1.05.

3.4.5 Probabilidad de falla

Los factores de seguridad dependen del análisis probabilístico y del nivel de riesgo aceptable para los diseños según el grupo de uso.

Para los grupos de uso III y IV se debe calcular la probabilidad de falla del talud considerando métodos aceptados internacionalmente y en todo caso, los diseños deben garantizar que la probabilidad de falla sea menor que 10^{-3}

Para estos análisis se pueden usar métodos probabilistas como el de Montecarlo, primer orden y segundo momento-FOSM o estimativas puntuales, entre otros.

Para los grupos de uso I y II, la evaluación de la probabilidad de falla será opcional y a juicio del profesional.

En estos análisis, los parámetros estadísticos de los materiales deben ser obtenidos a partir del procesamiento de la información obtenida en trabajos de campo y laboratorio, pero puede ser complementada con datos de trabajos previos en

formaciones similares o a partir de información existente en trabajos técnicos. En cualquier caso, el profesional asume la responsabilidad de la información utilizada.

3.5 DISEÑO DE LA INTERVENCIÓN

Los diseños deben estar orientados a atender los sitios de mayor amenaza, diseñando el mejoramiento de la estabilidad a través de diferentes opciones: cambios de geometría, reducción de cargas en la parte alta, incremento de carga en la base, disminución de la pendiente, drenajes superficiales y profundos, y sistema de contención, entre otros.

De igual modo, si el proyecto genera cambio en las condiciones iniciales de estabilidad, particularmente por la construcción de llenos, cortes y estructuras, se debe evaluar en términos de factores de seguridad y de probabilidad de falla, como se indicó anteriormente. Se debe diseñar las medidas a corto y largo plazo que garanticen tales factores de seguridad.

En los casos donde obliga la instrumentación, de acuerdo con lo establecido en este capítulo, se debe hacer el seguimiento posterior a la implementación de las medidas de estabilización. El registro del seguimiento y su análisis debe servir para la verificación de la efectividad de las soluciones y se debe hacer durante un período mínimo de un año, al menos con tres lecturas. Estos resultados deben ser informados a los organismos de control.

3.6 CONTENIDO MÍNIMO DEL INFORME

El informe geotécnico debe contener como mínimo:

- Características del proyecto, se debe especificar la categoría y grupo de uso.
- Geometría de la intervención. Se debe definir los niveles actuales del terreno y los niveles de cortes y llenos.



Soluciones constructivas.

- El marco geológico y geomorfológico.
- La Información de los estudios hidrológicos e hidrogeológicos.
- Exploración del subsuelo. Descripción de donde y como se obtuvo la información de campo y laboratorio.
- Caracterización del subsuelo. Descripción e intervalo de valores de los parámetros y posiciones de los niveles freáticos. Resumen de perfiles.
- Análisis de estabilidad previa al proyecto. Debe incluir la evaluación de la estabilidad inicial en términos de la amenaza y probabilidad de falla según el caso.
- Análisis de estabilidad considerando la intervención.
- Recomendaciones hidráulicas, geotécnicas, estructurales, y constructivas para el desarrollo de la intervención.
- Anexo que contenga la exploración del subsuelo con localización, registro de sondeos y ensayos de laboratorio.
- Anexo que incluya la caracterización geotécnica que informe sobre la metodología para la selección de parámetros.
- Anexo con las memorias de cálculo de los análisis de estabilidad.

- Anexo con las memorias de cálculo de los diseños de medidas de estabilización.

3.7 SEGUIMIENTO DE LA OBRA

Durante el periodo de construcción y en la vida útil del proyecto, se debe hacer seguimiento de la obra que como mínimo, incluya:

- Acompañamiento por parte del ingeniero diseñador de las medidas para la verificación de la efectividad de la estabilización. A través de la revisión de controles topográficos, monitoreo de la instrumentación, aparición y evolución de grietas y fisuras y comparación con actas de vecindad.
- Verificación del cumplimiento de las medidas diseñadas para la estabilización por parte de la interventoría.
- Mantenimiento de las obras de estabilización, por parte del propietario como: revisión de drenajes, cunetas, protecciones de engramados y verificaciones periódicas de la instrumentación en los casos en que se hayan instalado.

Recomendaciones



Verificar por parte de las autoridades territoriales y regionales que las directrices y lineamientos establecidos en este documento, se apliquen efectivamente en los estudios que se sometan a consideración para obtener los permisos y licencias requeridos para la intervención.

Desplegar una amplia difusión de estas directrices y lineamientos, en particular entre la comunidad técnica, académica y gremial.

