

Bartomeu Darder i Pericàs como testigo y cronista del deslizamiento de Es Marroigs en 1924 (Mallorca). Análisis desde la perspectiva actual

R. M. Mateos⁽¹⁾, I. García-Moreno⁽²⁾, G. Herrera⁽³⁾, F. J. Roldán⁽¹⁾ y E. Palmer⁽²⁾

(1) Instituto Geológico y Minero de España. Urb. Alcázar del Genil, 4. Edificio Zulema, bajo. 18006 Granada
rm.mateos@igme.es

(2) Instituto Geológico y Minero de España. Avda. Ciudad Querétaro s/n. 07007 Palma de Mallorca
inmaculada.garcia@igme.es

(3) Instituto Geológico y Minero de España. C/ Ríos Rosas, 23 Madrid. 28003 Madrid
g.herrera@igme.es

RESUMEN

El deslizamiento de Es Marroigs (Fornalutx, Mallorca), que se inició el 16 de diciembre de 1924, constituye uno de los mayores movimientos de ladera registrados en la historia de Mallorca. En la ladera N de la Sierra de Bonnàber, y tras la ocurrencia de copiosas y continuadas lluvias en la zona, se desencadenó un deslizamiento planar con flujos de derrubios asociados que afectó a unos 73400 m² de tierras de labor. El retroceso de la cabecera del deslizamiento descalzó a su vez un canchal de rocas adosado a la ladera, con un volumen aproximado de unos 50000 m³, y cuyos bloques se desplazaron largas distancias (300 m) sobre la masa deslizada. El movimiento, con un alcance de unos 600 m y un volumen estimado de 625000 m³, dejó sepultadas varias casas de labranza y unas pérdidas económicas estimadas en 200000 pesetas de la época. El geólogo mallorquín Bartomeu Darder (1894-1944) fue testigo del deslizamiento en pleno movimiento. Su testimonio, observaciones y conclusiones fueron publicadas pocos días después en la prensa mallorquina, constituyendo una de las primeras "notas de prensa" en este campo. Un año más tarde (1925), Darder elabora un artículo científico que publica en el Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural, ilustrado por dos fotografías de gran valor, una de ellas captando el deslizamiento en pleno movimiento. En el presente trabajo se analiza, desde la perspectiva actual, el deslizamiento de Es Marroigs de 1924: la tipología de movimiento, su evolución, características, afecciones, el agente desencadenante etc., pero teniendo en cuenta las detalladas descripciones realizadas por Darder.

Palabras clave: deslizamientos, Darder, Mallorca

Bartomeu Darder i Pericàs as eyewitness and chronicler of the Es Marroigs landslide in 1924 (Majorca). Analysis from current knowledge

ABSTRACT

The Es Marroigs landslide (Fornalutx, Majorca), which started on the 16 December 1924, is one of the largest mass-movement events historically registered on the island of Majorca. A complex planar-landslide debris flow was triggered, which affected a cultivated area of 73400 m², on the northern slope of the Bonnàber mountain range after persistent rain. The retrogression and subsidence of the head of the landslide caused the undermining of a talus-scrree, with a volume of rock blocks of around 50000 m³, which suddenly invaded and moved long distances over the landslide surface (over 300 m). The complex slide, with a final runout of 600 m, involved a displaced mass of 625000 m³ in volume, buried several farmhouses in the area and caused economic losses valued at 200000 pesetas of that time. The geologist Bartomeu Darder (1894-1944) was one of the eyewitnesses of the landslide. His testimony, observations and conclusions were published in the newspapers a few days later, reporting one of the first press notices in this field. One year later, Darder published a scientific manuscript in the Royal Spanish Bulletin of Natural History, with two relevant photos, one of them capturing the landslide in action. The present work analyses, from current knowledge, the Es Marroigs land-

slide: type of failure, evolution, characteristics, the impact, the triggering conditions etc., and also takes into account the thorough descriptions carried out by Darder.

