



Metodologías para la zonificación de la amenaza por movimientos en masa

Por: Hugo Van Stralen Iguaran
Subdirección para el Conocimiento del Riesgo

La incorporación de la gestión del riesgo en el ordenamiento territorial se requiere para gestionar el desarrollo, la ocupación y la construcción segura sobre el territorio y hacer uso sostenible del suelo. Para llevar a cabo este proceso es fundamental definir áreas con condición de riesgo, de modo que permitan ejecutar medidas correctivas y se logren establecer medidas prospectivas que impidan la formación de nuevas situaciones de riesgo. Sin embargo, estas condiciones están sujetas a escenarios de amenaza que para el caso de los movimientos en masa dependen del grado de susceptibilidad del suelo y de factores detonantes como la lluvia, los sismos y factores antrópicos. La zonificación de la amenaza en Colombia es establecida por normativas y guías metodológicas que contribuyen al desarrollo de estudios unificados y con estándares de calidad.

De acuerdo con la normativa se debe integrar la gestión del riesgo en la planificación territorial y del desarrollo en los diferentes niveles de Gobierno (Artículo 39 de la Ley 1523 de 2012), a través de instrumentos como los Planes de Ordenamiento Territorial (POT), de manejo de cuencas hidrográficas y de planificación del desarrollo. El Decreto 1077 de 2015 en su Sección 3 integra el Decreto 1807 de 2014 para instaurar las condiciones y escalas de detalle en la incorporación gradual de la gestión del riesgo en los POT.

Para elaborar estudios básicos y detallados en este decreto se establecen cuatro tipos de métodos o enfoques en la evaluación de la amenaza: heurísticos, estadísticos, determinísticos y probabilísticos. Cada método se aplica a escalas específicas y su uso se determina por diferentes grados de complejidad (Tabla 1). A continuación, se describen estos cuatro enfoques:

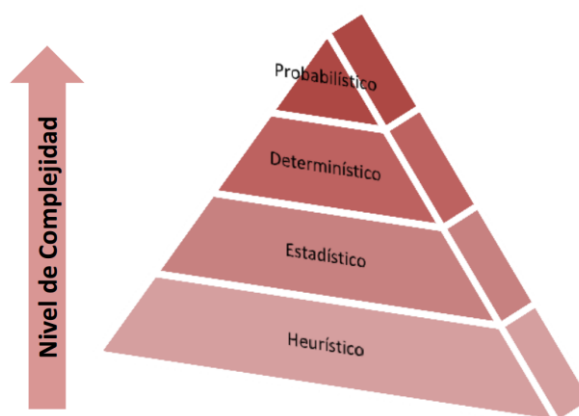


Figura 1. Enfoques para la zonificación de la amenaza por movimientos en masa (UNGRD, 2015)

TIPO DE ESTUDIO	CLASE DE SUELO	ESCALA	MÉTODOS DE ANÁLISIS
ESTUDIO BÁSICO	Urbano o Expansión urbana	1:5000	Estadístico, Determinístico, o Probabilístico
	Rural	1: 25000	Heurístico, Estadístico
ESTUDIO DETALLADO	Urbano o Expansión urbana	1:2000	Determinístico o Probabilístico
	Rural Suburbano	1:5000	

Tabla 1. Escalas y métodos de análisis según el tipo de estudio (UNGRD, 2015).

Los métodos heurísticos se basan en el conocimiento del experto; es decir, dependen de criterios fundamentados en el entendimiento teórico de procesos físicos y años de experiencia en un área determinada. Este método se usa a pequeña escala o en estudios regionales que permiten una rápida zonificación con una gran cantidad de variables. Otra ventaja que tiene esta metodología es que no dependen de la calidad de los datos del inventario del movimiento de movimientos, a diferencia de los métodos estadísticos.

Adicionalmente, su evaluación puede realizarse para sitios y tipos de movimientos en masa



específicos y así evitar generalizaciones (Van Westen et al., 2013; Barreto, 2000). Por ejemplo, en la elaboración por parte del Servicio Geológico Colombiano (SGC) de los mapas nacionales de amenaza por movimientos en masa a escalas 1:500.000 y 1:100.000 se emplearon enfoques heurísticos por medio del método Proceso Analítico Jerárquico (AHP), en el que expertos comparan variables para obtener escalas de prioridad y pesos relativos de cada variable.

