

Análisis superficial del deslizamiento del sector 5 de Junio (Cuenca, Ecuador) mediante escáner láser terrestre

Enrique Acosta, Alex Arce, Walter Becerra, Erick Espinoza, Henry González, Lady Naula, Paola Zúñiga

Departamento Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de Cuenca, Av. 12 de Abril y Agustín Cueva Ciudadela, Cuenca, Ecuador, 010203.

Autor para correspondencia: enrique.acosta@ucuenca.edu.ec

Fecha de recepción: 30 de julio de 2017 - Fecha de aceptación: 20 de septiembre de 2017

ABSTRACT

The landslide located at the 5 de Junio street and the 24 de Mayo Av., in the city of Cuenca, is causing partial or total structural damages in many houses of this sector, as well as notable deformations in the roads causing several traffic accidents. The instability of this colluvial slope seems to be related to: (i) its strong slope in the upper part, (ii) the low cohesive clay sands conforming the colluvium, (iii) an important contribution of groundwater, that according to the residents, increased after the construction of the Cuenca-Azogues highway, and (iv) the lack of adequate surface and underground drainage to the nearby Tarqui and Yanuncay rivers. In the research presented in this paper we attempted to quantify the sliding kinematics. To do this, two surveys were carried out by means of a terrestrial laser scanner (TLS) in June and July 2017. The comparison in CloudCompare of both surveys revealed that the sliding did not result in significant movements in the short and dry period of analysis. However, the morphological analysis of the landslide surface and its relationship with the spatial distribution of the damages in buildings allowed us to identify the typology of this landslide, specifically a complex earth slide or earth flow.

Keywords: Landslide, complex earth slide, earth flow, urban zone, terrestrial laser scanner, terrestrial LiDAR, CloudCompare.

RESUMEN

El deslizamiento de la ladera ubicada en la calle 5 de Junio y Av. 24 de Mayo, en la ciudad de Cuenca, está causando daños estructurales parciales o totales en gran parte de las viviendas de este sector, así como notables deformaciones en las vías que ya han provocado varios accidentes de tránsito. La inestabilidad de esta ladera situada en un coluvión parece estar relacionada con: (i) su fuerte pendiente en la parte alta, (ii) las arenas arcillosas poco cohesivas presentes en dicho coluvión, (iii) un importante aporte de agua subterránea, incrementado según los moradores desde la construcción de la autopista Cuenca-Azogues, y (iv) la falta de un adecuado drenaje superficial y subterráneo hacia los cercanos ríos Tarqui y Yanuncay. En este trabajo se ha intentado cuantificar la cinemática del deslizamiento. Para ello se han realizado dos levantamientos mediante escáner láser terrestre en junio y julio de 2017. La comparación en CloudCompare de ambos levantamientos ha puesto de manifiesto que el deslizamiento no ha experimentado movimientos significativos en el corto y seco período de tiempo analizado. Sin embargo, el análisis morfológico de la superficie del deslizamiento, y su relación con la distribución espacial de los daños en viviendas, ha permitido identificar la tipología del deslizamiento, concretamente un complex earth slide o earth flow.

Palabras clave: Deslizamiento, deslizamiento de tierra complejo, flujo de tierra, zona urbana, escáner láser terrestre, LiDAR terrestre, CloudCompare.

1. INTRODUCCIÓN

Los deslizamientos son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daños en las propiedades, por valor de decenas de billones de dólares cada año (Brabb & Harrod, 1989). Un deslizamiento es el movimiento ladera abajo de un suelo o masa de roca que tiene lugar predominantemente sobre superficies de rotura bien definidas o sobre zonas relativamente estrechas de intensa cizalla (Cruden & Varnes, 1996). Dicha superficie de rotura puede adoptar diferentes morfologías. En laderas compuestas por suelos más o menos homogéneos son frecuentes los deslizamientos rotacionales cuya superficie de rotura es curva y cóncava. Si la superficie de rotura posee una geometría subcircular, la masa que desliza puede desplazarse rotacionalmente sin apenas experimentar deformación interna (Cruden & Varnes, 1996). Cuando la superficie de rotura se vuelve paralela a la ladera, el pie de la masa desplazada puede plegarse dando lugar a abombamientos (Walton & Atkinson, 1978). En muchos casos, el material desplazado inicialmente por un deslizamiento rotacional se transforma en un flujo. Este comportamiento es especialmente común cuando están involucrados materiales de grano fino no consolidados o con escasa cohesión. Este tipo de movimiento compuesto se denomina *complex earth slide* o *earth flow* (Cruden & Varnes, 1996). En laderas compuestas por materiales anisótropas con discontinuidades como fallas, diaclasas, superficies de estratificación o contactos entre roca y coluviones o regolitos, los deslizamientos suelen ser traslacionales. Es decir, la masa se desplaza sobre una o varias superficies de rotura planares o ligeramente onduladas que suelen coincidir con dichas discontinuidades. Dichas superficies normalmente son menos profundas que las de los deslizamientos rotacionales y suelen tener forma de canal en sección transversal (Hutchinson, 1988).

El monitoreo de deslizamientos puede llevarse a cabo mediante técnicas geodésicas terrestres como la estación total, el nivel y el teodolito (Angeli, Pasuto, & Silvano, 2000; Savvaidis, 2003; González-Zúñiga, 2010); técnicas geodésicas satelitales como el GPS (Gili, Corominas & Rius, 2000; Mora *et al.*, 2003; Du & Teng, 2007); técnicas geofísicas (Brückl, Brunner, & Kraus, 2006); métodos geotécnicos como el extensómetro (Angeli *et al.*, 2000) o el inclinómetro (García, Hördt, & Fabian, 2010; Uchimura *et al.*, 2010); técnicas de teledetección con sensores pasivos como la fotogrametría satelital (Behling & Roessner, 2017; Stumpf, Malet, & Delacourt, 2017; Barbarella, Fiani, & Zollo, 2017), fotogrametría aérea con aviones/helicópteros (Mora *et al.*, 2003; Bitelli, Dubbini, & Zanutta, 2004; Dewitte *et al.*, 2008), fotogrametría aérea con drones (Niethammer, Rothmund, James, Travelletti & Joswig, 2010; Lin, Huang, Lv, Du & Yi, 2016; Mozas-Calvache, Pérez-García & Fernández-Del Castillo, 2017), fotogrametría terrestre (Travelletti *et al.*, 2012) o videocámaras (Angeli *et al.*, 2000); técnicas de teledetección con sensores activos como el LiDAR aéreo (Chen *et al.*, 2006; Dewitte *et al.*, 2008; Ventura, Vilardo, Terranova, & Sessa 2011), el LiDAR terrestre (Teza, Galgaro, Zaltron, & Genevois, 2007; Barbarella, 2013; Travelletti, Malet, & Delacourt, 2014), el RADAR satelital (Strozzi *et al.*, 2005; Colesanti & Wasowski, 2006; Herrera *et al.*, 2011), el RADAR terrestre (Tarchi *et al.*, 2003; Bardi *et al.*, 2017; Ferrigno, Gigli, Fanti, Intrieri, & Casagli, 2017); o el ecómetro (Angeli *et al.*, 2000).