Crear, a través de las autoridades territoriales y regionales, un grupo de trabajo conformado por profesionales, funcionarios y académicos de instituciones públicas y privadas, que se dedique a debatir y analizar la problemática que se genera por los procesos de intervención en laderas y cauces en el Valle de Aburrá.

Fortalecer el SIATA, con el objeto de monitorear fenómenos y variables geotécnicas como nivel freático, nivel piezométrico, desplazamientos y deformaciones, entre otros.

Robustecer los grupos y líneas de investigación relacionados con las temáticas sobre intervención en laderas. Especialmente a los grupos y líneas de investigación pertenecientes a las universidades de la región.

Estudiar por parte del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA) y de los municipios que lo conforman, la forma de transferir el riesgo que se genera por calidad de los estudios.

Definir por parte del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, mecanismos y procedimientos mediante los cuales se actualicen estas directrices y lineamientos.

Referencias



- Área Metropolitana del Valle de Aburrá. 2010. Alcances para los Estudios y diseños de Proyectos Urbanos, Paisajísticos y Arquitectónicos.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá. 2007. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del río Aburrá, POMCA.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá. 2006. Directrices Metropolitanas de Ordenamiento Territorial. Acuerdo Metropolitano No. 15.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá. 2007. Microzonificación y Evaluación del Riesgo Sísmico. En Conocimientos Metropolitanos N° 29, 183 p.
- Botero G. 1963. Contribución al Conocimiento Geológico de la Zona Central de Antioquia. En Anales de la Facultad de Minas, N° 57, 101 p.
- INGEOMINAS. 2005. Mapa Geológico de la Plancha 147 de Medellín oriental, escala 1:50000, memoria explicativa. 314 p.
- Ministerio de Desarrollo Económico 2000. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. 97 p.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2010. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. Tomo 4. Título H.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico. 2000. Reglamento Técnico del sector. RAS.
- Varnes D.J. 1984. Landslide hazard Zonation. A review of principles and practice. UNESCO Press, 63 p.

Acuerdo Metropolitano No.9 25 de mayo de 2012



Por medio del cual se adiciona un Título V al Acuerdo Metropolitano No. 015 de 2006, “por el cual se adoptan las normas obligatoriamente generales en materia de planeación y gestión del suelo y se dictan otras disposiciones”, cuyo contenido es:

LINEAMIENTOS METROPOLITANOS PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS GEOLÓGICOS, GEOMORFOLÓGICOS, HIDRÁULICOS, HIDROLÓGICOS Y GEOTÉCNICOS Y SE DICTAN OTRAS DISPOSICIONES PARA LA PREVENCIÓN DEL RIESGO EN CONSTRUCCIONES EN LADERAS

La Junta Metropolitana del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, en uso de sus atribuciones Constitucionales, en particular las previstas en el artículo 319 y legales, en especial las conferidas por las Leyes 128 de 1994, 388 de 1997 y 1454 de 2011, y el Acuerdo Metropolitano 015 de 2005, y

CONSIDERANDO:

1. Que mediante el Acuerdo Metropolitano 015 de 2006 se adoptaron las normas obligatoriamente generales en materia de planeación y gestión del uso del suelo por parte de la Junta Metropolitana, el cual contiene las directrices y los lineamientos metropolitanos para el ordenamiento territorial, como norma obligatoriamente general que, conforme a lo establecido en el artículo 10 de la Ley 388 de 1997, constituyen determinantes de superior jerarquía a tener en cuenta por los municipios que conforman al Área Metropolitana del Valle de Aburrá, debiendo ser consideradas dentro de los procesos de aprobación, revisión, modificación y ajuste de los planes de ordenamiento territorial de los municipios.
2. Que desde ese enfoque, ha sido una prioridad del Área Metropolitana del Valle de Aburrá la prevención y mitigación de los riesgos asociados a los procesos constructivos en los diferentes municipios que integran la jurisdicción de ésta. Es así como dentro del TITULO III "DE LOS LINEAMIENTOS AMBIENTALES DETERMINANTES DEL ORDENAMIENTO TERRITORIAL METROPOLITANO", en su artículo 13 del Acuerdo Metropolitano N° 15 de 2006, se establece que, a través de los lineamientos ambientales, se busca atender, entre otros aspectos: "1. Ejecutar las acciones pertinentes para atender los problemas de mayor impacto colectivo y tratar de corregir los desequilibrios territoriales; 2. Brindar especial atención a la mitigación de impactos ambientales en la gestión de la infraestructura y la dotación de equipamientos para garantizar el desarrollo del modelo de ordenamiento territorial metropolitano".
3. Que igualmente, el artículo 15 del citado Acuerdo Metropolitano, estableció que en la definición de normas relacionadas con la determinación de los usos del suelo, la definición de tratamientos urbanísticos, la asignación de densidades y aprovechamientos, las administraciones municipales deben tener en cuenta un manejo sostenible de los recursos naturales con relación a la reducción de riesgos y amenazas de origen natural.
4. Que el Ordenamiento Territorial debe propender por el manejo sostenible, la reducción de riesgos y la recuperación de los recursos agua, suelo, aire y biodiversidad, en forma prioritaria, así lo proclama el parágrafo del artículo 15 del Acuerdo Metropolitano N° 15.
5. Que las Directrices Metropolitanas de Ordenamiento Territorial –DMOT– aprobadas mediante Acuerdo Metropolitano 015 de 2006 tienen como finalidad iniciar un proceso de armonización de los Planes de Ordenamiento Territorial o Planes Básicos de Ordenamiento Territorial, según el caso, con énfasis en lo referente a temas de clasificación y usos del suelo, y densidades, constituyendo un acuerdo sobre un modelo de ocupación fundamentado en los principios de sostenibilidad ambiental, competitividad regional, solidaridad y equilibrio funcional del territorio.
6. Que en las Directrices Metropolitanas de Ordenamiento Territorial –DMOT– en relación con la conservación de la base natural sostenible, se dispuso que las administraciones municipales deben propender por un manejo sostenible de los recursos naturales en relación a, entre otros, la reducción de riesgos y amenazas de origen natural.
7. Que las Directrices Metropolitanas de Ordenamiento Territorial –DMOT– propenden, entre

sus diferentes objetivos, por la construcción de una metrópoli urbana sostenible, para lo cual se determinó que los Planes de Ordenamiento Territorial deben establecer los mecanismos que permitan desarrollar el territorio del valle de Aburrá como una ciudad compacta y diversa, de tal manera que se garantice la reposición de los recursos naturales renovables y se limite la degradación del territorio. Para tal efecto, los Planes deberán adoptar, entre otras medidas, las necesarias para mitigar el riesgo de acuerdo con los análisis de amenaza y vulnerabilidad que se adelante.

8. Que de conformidad con el artículo 6 de la Ley 128 de 1994, las Áreas Metropolitanas dentro de la órbita de competencia que la Constitución y la ley les confiere, sólo podrán ocuparse de la regulación de los Hechos Metropolitanos entendidos como aquellos hechos que a juicio de la Junta Metropolitana afecten simultánea y esencialmente a por lo menos dos de los municipios que lo integran como consecuencia del fenómeno de la conurbación.
9. Que el Plan Integral de Desarrollo Metropolitanos (adoptado mediante el Acuerdo Metropolitanos 040 de 2007) reconoce como Hechos Metropolitanos:
 - a. El ordenamiento del territorio metropolitano (componentes metropolitanos de la base ambiental, sistemas estructurantes y sistemas estructurados).
 - b. El diseño y puesta en marcha de un sistema metropolitano de reparto de cargas y beneficios de beneficio regional.
 - c. La movilidad metropolitana.
 - d. El sistema metropolitano de vivienda de interés social.
 - e. La red de espacios públicos y equipamientos metropolitanos.
 - f. Los referidos a la base natural, a los elementos estructurantes transformados y a lo estructurado.
10. Que la Ley 128 de 1994, en su artículo 14, referente a las atribuciones básicas de la Junta Metropolitana, establece que estas tendrán, entre otras atribuciones básicas en materia de planeación, la de adoptar el Plan Integral de Desarrollo Metropolitanos, así como la de dictar, a iniciativa del Gerente y con sujeción a la Ley Orgánica de Planeación (Ley 152 de 1994), las normas obligatoriamente generales y señalar en ellas los objetivos y criterios a los que deben sujetarse los concejos municipales para “Dictar normas sobre uso del suelo urbano y rural en el municipio y definir los mecanismos necesarios que aseguren su cabal cumplimiento”;
11. Que de conformidad con el párrafo del artículo 2 de la Ley 1454 de 2011 (Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial - LOOT), se otorga competencia a las Áreas Metropolitanas para dictar Planes Integrales de Desarrollo Metropolitanos con perspectiva de largo plazo, incluyendo el componente de ordenamiento físico territorial y el señalamiento de las normas obligatoriamente generales que definan los objetivos y criterios a los que deben acogerse los municipios al adoptar los Planes de Ordenamiento Territorial en relación con las materias referidas a los hechos metropolitanos, de acuerdo con lo previsto en la Ley de Áreas Metropolitanas.
12. Que las Directrices Metropolitanas de Ordenamiento Territorial –DMOT– aprobadas mediante Acuerdo Metropolitanos 015 de 2006, en el Título III de los lineamientos ambientales determinantes del ordenamiento territorial metropolitano, se establece como determinantes la reducción de riesgos y amenazas de origen natural, la recuperación de zonas de retiro de quebradas y la definición de zonas de extracción de material de arrastre considerando la dinámica propia de cada corriente de agua.
13. Que en el artículo 16 del Título III del multicitado Acuerdo, se dispone que los planes de ordenamiento territorial, deben establecer mecanismos