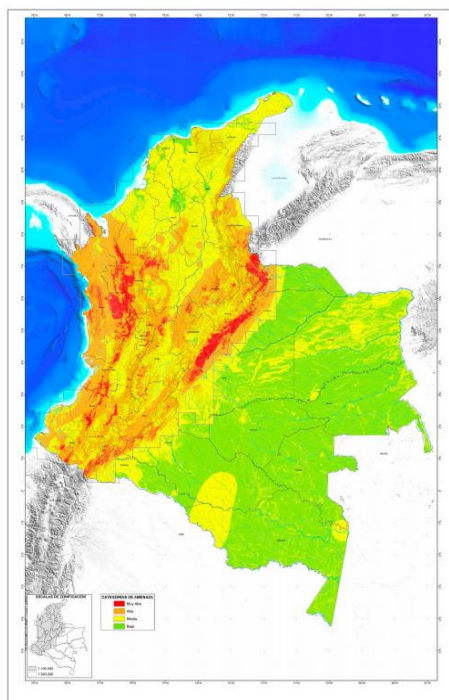


Figura 2. Mapa integrado de amenaza por movimientos en masa en Colombia obtenido con métodos heurísticos (SGC, 2017).

La zonificación de la amenaza por métodos estadísticos a diferencia de los métodos heurísticos es de carácter cuantitativo. Esta consiste en relacionar factores que contribuyen a la inestabilidad del suelo con procesos de remoción en masa ocurridos en el pasado (Reichenbach, 2018). Esto implica que el inventario de movimientos en masa es un insumo necesario para llevar a cabo la zonificación, por lo que se ajustan mejor a movimientos en masa que no se han desplazados largas distancias desde la fuente y que no cambian significativamente su tamaño y geometría (deslizamientos traslacionales y rotacionales). Los métodos estadísticos se clasifican



en bivariados y multivariados, los primeros relacionan de manera independiente cada variable que contribuye a la inestabilidad del terreno con el inventario de movimientos en masa, mientras que los multivariados establecen relaciones conjuntas entre todas las variables del modelo.

Los **métodos determinísticos** se utilizan a escalas más detalladas y se basan en la física del fenómeno. Estos arrojan resultados cuantitativos en términos del factor de seguridad. Generalmente estos métodos combinan análisis geotécnicos e hidrológicos para determinar estado crítico de la ladera, es decir que utilizan aproximaciones físicas del problema (Aristizábal et al., 2010). Los métodos determinísticos utilizan variables constantes en sus modelos y son sensibles a la precisión de los datos, esto genera cierto grado de incertidumbre en los resultados, mientras que enfoques probabilísticos permiten tener variabilidad en los parámetros de diseño, arrojando resultados en términos de probabilidad de falla.

El **método probabilístico** emplea variables que se alimentan de datos al azar, las cuales se relacionan mediante funciones matemáticas. Estos métodos pueden ser distribuciones de probabilidad o procesos estocásticos que constituyen modelos matemáticos de experimentos aleatorios. Son una “idealización” con la cual se quiere representar o modelar la realidad (UNGRD, 2015). En la Figura 3 se observa el mapa de amenaza por movimientos en masa del área urbana del municipio de Popayán a escala 1:5000, en el cual usaron métodos probabilísticos.

