

---

---

## XVI Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica 25, 26 y 27 de Junio de 2014. Alicante.

---

---

### Monitorización de laderas inestables mediante técnicas fotogramétricas a partir de vuelos UAV e históricos

Tomás Fernández<sup>ab\*</sup>, José Luis Pérez<sup>ab</sup>, Andrés López<sup>ab</sup>, José Miguel Gómez<sup>a</sup>,  
Javier Cardenal<sup>ab</sup>, Jorge Delgado<sup>b</sup>

<sup>a</sup> *Grupo Sistemas Fotogramétricos y Topométricos. Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría,  
Universidad de Jaén*

<sup>b</sup> *Centro de Estudios Avanzados en Ciencias de la Tierra, Universidad de Jaén*

---

#### Resumen

Este trabajo presenta una metodología para la monitorización de laderas inestables mediante técnicas fotogramétricas, partiendo de vuelos UAV de muy alta resolución. Para ello se han realizado y analizado cuatro campañas de UAV desde noviembre de 2012 en una zona situada en las inmediaciones de la Guardia (Jaén), y además se ha utilizado un vuelo fotogramétrico previo de la misma zona. Los vuelos UAV se han realizado mediante una plataforma aérea ligera de tipo helicóptero o dron –provisto de GPS, sistema inercial y 8 rotores-, volando a 90 m de altura para cubrir una zona de unos 250 x 100 m con un tamaño de pixel centimétrico (2,5 cm). La orientación de los vuelos UAV se ha llevado a cabo mediante puntos de control medidos sobre el terreno con GPS, mientras que en los vuelos previos se han utilizado los parámetros de orientación directa y puntos de control de segundo orden, extraídos del último vuelo UAV que se toma como referencia. Los MDS de todas las campañas se han obtenido por correlación automática y posteriormente se han calculado los modelos diferenciales, lo que permitió estimar visualmente los cambios de la superficie. Al mismo tiempo se han obtenido las ortofotografías sobre las que se han medido los desplazamientos horizontales y verticales entre puntos relevantes del terreno. Se observan desplazamientos importantes entre algunas campañas (de orden centimétrico en la componente vertical y métrico en la horizontal) y próximos a 0 entre otras. Finalmente, se ha analizado la relación con las lluvias de los últimos años en la zona, encontrándose una correlación temporal significativa entre ambos fenómenos.

---

\* *E-mail:* tfernand@ujaen.es.

Palabras clave: UAV, fotogrametría, monitorización, ladera inestable, vuelos históricos, La Guardia (Jaén)

## 1. Introducción

El empleo de las técnicas fotogramétricas en el estudio de movimientos de ladera y, especialmente, en el seguimiento de su evolución, está cada vez más extendido (Walstra et al., 2004; Brückl et al., 2006; Cardenal et al., 2006; DeWitte et al., 2008; Corsini et al., 2009; Kasperki et al., 2010; Prokesova et al., 2010; Fernández et al., 2011). En estos estudios, la orientación de los vuelos está basada en técnicas de aerotriangulación y ajuste de bloques, utilizando un reducido número de puntos de control capturados con GPS. Una vez orientados los vuelos, se obtienen los MDT o MDS por correlación automática, y a partir de ahí, se pueden abordar aproximaciones de tipo cuantitativo como la obtención de modelos diferenciales entre campañas, perfiles topográficos, cálculos volumétricos y vectores 3D de desplazamiento, así como observaciones de tipo cualitativo para la caracterización de los movimientos.

Por su parte, los vehículos aéreos no tripulados (UAV), que comenzaron a utilizarse en usos militares, han ido ampliando sus campos de aplicación al ámbito civil, como en agricultura de precisión, protección civil e incendios, y últimamente en la ingeniería, el medio ambiente o los movimientos de ladera (Gong et al., 2010; Lin et al., 2010; Liu et al., 2011; Niethammer et al., 2012; Stumpf et al., 2013).

En este trabajo se ha empleado un UAV para capturar información del terreno de forma rápida al tiempo que de gran precisión y resolución. A partir de las fotografías capturadas y los modelos estereoscópicos obtenidos se puede observar con detalle los rasgos del terreno, así como elaborar modelos digitales de superficie y ortofotografías. Comparando los datos de varias campañas y un vuelo fotogramétrico previo, se puede estudiar la evolución de un flujo de tierras y avanzar datos sobre su actividad (WP/WPL, 1993).

## 2. Zona de estudio y movimientos de ladera

La zona se localiza en el término municipal de La Guardia de Jaén (Fig. 1), en una ladera sobre la autovía A-44, que presenta un gran número de evidencias de movimientos de ladera (Fernández et al., 2012 b).

