

# Definición de áreas con condición de amenaza y áreas con condición de riesgo en los planes de ordenamiento territorial de los municipios en Colombia

*The Definition of Areas with Hazard Condition and Areas with Risk Condition in Land Use Planning in Colombia*

Edier Aristizábal<sup>a, c</sup>, Sandra López-Castro<sup>a</sup>,  
Julieta Cecilia Gómez-Gómez<sup>b</sup>, Luisa Fernanda López<sup>b</sup>

## RESUMEN

La evaluación y zonificación de la amenaza es una herramienta fundamental para la ordenación del territorio. Actualmente tiene importancia como principal producto para los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) señalar las áreas con condición de amenaza que deberán supeditar su desarrollo a la realización de los estudios detallados de amenaza, y las áreas con condición de riesgo que requieren igualmente de estudios detallados para establecer las áreas de riesgo no mitigables y las medidas de mitigación necesarias. El aumento en la frecuencia y pérdidas asociadas a desastres por fenómenos de origen natural, refleja la forma inadecuada en la cual se ha incorporado la gestión del riesgo en los ejercicios de ordenación de los territorios en Colombia. La normatividad colombiana (El Decreto 1077/2015) estableció las especificaciones y escalas de los estudios técnicos para la incorporación de la gestión del riesgo en la planificación territorial, denominados Estudios Básicos de Amenaza y Estudios Detallados. En el presente trabajo se presenta y discute la definición de las áreas con condición de amenaza y áreas con condición de riesgo, como herramienta para la ordenación del territorio. Para esto se presenta como caso de estudio el municipio de Caldas, en el departamento de Antioquia. El procedimiento utilizado se convierte en una guía útil para diferentes municipios, ya que señala no solo la metodología utilizada, sino además los diferentes conflictos que se presentan en los procedimientos, y recomendaciones para un adecuado manejo.

**PALABRAS CLAVES:** Amenaza; riesgo; fenómenos naturales; Caldas; Antioquia; POT.

## ABSTRACT

Hazard assessment and zoning is a fundamental tool for land use planning. The main objective is to identify areas with hazard conditions (ACA) which development should be restricted, and areas with risk conditions (ACR) in order to establish the necessary mitigation measures, to incorporate in land use planning. The increasing frequency and losses associated with disasters caused by natural phenomena has indicated the inadequate incorporation of hazard studies in land use planning programs. Colombian legislation (Act 1077/2015) established the specifications and scale of technical studies for the incorporation of risk management in territorial planning, called basic hazard studies and detailed studies. This study presents the definition of areas with a hazard conditions and areas with a risk conditions in the municipality of Caldas, located in the department of Antioquia. The approach proposed is a useful guide for different municipalities because it indicates not only the methodology used, but also the different conflicts that are presented in the procedures, and recommendations for an adequate management.

**KEY WORDS:** Hazard; risk; natural phenomena; Caldas; Antioquia; POT.

a Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias y Medio Ambiente. Medellín, Colombia. ORCID Aristizábal-Giraldo, E.V.: 0000-0002-2648-2197; ORCID López-Castro, S.: 0000-0002-3354-0914

b Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Subdirección Ambiental. Medellín, Colombia. ORCID Gómez-Gómez, J.C.: 0000-0002-6219-7043; ORCID López, L.F.: 0000-0002-0685-1434

c Autor de correspondencia. [evaristizabal@unal.edu.co](mailto:evaristizabal@unal.edu.co)

## Introducción

El aumento en pérdidas humanas y económicas por fenómenos de origen natural, como consecuencia de la ocupación de la población sobre áreas susceptibles a movimientos en masa, avenidas torrenciales e inundaciones, requiere de la evaluación y zonificación de la amenaza como herramienta fundamental para la ordenación del territorio (Changnon et al., 2000; Hoppe y Pielke 2006; Morss et al., 2011). Según el Fondo de Población de las Naciones Unidas (UNFPA, por sus siglas en inglés), la población urbana se ha incrementado dramáticamente en el último siglo, pasando de 200 millones en el año 1900 a cerca de 2,900 millones en el año 2000, donde el 54 % de la población mundial reside en áreas urbanas y se espera que llegue al 70 % para el año 2050 (UNFPA, 2007). El caso de Colombia es aún más crítico, ya que se estima que, de una población cercana a los 49 millones de habitantes, el 77% - 78% de la población es urbana, muy por encima del promedio mundial (DNP, 2018; Universidad Externado de Colombia, 2007).

Debido a esta tendencia, los suelos aptos para urbanizar se ven cada vez más reducidos, por lo que la población tiende a asentarse en suelos susceptibles a la ocurrencia de fenómenos naturales y socio naturales, propiciando el surgimiento de nuevos escenarios de pérdidas, tanto económicas como de vidas (GIZ, 2011; UNISDR, 2015; Caruso, 2017).

En el mundo diferentes estudios destacan la importancia y necesidad de la inclusión de los estudios de amenaza para la ordenación de los territorios (Edwards, 2014; Mitchell, 2014; UNISDR, 2015; King et al., 2016). Roy y Ferland (2015) señalan que la finalidad del proceso de planificación debería ser reducir las condiciones de riesgo y vulnerabilidad de las poblaciones asentadas en áreas susceptibles a la ocurrencia de fenómenos potencialmente amenazantes. Hallegatte et al. (2020) destacan la desproporcionada relación en la afectación a la población bajo la línea de pobreza por amenazas de origen natural, y establecen los múltiples factores que conllevan a esta crítica condición, entre los cuales se destaca la ausencia de planes de ordenamiento territorial, ya que genera la ocupación de áreas no aptas para el desarrollo urbano, especialmente por población altamente vulnerable. Existen un gran

número de ejemplos que destacan los procesos de ordenamiento territorial para la regulación de áreas con condición de amenaza o riesgo (May y Deyle, 1998; Platt, 1998; AIDR, 2002; Saunders y Glassey, 2007; Bryan y Tim, 2009; Glavovic et al., 2010; Now y duPont, 2018). UNISDR (2017), basados en el Marco de Sendai, promueven el ordenamiento territorial como estrategia para la reducción del riesgo, ya que incrementa la resiliencia en ambientes urbanos y reduce las condiciones de riesgo futuras.

En el caso colombiano la incorporación de la prevención y la reducción de riesgos en la planificación del desarrollo territorial no es nueva, se vienen abordando desde la década de los años 90 cuando entró en vigencia de la Ley 9 de 1989, en la que se dispuso que los municipios deben levantar y actualizar los inventarios de zonas que presenten alto riesgo para la localización de asentamientos humanos. Sin embargo, es sólo a principios del presente siglo que se definen las bases legales para la aplicación del ordenamiento territorial con la Ley 388 (Congreso de Colombia, 1997), donde se establece que los POT deben definir las políticas, directrices y regulaciones sobre prevención de amenazas y riesgos, el señalamiento y localización de las áreas de riesgo para asentamientos humanos, así como las estrategias de manejo de zonas expuestas a amenazas y riesgos naturales.