Los objetivos de este trabajo son: (i) determinar el tipo de deslizamiento que afecta a una zona urbana de Cuenca situada en el sector de la calle 5 de Junio y Av. 24 de Mayo en base al análisis morfológico de su superficie y (ii) monitorear su cinética mediante escáner láser terrestre.

2. ZONA DE ESTUDIO

La ciudad de Cuenca, Ecuador, tiene un clima variable de montaña. La temperatura promedio es de 15°C y las precipitaciones son de unos 800 mm/año. Gran parte de estas precipitaciones se producen en la estación invernal, especialmente en los meses de marzo y abril. Por otro lado, la actividad sísmica es moderada, considerablemente menor a la de la mitad norte del país. El principal foco sísmico que puede afectar a la ciudad de Cuenca es la falla de Girón-Cuenca. Dicha falla tiene orientación SSO-NNE, su traza en planta tiene una longitud de unos 50 km, pasa a unos 4 km al

suroeste de la ciudad y ya ha generado terremotos que provocaron daños en la ciudad en 1758, 1856, 1887 y 1913 (CERESIS, 1985; Jiménez-Pacheco, 2002).

La ladera deslizada se sitúa al sur de la ciudad de Cuenca (Fig. 1), en el sector donde convergen la Av. 24 de Mayo y la calle 5 de Junio. Desde el punto de vista hidrográfico, el pie del deslizamiento se encuentra a 80 metros del río Tarqui, muy cerca de su confluencia con el río Yanuncay. No existen quebradas que dirijan la escorrentía superficial hacia la zona deslizada. Sin embargo, el flujo subterráneo en este sector sí es considerable en la época invernal. Según los moradores, dicho flujo subterráneo se ha incrementado con la construcción de la autopista Cuenca-Azogues, situada inmediatamente ladera arriba del deslizamiento, al sur.

Desde el punto de vista geológico, el deslizamiento se ha producido en una ladera compuesta por coluviones cuaternarios (Qc) y la masa deslizada se extiende hacia el norte hasta la terraza aluvial (Qt₁₋₅) próxima a los ríos Tarqui y Yanuncay (Fig. 1). El coluvial (Qc) está compuesto por materiales procedentes de la ladera empinada situada al suroeste del deslizamiento, es decir, materiales de las Formaciones Turi (MTU) y Mangán (MM). Estos materiales han sufrido poco transporte a través de antiguos procesos de movimiento en masa como deslizamientos, derrumbes o flujos y han quedado depositados al pie de dicha ladera empinada. En el mes de junio 2017 se han tomado dos muestras superficiales de este coluvión y se han realizado ensayos geotécnicos en el Laboratorio de Suelos de la Universidad de Cuenca. La muestra M1, tomada ladera arriba de las cicatrices del deslizamiento (Fig. 1), es una grava con matriz arcillosa con una humedad natural del 25.4% (Fig. 2).

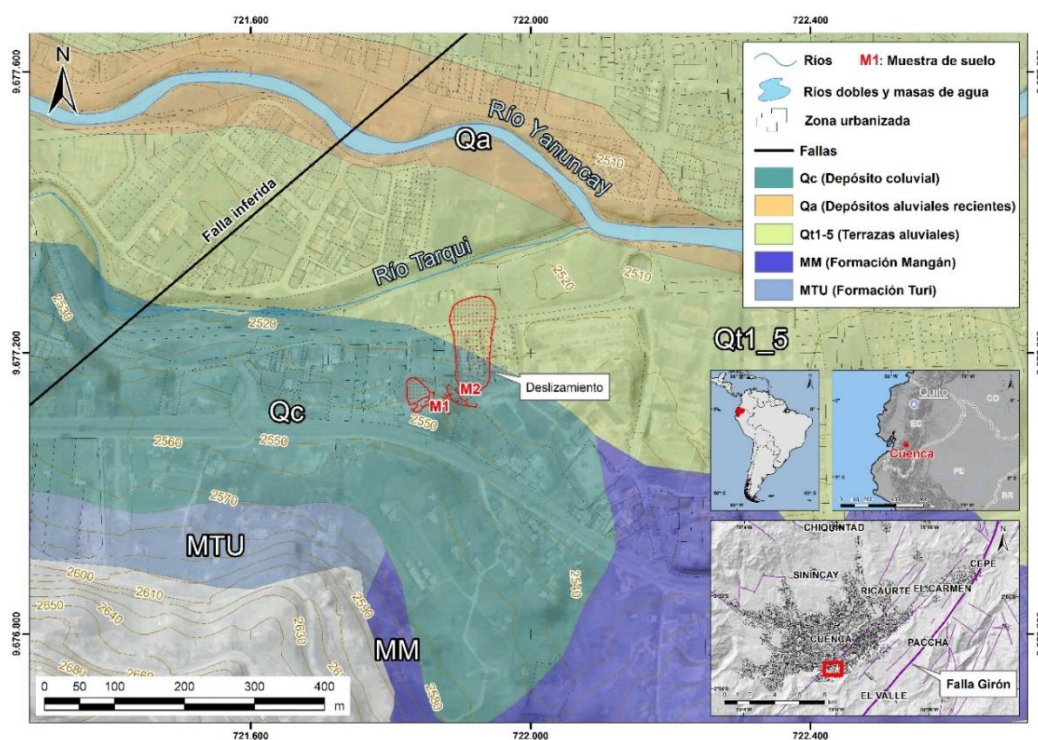


Figura 1. Ubicación y mapa geológico de la zona de estudio. Fuente: Basabe *et al.* (1998).

La muestra M2, tomada justo en el escarpe principal del deslizamiento (Fig. 1), es una arena fina con arcilla con una humedad natural del 8.2% y con algo de expansividad (Fig. 3). La expansión libre fue de 5.8 mm, un 0.24% con respecto al volumen original de la muestra.