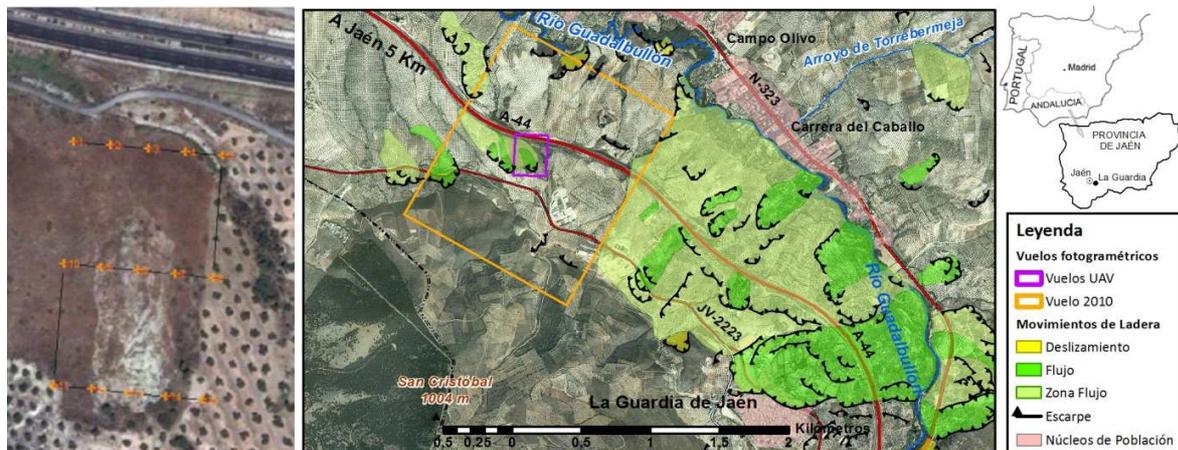


Fig. 1. (a) Izquierda: Planificación del vuelo UAV; (b) Localización de la zona y distribución de los vuelos.

La mayor parte de los mismos corresponden a flujos de barro (Varnes, 1978) (Fig. 2), aunque también aparecen deslizamientos. Todos ellos se encuentran situados sobre las denominadas Unidades del Guadalquivir en los que predominan según los sectores: evaporitas y lutitas del Triásico, margas y arcillas del Cretácico-Paleógeno de afinidad subbética, o sedimentos margosos-arcillosos del Mioceno Inferior de la cuenca del Guadalquivir.

En esta zona, las Unidades del Guadalquivir se encuentran cabalgadas por las Unidades Intermedias Béticas, representadas por potentes series de calizas tableadas del Jurásico Medio (Navarro et al., 2012), que forman un relieve prominente (Sanchez Gómez et al., 2008). Dicho cabalgamiento está cortado por fallas normales y está jalonado por abanicos aluviales, pies de ladera y travertinos, asociados a surgencias al pie de las calizas jurásicas. En el caso estudiado, sobre las arcillas y margas deslizadas, se observan costras travertínicas de varios decímetros evidenciando una surgencia de agua de forma más o menos continua.

### 3. Metodología

La metodología desarrollada está basada en las técnicas de fotogrametría digital, empleadas en anteriores trabajos (Cardenal et al., 2006; Fernández et al., 2011), aunque con variantes específicas del empleo de UAV. Se puede resumir en los siguientes pasos:

1. Adquisición de los datos: planificación y ejecución del vuelo UAV.
2. Georreferenciación y orientación de los vuelos.
3. Obtención de los MDE y las ortofotografías.
4. Comparación entre las campañas de observación.

#### 3.1. Adquisición de los datos: planificación y ejecución del vuelo UAV

Para el estudio, se ha dispuesto de cuatro vuelos de alta resolución y precisión, realizados con un UAV entre noviembre de 2012 y marzo de 2014, y uno previo, combinado de cámara y LiDAR, correspondiente a mayo de 2010. Las características de los vuelos se muestran en la Tabla 1 y su distribución en la Fig. 1.



Fig. 2. Movimiento de ladera estudiado.

Tabla 1. Propiedades de los conjuntos de datos y vuelos fotogramétricos

Campaña	Bandas	Formato	Pixel terreno	LiDAR
Marzo 2014	RGB	Digital	0,03 m	No
Noviembre 2013	RGB	Digital	0,03 m	No
Marzo 2013	RGB	Digital	0,03 m	No
Noviembre 2012	RGB	Digital	0,03 m	No
Mayo 2012	RGB-NIR	Digital	0,20 m	Si

Los vuelos se han realizado con un UAV ligero de tipo helicóptero o drone, concretamente el modelo Falcon 8 de ASTEC, provisto de GPS, sistema inercial (IMU) y 8 rotores, lo que permite una adecuada estabilización en el aire (Fig. 3). Se controla remotamente con una estación móvil de campo, aunque el vuelo puede ser programado con un sistema de navegación por coordenadas (way point navigation). Tiene un peso de unos 2,2 Kg e incorpora una carga de hasta 750 g, incluyendo las baterías y la cámara fotográfica, en este caso una Sony Nex-5N (14,2 mp). La autonomía de vuelo es de hasta 20 minutos.



