

## CODE 2

### **EVALUACIÓN DE LESIONES ESTRUCTURALES EN VIVIENDAS POR MOVIMIENTO EN MASA. CASO DE ESTUDIO BARRIO “LA ESMERALDA” DEL MUNICIPIO DE AMAGÁ EN COLOMBIA**

**Ochoa-Botero, Juan Carlos<sup>1\*</sup>; Carvajal, Henry<sup>2</sup>; Cañola, Hernán<sup>3</sup>**

- 1: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Arquitectura, Escuela de Construcción  
e-mail: [jcochoa@unal.edu.co](mailto:jcochoa@unal.edu.co), web: <http://www.unal.edu.co>
- 2: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Arquitectura, Escuela de Construcción  
e-mail: [hcarvajal@unal.edu.co](mailto:hcarvajal@unal.edu.co), web: <http://www.unal.edu.co>
- 3: Colegio Mayor de Antioquia, Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Grupo de investigación Ambiente, Hábitat y Sostenibilidad  
e-mail: [Hernan.canola@colmayor.edu.co](mailto:Hernan.canola@colmayor.edu.co), web: : <http://www.colmayor.edu.co>

**PALABRAS CLAVE:** Grietas, subsidencia, lesiones en edificios, lesiones en viviendas, Amagá Colombia.

#### **RESUMEN**

Este trabajo muestra los resultados de la evaluación de las lesiones estructurales que presentaron las viviendas del barrio La Esmeralda, localizado en el Municipio de Amagá (Colombia) por un movimiento en masa del suelo. El método utilizado para el estudio contempló un componente histórico y un componente técnico. El primero buscó los antecedentes del problema a partir de fuentes primarias existentes y el segundo se enfocó en la descripción y análisis de las lesiones en las viviendas. Con la información obtenida se hizo una clasificación y calificación del grado de afectación de la estructura, lo cual permitió hacer la sectorización de las áreas de mayor a menor deterioro y determinar la tendencia del movimiento del terreno. Con esta evaluación y la ayuda de los estudios geológico, geotécnico, hidrológico e hidráulico se determinó el tipo de movimiento en masa.

#### **1. INTRODUCCIÓN**

La subsidencia consiste en desplazamientos horizontales y verticales de la superficie de un terreno. Son muchas las causas que pueden originar un movimiento de subsidencia, entre otras: excavaciones profundas como en el caso de la minería, la presencia de aguas subterráneas, o movimientos naturales [1] [2] [3]. El tipo de subsidencia determina la deformación del suelo y el patrón de grietas tanto en el terreno como en las edificaciones. Donde existen grandes deformaciones diferenciales de los suelos, los edificios y la infraestructura que se ubica en el subsuelo está en gran riesgo de deterioro y hasta de colapso. El fenómeno de subsidencia se reconoce como un riesgo inducido por el hombre y afecta muchos países y regiones del mundo [4] [5] [6] [7]. Este tipo de movimiento se presenta en algunas de las zonas urbanas del municipio de Amagá (Colombia) que algunos atribuyen a la explotación minera del carbón y que son el objeto de estudio de este trabajo. Algunas técnicas instrumentales de monitoreo geológico que permiten medir el grado de subsidencia en grandes áreas del territorio son el PS-DInSAR, differential SAR interferometry o TerraSAR-X, o el SWIFT [8] [9] [10].

El municipio de Amagá se localiza en la Subregión del Suroeste del Departamento de Antioquia (Colombia) (ver Figura 1). Su extensión total es de 84 km<sup>2</sup>, en el área urbana 0,4 km<sup>2</sup> y en el área rural 83,6 km<sup>2</sup>. La altura sobre el nivel del mar es de 1400 m y tiene una temperatura media, durante todo el año, de 23 °C y una precipitación media anual de 2187 mm.

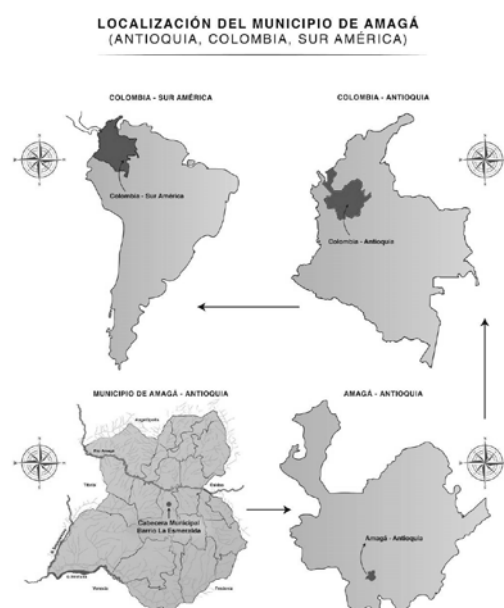


Figura 1: Localización del municipio de Amagá (Antioquia, Colombia, Sur América). Fuente: propia

La zona más afectada por el fenómeno de inestabilidad del suelo corresponde básicamente al barrio La Esmeralda. En este barrio existen 58 predios, habitados por 216 personas con viviendas en muros portantes y pórticos, construidas en materiales como tierra, ladrillo o concreto reforzado.