El deslizamiento no presenta una cicatriz clara sino varias cicatrices escalonadas que se alinean aproximadamente en forma de herradura, lo cual evidencia que la superficie de deslizamiento en este sector debe ser circular, típico de los deslizamientos rotacionales. La masa deslizada mide unos 130 m de longitud y unos 50 m de ancho (Fig. 1), y avanza de sur a norte por una zona urbana, concretamente a lo largo de la calle 5 de Junio. Todos los edificios y las vías situados sobre la masa deslizada presentan deformaciones en menor o mayor medida. En la parte alta de la masa deslizada los edificios



Limite liquido

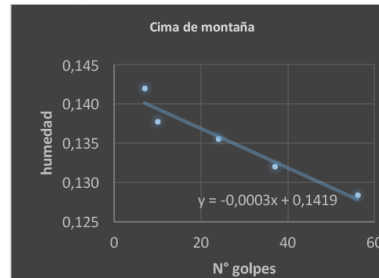
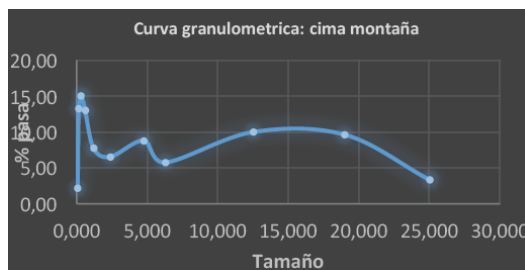


Figura 25. Muestra M1 del coluvión (grava con matriz arcillosa): Lugar de extracción, granulometría y límites de Atterberg.



Limite liquido

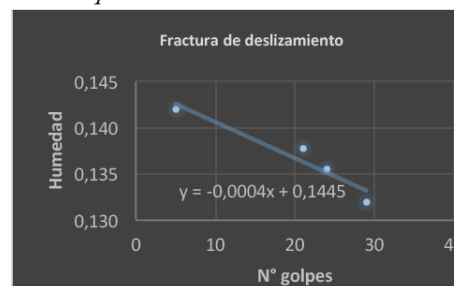
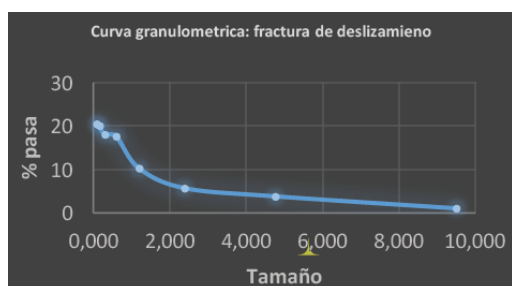


Figura 3. Muestra M2 del coluvión (arena fina y arcilla): Lugar de extracción, granulometría, límites de Atterberg y expansión libre.

presentan fundamentalmente basculamientos y siguen habitados, en la parte media los edificios están totalmente destruidos y deshabitados, y en el pie del deslizamiento los edificios presentan grietas y deformaciones, pero siguen habitados. La Av. 24 de Mayo en este sector final ha experimentado un notable abombamiento (Fig. 4) que ya ha provocado varios accidentes de tráfico.

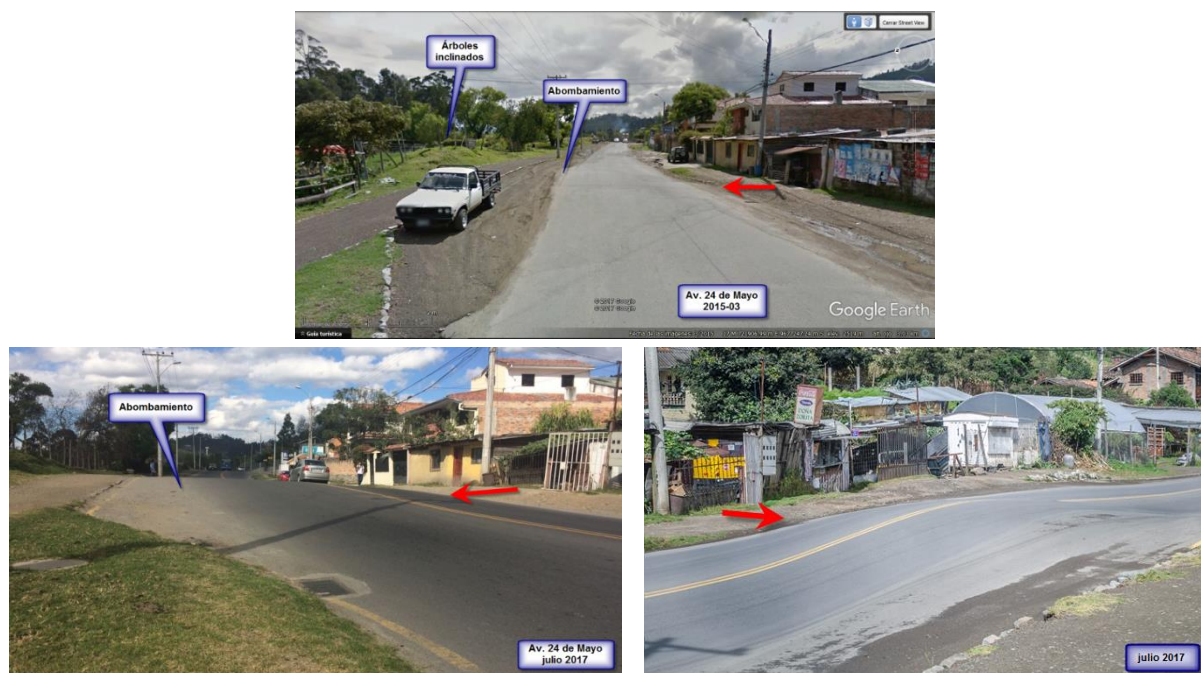


Figura 4. Abombamiento en la Av. 24 de Mayo en marzo de 2015 (arriba) y en julio de 2017 (en medio y abajo). La flecha roja indica el sentido de movimiento de la masa deslizada.

3. METODOLOGÍA

Para conocer la morfología del deslizamiento y su cinética actual, se han llevado a cabo dos levantamientos parciales del deslizamiento con escáner láser terrestre en los meses de junio y julio de 2017. Cada nube de puntos ha sido generada a partir de 11 escaneos parciales unidos entre sí mediante el software Scene. Dichas nubes se han analizado y comparado con los softwares CloudCompare y AutoCAD Civil 3D. Para georreferenciar y comparar ambas nubes de puntos se han utilizado 3 puntos de referencia situados fuera de la zona deslizada y se han generado dos perfiles longitudinales del deslizamiento y uno transversal (Fig. 6).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La unión de escaneos parciales con Scene para formar cada una de las dos nubes de puntos, ha sido satisfactoria. En la Figura 5 se muestran los errores mínimo, máximo y promedio de cada nube de puntos. El bajísimo error fue debido únicamente a las referencias utilizadas para la unión de escaneos (esferas y cartulinas), siendo de 0.9 mm en la nube de junio y 1 mm en la de julio. El error por clinómetro entre escaneo y escaneo fue del 0%.