Fig. 3. UAV modelo Falcon 8 de ASTEC

La planificación del vuelo se ha realizado mediante el software de navegación adquirido junto a la plataforma ASTEC Falcon 8. A partir de los parámetros suministrados (altura y ángulo de observación, número de pasadas, disparos por pasada, solapamientos y punto de inicio) la planificación del vuelo se almacena en un archivo KML (Fig. 1). En este caso, para cubrir una zona de unos 250 x 100 m con un tamaño de 2,5 cm se hace necesario volar a unos 90 m, lo que produce en general unas 15 fotografías distribuidas en 3 pasadas transversales al movimiento, para evitar diferencias de altura excesivas en cada una.

Por su parte, el vuelo de 2010 combina una cámara digital (Z/I DMC) y un sensor LiDAR (Leica ALS50-II), con sistema inercial GPS/IMU para la orientación directa del vuelo, que proporciona un pixel de 20 cm.

### 3.2. Georreferenciación y orientación de los vuelos

Para la orientación del vuelo UAV ha sido necesario levantar una serie de puntos de apoyo fotogramétrico, repartidos por la zona de trabajo. Los puntos se han materializado sobre el terreno mediante unas dianas, perfectamente identificables en las fotografías, y han sido medidos mediante GPS diferencial, alcanzado una precisión centimétrica (Fig. 4).

A partir de estos puntos de apoyo y una serie de puntos de paso se ha orientado el vuelo, mediante un proceso de aerotriangulación y ajuste de bloques por haces, mediante una estación fotogramétrica digital y el software PhotoScan. Globalmente el error planimétrico en los distintos vuelos es inferior a 2 cm y el error altimétrico a 1 cm, lo que permite medir desplazamientos de elementos del terreno y modificaciones de la superficie del mismo, de orden centimétrico.



Fig. 4. Medida de los puntos de apoyo mediante posicionamiento GPS

Por su parte, el vuelo de 2010 se ha orientado a partir de los parámetros de orientación directa y una serie de puntos de control de segundo orden extraídos del último vuelo UAV, lo que ha permitido ajustar todos los vuelos en el mismo sistema de referencia. Los errores de este proceso y los propagados de la orientación del vuelo de referencia son ahora algo superiores, de carácter decimétrico, aunque con una precisión suficiente para medir desplazamientos en el flujo estudiado, como se verá.

### 3.3. Obtención de los MDS y las ortofotografías

Los modelos digitales de superficie (MDS) de todos los vuelos (UAV y 2010), se han obtenido por correlación automática (matching) a partir de los modelos estereoscópicos orientados, utilizando las herramientas del software PhotoScan (Fig. 5). En este caso, a diferencia de lo que se ha hecho en trabajos anteriores (Fernández et al., 2013), se va a trabajar con los MDS y no se van a obtener los modelos digitales del terreno (MDT) ya que la zona presenta una alta densidad de vegetación –matorral que ha crecido intensamente en el último año a consecuencia de las lluvias-, por lo que los MDT no se pueden obtener con fiabilidad ni por técnicas automáticas (filtrado), ni por edición de los modelos en el software fotogramétrico,

que por otra parte consumirían una gran cantidad de tiempo no justificada. La resolución de los MDS es de 0,1 m para los vuelos UAV de 2012 y 0,5 m para el vuelo de 2010.

Las ortofotografías (Fig. 6) se han obtenido igualmente a partir de los modelos, mediante las herramientas correspondientes del software indicado antes. Las ortofotografías del vuelo UAV se han elaborado con una resolución de 2,5 cm, y las del vuelo de 2010 con una resolución de 25 cm, superiores al error planimétrico.

#### 3.4. Comparación entre las campañas de observación

La comparación entre las campañas de observación ha sido hecha en este trabajo partiendo de los productos descritos anteriormente. Sobre las ortofotografías se han realizado medidas de desplazamiento entre objetos relevantes identificados en ellas, que corresponden a matorrales, senderos o piedras (Fig. 6). Para ello se cargan cada vez las ortofotografías de dos campañas consecutivas sobre el MDS en el software Socet Set, por lo que las medidas de las coordenadas de los puntos relevantes y los desplazamientos entre cada dos campañas se determinan en 3D. Como consecuencia de esta forma de trabajar, la precisión de la componente horizontal del desplazamiento está bastante ajustada, mientras en que la componente vertical –a pesar de realizar las medidas cuidadosamente sobre la base del matorral, es decir, lo más próximas al terreno- la precisión no está tan asegurada. Los modelos diferenciales se han obtenido sólo para realizar observaciones cualitativas y no para cálculos cuantitativos como en otros trabajos (Fernández et al., 2012, 2013) ya que como se ha dicho no es posible obtener MDT fiables y la comparación entre MDS solo es válida en las zonas sin matorral, mientras que en las zonas cubiertas las diferencias pueden deberse más a cambios en éste.