La primera evidencia de lesiones en la zona de estudio apareció alrededor de 1960. De acuerdo a los registros fotográficos de la época aparecieron grietas y hundimientos en el pavimento, ubicados especialmente en las zonas colindantes a la plazoleta central del municipio (ver Figura 2). Sin embargo, solo hasta el año 2007, unos 30 años después, se identificaron lesiones en las viviendas. La historia del deterioro de las viviendas en el resto del municipio data, según fuentes periodísticas y testimonios de los ciudadanos, desde 1994. Las causas fueron atribuidas a muchos factores siendo la más recurrente los movimientos masivos como consecuencia de la minería [11] [12] [13] [14] [15] [16] .



Figura 2: Fotografías del estado de las vías en los años 70s. Fuente: Centro Documental Fotográfico el Poncherazo

La geología de la región se caracteriza por la presencia de diferentes fallas, como la de Romeral y la falla de Sabanalarga. La microcuenca de la Quebrada La Ceibala, pertenece a la cuenca de la quebrada Amagá, y tiene una pendiente de 27,1%. Se inicia al sur del casco urbano del municipio, y fluye hacia el norte hasta desembocar en el río Amagá, al norte del área de interés [17].

El barrio La Esmeralda está localizado en una zona de la microcuenca con mediana y alta pendiente donde los taludes alcanzan relaciones entre 10H: 1V hasta 10H: 2V. Esta zona presenta escasa vegetación y líneas de drenaje en superficie e infiltradas durante las lluvias fuertes, que someten los suelos a un estado de actividad permanente [18].

En este trabajo se explican los resultados obtenidos en la evaluación de las lesiones estructurales de las viviendas del barrio La Esmeralda. Para el diseño metodológico se consultaron fuentes como: Juan López Jaén [19]; Francisco Serrano Alcudia [20], y Esbert et.al [21]. Para los resultados y discusión se tuvieron en cuenta los componentes geológico, geotécnico, hidráulico e hidrológico realizados por la Universidad Nacional de Colombia para este mismo caso de estudio [17] [18]. La metodología empleada demostró que su aplicación permite determinar el grado de afectación de las viviendas definir la tendencia del movimiento y sus posibles causas.

## 2. METODOLOGÍA

La zona de estudio comprendió 10 manzanas que, para todos los efectos, se enumeraron de arriba hacia abajo y de derecha a izquierda como se muestra en la Figura 3.



Figura 3: Ubicación planimetría y numeración de las manzanas en estudio. Fuente: adaptado del plano catastral del municipio

Para la realización de la cartografía de grietas se utilizó un sistema de recolección de información directa que posteriormente se dibujó sobre los planos catastrales del municipio. Se hizo una inspección ocular en cada una de las viviendas y se identificaron movimientos en postes de energía y afectaciones en redes de servicios públicos. Como instrumento metodológico para el levantamiento de lesiones se utilizó una ficha técnica. La ficha se dividió en varias secciones: información del predio y percepción personal del problema por parte de los ocupantes; características de la vivienda; registro general de lesiones; levantamiento de grietas y control de avance.

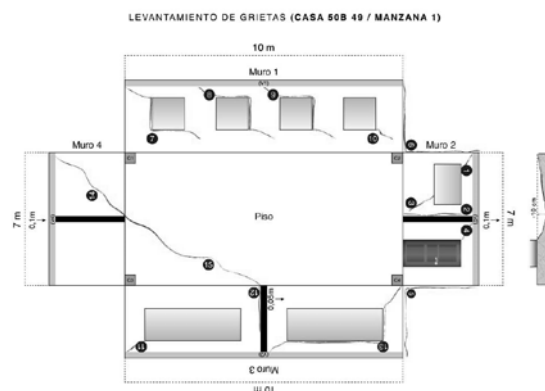


Figura 4: Ejemplo del registro de las grietas en la ficha. Fuente: propia

Para el levantamiento de las lesiones se utilizó un plano desdoblado con las 4 fachadas de la vivienda. En cada uno se dibujaron las grietas, su posición y dirección. También se registraron las lesiones en el andén de acceso a la vivienda (Figura 4).