que limiten la degradación del territorio ofreciendo opciones de mejoramiento y relocalización de población asentada en áreas calificadas como de riesgo y mitigar el riesgo de acuerdo con los análisis de amenaza y vulnerabilidad que se adelanten.

Así mismo, se establece que los municipios del Área Metropolitana tendrán en cuenta los avances de los estudios adelantados con relación a programas de gestión para zonas de alto riesgo.

14. Que en el artículo 50, del Capítulo 4 sobre apoyo a la política de vivienda metropolitana del Título IV de los hechos metropolitanos del Acuerdo Metropolitano 15 de 2006, se establece como uno de los criterios para identificación de sectores para el desarrollo de programas de vivienda en el Valle de Aburrá, la calidad del suelo en relación con amenaza y riesgos por fenómenos naturales.
15. Que la Ley 1523 del 24 de abril de 2012 “Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres” establece que la gestión del riesgo se constituye en una política de desarrollo indispensable para asegurar la sostenibilidad, la seguridad territorial, los derechos e intereses colectivos, mejorar la calidad de vida de las poblaciones y las comunidades en riesgo y, por lo tanto, está intrínsecamente asociada con la planificación del desarrollo seguro, con la gestión ambiental territorial sostenible, en todos los niveles de gobierno y la efectiva participación de la población.
16. Que el artículo 2° de la Ley 1523 de 2012, establece que la gestión del riesgo es responsabilidad de todas las autoridades y de los habitantes del territorio colombiano. “En cumplimiento de esta responsabilidad, las entidades públicas, privadas y comunitarias desarrollarán y ejecutarán los procesos de gestión del riesgo, entendiéndose: conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y

manejo de desastres, en el marco de sus competencias, su ámbito de actuación y su jurisdicción, como componentes del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres. Por su parte, los habitantes del territorio nacional, corresponsables de la gestión del riesgo, actuarán con precaución, solidaridad, autoprotección, tanto en lo personal como en lo de sus bienes, y acatarán lo dispuesto por las autoridades”.

17. Que las áreas metropolitanas deberán adoptar los procesos de la gestión del riesgo en el marco de su desempeño en la planificación del desarrollo, gestión ambiental y ordenamiento territorial, de conformidad con sus competencias, en cumplimiento de lo ordenado por el artículo 30 de la Ley 1523 de 2012.
18. Que el artículo 40 de la Ley 1523 de 2012, ordena a las áreas metropolitanas y a los municipios a incorporar en sus respectivos planes de desarrollo y de ordenamiento territorial las consideraciones sobre desarrollo seguro y sostenible derivadas de la gestión del riesgo; en particular deben incluir las previsiones de la Ley 9ª de 1989 y de la Ley 388 de 1997, o normas que la sustituyan, tales como los mecanismos para el inventario de asentamientos en riesgo, señalamiento, delimitación y tratamiento de las zonas expuestas a amenaza derivada de fenómenos naturales, socio naturales o antropogénicas no intencionales, incluidos los mecanismos de reubicación de asentamientos; la transformación del uso asignado a tales zonas para evitar reasentamientos en alto riesgo; la constitución de reservas de tierras para hacer posible tales reasentamientos y la utilización de los instrumentos jurídicos de adquisición y expropiación de inmuebles que sean necesarios para reubicación de poblaciones en alto riesgo, entre otros.
19. Que a la luz de lo preceptuado por el artículo 14 de la Ley 1523 de 2012, los Alcaldes como

jefes de la administración local representan al Sistema Nacional en el Distrito y el municipio, como conductores del desarrollo local, son los responsables directos de la implementación de los procesos de gestión del riesgo en el distrito o municipio, incluyendo el conocimiento y la reducción del riesgo y el manejo de desastres en el área de su jurisdicción. Consecuente con ello dispone que los alcaldes y la administración municipal o distrital, deberán integrar en la planificación del desarrollo local, acciones estratégicas y prioritarias en materia de gestión del riesgo de desastres, especialmente, a través de los planes de ordenamiento territorial, de desarrollo municipal o distrital y demás instrumentos de gestión pública.