Bajo dicha norma se elaboró la primera generación de POT's en Colombia, incorporando en los criterios de zonificación del uso del suelo mapas de riesgo por fenómenos de origen natural. Sin embargo, debido a la fuerte temporada invernal del año 2011, cuando Colombia se vio afectada por el fenómeno de La Niña, se hizo manifiesta la necesidad de reglamentar la incorporación de los mapas de amenaza y riesgo en el ordenamiento territorial (Decreto 1807 de 2014 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, compilado en el Decreto 1077 de la Presidencia de Colombia, 2015). En dichos decretos se establecen las condiciones y escalas de detalle para incorporar de manera gradual la gestión del riesgo, a través de la realización de estudios básicos y detallados de amenaza y riesgo, en los contenidos de mediano y largo plazo o en la expedición de un nuevo plan. Y se establecen los Estudios Básicos de Amenaza, donde se deberán delimitar

zonas denominadas *Áreas con Condición de Amenaza* (ACA) y *Áreas con Condición de Riesgo* (ACR).

Estas áreas corresponden a un nuevo concepto local, el cual pretende abordar la inclusión del riesgo en el ordenamiento territorial de forma gradual y a diferentes escalas espaciales. Estas zonas representan un paso intermedio entre los mapas de amenaza y los mapas de riesgo, que transforma completamente los procedimientos que se realizaron en la primera generación de POT's para la incorporación de los mapas de amenaza y riesgo en el ordenamiento territorial. Y aunque se han elaborado dos guías por parte del Servicio Geológico Colombiano (SGC, 2015; SGC, 2017), estos nuevos ajustes han generado para un gran número de municipios, una grave problemática, ya que algunos de POT's de esta segunda generación no han podido ser concertados con la Autoridad Ambiental competente al no cumplir con lo exigido por la norma. Es por esto que consideramos importante registrar las nuevas experiencias en la implementación del Decreto en los POT's, de forma tal que sirvan como un procedimiento modelo, por lo que se detallan las dificultades encontradas y las herramientas y técnicas utilizadas.

En este sentido el presente trabajo presenta la definición y zonificación de las ACA y ACR para un municipio en los Andes colombianos. En lugar de presentar y detallar en las metodologías implementadas para la elaboración de los mapas de amenaza, las cuales son ampliamente conocidas y referenciadas, el artículo se centra en el paso intermedio, donde se deben establecer las ACA y ACR. Como resultados se presentan y justifican los criterios, y se señalan los elementos no considerados por la norma y las guías para la definición de ACA y ACR, así mismo se proponen criterios para su ejecución.

## Área de estudio

La implementación se realizó para el municipio de Caldas, ubicado al sur de la subregión del Valle de Aburrá del departamento de Antioquia (Figura 1). El territorio del municipio de Caldas, con sus particularidades, representa de forma adecuada las condiciones típicas de un municipio en los Andes Colombianos. Donde se observan terrenos

susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales, con una acelerada dinámica poblacional que genera la ocupación de áreas no aptas para el desarrollo urbano o rural.

Caldas es el cuarto municipio más grande en extensión del Valle de Aburrá, con un territorio de 133,4 km<sup>2</sup>, que representa el 12 % de la subregión, de los cuales 131,6 km<sup>2</sup> (99 %) corresponden a suelo rural distribuido en 20 veredas y 1,8 km<sup>2</sup> (1%) de suelo urbano y expansión distribuido en 24 barrios (Alcaldía de Caldas, 2010). En términos de población, Caldas cuenta con 77.854 habitantes, de los cuales el 78,8 % se encuentran localizados en la zona urbana con una densidad de 512 hab/km<sup>2</sup>, y el 21,2 % restante en la zona rural (Alcaldía de Caldas, 2016).

## Estudios básicos de amenaza

La zonificación de la amenaza requerida para la definición de las ACA y ACR exige la implementación de modelos espaciales de amenaza del orden heurístico, de inventarios o estadísticos en el suelo rural y estadísticos, determinísticos o probabilísticos en el suelo urbano y de expansión. Para la implementación de dichos métodos existe una amplia literatura a nivel mundial (Guzzetti et al., 1999; Aleotti y Chowdhury, 1999; Van Asch et al., 2007; Chen et al., 2016), además de diferentes guías a nivel internacional (SafeLand, 2011; AGS, 2000; Fell et al., 2008) y nacional elaboradas por instituciones como el Servicio Geológico Colombiano y la Universidad Nacional de Colombia (SGC, 2015; SGC, 2017). Para la definición de las ACA y ACR en el presente estudio se utilizó la zonificación de la amenaza por movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales, elaborado por la Universidad Nacional de Colombia para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA y UNAL, 2018).

En estos estudios para la amenaza por movimiento en masa se utilizó el método estadístico bivariado Peso de la Evidencia en suelo rural con lluvia como factor detonante (Van Westen, 1993; Regmi et al., 2010; Sujatha et al., 2014). Para el sismo como factor detonante, se utilizó el método de Newmark (Newmark, 1965; Jibson et al., 1998; Jibson et al., 2000; Douglas, 2003; Jibson, 2007). Para suelos urbanos y