### 4. Resultados y discusión

Como resultados preliminares, se pueden destacar en primer lugar algunos aspectos de carácter cualitativo. A partir de las Fig. 5 y 6 se observa un movimiento de tipo flujo con un escarpe trasero bien desarrollado de unos 2-3 metros con numerosas grietas y en algún caso hondonadas donde se acumula agua. La coronación presenta una forma semicircular, con ciertas evidencias de crecimiento remontante; a la coronación la suceden lateralmente dos flancos en los que se observa un ascenso de la superficie del terreno. La masa o cuerpo principal, cuyo espesor estimado es bastante reducido, se encuentra bastante desorganizada, con abundantes grietas transversales, que termina en un pie bien desarrollado.

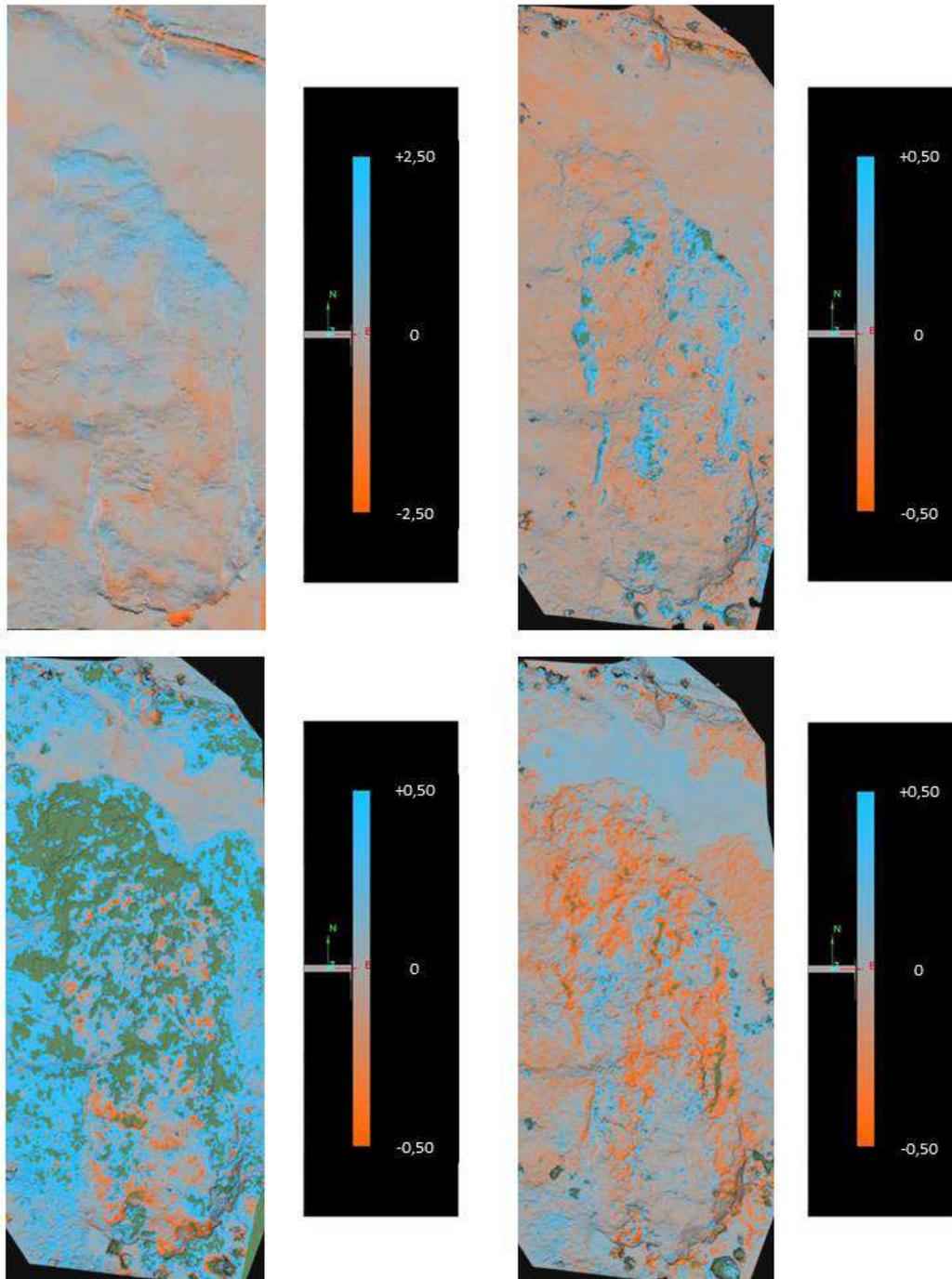


Fig. 5. Evolución del movimiento: en naranja, zonas donde el MDS desciende (depresión); en azul, zonas donde el MDS asciende (acumulación o crecimiento de vegetación); en verde, zonas con cambios fuera de rango (crecimiento intenso de vegetación). A: Mayo 2010-Noviembre 2012; B: Noviembre 2012- Marzo 2013; C: Marzo 2013- Noviembre 2013; D: Noviembre 2013-Marzo 2014

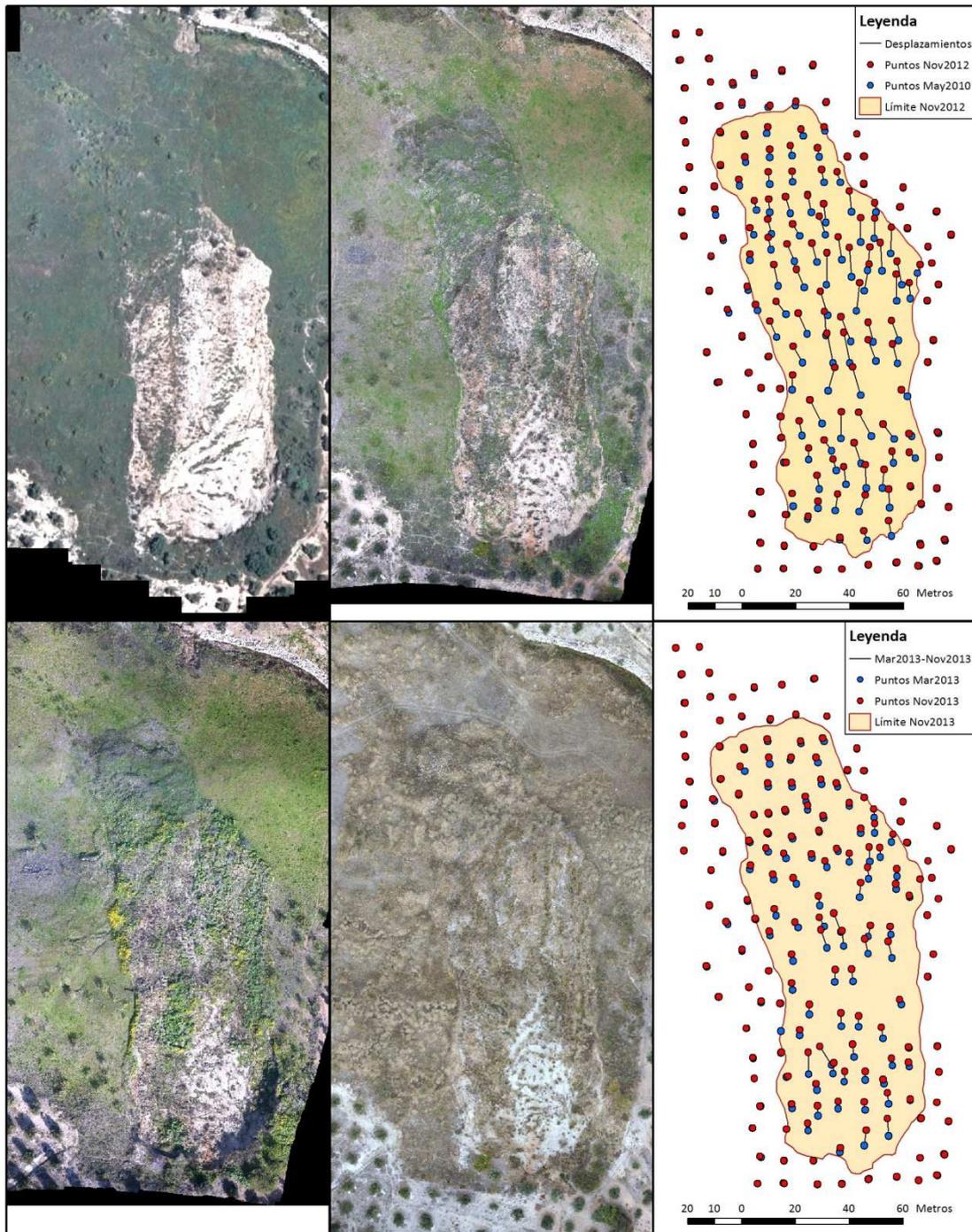


Fig. 6. Ortofotografías y desplazamientos horizontales. A: Vuelo May-2010; B: Vuelo Nov-2012; C: Vectores de desplazamiento entre May-2012 y Nov-2013; D: Vuelo Mar-2013; E: Vuelo Nov-2013; F: Vectores de desplazamiento entre Mar-2013 y Nov-2013