20. Que las disposiciones contenidas en el presente Acuerdo Metropolitano, constituyen una intervención prospectiva, a través de la cual se establecen acciones de prevención que eviten la generación de nuevas condiciones de riesgo, a la luz de lo definido por el numeral 14 del artículo 4° de la Ley 1523 de 2012.
21. Que Las normas contenidas en el presente Acuerdo Metropolitano, son un claro instrumento de Prevención del Riesgo, de conformidad con lo señalado por el numeral 18 del artículo 4° de la Ley 1523 de 2012 que establece: "Los instrumentos esenciales de la prevención son aquellos previstos en la planificación, la inversión pública y el ordenamiento ambiental territorial, que tienen como objetivo reglamentar el uso y la ocupación del suelo de forma segura y sostenible"
22. Que en los municipios pertenecientes al Área Metropolitana del Valle de Aburrá, es frecuente el desarrollo de proyectos urbanísticos y de infraestructura que intervienen y modifican las condiciones naturales de las laderas, en ocasiones con implicaciones de riesgo para vidas y bienes tanto públicos como privados.

23. Que es necesario establecer, de manera clara y metodológica los alcances y contenidos de los estudios geológicos, geomorfológicos, hidrológicos e hidráulicos, hidrogeológicos y geotécnicos, necesarios para una adecuada intervención del territorio.
24. Que por la complejidad natural y por el tipo de ocupación que se da en el Valle de Aburrá, se hace necesario el estudio multidisciplinario de los factores que están involucrados en las condiciones de estabilidad de las intervenciones.
25. Que es pertinente unificar criterios así como el adecuado uso de la terminología técnica que se debe incluir dentro del desarrollo de estudios para la intervención del territorio en el Valle de Aburrá y en la definición de los alcances y pertinencia de las diferentes disciplinas involucradas en los estudios, específicamente en el alcance de los estudios geológicos-geomorfológicos y en la adecuada zonificación de amenazas y la descripción del perfil de suelo.
26. Que igualmente se requiere el fortalecimiento de la función de control urbanístico atribuida por el legislador a los municipios a través de sus alcaldes y la adecuada implementación de sus resultados como normas obligatoriamente generales de conformidad con el artículo 14 de la Ley 128 de 1994, la Ley 388 de 1997 y el artículo 63 del Decreto 1469 de 2010;

ACUERDA:

ARTÍCULO 1°. ADOPCIÓN: Adiciónese un TITULO V al Acuerdo Metropolitano No 015 de 2006 "por el cual se adoptan las normas obligatoriamente generales en materia de planeación y gestión del suelo y se dictan otras disposiciones", el cual se titulará LINEAMIENTOS METROPOLITANOS PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS GEOLÓGICOS, GEOMORFOLÓGICOS, HIDRÁULICOS, HIDROLÓGICOS

Y GEOTÉCNICOS Y SE DICTAN OTRAS DISPOSICIONES PARA LA PREVENCIÓN DEL RIESGO EN CONSTRUCCIONES EN LADERAS

ARTÍCULO 2º. OBJETO: El presente Acuerdo Metropolitano tiene como objeto definir las directrices generales para la elaboración de estudios geológicos, geomorfológicos, hidráulicos, hidrológicos y geotécnicos tendientes a mejorar la calidad de las intervenciones en ladera en la jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, de modo tal que contribuyan a la mitigación del riesgo por movimientos en masa, avenidas torrenciales, erosión, inundaciones, entre otras.

Parágrafo 1: Hacen parte integrante del presente Acuerdo Metropolitano el Documento Técnico que se adjunta, el cual contiene: Procedimientos técnicos para la elaboración de estudios geológicos y geomorfológicos, Procedimientos técnicos para la elaboración de estudios hidráulicos, hidrológicos e hidrogeológicos y Procedimientos técnicos para la elaboración de estudios geotécnicos.

CAPITULO I GENERALIDADES

ARTÍCULO 3º. PRINCIPIOS GENERALES: Serán principios orientadores en la aplicación de la materia contenida en este Título, además de los contemplados por la Ley 1523 de 2012 y el Acuerdo Metropolitano 15 de 2006 en su artículo 3º, los siguientes:

1. PRINCIPIO DE PLANEACIÓN: Los planes de ordenamiento territorial, establecerán los elementos básicos que comprendan la planificación del suelo, económica, social y ambiental de su territorio, como una actividad continua teniendo en cuenta la formulación, aprobación, ejecución, seguimiento y evaluación, de conformidad con la ley y en coordinación con otras entidades públicas de cualquier orden.