Para la visita a las viviendas se definió un recorrido lineal de Occidente a Oriente. Para la inspección de los predios se usó un método de recorrido en forma elíptica y de arriba hacia abajo, es decir muro-piso, como se observa en la Figura 5. Se hizo especial énfasis en cada una de las medianerías y fachadas de los predios estudiados considerando que es allí donde se podrían visibilizar las mayores lesiones.

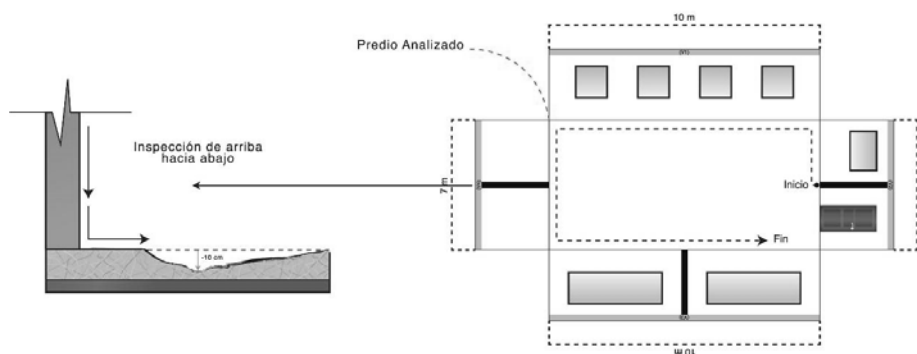


Figura 5: Recorrido utilizado en la inspección de los predios. Fuente: propia

Para elaborar el mapa de grietas se tuvo en cuenta las siguientes características:

- Inclinación de la grieta: es el ángulo formado por la grieta y una línea horizontal (Figura 6). En este caso son grietas diagonales de mucha frecuencia en la zona de estudio.
- Inclinación de la profundidad de la grieta: es el ángulo formado entre una de las partes del muro afectado por la grieta y una línea vertical.
- Separación: indica la separación entre dos muros o entre un muro y otro plano horizontal como el piso o el entrepiso.
- Persistencia o continuidad: se define como la prolongación de la grieta más allá de su propia superficie.
- Profundidad de la grieta: indica la magnitud de separación de las partes del elemento afectado por la grieta.



Figura 6: Inclinación de la grieta. Grietas diagonales. Fuente: propia

Con la información de cada ficha técnica se ubicaron, en un mapa general, las grietas de piso que permitió hacer una lectura de su trayectoria en toda la zona de estudio (Figura 7).



Figura 7: Plano de localización de grietas en el terreno en la zona de estudio. Fuente: adaptado del plano catastral del municipio



Figura 8: Planimetría del grado de afectación de las viviendas. Fuente: adaptado del plano catastral del municipio

Para determinar el grado de afectación de las viviendas se definió una escala de tres grados: afectación baja, afectación media y afectación alta. La calificación de la vivienda en uno de estos grados dependía de: la cantidad, el tamaño, forma, dirección, ubicación y desplazamiento de las fisuras, y el compromiso de la lesión con elementos estructurales. También se identificaron los predios donde ya no existían edificaciones. La textura de rectángulos corresponde al grado alto, la textura de estrellas el grado medio y la textura de diagonales el grado bajo.

Con el propósito de obtener más datos, que permitieran complementar el estudio, se midió la inclinación que tenían 29 postes de energía eléctrica urbanos en la zona.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las lesiones encontradas en las edificaciones de la zona de estudio son grietas con las siguientes características: inclinadas aproximadamente a 45°; tienen continuidad entre muros y pisos; son profundas pues en algunos casos separan en dos partes el mismo elemento constructivo; muchos muros muestran también algún grado de inclinación vertical (desplome); algunas grietas han separado las superficies en distinto planos, como el caso de muros y pisos, o muro y entrepisos o cubiertas.

En la Tabla 1, se muestran los resultados obtenidos del grado de afectación de las viviendas. Se observa que el mayor porcentaje de las viviendas tiene un grado de afectación alto y medio, y el 5% de las

viviendas ya no existe. Esto se debe al colapso de la edificación por su alto grado de deterioro o a que los propietarios decidieron demolerlas para evitar accidentes.

Tabla 1: Grado de afectación de las viviendas. Fuente: propia.