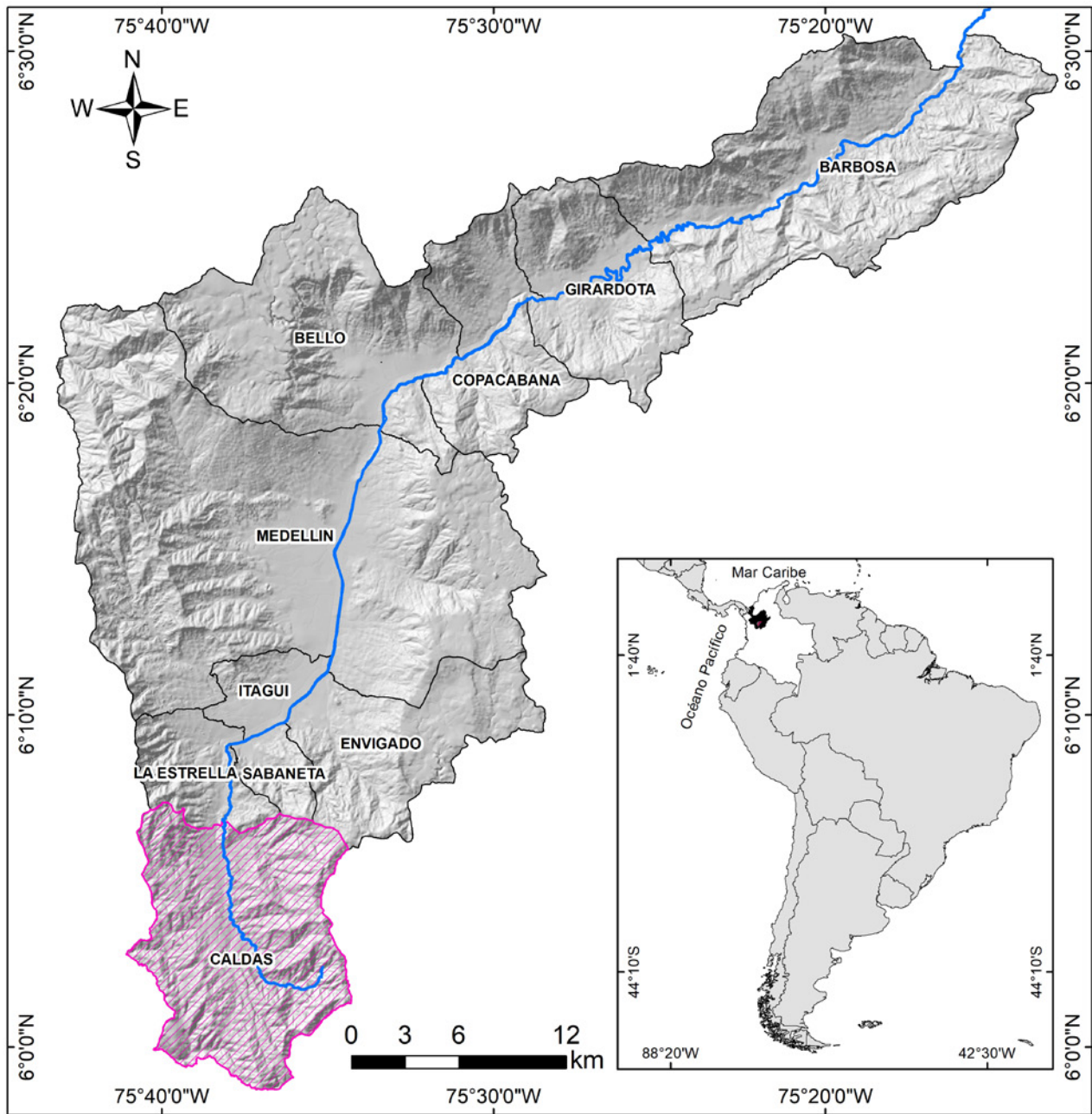


Figura 1. Localización del municipio de Caldas en el Valle de Aburrá.  
Fuente: elaboración propia con datos de CartoAntioquia 2014

de expansión se utilizaron modelos con base física, específicamente el modelo TRIGRS (Baum et al., 2008) para movimientos en masa tipo deslizamientos superficiales planares; y para deslizamientos profundos rotacionales se utilizó el modelo SCOOPD 3D (Reid et al., 2015).

Para la evaluación y zonificación de la amenaza por inundaciones y avenidas torrenciales se combinó el método geomorfológico con los métodos hidrológicos-hidráulicos utilizando el modelo HEC-RAS

(Horrit y Bates, 2002) e IBER (Bladé et al., 2014). Para la implementación de los modelos hidrológicos se obtuvieron las curvas intensidad duración frecuencia (IDF), teniendo en cuenta posibles incrementos de intensidades ocasionados por cambio climático, para las estaciones pluviográficas de la zona de estudio (AMVA y UNAL, 2018). Para los drenajes en suelos rurales se aplicó el descriptor geomorfológico HAND (*Height Above the Nearest Drainage*; Zheng et al., 2018).

## Definición de ACA y ACR

Para la delimitación de las ACA se utilizaron los mapas de amenaza por movimientos en masa, avenidas torrenciales e inundaciones obtenidos, y se cruzaron con la infraestructura identificada a través de diferentes fuentes: (i) catastro municipal, (ii) ortofotografías aéreas del Valle de Aburrá (2010) e (iii) imágenes satelitales de Google Earth (2016). Este ejercicio se realizó mediante herramientas tipo SIG.

El Decreto 1077 (Presidencia de Colombia, 2015) establece que las ACA corresponden a las zonas o áreas del territorio municipal zonificadas como de amenaza alta y media en las que se establezca en la revisión o expedición de un nuevo POT la necesidad de clasificarlas como suelo urbano, de expansión urbana, rural suburbano o centros poblados rurales para permitir su desarrollo.

El proceso de delimitar las ACA parte del análisis del resultado de la amenaza, que se superpone a los polígonos que el municipio identifica como zona de desarrollo futuro, adicionalmente se despliegan los insumos que permitan identificar claramente los sectores que no tienen construcciones e

infraestructuras. Estas zonas se enmarcan en un polígono que es denominado ACA y generalmente son porciones del territorio donde se encuentran pastos, bosques, parques, zonas verdes que en algún momento el municipio podría desarrollar. En la Figura 2 se presentan las ACA del municipio de Caldas.

El Decreto 1077 (Presidencia de Colombia, 2015) también establece que las ACR son aquellas zonas clasificadas como de amenaza alta que estén urbanizadas, ocupadas o edificadas, así como en las que se encuentren elementos del sistema vial, equipamientos e infraestructura de servicios públicos. También se deben incluir las zonas de amenaza media para las cuales en la revisión o expedición de un nuevo POT se proponga el cambio de densidad o un cambio en los usos del suelo que pueda generar o incrementar el riesgo en la zona.

Al igual que para la definición de las ACA, se realiza un barrido sistemático por toda la zona de interés, identificando los sectores del municipio que tienen construcciones e infraestructuras y coinciden con la categoría de amenaza alta (Figura 3).