2. PRINCIPIO DE PREVENCIÓN: Las autoridades municipales deberán tomar, las medidas preventivas pertinentes frente a los posibles efectos perjudiciales del suelo, los bienes y del medio ambiente, con el fin de evitar que el daño pueda llegar a producirse.

Parágrafo: De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8º del Artículo 3º de la Ley 1523 del 24 de abril de 2012, cuando exista la posibilidad de daños graves o irreversibles a las vidas, a los bienes y derechos de las personas, a las instituciones y a los ecosistemas como resultado de la materialización del riesgo en desastre, las autoridades y los particulares aplicarán el principio de precaución en virtud del cual la falta de certeza científica absoluta no será óbice para adoptar medidas encaminadas a prevenir, mitigar la situación de riesgo.

ARTÍCULO 4º. ÁMBITO DE APLICACIÓN: Los lineamientos para los estudios y diseños de intervenciones en laderas relacionados con proyectos constructivos, de infraestructura y desarrollo urbano contenidos en este Título, serán aplicables en el territorio de los municipios pertenecientes al Área Metropolitana del Valle de Aburrá y constituye los lineamientos mínimos a tener en cuenta para la elaboración de estudios geológicos, geomorfológicos, hidráulicos, hidrológicos y geotécnicos tendientes a mejorar la calidad de las intervenciones en ladera en la jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá

Parágrafo: Para la aplicabilidad de las disposiciones contenidas en este Título, los proyectos deberán enmarcarse por lo menos, en alguno de los siguientes criterios:

1. La intervención a realizar será en cualquier tipo de terreno que presente pendientes superiores al 20%.
2. La intervención a realizar se hará en terrenos con pendientes menores a 20% y con excavaciones de más de 2.0 m de altura o con llenos de más de un 1.0 m de altura.
3. La intervención a realizar se hará en terrenos con

pendientes menores a 20% y con alta variabilidad geológica y geotécnica.

4. La intervención a realizar se hará en terrenos con pendientes menores a 20% y con pendientes mayores a 50% aguas arriba o aguas abajo del lote de la intervención.
5. La intervención será afectada al menos por una corriente de agua según se describe en el Documento 2 adoptado en el párrafo del artículo 2° del presente Acuerdo.

ARTÍCULO 5°. ELABORACIÓN DE ESTUDIOS: Los estudios necesarios para el cumplimiento de lo contemplado en este título, deberán ser elaborados y firmados por profesionales con las formaciones académicas específicas necesarias para cada uno de los temas tratados, de conformidad con las respectivas normas que regulan el ejercicio de las diferentes profesiones.

ARTÍCULO 6°. OPORTUNIDAD: Sin perjuicio de lo establecido en otras normas sobre trámites, permisos, licencias y demás requisitos exigibles en materia ambiental y urbanística, los estudios de que trata el presente Título deberán realizarse para la obtención de licencias urbanísticas de urbanización, parcelación y construcción ante las Oficinas de Planeación Municipal o las Curadurías, según corresponda. En todo caso, dichos estudios deberán ser presentados, en cualquier proyecto, donde se pretenda la autorización de movimientos de tierra para la conformación del terreno.

CAPÍTULO II ESTUDIOS TECNICOS

ARTÍCULO 7°. LINEAMIENTOS PARA LOS ESTUDIOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS: Los estudios geológicos y geomorfológicos de que trata este artículo deberán orientarse a describir y caracterizar el marco geológico, geomorfológico y morfodinámico de la zona de estudio y su área de influencia. Así mismo, deberán definir la aptitud geológica de los suelos y establecer las implicaciones de dichas características sobre las intervenciones que se proyecten.

Dichos estudios tendrán como propósito principal contribuir al conocimiento global del predio a intervenir mediante la identificación, caracterización y descripción detallada de los distintos geomateriales, su grado de meteorización y estado de fracturamiento, así como de los procesos morfodinámicos que puedan tener implicaciones en el comportamiento y dinámica de las laderas y las obras o intervenciones que se establezcan sobre éstas.

Parágrafo 1°: Como parte de estos estudios, se deberá elaborar un modelo geológico y geomorfológico base de la zona de análisis, para lo cual se deberá recopilar y procesar la información disponible a partir de los estudios regionales elaborados por las distintas entidades estatales y en el cual se establezca la aptitud geológica para el uso urbanístico del predio como base para la toma de decisiones.