Grado de afectación y predios inexistentes			
Predios inexistentes (%)	Grado de afectación baja (%)	Grado de afectación media (%)	Grado de afectación alta (%)
5	29	33	34

En la planimetría que aparece en la Figura 8, se muestra el grado de afectación de cada predio. El mayor número de predios inexistentes o en alto grado de afectación, con textura de puntos, se ubica cerca del cauce de la quebrada la Ceibala y en las manzanas 5 y 6.

Con la anterior información se elaboró un mapa donde se definieron zonas con diferentes grados de afectación: alta, media y baja, teniendo en cuenta el mayor porcentaje de viviendas clasificadas en cada uno de estos grados. Se consideró que las viviendas que aparecen marcadas con grado de menor afectación del de la zona, fueron posiblemente refaccionadas. Con este criterio las flechas indican la orientación del deterioro, de mayor a menor grado a medida que se aleja del cauce de la quebrada (ver Figura 9).

El valor obtenido de la inclinación de los postes de energía urbanos está entre 0,5 y 12,5 cm de la punta con respecto a la base. El 50% presentan una inclinación hacia el norte, un 25% hacia el sur, y otro 25% no presenta inclinación alguna (Figura10). Esta información hace pensar en un posible movimiento en masa del terreno hacia la quebrada.

Estos resultados inducen a pensar en un posible fenómeno de subsidencia hacia el cauce de la quebrada la Ceibala.



Figura 9: Planimetría del sector. Tendencia del deterioro. Fuente: adaptado del plano catastral del municipio



Figura 10: Ubicación y tendencia de inclinación de los postes de energía. Fuente: adaptado del plano catastral del municipio

Los estudios hidráulicos e hidrológicos complementarios [14] concluyeron que la quebrada La Ceibala no tiene influencia directa sobre la inestabilidad del barrio. Si bien los procesos erosivos de la quebrada generan pequeñas inestabilidades en los taludes estos solo afectan las zonas aledañas. Sin embargo, se observó que no se están captando ni vertiendo adecuadamente las aguas residuales lo que podría estar incidiendo en el movimiento del terreno.

Los estudios geotécnicos [17] identificaron un movimiento traslacional en masa complejo, lento, originado por las bajas características geomecánicas y el proceso de formación de los estratos superficiales (entre 0 y 15 m de profundidad). Estos estratos corresponden principalmente a depósitos de vertiente, saturados, sobre el cual se encuentran llenos de espesor variable.

Se observaron flujos de agua sub-superficiales que causan la saturación de estos estratos, potenciado por la impermeabilidad del estrato inferior correspondiente a arcillas arenosas; esta saturación ayuda a que los estratos superiores se desplacen a velocidades muy bajas tanto horizontal como verticalmente, generando una falla traslacional del suelo que se encuentra activa.

Los deslizamientos y movimientos del terreno más desconfinado, es decir, el que se encuentra al borde de la quebrada, y que tiene un nivel freático muy alto, generan fallas rotacionales puntuales, que acrecientan el movimiento del terreno al cual sirven de pie de talud, por lo cual la anulación de estos deslizamientos contribuirá a la mitigación del problema.

#### 4. CONCLUSIONES

1. La metodología empleada permitió determinar que el nivel de deterioro de las viviendas es ascendente, siguiendo la pendiente del terreno, y que la zona más afectada es la adyacente a la quebrada La Ceibala.
2. No se identificaron relaciones del sistema estructural: muros portantes o pórticos; ni de los materiales de construcción: tierra, ladrillo o concreto reforzado, con el tipo, la magnitud o cantidad de grietas. Lo que permite inferir que el problema no se podría adjudicar a estas variables.
3. La causa del movimiento se atribuye a las bajas características geomecánicas del suelo y el proceso de formación de los estratos superficiales. Esta causa se diferencia de otras reportadas en la literatura (ver referencias en la introducción) que corresponden específicamente a la extracción incontrolada de aguas subterráneas o por explotación minera.
4. En el borde de la quebrada La Ceibala se presenta deslizamientos y movimientos del terreno que contribuyen a desconfinar la masa inestable principal, por la generación de movimientos de tipo rotacional. Es por eso que allí aparecen los mayores grados de afectación en las viviendas.
5. El deterioro de la red de alcantarillado no solo ha producido filtraciones sino obstrucciones. Esto se demuestra en la poca capacidad de los sumideros de las vías para desalojar los caudales de agua de lluvia lo que produce grandes escorrentías en las superficies de las vías que, por razón de la pendiente, se dirigen hacia la quebrada la Ceibala coadyuvando en el progresivo deterioro de sus laderas.