La comparación entre MDS muestra una cierta evolución entre 2010 y marzo de 2014 y las características zonas de depresión en la cabecera y acumulación en el pie, que se pueden ser observadas a pesar de los cambios en la vegetación entre las distintas campañas. No obstante, esta evolución se limita a una cierta retracción del talud ladera arriba con cambios de orden métrico entre las superficies; por su parte, en la masa se observan pequeños descensos de orden centimétrico en la zona cercana a la cabecera y pequeños ascensos de magnitud decimétrica en la zona de acumulación en el pie y los flancos (Fig. 5).

El análisis de las ortofotografías (Fig. 6) permite detectar desplazamientos horizontales de orden métrico entre 2010 y 2014 medidos en puntos relevantes de la masa (Tabla 2), aunque los movimientos se han producido de forma discontinua. La evolución de la masa siguiendo la inclinación general de la ladera en una dirección cercana a la N-S, aunque en la parte del pie gira levemente hacia el NW. Igualmente, se observa una cierta dispersión de los vectores de desplazamiento en la zona central, característicos de una masa que fluye de una forma caótica. Los mayores desplazamientos absolutos se observan en el primer periodo considerado – el más largo por otra parte- entre 2012 y noviembre de 2014 con 5,66 m de media, siendo la tasa media de 2,26 m/año. A continuación se observa un periodo de inactividad con desplazamientos prácticamente nulos hasta marzo de 2013, tras el que se inicia una fase de reactivación con las mayores tasas de desplazamiento medio de 4,47 m/año hasta la observación de noviembre de 2013. Por último, se alcanza un nuevo periodo de estabilidad entre noviembre de 2014 y marzo de 2014.

Por su parte, los datos climatológicos de la estación de la Universidad de Jaén próximos a la zona de estudio indican que el año hidrológico 2009-2010 –previo al vuelo de 2010- fue bastante lluvioso, con intensas precipitaciones durante los meses de diciembre a marzo en los que el registro superó los 500 mm (un 230% respecto al valor medio). Desde la fecha de ese vuelo hasta noviembre de 2012, se han producido dos episodios lluviosos en los otoños de 2010 y 2012, respectivamente: en el primero de ellos se produjo una precipitación acumulada de 415 mm entre septiembre y diciembre (un 190% respecto al valor medio); en el segundo, en el ciclo 2012-2013, se ha registrado una precipitación acumulada de septiembre a noviembre de 283 mm (un 198% superior a la media). Tras estas intensas precipitaciones, y después del primer vuelo UAV, los meses de diciembre y enero fueron menos húmedos, con valores por debajo de la media, aunque a partir de febrero hasta abril se registraron de nuevo lluvias intensas de hasta 265 mm (un 279% sobre el valor medio). Por último, el ciclo de 2013-14 se inició bastante seco, aunque de diciembre a febrero las precipitaciones han estado por encima de la media (120%).

Tabla 2. Desplazamientos medios de los puntos relevantes entre las campañas de observación

Periodo	Desplazamientos Horizontales			Desplazam. Verticales	
	Absolutos	Relativos	Dirección	Absolutos	Relativos
Nov2013-Mar2014	0,08	0,24	355,34	-0,03	-0,09
Mar2013-Nov2013	2,95	4,47	352,12	-0,22	-0,34
Nov2012-Mar2013	0,10	0,30	356,22	-0,04	-0,11
May2012-Nov2012	5,66	2,26	350,63	-1,71	-0,69

A partir de los datos de desplazamientos y las precipitaciones, se extraen una serie de consideraciones:

- Se observa un flujo bien desarrollado en una zona de inestabilidad general con un contexto geológico susceptible a estos movimientos, con materiales margosos-arcillosos cabalgados por un paquete de rocas carbonatadas que aportan agua de forma inmediata en épocas de lluvia (fuentes y travertinos).