Parágrafo 2°: Los estudios geológicos y geomorfológicos se deberán realizar dentro de una unidad de análisis delimitada por el grupo de profesionales involucrados en el proyecto, a partir de las características geológicas, geomorfológicas, morfodinámicas e hidrológicas globales así como por la estimación de las condiciones de estabilidad del lote de interés y sus zonas aledañas.

La unidad de análisis será la Unidad Morfodinámica Independiente (UMI), la cual estará caracterizada por presentar un comportamiento morfodinámico independiente de las unidades adyacentes, considerando que cualquier proceso morfodinámico que se presente en el exterior no afecta su interior y a su vez cualquier proceso morfodinámico que se presente en el interior no afecta su exterior.

Parágrafo 3°: Los aspectos metodológicos básicos para realizar estos estudios se encuentran en forma detallada en el Documento 2 adoptado en el párrafo del artículo 2° del presente Acuerdo.

ARTÍCULO 8°. LINEAMIENTOS PARA LOS ESTUDIOS HIDRÁULICOS, HIDROLÓGICOS E HIDROGEOLÓGICOS: Los estudios hidráulicos, hidrológicos

e hidrogeológicos de que trata este artículo buscan garantizar el control y manejo de las aguas en las intervenciones en las laderas, con el fin de evitar inestabilidad por movimientos en masa y por procesos erosivos en la zona de estudio y en su área de influencia.

Dichos estudios tendrán como propósito la adecuada intervención de cauces, con el fin de evitar la erosión de los mismos, haciendo una debida definición de zonas de inundaciones y una aproximación a la dinámica fluvial de los cauces en zona de ladera.

Parágrafo 1º: El alcance de los estudios de que trata este artículo será proporcional al nivel de complejidad del proyecto, determinado de acuerdo con los lineamientos establecidos en el Documento 2 adoptado en el parágrafo del artículo 2º del presente Acuerdo.

Parágrafo 2º: Los aspectos metodológicos básicos incluyendo tanto la componente de aguas superficiales como subterráneas, se encuentran en forma detallada en el Documento 2 adoptado en el parágrafo del artículo 2º del presente Acuerdo.

ARTÍCULO 9º. LINEAMIENTOS PARA LOS ESTUDIOS GEOTÉCNICOS: Los estudios geotécnicos de que trata este artículo deberán encaminarse a la conceptualización, el diseño, la construcción, la supervisión técnica, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de obras, evitando inestabilidad por movimientos en masa y por procesos erosivos en la zona de estudio y en su área de influencia.

Dichos estudios tendrán como propósito la evaluación de la estabilidad de los taludes y laderas que representen una amenaza para el proyecto y diseñar las obras y medidas necesarias para lograr un nivel de estabilidad, en términos de los factores de seguridad, deformabilidad y probabilidad de falla que se establecen en la norma NSR10 y se complementan en el Documento 3 adoptado en el parágrafo del artículo 2º del presente Acuerdo.

Los estudios deben incluir la caracterización de los geomateriales, las condiciones de aguas subterráneas y superficiales, las cargas estáticas y dinámicas que se puedan presentar, particularmente las condiciones sísmicas específicas del sitio y deberán considerar en sus análisis las posibles consecuencias de una potencial falla de los taludes y obras planteadas.

Parágrafo 1º: El alcance de los estudios de que trata este artículo será proporcional al nivel de complejidad del proyecto, determinado con base en la zonificación de la aptitud geológica del predio de interés y la clasificación del proyecto dentro de uno de los grupos de uso definidos en el Documento 3 adoptado en el parágrafo del artículo 2º del presente Acuerdo.

Parágrafo 2º: Los proyectos de intervención en laderas deberán incluir un estudio geotécnico que cumpla los requisitos de la normatividad vigente a nivel nacional y usando los procedimientos presentados en el Documento 3 adoptado en el parágrafo del artículo 2º del presente Acuerdo.

CAPITULO III CONTROL Y SEGUIMIENTO A LAS OBRAS

ARTÍCULO 10º. SEGUIMIENTO DE LA OBRA: Las autoridades municipales deberán adoptar los controles necesarios para garantizar que se realicen las siguientes actividades de seguimiento y de control urbanístico:

1. Por parte del ingeniero diseñador: Seguimiento a las medidas para la verificación de la efectividad de la estabilización, a través de la revisión de controles topográficos, monitoreo de la instrumentación, aparición y evolución de grietas y fisuras, y comparación con actas de vecindad, entre otras.
2. Por parte de la interventoría del proyecto: Seguimiento al cumplimiento de las medidas diseñadas para la estabilización.