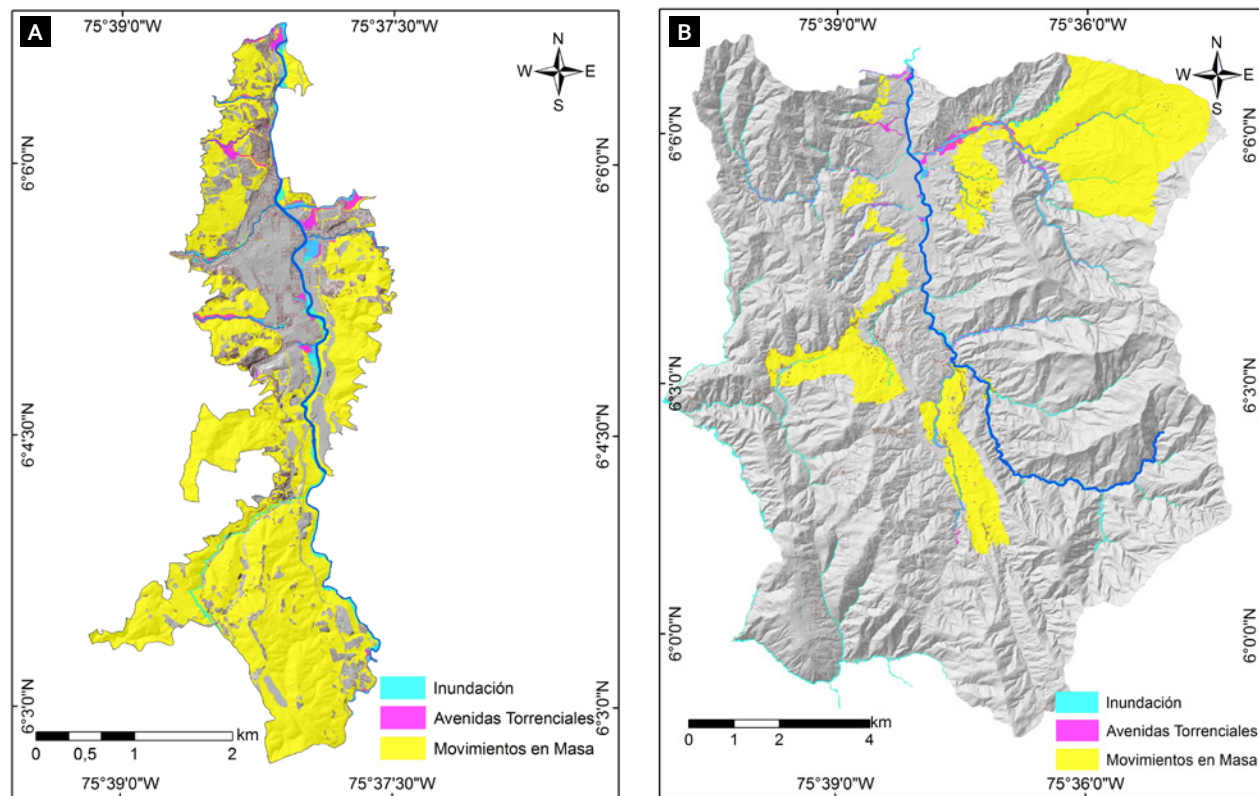
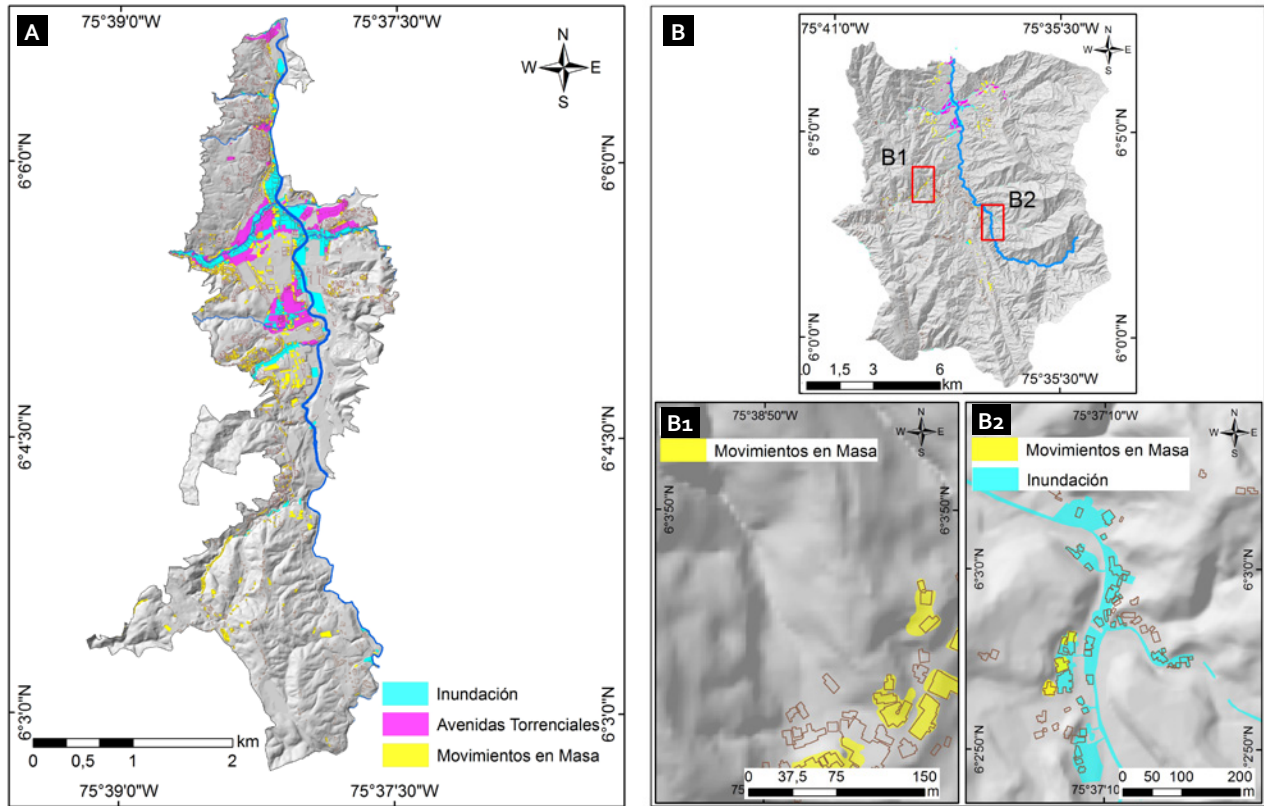


Figura 2. ACA en suelo urbano y de expansión (A) y en el suelo rural (B). Fuente: elaborado a partir de AMVA y UNAL (2018)





**Figura 3.** ACR en suelo urbano y de expansión (A) y en el suelo rural (B) con detalle en dos sectores B1: vereda La Quiebra y B2: vereda Salinas. Fuente: elaborado a partir de AMVA y UNAL (2018)

Tabla 1. Consolidado de la zonificación de ACA y ACR

ACA			ACR		
Mov. en Masa	Av. Torrencial	Inundación	Mov. en Masa	Av. Torrencial	Inundación
SU: 6 km <sup>2</sup> (4.5%)	1.4 km <sup>2</sup> (1.4%)	1.2 km <sup>2</sup> (0.9%)	SU: 0.32 km <sup>2</sup> (0.25%)	0.78 km <sup>2</sup> (0.5%)	0.22 km <sup>2</sup> (0.2%)
SR: 18 km <sup>2</sup> (14%)			SR: 0.27 km <sup>2</sup> (0.22%)		

SU: suelo urbano; SR: suelo rural. Fuente: Elaborado a partir de AMVA y UNAL (2018).