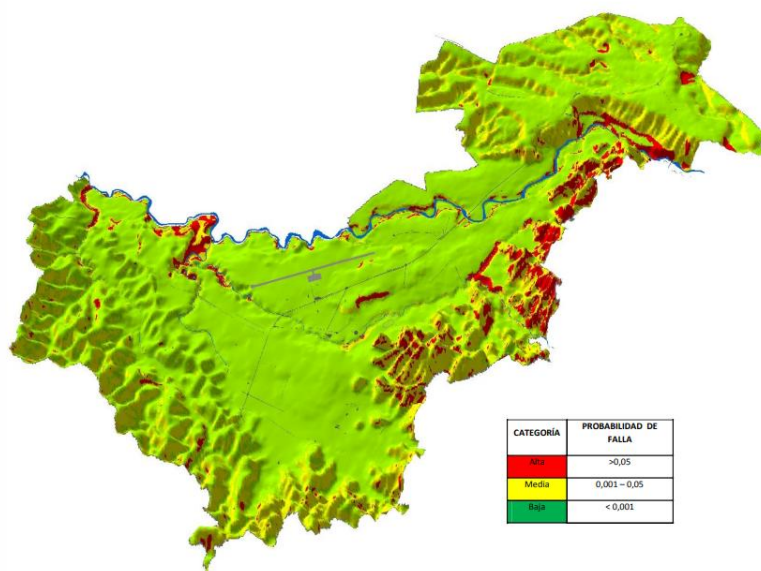


Figura 3. Mapa de amenazas por movimientos en masa – zona urbana de Popayán (SGC, 2015).

Con la finalidad de establecer algunas condiciones básicas de calidad, rigurosidad y uniformidad de los estudios técnicos, el SGC ha elaborado guías o lineamientos metodológicos para abordar la zonificación de amenaza por movimientos en masa (SGC, 2017). El SGC publicó la Guía metodológica para la zonificación de la amenaza por movimiento en masa a escala 1:25.000 (SGC, 2017), en esta guía se especifica el procedimiento desde la definición del área de estudio e información cartográfica básica, hasta la caracterización de la amenaza. En el análisis de la susceptibilidad se recomienda el método estadístico denominado peso de la evidencia donde se establecen patrones entre los factores condicionantes del terreno y zonas donde exista registro de movimientos en masa.

De igual forma el SGC (2015) presentó la Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgos por movimientos en masa, en la que se emplean métodos determinísticos para estudios básicos en zonas urbanas o de expansión urbana (Escala 1:5.000) y métodos probabilísticos para estudios detallados (Escala 1:2.000). La zonificación de la amenaza se realiza en tres fases principales: definir un modelo geológico-geotécnico, plantear escenarios de amenaza y zonificar la amenaza.



Los factores detonantes considerados en esta guía se establecen a partir de escenarios únicos y probables de lluvias y sismos. Para el caso de estudios básicos en suelos se realiza el análisis de estabilidad de laderas por métodos equilibrio límite y en rocas análisis en función del SMR (Slope Mass Rating).

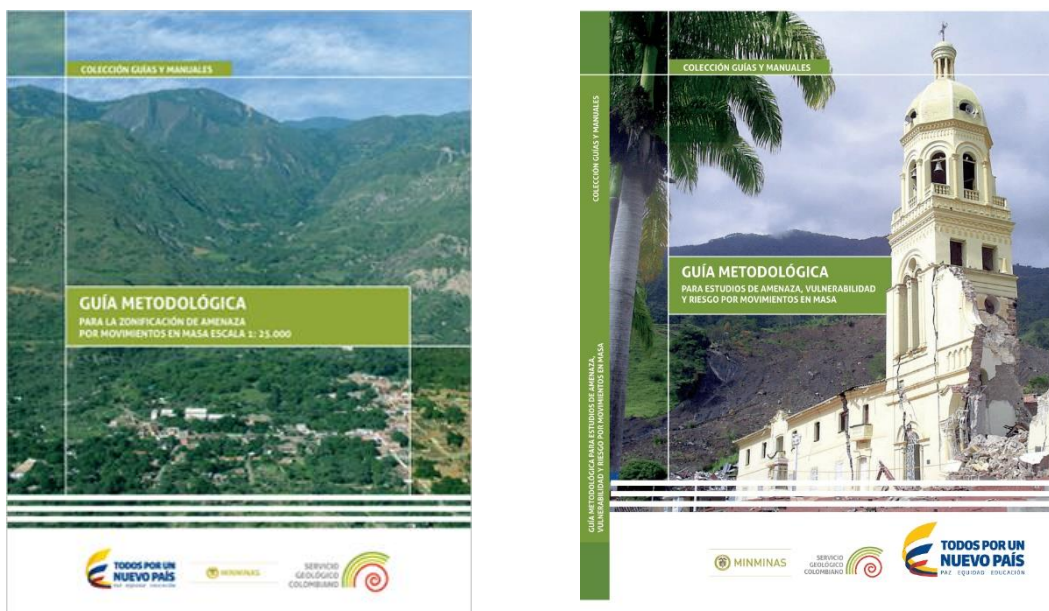


Figura 4. Guías metodológicas para la zonificación de la amenaza del SGC.