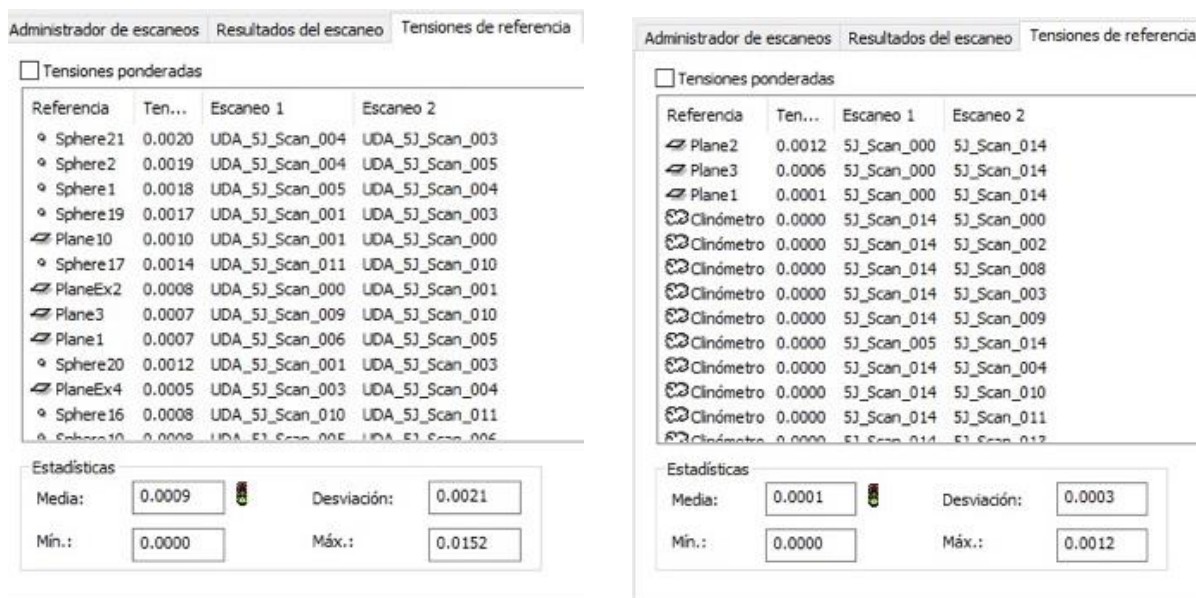


Figura 5. Errores en metros al unir los escaneos de junio (izquierda) y julio (derecha).

La alineación de las dos nubes masivas de puntos procedentes de los escaneos realizados en los meses de junio y julio de 2017, ha revelado que el deslizamiento no se ha movido significativamente durante este corto y seco periodo de tiempo. La Figura 6 muestra la ubicación en planta de los perfiles realizados sobre la masa deslizada. En esta figura, la ortofoto en blanco y negro es la de SIGTIERRAS 2010 y la zona a color corresponde a la nube de puntos RGB obtenida con el LiDAR terrestre en este trabajo. También se puede observar las numerosas cicatrices de deslizamiento en la parte alta de la ladera, al sur.

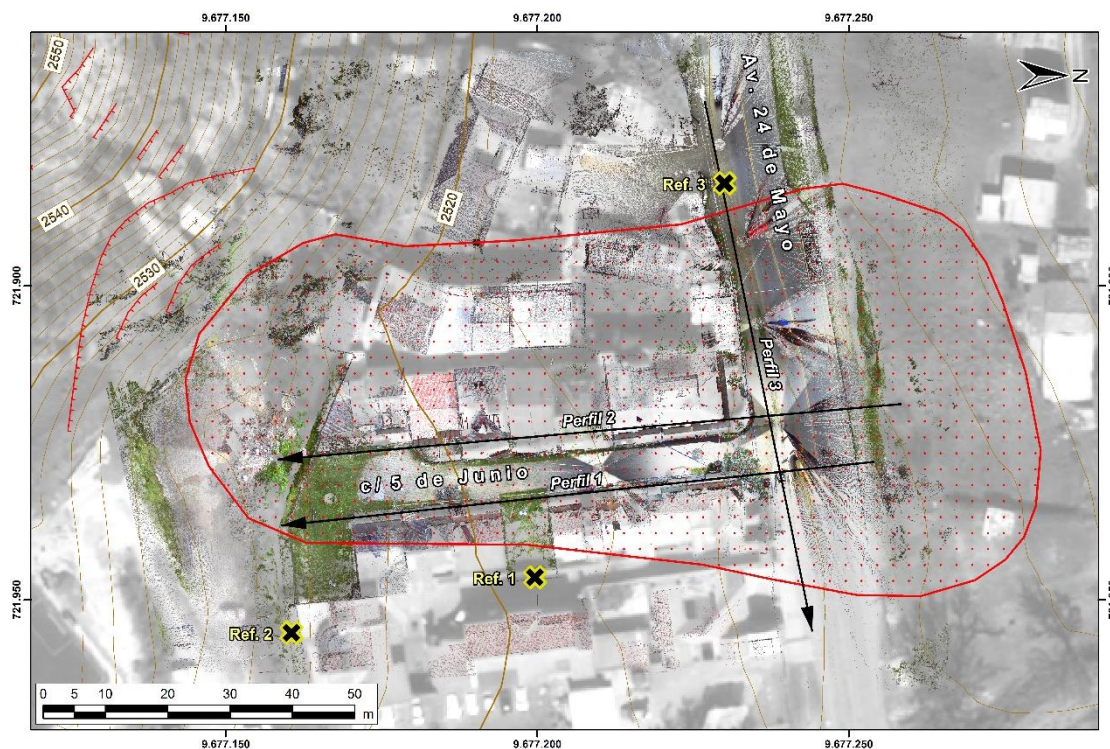


Figura 6. Plano en planta con la ubicación de los perfiles longitudinales (1 y 2) y transversal (3) en la zona escaneada del deslizamiento.