En la Tabla 1 se presentan los datos correspondientes a todos los polígonos cartografiados como ACA y ACR para los fenómenos estudiados en el municipio de Caldas.

### Elementos a considerar en la definición de las ACA y ACR

La delimitación de las ACA y ACR genera múltiples inquietudes que deben ser resueltas con criterios heurísticos y conocimientos específicos del territorio, ya que no se cuenta con instrumentos que guíen este proceso. A continuación, se enumeran y

discuten diferentes elementos que se consideraron en la delimitación de las ACA y las ACR.

### Información actualizada

Como punto de partida para la definición de las ACA y ACR se debe contar con insumos actualizados que permitan identificar las áreas construidas, ya que la acelerada dinámica de ocupación de suelos urbanos y de expansión, al igual que suelos rurales, puede dar como resultados alejados de la realidad del municipio. Para esto es fundamental herramientas de sensores remotos de libre acceso como Google Earth Engine (<https://earthengine.google.com/>) y

Planet (<https://www.planet.com/>), las cuales cuentan con imágenes satelitales, ortorectificadas en muchos casos, recientes y de resolución espacial adecuada.

Esta labor puede presentar grandes dificultades en municipios con bases de catastro municipal desactualizados, y sin cobertura o acceso a imágenes de satélite de alta resolución espacial y de fechas recientes. En estos casos, al final se encuentra un importante número de polígonos definidos como ACA en el POT, pero que en la realidad ya se encuentran urbanizados. Este error sólo se puede corregir con el uso de información reciente en la definición de las ACA y ACR, y con el conocimiento de los funcionarios municipales sobre la ocupación del territorio.

### Unidad mínima de análisis

Otro elemento importante es la Unidad Mínima Cartografiada (UMC) y representativa de los resultados del estudio, de acuerdo con la escala utilizada. Las guías para la evaluación de la amenaza por movimientos en masa del SGC especifican UMC diferentes para suelos urbanos y rurales, UMC = 1 x 1 cm para suelos urbanos a escala 1:5.000 y UMC = 4 x 4 mm para suelos rurales a escala 1:25.000. Lo cual puede resultar para algunos contradictorio, ya que exige menor detalle en suelos urbanos. Por su parte el Decreto 1077 (Presidencia de Colombia, 2015) no es explícito en definir el área de construcción mínima para la definición de ACR.

En el presente estudio se definió como criterio, tanto para suelos urbanos y rurales, la UMC más detallada recomendada por el SGC (2017) de acuerdo con el criterio de Salitchev (1979), 4 x 4 mm, lo que corresponde para suelos urbanos a polígonos con un área de 64 m<sup>2</sup> que representa aproximadamente una vivienda urbana y para suelos rurales un área de 400 m<sup>2</sup> que representa aproximadamente cuatro construcciones vecinas. Dichos valores varían de acuerdo con múltiples características, sin embargo corresponden a una buena aproximación de acuerdo con la realidad de los municipios colombianos. Considerando la UMC, y la resolución espacial de los Modelos de Elevación (MDE) utilizados (2 m en suelos urbanos y 5 m en suelos rurales), cada UMC estaría representada por 16 píxeles, lo cual corresponde a

un número de píxeles adecuado que permite no sólo detectar, sino además caracterizar dicha área. Algunos autores recomiendan como número de píxeles adecuados de la UMC un valor de 4 (McBratney et al., 2003; Rossitier, 2003; Hengl, 2006).

De acuerdo con lo anterior, para la zonificación de las ACR se generan polígonos a nivel de construcciones individuales y que con frecuencia presentan áreas inferiores a 64 m<sup>2</sup> en suelos urbanos o 400 m<sup>2</sup> en suelos rurales. Para el presente estudio, los polígonos con áreas inferiores no fueron considerados como ACR, ya que se encuentran por debajo del UMC representativa de los estudios de amenaza. Es decir, la incertidumbre propia de los modelos es mayor al área de interés. Sin embargo, se considera que la información obtenida no se debe despreciar, por lo que se generó una capa de puntos que indica la presencia de una construcción con área menor a 64 m<sup>2</sup> con al menos un píxel de amenaza en la categoría alta. Con esta información se recomienda que el municipio realice visitas con técnicos calificados para determinar con criterio de experto si la condición de riesgo debe ser conservada, y tomar las medidas que haya lugar.

Adicionalmente se presentan áreas por encima de los umbrales de la unidad mínima establecida y que representan pocas construcciones, o incluso en muchos casos solo una construcción, como por ejemplo bodegas o edificaciones de grandes extensiones lo que implica que dichas construcciones requerirían la elaboración de Estudios de Detalle, además de implementar las medidas de intervención estructurales y no estructurales, lo que seguramente generará costos significativos para el propietario.

Para estos casos de forma similar a los polígonos resultantes con áreas menores, se recomienda evaluaciones de campo por equipos de expertos que evalúen la pertinencia de incluir dichas construcciones como ACR. Se recomienda que en casos donde no se presentan evidencias de inestabilidad o registros históricos, no se deberían definir como ACR, siempre y cuando el uso del suelo se conserve. Para casos donde se considere incrementar las cargas o densidades se requerirían Estudios de Detalle que evalúen las nuevas condiciones de estabilidad.

## Parte de áreas construidas localizadas en zonas de amenaza

Otra condición que se presenta en la definición de las ACR se refiere a construcciones que son parcialmente localizadas en áreas de amenaza alta o media. Es decir, solo una parte de la construcción se encuentra en amenaza. En dichos casos se delimitó toda la construcción como ACR. Como criterio se consideró que no es necesario que toda la construcción se encuentre en amenaza alta o media para que se vea comprometida la estabilidad global de la construcción, la falla de un área parcial puede poner en riesgo la estabilidad general. Es importante tener en cuenta que esta condición genera que los polígonos de las ACR sean más grandes que los polígonos de la amenaza.

## Ampliación de las ACR y ACA

Para casos donde se presenten varios polígonos pequeños de ACA o ACR se recomienda agrupar toda el área en un polígono que incluya todas las

zonas pequeñas y aisladas. Esto permitiría realizar Estudios de Detalle que comprenda áreas con condiciones homogéneas. En el caso de las ACR por inundaciones y avenidas torrenciales, se recomienda extender los polígonos hasta los límites de las manzanas (Figura 4). De esta forma se garantiza que los Estudios de Detalle consideren un área más amplia en la que se modele el comportamiento hidráulico del flujo y su influencia en las construcciones aledañas. Para el caso de ACR por movimientos en masa las viviendas pueden estar en amenaza baja pero verse comprometidas debido a la falla de las viviendas vecinas. Para todas estas situaciones se propone una visita de campo con verificación directa, donde se pueda establecer el límite del área que será objeto del Estudio de Detalle.