La elección de algunos de estos cuatro métodos dependerá del nivel de detalle del estudio, la calidad y tipo de datos disponibles, la unidad de mapeo (píxeles, unidad de pendiente, unidad con condiciones únicas) y de la complejidad del modelo. Los insumos necesarios dependerán también del tipo de escala que se utilice, estos suelen agruparse en geológicos, hidrológicos, geomorfológicos, cobertura y uso del suelo. El análisis de los movimientos en masa requiere de conocimientos interdisciplinarios, por esto el SGC (2015) recomienda que los equipos de trabajo incluyan profesionales con énfasis en geología, geomorfología, hidrología e hidrogeología fotointerpretación, ingeniería civil, mecánica de suelos y rocas, estructuras, análisis de estabilidad de taludes, así como análisis de amenaza y riesgo por movimientos en masa.



El insumo bibliográfico de la implementación de metodologías asociadas al análisis de movimientos en masa es cuantioso a nivel internacional, lo que impulsa la actualización de modelos y la incorporación de nuevas técnicas con un mayor grado de complejidad. De allí, la relevancia de realizar un seguimiento continuo de la información relacionada.

Se sugiere que los profesionales encargados de realizar estos estudios cuenten con conocimientos actualizados de cada metodología, insumos de acuerdo con la escala definida y comprensión de las condiciones que influyen en la ocurrencia de movimientos en masa en el área de estudio de interés.

ENLACES DE INTERÉS

- Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. <https://bit.ly/3jkEIwk>
- Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1: 25.000 <https://bit.ly/37v1A9o>



BIBLIOGRAFÍA

- Aristizábal, E., Martínez, H., & Vélez, J. I. (2010). Una revisión sobre el estudio de movimientos en masa detonados por lluvias. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 34(131), 209-227.
- Barredo, J., Benavides, A., Hervás, J., & van Westen, C. J. (2000). Comparing heuristic landslide hazard assessment techniques using GIS in the Tirajana basin, Gran Canaria Island, Spain. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 2(1), 9-23.
- Decreto 1077 de 2015. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio.
- Ley 1523 de 2012. Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones.
- Reichenbach, P., Rossi, M., Malamud, B. D., Mihir, M., & Guzzetti, F. (2018). A review of statistically-based landslide susceptibility models. *Earth-science reviews*, 180, 60-91.
- Servicio Geológico Colombiano (SGC). (2017). *Las Amenazas por Movimientos en Masa en Colombia: Una visión a escala 1:100.000* (Primera ed.). Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.
- Servicio Geológico Colombiano (SGC) & Universidad Nacional de Colombia (UNAL). (2015). *Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa, Escala Detallada*. Colección de Guías y Manuales.
- Servicio Geológico Colombiano (SGC). (2015). *Zonificación de amenazas por movimientos en masa del municipio de Popayán – Cauca*.
- Servicio Geológico Colombiano (SGC). (2017). *Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:25000*. Bogotá. Imprenta Nacional de Colombia. ISBN: 978-958-59782-2-5.
- Unidad Nacional de Gestión del Riesgo (UNGRD). (2015). *Guía de Integración de la Gestión del Riesgo y el Ordenamiento Territorial Municipal*.



- Westen, C. J. V., Ghosh, S., Jaiswal, P., Martha, T. R., & Kuriakose, S. L. (2013). From landslide inventories to landslide risk assessment; an attempt to support methodological development in India. In *Landslide science and practice* (pp. 3-20). Springer, Berlin, Heidelberg.