- El flujo actual se genera antes de mayo de 2010, probablemente en ese mismo año, ya que existen ortofotografías de fechas anteriores –concretamente la del PNOA, correspondiente a 2009- en las que, aun existiendo ciertas evidencias de inestabilidad, no se observa ni la masa ni el escarpe actual. En ese mismo se originaron numerosos fenómenos de inestabilidad de laderas en la región (Fernández et al., 2012 a y b).
- Tras esta fecha, la siguiente imagen precisa del movimiento es la de noviembre de 2012, en la que se han podido medir desplazamientos importantes, aunque la observación de la ortofotografía del PNOA de 2011 –de menor resolución- sugiere que la mayor parte del desplazamiento se produce en el otoño de 2010, en relación con las lluvias de este periodo.
- Entre noviembre de 2012 y marzo de 2013 no se observan cambios importantes, aunque el proceso se reactiva entre marzo y noviembre de 2013, muy probablemente como consecuencia de las lluvias de marzo-abril de ese año, más que en el otoño de 2013 que fue bastante seco. De hecho y aunque a partir de diciembre comenzó un nuevo periodo de lluvias, no se observa actividad entre noviembre de 2013 y marzo de 2014.
- En conjunto, el flujo se puede considerar como activo o suspendido (WP/WPL, 1993), aunque los datos de los vuelos UAV, así como de las ortofotografías de menor resolución sugiere una evolución diacrónica del proceso (Chacón et al., 2010).

## 5. Conclusiones

El empleo de las plataformas o vehículos aéreos no tripulados (UAV) son un medio muy útil para levantamientos rápidos a la vez que de gran precisión y resolución de zonas de dimensiones hectométricas, y aún kilométricas. Hasta ahora han sido utilizados en el ámbito civil, en agricultura de precisión y protección civil, pero está comenzando a aplicarse en ingeniería y, más concretamente, en estudios de inestabilidad de laderas, y también en taludes inclinados, debido a la posibilidad de realizar fotografías oblicuas.

En este sentido, equipos ligeros como el utilizado en este trabajo resultan muy adecuados para actualizaciones y estudios evolutivos de movimientos de ladera, ya que permiten trabajar a una escala intermedia entre las técnicas terrestres (GPS, topografía clásica, TLS, fotogrametría terrestre...) y las aéreas (fotogrametría, LiDAR...). En esta escala se pueden observar todavía rasgos morfológicos con bastante detalle, al tiempo que se abarcan zonas relativamente amplias. Estos equipos ligeros son muy ágiles y sencillos de manejar, frente a otros equipos más pesados, pudiendo realizarse campañas en unas pocas horas de trabajo, incluyendo la georreferenciación de los puntos de apoyo. A medida que estos equipos vayan incorporando distintos sensores (cámaras infrarrojas, LiDAR, Radar, etc.), su potencialidad irá en aumento.

Respecto a los resultados obtenidos en este trabajo destaca la caracterización de un movimiento de ladera de tipo flujo y sus rasgos morfológicos en una ladera de dimensiones hectométricas, junto al estudio evolutivo a través de la medida de los desplazamientos horizontales y verticales de puntos relevantes en la ortofotografía. Tanto los modelos como la ortofotografías han sido obtenidos a partir de las fotografías aéreas de la campaña UAV y un vuelo fotogramétrico anterior, empleando para ello una metodología basada en la orientación de los vuelos mediante técnicas fotogramétricas y en la correlación automática (matching) entre los fotogramas de los modelos estereoscópicos.

Se han podido medir desplazamientos verticales de orden centimétrico y horizontales de orden métrico entre algunas de las campañas UAV y el vuelo previo de 2010. Estos desplazamientos se han relacionado con las lluvias que se han producido en la región entre ambas campañas de observación.

Las mejoras del trabajo pasan en primer lugar por la utilización de más campañas UAV para el seguimiento de la evolución futura del movimiento, en caso de ser necesario, al tiempo que de otros vuelos previos disponibles, que permitan reconstruir su historia pasada y relacionar todo ello con el régimen de precipitaciones en la zona. De igual manera deberán incorporarse otros sensores que permitan completar la información en el ámbito espectral (cámaras con sensores de infrarrojo próximo y térmico) o geométrico (LiDAR y Radar), e incluso sensores terrestres (lluvias, humedad, movimiento) en redes inalámbricas (WSN). Otras líneas de interés son la cartografía de rasgos morfológicos como las grietas o los límites del movimiento, o la medida de vectores de desplazamiento 3D, que permitan una mejor comprensión de la cinemática del movimiento.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos ISTECEO RNM-06862 (Plan Andaluz de Investigación) y RICMI de la Corporación Tecnológica de Andalucía, así como el Grupo de Investigación PAIDI TEP-213.