## Inconsistencias

Con respecto a la definición de las ACA se pueden presentar dos situaciones que requieren un análisis cuidadoso. La primera de ellas se presenta con

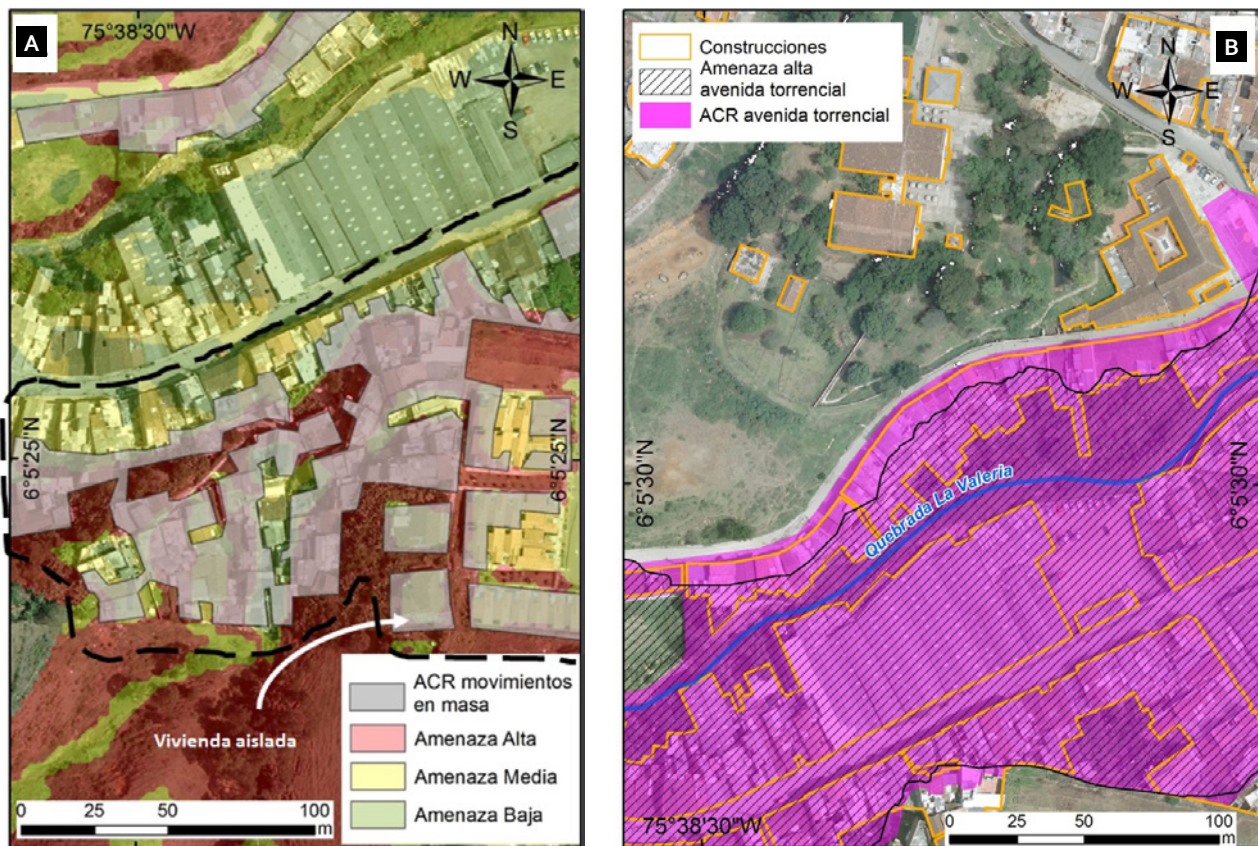


Figura 4. A) ACR por movimiento en masa en gris y propuesta de agrupación en línea negra discontinua. B) Delimitación de ACR por avenida torrencial en la quebrada La Valeria. Fuente: elaborado a partir de AMVA y UNAL (2018)



el uso de insumos desactualizados en zonas con una presión o desarrollo urbano o suburbano acelerado. Estas zonas pueden ser clasificadas como ACA, pero en realidad presentan infraestructura, por lo cual deberían ser clasificadas como ACR. Como se mencionó anteriormente, esta situación solo puede ser evitada con insumos cartográficos actuales y con el conocimiento de los funcionarios del municipio, sin embargo debido a la acelerada dinámica de expansión siempre es posible que se presenten, y por lo tanto deberán ser evaluadas al momento de solicitud de licencias de construcción.

La segunda situación se refiere a la variabilidad de los datos de entrada y resolución espacial de los MDE utilizados en la evaluación de la amenaza, lo cual genera que se presenten en los mapas de amenaza áreas pequeñas, es decir pocas celdas del modelo con valores de amenaza que contrastan con sus celdas vecinas. En la práctica significa zonas de amenaza alta con pequeñas áreas a su interior de amenaza baja, o viceversa, zonas de amenaza baja que presentan en su interior pequeñas áreas de amenaza alta. Un procedimiento que reduce esta situación se refiere a definir la UMC, en función de la resolución espacial de los modelos y la escala de levantamiento de la información base, y eliminar las áreas menores como se mencionó en la ampliación de las ACA y ACR. Para las áreas mayores a la UMC y que presenta una situación similar, se recomienda la evaluación en cada caso y que se defina con criterio de experto y basados en herramientas de sensores remotos, como fotografías aéreas, y verificación de campo. Para aquellos casos que se considere que dichas zonas son representativas de las condiciones puntuales de amenaza se deberán mantener, o en caso contrario pueden ser eliminadas extendiendo para estas zonas la condición de amenaza que presentan las celdas vecinas.

### Área de propagación

En la definición de las ACA y ACR para movimientos en masa es importante considerar las zonas afectadas por el material que se propaga, el cual genera las mayores afectaciones a construcciones y vidas humanas. Aunque en el presente estudio se obtuvo el mapa de propagación para el municipio, no fue considerado en el análisis de ACA y ACR

debido a que no hay claridad suficiente en el Decreto 1077 (Presidencia de Colombia, 2015) para esta delimitación y podría llegar a afectar grandes áreas del municipio, cuyas medidas de intervención no son contempladas.

La inclusión de estas áreas como ACA y ACR implicaría que terceros deberían realizar obras de mitigación en sus predios para permitir el desarrollo urbanístico de predios ajenos que podrían verse afectados por la propagación de un movimiento en masa generado en su predio. O incluso que para el desarrollo urbanístico de un predio se deban realizar obras de mitigación en predios de terceros y muy posiblemente muy alejados del predio a desarrollar. Estas situaciones generan una serie de dificultades de tipo legal que deben ser analizadas en contexto por las entidades competentes y regular al respecto, ya que la principal amenaza de los movimientos en masa detonados por lluvia, y los cuales son los más comunes en nuestro territorio, está representada en su propagación, y no únicamente en la amenaza generada en el punto de su ocurrencia.