Maskana - Ingeniería Civil

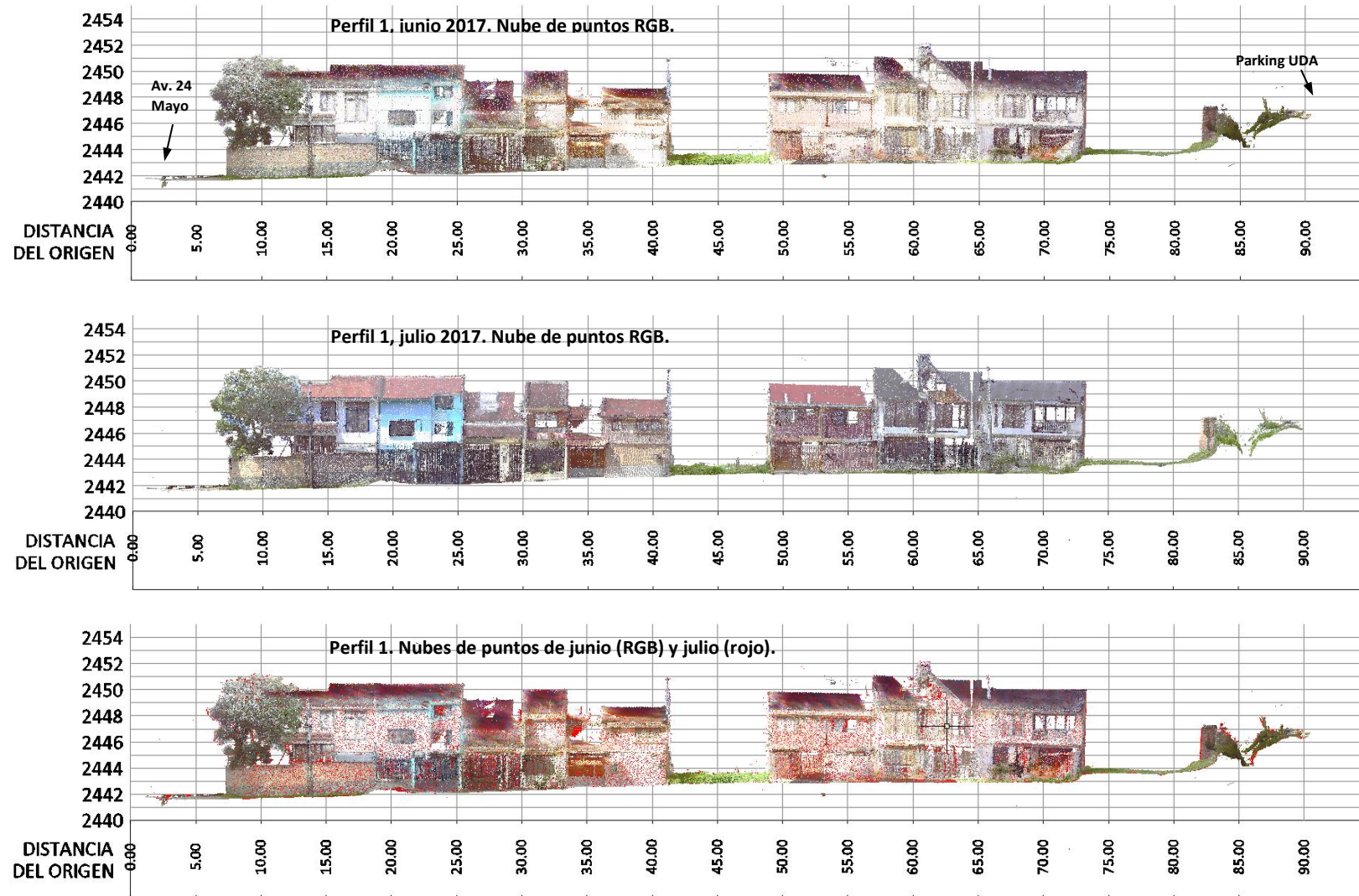


Figura 7. Perfil longitudinal 1 en junio, julio de 2017 y comparación de ambos.