ARTÍCULO 11º. CUMPLIMIENTO Y CONTROL DE LA NORMA: Los municipios que pertenecen al Área Me-

tropolitana del Valle de Aburrá a través de las dependencias respectivas y/o Curadurías Urbanas, según el caso, garantizarán la implementación de las directrices y lineamientos técnicos y metodológicos adoptados en este Acuerdo, disponiendo para ello de profesionales idóneos en las áreas relacionadas, para la revisión y aprobación de los estudios y diseños.

Durante el desarrollo de las intervenciones en ladera, de conformidad con la Ley 810 de 2003, se realizarán visitas de control por parte de la administración municipal, bajo la responsabilidad del Alcalde o por quien se determine en el manual de funciones o a través de delegación, para verificar que las obras se estén efectuando de acuerdo con los diseños aprobados y recomendaciones para la construcción. De los planos récord de las obra deberán quedar copias en las dependencias o Curadurías que aprobaron los estudios y diseños.

ARTÍCULO 12º. SISTEMA DE INFORMACIÓN: El Área Metropolitana del Valle de Aburrá y los municipios que la integran implementarán un sistema de información que permita obtener, almacenar, actualizar y administrar la información necesaria para generar los modelos geológicos, geotécnicos, hidrogeológicos e hidrológicos que faciliten el entendimiento del comportamiento de las laderas del Valle de Aburrá. Para eficaz cumplimiento de lo anterior el sistema de información que se crea con el presente artículo deberá procesar e integrar la siguiente información:

1. Registros de perforaciones realizadas en el área metropolitana.
2. Registros de mediciones de piezómetros.
3. Registros de estaciones meteorológicas.
4. Registros de inclinómetros.

5. Resultados de ensayos de laboratorio.
6. Levantamientos topográficos.

Parágrafo: La información referenciada deberá incorporarse en un sistema de información geográfica que permita georreferenciar cada uno de los registros a cargo del Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

CAPÍTULO IV DISPOSICIONES FINALES

ARTÍCULO 13º. NATURALEZA Y EFECTOS: El presente Acuerdo Metropolitano complementa y desarrolla las normas obligatoriamente generales establecidas en el Acuerdo Metropolitano No. 015 de 2006, por ello el presente Acuerdo Metropolitano, se constituye una vez adoptado, de conformidad con lo establecido en el artículo 10º de la Ley 388 de 1997, en determinante de los Planes de Ordenamiento Territorial de los municipios que integran el Área Metropolitana del Valle de Aburrá que sean adoptados, modificados, ajustados o revisados según el caso.

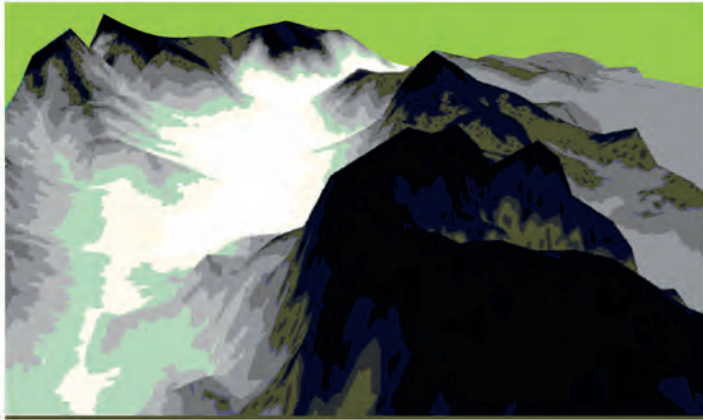
ARTÍCULO 14º. AUTORIZACIÓN: Se autoriza al Director del Área Metropolitana del Valle de Aburrá para que proceda a realizar la integración normativa del presente acto administrativo en el Acuerdo Metropolitano 15 de 2006, sin que ello implique el otorgamiento de facultades pro tempore.

ARTÍCULO 15º. VIGENCIA: El presente Acuerdo Metropolitano rige a partir de su promulgación.

Este acuerdo fue debatido y aprobado en la reunión de la Junta Metropolitana, del día veinticinco (25) de mayo de 2012, según consta en el Acta respectiva. Dado en Medellín, a los 25 días del mes de mayo de 2012.

ANIBAL GAVÍRIA CORREA
Presidente Junta Metropolitana
Alcalde Metropolitano

CARLOS MARIO MONTOYA SERNA
Secretario Junta Área Metropolitana
Director Área Metropolitana



Calle 41 N°53 - 07
Conmutador 385 60 00 Fax 262 32 01
www.metropol.gov.co
Medellín/Colombia