### Conclusiones y recomendaciones

La delimitación de las ACA y ACR en los POT's es una herramienta fundamental para el desarrollo seguro de los municipios, al evitar la configuración de nuevos escenarios de riesgo y la intervención adecuada de los existentes, situación que garantiza territorios más resilientes y preparados para los desafíos que se enfrentan ante escenarios de cambio climático.

La elaboración de estudios de amenaza exige el uso de múltiples herramientas metodológicas e instrumentos actualizados que permitan el desarrollo de modelos que reflejen las realidades de los municipios y fomenten la resiliencia ante efectos adversos. Para esto existen una serie de guías nacionales e internacionales que orientan adecuadamente el trabajo de los técnicos. Sin embargo, es necesario establecer los escenarios que representan el mapa de amenaza final necesario para la definición de la ACA y ACR.

Los mapas de amenaza no son una condición única, sino que reflejan un escenario crítico o la combinación de los mismos, por lo que se recomienda la construcción de mapas de amenaza para cada

fenómeno, resultado de la combinación de escenarios de amenaza con diferentes periodos de retorno. Estos periodos de retorno no deben ser los mismos para todos los fenómenos y deben implicar en su análisis la capacidad destructiva del evento, teniendo en cuenta que para fenómenos con mayor capacidad destructiva como las avenidas torrenciales, los periodos de retorno deben ser mayores. Estos criterios aún no se establecen en las normas y guías, por lo cual se debe iniciar una discusión a nivel nacional para generar criterios de desarrollo similares.

La definición de las ACR y ACA requiere de información actualizada que permita identificar las áreas construidas, donde es fundamental el uso de herramientas de sensores remotos de libre acceso, además de la experiencia y conocimiento de los funcionarios de la Administración Municipal, esto con el fin de generar y gestionar áreas acordes a la realidad del municipio.

En la definición de las ACR y ACA se presentan una serie de dificultades como son la elección de la UMC acorde con la escala y la metodología empleada, la presencia de construcciones parcialmente localizadas en zonas de amenaza alta o media y la presencia de pequeños polígonos aislados; las cuales deben ser analizadas de forma individual por parte de profesionales idóneos que conozcan las condiciones particulares del territorio.

Las consideraciones anteriores son propuestas bajo la luz de la experiencia en la definición de ACA y ACR para los municipios del Valle de Aburrá.

**Agradecimientos.** Este trabajo se realizó en el marco del contrato N° 715 de 2017, celebrado entre el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

## Referencias

AGS, 2000. Landslide risk management concepts and guidelines. Del Subcomité de Gestión del riesgo por movimientos en masa.

Alcaldía de Caldas Colombia, 2010. Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT): Revisión y ajuste del Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Caldas. Caldas, Colombia.

Alcaldía de Caldas Colombia, 2016. Plan de Desarrollo 2016 – 2019: Caldas Progresiva. Alcalde Carlos Eduardo Durán Franco. 110 p. Caldas, Colombia.

Aleotti, P., Chowdhury, R., 1999. Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bull. Eng. Geol. Env.* 58(1), 21-44. DOI: 10.1007/s100640050066

Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA); Universidad Nacional de Colombia (UNAL), 2018. Estudios básicos de amenaza por movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales en los municipios de Caldas, La Estrella, Envigado, Itagüí, Bello, Copacabana y Barbosa, para la incorporación de la gestión del riesgo en la planificación territorial. *Informe técnico*. Medellín, Colombia.

Australian Institute for Disaster Resilience (AIDR), 2002. Planning safer communities: Land use planning for natural hazards. Part II Approaches to Emergency Management, Vol. 2: Mitigation Planning, Manual 1. Commonwealth of Australia, Canberra, Australia.

Baum, R., Savage, W., Godt, J., 2008. TRIGRS - A fortran program for transient rainfall infiltration and grid-based regional slope-stability analysis, v 2.0. Open-File Report 2008-1159. U.S. Geological Survey, DOI: 10.3133/ofr20081159

Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, E., Dolz, J., Coll, A., 2014. Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 30(1), 1-10. DOI: 10.1016/j.rimni.2012.07.004

Bryan, J., Tim, D. (Eds.), 2009. Land use planning for natural hazards - Stewardship for the future. Centre for Advanced Engineering-University of Canterbury, Christchurch, Nueva Zelanda.

Caruso, G., 2017. The legacy of natural disasters: The intergenerational impact of 100 years of disasters in Latin America. *J. Dev. Econ.* 127, 209-233. DOI: 10.1016/j.jdeveco.2017.03.007

Changnon, S., Pielke Jr., R., Changnon, D., Sylves, R., Pulwarty, R., 2000. Human factors explain the increased losses from weather and climate extreme. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 81(3), 437-442. DOI: 10.1175/1520-0477(2000)081<0437:HFETIL>2.3.CO;2

Chen, T., Niu, R., Jia, X., 2016. A comparison of information value and logistic regression models in landslide susceptibility mapping by using GIS. *Environ. Earth Sci.* 75(10), 867. DOI: 10.1007/s12665-016-5317-y

Congreso de Colombia, 1997. Ley 388, por la cual se modifica la Ley 9ª de 1989, y la Ley 3ª de 1991 y se dictan otras disposiciones. DO 43.091. Bogotá, DC.

Departamento Administrativo de Planeación (DNP), 2018. Índice de Ciudades Modernas de Colombia. Observatorio del sistema de ciudades. Bogotá, D.C.

Douglas, J., 2003. Earthquake ground motion estimation using strong-motion records: a review of equations for the estimation of peak ground acceleration and