## Referencias

- Brückl, E., Brunner, F.K. and Kraus, K. (2006). Kinematics of a deep-seated landslide derived from photogrammetric, GPS and geophysical data. *Engineering Geology*, 88: 149–159.
- Cardenal, J., Delgado, J., Mata, E., González, A. and Olague, I. (2006). Use of historical flight for land-slide monitoring. *Proceedings of Spatial Accuracy 2006*, Lisbonne, Portugal, 129-138.
- Chacón, J., Irigaray, C., El Hamdouni, R. and Jiménez, J.D. (2010). Diachroneity of land-slides. In: *Geologically Active - Williams et al.* (eds) © 2010 Taylor & Francis Group, London, 999-1006.
- Corsini, A., Borgatti, L., Cervi, F., Dahne, A., Ronchetti, F. and Sterzai, P. (2009). Estimating mass-wasting processes in active earth slides-Earth flows with time-series of High-Resolution DEMs from photogrammetry and airborne LiDAR. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 9: 433–439.
- Dewitte, O., Jasselette, J.C., Cornet, Y., Van Den Eeckhaut, M., Collignon, A., Poesen, J. and Demoulin, A. (2008). Tracking landslide displacement by multi-temporal DTMs: a combined aerial stereophotogrammetric and LiDAR approach in Belgium. *Eng. Geology*, 99, 11-22.
- Fernández, T., Pérez, J.L., Delgado, J., Cardenal, J., Irigaray, C. and Chacón, J. (2011). Evolution of a diachronic landslide by comparison between different DEMs obtained from digital photo-grammetry techniques in las Alpujarras, GI4DM, Antalya, Turkey.
- Fernández, T.; Jiménez, J.; Delgado, J.; Cardenal, F.J.; Pérez, J.L.; El Hamdouni, R.; Irigaray, C.; Chacón, J. (2012 a). Methodology for Landslide Susceptibility and Hazard Mapping Using GIS and SDI. *Intelligent systems for crisis management*, Springer, pp. 185-198.
- Fernández, T.; Sánchez, M.; García, F. y Pérez, F. (2012 b). Cartografía de movimientos de ladera en el frente montañoso de la Cordillera Bética en el sector de Jaén. VIII Congreso Geológico de España, Oviedo.
- Fernández, T.; Pérez, J.L.; Arenas, A., Gómez, J.M.; Sánchez, M.; Cardenal, F.J.; Delgado, J. y Pérez, A. (2013). Empleo de una plataforma aérea ligera no tripulada (UAV) y técnicas fotogramétricas para el estudio de una zona inestable en la Guardia de Jaén. En: J. Alonso, J. Corominas y M. Hürlimann (eds.), VIII Simp. Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables, Palma de Mallorca.
- Gong, J., Wang, D., Li, Y., Zhang, L., Yue, Y., Zhou, J. and Song, Y. (2010). Earthquake-induced geological hazards detection under hierarchical stripping classification framework in the Beichuan area. *Landslides*, 7, 181–189.
- Kasperski, J., Delacourt, C., Allemand, P. and Potherat, P. (2010). Evolution of the Sedrun landslide (Graubünden, Switzerland) with ortho-rectified air images. *Bull.Eng.Geol.Env.*, 69:421-430.
- Lin, J., Tao, H.P. and Huang, Z. (2010). Practical Application of Unmanned Aerial Vehicles for Mountain Hazards Survey. 18th International Conference on Geoinformatics.
- Liu, C., Li, W., Lei, W., Liu, L. and Wu, H. (2011). Architecture Planning and Geo-Disasters Assessment Mapping of Landslide by Using Airborne LiDAR data and UAV images. *The 17th China Conference on Remote Sensing*, edited by Q.Tong, X. Gu, B.Zhu, Proc.of SPIE Vol. 8286.
- Niethammer, U., James, M.R., Rothmund, S., Travelletti, J. and Joswig, M. (2012). UAV-based remote sensing of the Super-Sauze landslide: Evaluation and results. *Engineering Geology*, 128, 2–11.

- Prokešová, R., Kardoš, M. and Medved'ová A. (2010). Landslide dynamics from high-resolution aerial photographs: A case study from W Carpathians, Slovakia. *Geomorphology*, 115: 90–101.
- Sánchez-Gómez, M., Peláez, J.A., García-Tortosa F. J., Torcal, F., Soler, P. y Ureña, M.A. (2008). Aproximación geológica, geofísica y geomorfológica a la actividad tectónica en el valle del alto Guadalquivir. En: 6ª Asamblea Hispano Portuguesa de Geodesia y Geofísica, Tomar, Portugal.
- Stumpf, A., Malet, J.-P., Kerle, N., Niethammer, U. and Rothmund, S. (2013). Image-based mapping of surface fissures for the investigation of landslide dynamics. *Geomorphology*, 186, 12-27.
- Varnes, D.J. (1978). Slope movement, types and processes. Schuster R.L. & Krizek R.J. (editors), *Landslides: Analysis and Control*, Transportation Research Board Special Report, National Academy of Sciences, Washington D.C., 176: 12-33
- Walstra, J., Chandler, J.H., Dixon, N. and Dijkstra, T.A. (2004). Time for Change - Quantifying Land-slide Evolution Using Historical Aerial Photographs and Modern Photo-grammetric Methods. *Intern. Arc. Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sc.* XXXV: 475-480.
- WP/WLI (1993). A Suggested Method for Describing the Activity of a Landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, No.47, pp.53-57.