Maskana - Ingeniería Civil

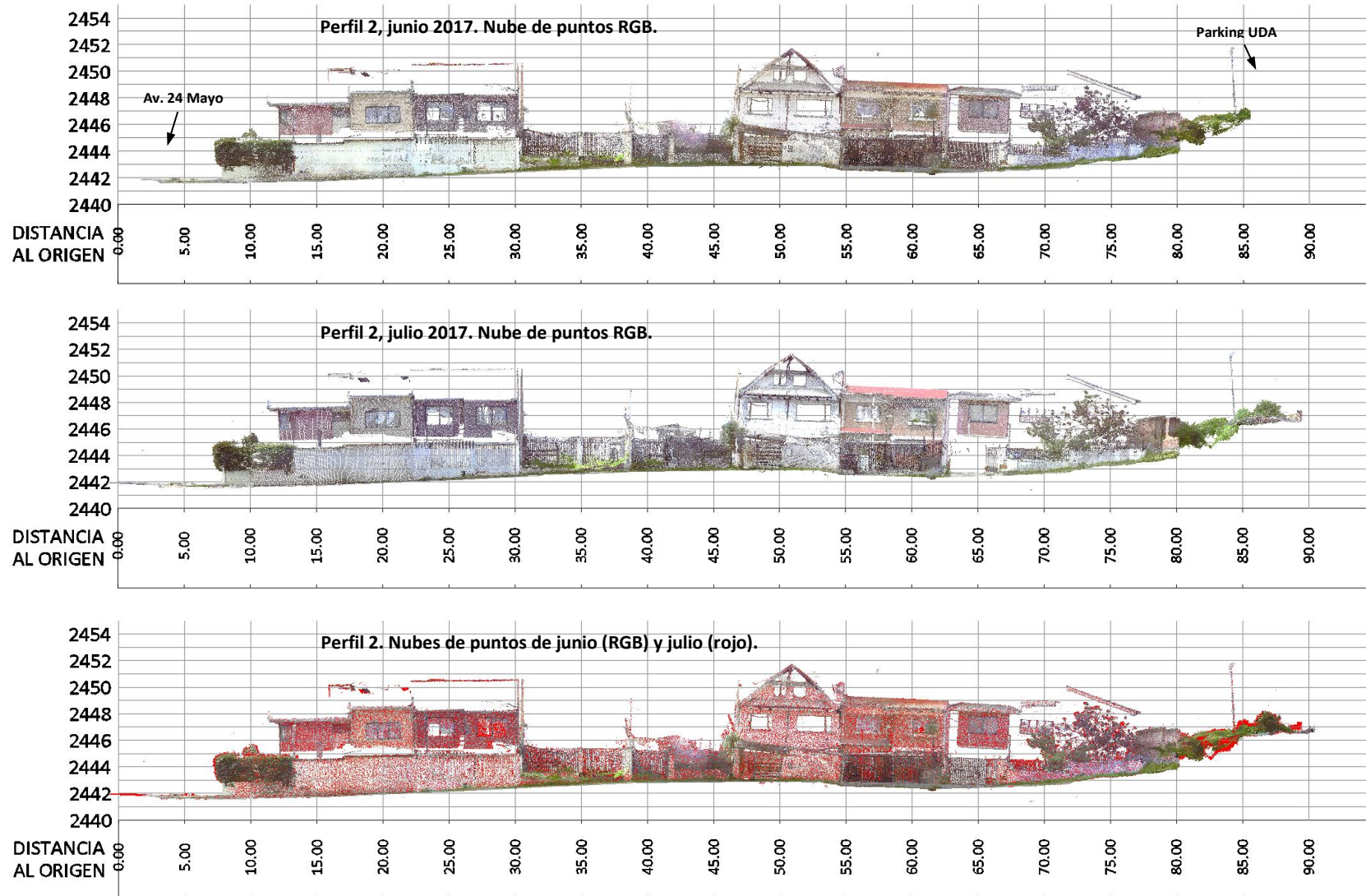


Figura 8. Perfil longitudinal 2 en junio, julio de 2017 y comparación de ambos.

Maskana - Ingeniería Civil

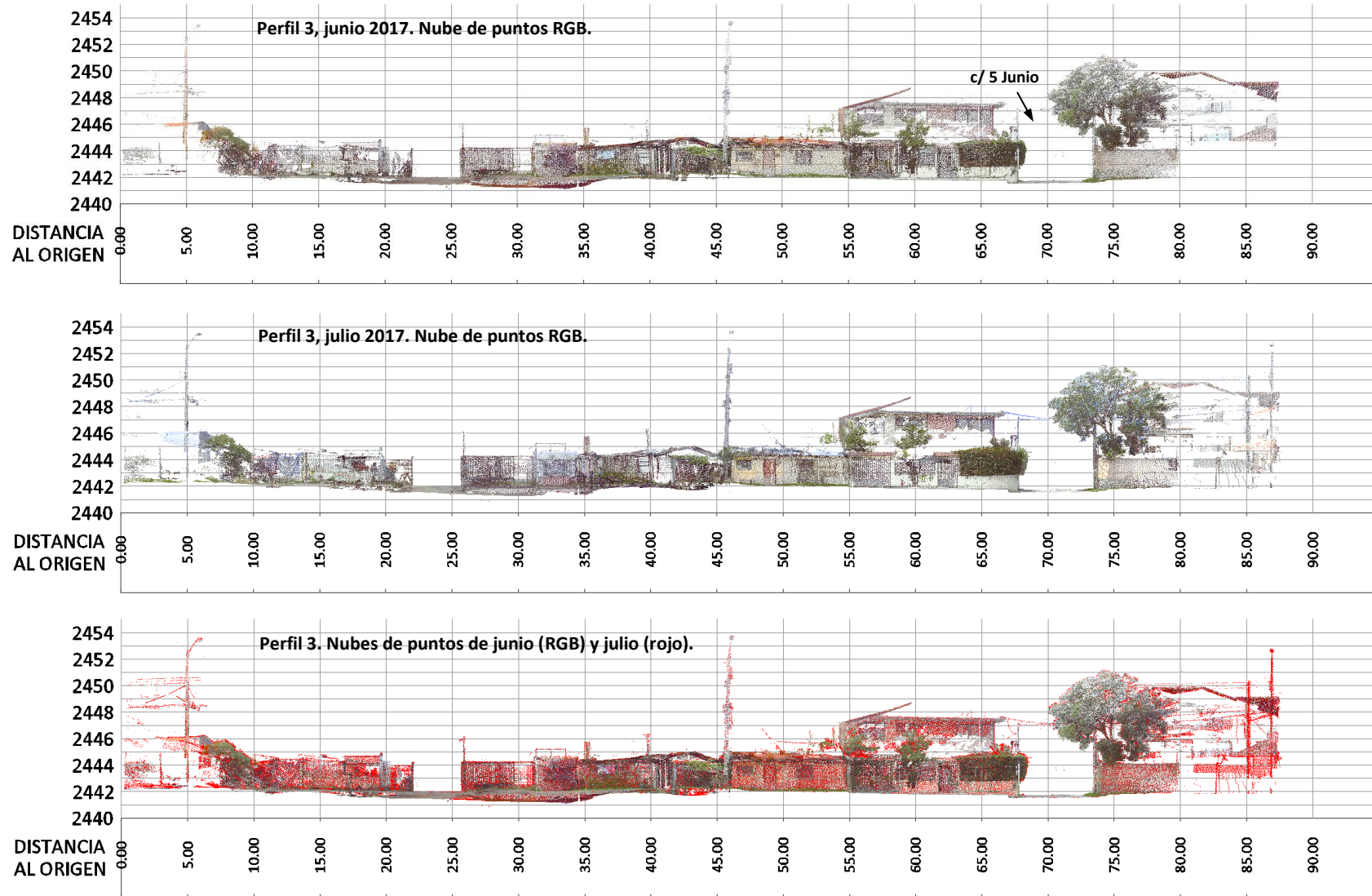


Figura 9. Perfil 3 (transversal) en junio, julio de 2017 y comparación de ambos.

Las Figuras 7, 8 y 9 muestran dichos perfiles en la fecha de junio, julio y la superposición entre ambos. En ninguno de los tres perfiles se aprecian desplazamientos significativos del terreno adoquinado, pavimentado, ni de las fachadas de los edificios. En las zonas de vegetación (puntos de color verde) sí se aprecian desplazamientos, pero muy probablemente no son debidos al deslizamiento sino al viento, crecimiento o poda de dicha vegetación.