- response spectral ordinates. *Earth-Sci. Rev.* 61(1-2), 43-104. DOI: 10.1016/S0012-8252(02)00112-5
- Edwards, D., 2014. Land Use Planning for Climate Change Adaptation in Small Island Caribbean States, In: Annual World Bank Conference on Land and Poverty. World Bank, Washington, DC.
- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, Ch., Cascini, L., Leroi, E., Savage, W., 2008. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Eng. Geol.* 102(3-4), 85-98. DOI: 10.1016/j.enggeo.2008.03.022
- Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), 2011. Land use planning: Concepts, tools, and applications. Eschborn, Germany.
- Glavovic, B., Saunders, W., Becker, J., 2010. Realising the potential of land-use planning to reduce hazard risks in New Zealand. *Australas. J. Disaster Trauma Stud.* 2010(1), 1-14.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., Reichenbach, P., 1999. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology* 31(1-4), 181-216. DOI: 10.1016/S0169-555X(99)00078-1
- Hallegatte, S., Vogt-Schilb, A., Rozenberg, J., Bangalore, M., Beaudet, C., 2020. From poverty to disaster and back: A review of the literature. *Economics of Disasters and Climate Change* 4, 223-247. DOI: 10.1007/s41885-020-00060-5
- Hengl, T., 2006. Finding the right pixel size. *Comput. Geosci.* 32(9), 1283-1298. DOI: 10.1016/j.cageo.2005.11.008
- Hoppe, P., Pielke Jr., R. (Eds.), 2006. Climate change and disaster losses workshop: Understanding and attributing trends and projections. Hohenkammer, Germany.
- Horrit, M., Bates, P., 2002. Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation. *J. Hydrol.* 268(1-4), 87-99. DOI: 10.1016/S0022-1694(02)00121-X
- Jibson, R., Harp, E., Michael, J., 1998. A method for producing digital probabilistic seismic landslide hazard maps: An example from the Los Angeles, California, area. Open-File Report 98-113. U.S. Geological Survey, DOI: 10.3133/ofr98113
- Jibson, R., Harp, E. & Michael, J., 2000. A method for producing digital probabilistic seismic landslide hazard maps. *Eng. Geol.* 58(3-4), 271-289. DOI: 10.1016/S0013-7952(00)00039-9
- Jibson, R., 2007. Regression models for estimating coseismic landslide displacement. *Eng. Geol.* 91(2-4): 209-218. DOI: 10.1016/j.enggeo.2007.01.013
- King, D., Gurtner, Y., Firdaus, A., Harwood, S., Cottrell, A., 2016. Land use planning for disaster risk reduction and climate change adaptation: Operationalizing policy and legislation at local levels. *Int. J. Disaster Resil. Built Environ.* 7(2), 158-172. DOI: 10.1108/IJDRBE-03-2015-0009
- McBratney, A., Mendoca Santos, M., Minasny, B., 2003. On digital soil mapping. *Geoderma* 117(1-2), 3-52. DOI: 10.1016/S0016-7061(03)00223-4
- May, P., Deyle, R., 1998. Governing land use in hazardous areas with a patchwork system. En: Burby, R. (Ed.), *Cooperating with nature: Confronting natural hazards with land-use planning for sustainable communities.* Joseph Henry Press, Washington, DC. pp 57-82.
- Mitchell, D., 2014. The importance of land use control and documenting property rights in Disaster Risk Reduction in Pacific Island countries. *J. Spat. Sci.* 59, 107-119. DOI: 10.1080/14498596.2014.859638
- Morss, R., Wilhelmi, O., Meehl, G., Dilling, L., 2011. Improving societal outcomes of extreme weather in a changing climate: An integrated perspective. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 36, 1-25. DOI: 10.1146/annurev-environ-060809-100145
- Newmark, N., 1965. Effects of earthquakes on dams and embankments. *Geotechnique* 15(2), 139-160. DOI: 10.1680/geot.1965.15.2.139
- Now, I., duPont IV, W., 2018. The long-term consequences of disasters: What do we know, and what we still don't. *Int. Rev. Environ. Resour. Econ.* 12(4), 325-354. DOI: 10.1561/101.00000104
- Platt, R., 1998. Planning and land use adjustments in historical perspective. En: Burby, R. (Ed.), *Cooperating with nature: Confronting natural hazards with land-use planning for sustainable communities.* Joseph Henry Press, Washington, DC. pp. 29-56.
- Presidencia de Colombia, 2015. Decreto 1077, por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio. DO 49,523. Bogotá, DC.
- Regmi, N., Giardino, J. & Vitek, J., 2010. Modelling susceptibility to landslide using the weight of evidence approach: Western Colorado, USA. *Geomorphology* 115(1-2), 172-187. DOI: 10.1016/j.geomorph.2009.10.002
- Reid, M., Christian, S., Brien, D., Henderson, S., 2015. Scoops3D: software to analyze 3D slope stability through a digital landscape. *Techniques and Methods, Book 14: Landslide and Debris-Flow Assessment – Section A1.* U S Geological Survey, DOI: 10.3133/tm14A1
- Roy, F., Ferland, Y., 2015. Land-use planning for disaster risk management. *Land Tenure J.* 1(2014) 70-103.
- SafeLand, 2011. Deliverable D2.4: Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk assessment and zoning. En: 7th Framework Programme: Cooperation Theme 6 Environment (Including Climate Change) Sub-Activity 6.1.3 Natural Hazards. European Commission, Bruselas.

- Saunders, W., Glassey, P. (Comp.), 2007. Guidelines for assessing planning policy and consent requirements for landslide-prone land. GNS Science Miscellaneous Series 7. Institute of Geological and Nuclear Sciences, Lower Hutt, Nueva Zelanda.
- Salitchev, K., 1979. Cartografía. Pueblo y Educación, La Habana.
- Servicio Geológico Colombiano (SGC), 2015. Guía Metodológica para estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por movimientos en masa. Bogotá, DC.
- Servicio Geológico Colombiano (SGC), 2017. Guía Metodológica para zonificación de amenaza por movimientos en masa a escala 1:25.000. Bogotá, DC.
- Sujatha, E., Kumaravel, P., Rajamanickam, G., 2014. Assessing landslide susceptibility using Bayesian probability-based weight of evidence model. Bull. Eng. Geol. Environ. 73(1), 147-161. DOI: 10.1007/s10064-013-0537-9
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR), 2015. Making development sustainable: The future of disaster risk management. En: Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. Naciones Unidas, Ginebra, Suiza.
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR), 2017. Promoting land use and spatial planning for disaster risk reduction. En: Global Platform for Disaster Risk Reduction. Cancun, México.
- United Nations Population Fund (UNFPA), 2007. The State of the World Population 2007: Unleashing The Potential of Urban Growth. Nueva York, NY.
- Universidad Externado de Colombia, 2007. Ciudad, espacio y población: El proceso de urbanización en Colombia. Bogotá, D.C.
- Van Asch, T., Malet, J.-P., Van Beek, L., Amitrano, D., 2007. Techniques, issues and advances in numerical modelling of landslide hazard. Bull. Soc. Géol. Fr. 178(2), 65-88. DOI; 10.2113/gssgfbull.178.2.65
- Van Westen, C., 1993. Application of geographic information systems to landslide hazard zonation. Tesis de doctorado. Facultad de Geoinformación y Observación de la Tierra, Universidad de Twente, Enschede, Holanda.
- Zheng, X., Tarboton, D., Maidment, D., Liu, Y., Passalacqua, P., 2018. River channel geometry and rating curve estimation using height above the nearest drainage. J. Am. Water Resour. Assoc. 54(4), 785-806. DOI: 10.1111/1752-1688.12661