#### 5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] López, F; Álvarez, M; Gonzáles, C; Álvarez, A. and Herrera, G. Forensic analysis of buildings affected by mining subsidence. *Engineering Failure Analysis*, vol. 17, pp. 270-285, January (2010).
- [2] Quing-hai, D; Feng shan, M; Ren-mao, Y. and Bing-Kui, Y. Geological Environment Problems Caused by Controlling Grounwater Exploitation in Jiangyin City. *Journal of China University of Minning & Technology*, vol. 1, no. 17, pp. 58-89, (2007).
- [3] Phien-Wej, N; Giao, P. and Nutalaya, P. Land subsidence in Bangkok, Thailand. *Engineering geology*, vol. 82, no. 4, pp. 187-201, February (2006).
- [4] Toklmatsu, K; Tamura, S; Susuki, H. and Katsumata, K. Building damage associated with geotechnical problems in the 2011 Tohoku Pacific Earthquake. *Soils and Foundations*, vol. 52, no. 5, pp. 956-974, October (2012).
- [5] Cha Tterjee, R; Fruneau, B; Rudant, J; Roy, P; Frison, P; Lakhera, R; Dadhw AL, V. and Saha, R. Subsidence of Kolkata (Calcutta) City, India during the 1990s as observed from space by

- Differential Synthetic Aperture Radar Interferometry (D-InSAR) technique. *Remote Sensing of Environment*, vol. 102, no. 1-2, pp. 176-185, May (2006).
- [6] Ovando-Shelley, E; Ossa, A. and Romo, M. The sinking of Mexico City: Its effects on soil properties and seismic response. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 27, no. 4, pp. 333-343, April (2007).
- [7] Hu, R; Yue, Z; Wang, L. and Wang, S. Review on current status and challenging issues of land subsidence in China. *Engineering Geology*, vol. 76, no. 1-2, pp. 65-77, December (2004).
- [8] El Colombiano. Damnificados de Amagá piden soluciones. p. 10A, 1994.
- [9] Vélez, I. La Gualí pisa en falso. Los trabajos de minería amenazan la tranquilidad de la comunidad. El Colombiano, p. 7B, (1994).
- [10] El Colombiano. Alcaldía de Amagá acompaña a damnificados, (1996).
- [11] El Amagaceño. Por hundimiento de en La Maní de las casas un centenar de personas pierde sus viviendas. no. 10, (2007).
- [12] El Amagaceño. A frenar hundimiento de la Casa de la Cultura. p. 7, (2005).
- [13] El Amagaceño. ¡S.O.S! Se hunde Amagá!, p. 2, (2007).
- [14] Instituto de estudios ambientales – IDEA. Estudio hidrológico y geotécnico sobre el cauce de la quebrada La Ceibala y sus márgenes, en su recorrido por el área urbana del municipio de Amagá. Medellín, (2013).
- [15] Sierra, I; Rendón, M; Zapata, A; Rodríguez, E; Martínez, G; Cárdenas, Á; Naranjo, D. and Urrego, O. Estudio de la primera etapa, diagnóstico preliminar y exploración del subsuelo, del estudio geológico, geotécnico para el diseño de las obras de estabilización del barrio La Esmeralda del municipio de Amagá. Medellín, (2010).
- [16] López, J. Rehabilitación: concepción y metodología, en El Proyecto y 1a edificación, C. O. d. A. d. Madrid, Ed., España, pp. 37-51. (1985).
- [17] Serrano, A. Estudio integral de los edificios: la lógica de su procedimiento en la edificación, España: Fundación Escuela de la Edificación, (2007).
- [18] Esbert, R. Ordaz, J. Alonso, F. and Montoto, M. Manual de diagnosis y tratamiento de materiales pétreos y cerámicos, vol. 5, C. d. i. A. Tècnics, Ed., España, (1997).
- [19] Tomás, R; Cano, M; García-Barba, J; Vicente, F; Herrera, G; Lopez-Sanchez, J. and Mallorquí, J. Monitoring an earthfill dam usin differential SAR interferometry: La Pedrera dam, Alicante, Spain. *Engineering Geology*, no. 157, pp. 21-33, (2013).
- [20] Liu, Z; Bian, Z; Lei, S; Liu, D and Sowter, A. Evaluation of PS-DInSAR technology for subsidence monitoring caused by repeated mining in mountainous área, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, no. 24, pp. 3309-3315, (2014).
- [21] Herrera, G; Tomás, R; Monells, D; Centolaza, G; Mallorquí, J; Vicente, F; Navarro, D; Lopez-Sanchez, J; Sanabria, M; Cano, M. and Mulas, J. Analysis of subsidence usis TerraSAR-X data: Muecia case study. *Engineering Geology*, no. 116, pp. 284-295, (2010).