Sabemos que los deslizamientos rotacionales se mueven sobre una superficie de rotura curva y cóncava. Si ésta tiene geometría subcircular, la masa que desliza puede desplazarse rotacionalmente sin apenas experimentar deformación interna (Cruden & Varnes, 1996). De hecho, en el Perfil longitudinal 2 (Fig. 8) podemos observar que a partir de la abscisa 50.00 el terreno es cóncavo y las casas simplemente están hundidas y basculadas, pero siguen en pie y con pocos daños. Cuando la superficie de rotura se vuelve paralela a la ladera, el pie de la masa desplazada puede plegarse dando lugar a abombamientos (Walton & Atkinson, 1978). En nuestra zona de estudio, la superficie de rotura se vuelve paralela a la ladera muy probablemente porque alcanza el contacto entre el coluvión y el sustrato duro subyacente de la Formación Turi o Mangán (Fig. 1). Antes de la abscisa 50.00 podemos apreciar este abombamiento o convexidad del terreno que ha causado la destrucción total de al menos tres casas. Según Cruden & Varnes (1996), este comportamiento es especialmente común cuando están involucrados materiales de grano fino no consolidados o con escasa cohesión, como lo son las arenas sobre las que se encuentra esta urbanización. En el Perfil 3, transversal (Fig. 9), también podemos apreciar este abombamiento de la masa deslizada entre las abscisas 35.00 y 70.00, el cual está levantando la carretera (Fig. 4) y provocando accidentes de tránsito a aquellos vehículos que circulan demasiado rápido. Por lo tanto, según el análisis morfológico de la superficie del deslizamiento, el mapa geológico, los ensayos geotécnicos de laboratorio, así como la distribución espacial de daños en las casas y vías, todo parece apuntar a que no estamos frente a un simple deslizamiento rotacional de un coluvión, sino ante un movimiento compuesto de tipo *complex earth slide* o *earth flow*, término recomendado por Cruden & Varnes (1996).

5. CONCLUSIONES

El deslizamiento no se ha movido significativamente en el corto periodo de tiempo monitoreado (junio y julio de 2017). Esto puede deberse al poco margen de tiempo analizado, así como a la ausencia de lluvias y sismos en este periodo. Se intentó escanear en meses anteriores, pero paradójicamente la abundante lluvia lo impidió. Está previsto seguir monitoreando este deslizamiento durante los próximos años como trabajo de los estudiantes de Ingeniería Civil de la Universidad de Cuenca. Además, se pretende incluir una técnica adicional de monitoreo mediante fotogrametría de dron. De esta manera se conseguirá levantar toda la ladera, y no sólo el sector de las dos vías como se presenta en este trabajo.

El análisis morfológico de la superficie del terreno, la distribución espacial de los daños en las casas y las vías, el mapa geológico, así como los resultados de los ensayos geotécnicos de laboratorio, han servido para estimar la forma de la superficie de rotura sin necesidad de hacer caros estudios geofísicos y/o perforaciones. La parte más elevada de la zona deslizada se ha deslizado rotacionalmente sin apenas experimentar deformación interna (Cruden & Varnes, 1996) ni externa. De hecho, las casas de esta zona cóncava del terreno simplemente están hundidas y basculadas, pero siguen en pie y con pocos daños. Sin embargo, en la abscisa 50.00 (Fig. 8) se produce una inflexión en la forma del terreno pasando a convexo o abombado. Y es precisamente a partir de este punto en el que al menos 3 casas han sido totalmente destruidas por el abombamiento. Tal y como apuntan Walton & Atkinson (1978), pensamos que esto puede deberse a que la superficie de rotura se vuelve en este tramo paralela a la ladera porque alcanza el contacto entre el coluvión y el sustrato duro subyacente de la Formación Turi o Mangán. Según Cruden & Varnes (1996), este comportamiento es especialmente común cuando están involucrados materiales de grano fino no consolidados o con escasa cohesión, como lo son las arenas sobre las que se encuentra esta urbanización. Este abombamiento continúa por toda la calle 5 de Junio y atraviesa la Av. 24 de Mayo levantando el pavimento y provocando accidentes a aquellos vehículos que circulan demasiado rápido.

Por lo tanto, todo parece apuntar a que no estamos frente a un simple deslizamiento rotacional de un coluvión, sino ante un movimiento compuesto de tipo *complex earth slide* o *earth flow*, término recomendado por Cruden & Varnes (1996). Esta identificación del tipo de deslizamiento resulta muy útil a la hora de diseñar medidas de mitigación contra el deslizamiento. Un adecuado drenaje subterráneo y superficial de la ladera en épocas de lluvias sería un primer paso para la estabilización de este deslizamiento complejo.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Energía y al Laboratorio de Topografía de la Universidad de Cuenca por el préstamo del escáner láser, así como de los equipos GPS y estación total.

REFERENCIAS

- Angeli, M. G., Pasuto, A., Silvano, S. (2000). A critical review of landslide monitoring experiences. *Engineering Geology*, 55(3), 133-147. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(99\)00122-2](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(99)00122-2)
- Barbarella, M. (2013). Monitoring of large landslides by Terrestrial Laser Scanning techniques: field data collection and processing. *European Journal of Remote Sensing*, 46(1), 126-151. <https://doi.org/10.5721/EuJRS20134608>
- Barbarella, M., Fiani, M., Zollo, C. (2017). Assessment of DEM derived from very high-resolution stereo satellite imagery for geomorphometric analysis. *European Journal of Remote Sensing*, 50(1), 534-549.
- Bardi, F., Raspini, F., Frodella, W., Lombardi, L., Nocentini, M., Gigli, G., ... Casagli, N. (2017). Monitoring the rapid-moving reactivation of earth flows by means of GB-InSAR: The April 2013 Capriglio Landslide (Northern Apennines, Italy). *Remote Sensing*, 9(2), 165. <https://doi.org/10.3390/rs9020165>
- Basabe, P., Neumann, A., Almeida, E., Herrera, B., García, E., Ontaneda, P. (1998). *Prevención de desastres naturales en la Cuenca del Paute--Informe final: Proyecto Precupa*. Swiss Disaster Relief Unit (SDR/CSS), Cuenca, Ecuador.
- Behling, R., Roessner, S. (2017). *Spatiotemporal landslide mapper for large areas using optical satellite time series data*. In: Mikos, M., Tiwari, B., Yin, Y., Sassa, K. (Eds). *Advancing Culture of Living with Landslides*. WLF 2017. Springer, Cham. pp. 143-152.
- Bitelli, G., Dubbini, M., Zanutta, A. (2004). Terrestrial laser scanning and digital photogrammetry techniques to monitor landslide bodies. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 35(B5), 246-251.
- Brabb, E. E., B., Harrod, L. (1989). *Landslides: extent and economic significance*. In: Brabb, E. E., Harrod, B. L. (Eds.). *Proceedings of the 28th International Geological Congress: Symposium on Land Slides*, Washington D.C., US. xiv + 385 p.
- Brückl, E., Brunner, F. K., Kraus, K. (2006). Kinematics of a deep-seated landslide derived from photogrammetric, GPS and geophysical data. *Engineering Geology*, 88(3), 149-159.
- CERESIS (Centro Regional de Sismología de América del Sur). (1985). *Catálogo de terremotos para América del Sur. Programa para la mitigación de los efectos de los terremotos en la Región Andina*. Proyecto SISRA, 1, 14.
- Chen, R. F., Chang, K. J., Angelier, J., Chan, Y. C., Deffontaines, B., Lee, C. T., Lin, M. L. (2006). Topographical changes revealed by high-resolution airborne LiDAR data: The 1999 Tsaoling landslide induced by the Chi-Chi earthquake. *Engineering Geology*, 88(3-4), 160-172. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2006.09.008>

- Colesanti, C., Wasowski, J. (2006). Investigating landslides with space-borne Synthetic Aperture Radar (SAR) interferometry. *Engineering Geology*, 88(3-4), 173-199. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2006.09.013>
- Cruden, D. M., Varnes, D. J. (1996). *Landslides: investigation and mitigation*. Chapter 3-Landslide types and processes. Transportation Research Board Special Report, 247 p.
- Dewitte, O., Jasselette, J. C., Cornet, Y., Van Den Eeckhaut, M., Collignon, A., Poesen, J., Demoulin, A. (2008). Tracking landslide displacements by multi-temporal DTMs: A combined aerial stereophotogrammetric and LIDAR approach in western Belgium. *Engineering Geology*, 99(1-2), 11-22. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.02.006>
- Du, J-C., Teng, H-C. (2007). 3D laser scanning and GPS technology for landslide earthwork volume estimation. *Automation in Construction*, 16(5), 657-663. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2006.11.002>
- Ferrigno, F., Gigli, G., Fanti, R., Intrieri, E., Casagli, N. (2017). GB-InSAR monitoring and observational method for landslide emergency management: The Montaguto earthflow (AV, Italy). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 17(6), 845-860. <https://doi.org/10.5194/nhess-17-845-2017>
- García, A., Hördt, A., Fabian, M. (2010). Landslide monitoring with high resolution tilt measurements at the Dollendorfer Hardt landslide, Germany. *Geomorphology*, 120(1-2), 16-25. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.09.011>
- Gili, J. A., Corominas, J., Rius, J. (2000). Using global positioning system techniques in landslide monitoring. *Engineering Geology*, 55, 167-192.
- González-Zúñiga, J. C. (2010). *Monitorización de deslizamientos de ladera mediante estación total y GPS diferencial. Aplicación al deslizamiento del kilómetro 35+000 de la vía Loja-Cuenca (Ecuador)*, 71 p. Retrieved from <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/handle/28000/1686>
- Herrera, G., Notti, D., García-Davalillo, J. C., Mora, O., Cooksley, G., Sánchez, M., ... Crosetto, M. (2011). Analysis with C- and X-band satellite SAR data of the Portalet landslide area. *Landslides*, 8(2), 195-206. <https://doi.org/10.1007/s10346-010-0239-3>
- Hutchinson, J. H. (1988). Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology, landslides. Conference Paper in *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts*, 26(2), 3-35.
- Jiménez-Pacheco, J. (2002). *Vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de la ciudad de Cuenca mediante técnicas de simulación*. EPN, Quito, Ecuador. 291 p.
- Lin, H., Huang, H., Lv, Y., Du, X., Yi, W. (2016). *Micro-UAV based remote sensing method for monitoring landslides in Three Gorges Reservoir, China*. In: Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2016 IEEE International, pp. 4944-4947.
- Mora, P., Baldi, P., Casula, G., Fabris, M., Ghirotti, M., Mazzini, E., Pesci, A. (2003). Global Positioning Systems and digital photogrammetry for the monitoring of mass movements: application to the Ca'di Malta landslide (northern Apennines, Italy). *Engineering Geology*, 68(1), 103-121.
- Mozas-Calvache, A. T., Pérez-García, J. L., Fernández-Del Castillo, T. (2017). Monitoring of landslide displacements using UAS and control methods based on lines. *Landslides*, 14(6), 2115-2128. <https://doi.org/10.1007/s10346-017-0842-7>
- Niethammer, U., Rothmund, S., James, M. R., Travelletti, J., Joswig, M. (2010). UAV-based remote sensing of landslides. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38(Part 5), 496-501.
- Savvaiddis, P. D. (2003). *Existing landslide monitoring systems and techniques. From Stars to Earth and Culture*. In: Honor of the Memory of Professor Alexandros Tsioumis. The Aristotle University of Thessaloniki, Greece, 242-258.
- Strozzi, T., Farina, P., Corsini, A., Ambrosi, C., Thüring, M., Zilger, J., ... Werner, C. (2005). Survey and monitoring of landslide displacements by means of L-band satellite SAR interferometry. *Landslides*, 2(3), 193-201. <https://doi.org/10.1007/s10346-005-0003-2>

- Stumpf, A., Malet, J-P., Delacourt, C. (2017). Correlation of satellite image time-series for the detection and monitoring of slow-moving landslides. *Remote Sensing of Environment*, 189, 40-55.
- Tarchi, D., Casagli, N., Fanti, R., Leva, D. D., Luzi, G., Pasuto, A., ... Silvano, S. (2003). Landslide monitoring by using ground-based SAR interferometry: An example of application to the Tessina landslide in Italy. *Engineering Geology*, 68(1-2), 15-30. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(02\)00196-5](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(02)00196-5)
- Teza, G., Galgaro, A., Zaltron, N., Genevois, R. (2007). Terrestrial laser scanner to detect landslide displacement fields: a new approach. *International Journal of Remote Sensing*, 28(16), 3425-3446.
- Travelletti, J., Delacourt, C., Allemand, P., Malet, J. P., Schmittbuhl, J., Toussaint, R., Bastard, M. (2012). Correlation of multi-temporal ground-based optical images for landslide monitoring: Application, potential and limitations. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 70, 39-55. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2012.03.007>
- Travelletti, J., Malet, J-P., Delacourt, C. (2014). Image-based correlation of Laser Scanning point cloud time series for landslide monitoring. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 32(0), 1-18. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0303243414000804>
- Uchimura, T., Towhata, I., Anh, T. T. L., Fukuda, J., Bautista, C. J. B., Wang, L., ... Sakai, N. (2010). Simple monitoring method for precaution of landslides watching tilting and water contents on slopes surface. *Landslides*, 7(3), 351-357. <https://doi.org/10.1007/s10346-009-0178-z>
- Ventura, G., Vilardo, G., Terranova, C., Sessa, E. B. (2011). Tracking and evolution of complex active landslides by multi-temporal airborne LiDAR data: The Montaguto landslide (Southern Italy). *Remote Sensing of Environment*, 115(12), 3237-3248. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.07.007>
- Walton, G., Atkinson, T. (1978). Some geotechnical considerations in the planning of surface coal-mines. *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy Section A - Mining Industry*, 87(OCT), A147-A171.