Key words: Darder, landslide, Majorca

ABRIDGED ENGLISH VERSION

Introduction

The island of Majorca, located in the western Mediterranean, has a variety of different geomorphological domains, most prominently the Tramuntana Range (1100 km²) in the northwestern part of the island (Fig. 1). The steep topography of this chain, which is linked to its geological complexity and Mediterranean climate, determines intense slope dynamics with the consequent movements of all categories (Mateos and Azañón, 2005; Mateos, 2006). This landslide inventory (Mateos, 2006) reveals that rockfalls are the most frequent movements, comprising some 68% of all mass-movement events. Landslides are also frequent and are related to the presence of soft-soils, specifically the red clays with gypsum from the Upper Triassic (Keuper).

One of the most hazardous areas is the Fornalutx Valley, in the central part of the Tramuntana range, where the slope on the left hand side of the Fornalutx torrent has been affected by a series of landslides in 1924, 1954, 1974 and 2002, all of which were triggered by episodes of intense and continuous rainfall. In 2002, the island authorities were alerted to the possibility of this torrent being blocked by material from a landslide (Mateos et al., 2009).

In this paper we analyse the Es Marroigs landslide, located on the left hand side of the Fornalutx torrent, on the northern slope of the Bonnàber range (Fig. 1). The landslide started on the 16 December 1924 after persistent rain. It could be classified as a complex planar-slide debris flow and affected a cultivated area of 73.400 m². The retrogression and subsidence of the head of the landslide caused the undermining of a talus scree, with a volume of rock-blocks of around 50.000 m³, suddenly invaded and moved long distances over the landslide surface.

Bartomeu Darder

Bartomeu Darder i Pericàs (Fig. 2) (1894-1944) was the Mallorcan geologist with the greatest international recognition during the first half of the XX century (Fornós, 2008). When he was preparing his field-trip in Majorca for the XIV Geological International Congress (held in Madrid in 1926), the Es Marroigs landslide started and he was immediately able to visit the site. His testimony, observations and conclusions were published in various newspapers several days later. In 1925, Darder summarized all the information in a scientific report, published in the Royal Spanish Bulletin of Natural History (Darder, 1925). He left a meticulous record of all the details related to the landslide and this has become the basis of the current study.

Geographic and geological context of the landslide

The Tramuntana mountain range is the main mountainous alignment of the island of Majorca, with a maximum length of 90 km and an average width of 15 km. The peak line is more than 600 m.a.s.l., and the central sector is the highest. There are numerous peaks with altitudes higher than 1000 m, the Puig Major (1445 m) being the highest peak on the island. The mountains correspond to the reliefs caused by the Miocenic structuring linked to the Alpine fold, formed by a series of NW-overlapping thrusts (Sàbat et al., 2011). The stratigraphy of the Tramuntana Range begins with the deposits of siliceous sandstone from the Buntsandstein (Lower Triassic) until the more recent colluvial sediments from the Quaternary. Carbonated lithologies clearly predominate, especially Jurassic limestone and dolostone, which constitute the framework of the mountains. The NE-SW mountain alignments correspond to the overlapping system, and the regional detachment level is made up of Later Triassic (Keuper) sediments (Álvaro, 1987) and clay and gypsum with volcanic rock (ophites).

The Fornalutx Valley, on the northern side of the Bonnàber mountain range, is located in the heart of the Tramuntana range. The slopes of the valley are steep (over 30°) and they are composed of the soft-sediments from the Keuper. Harder materials, corresponding to the Jurassic limestone (Lias), outcrop at the upper part of the slopes, crowning the mountains (Fig. 3). The Keuper sediments are covered by different colluvial materials (Mateos and Azañón, 2007) corresponding to recent (Quaternary) slope activity.

The Es Marroigs landslide is located 2 km from the village of Fornalutx, on the left-hand side of the Fornalutx torrent. The head of the slide is located at a height of 520 m, where a change in the gradient of the slope takes place (Fig. 3). As Darder (1925) drew (Fig. 4), the Keuper sediments are the substratum of the slope, covered by the colluvial deposits, with a variable thickness (up to 15 m).

Landslide evolution: characteristics and type of failure

The landslide started on the 16 December 1924, when some cracks appeared in the original ground surface and affected one of the houses located in the area. Later, a planar landslide took place, the failure surface being the geological contact between the colluvial deposits and the Keuper sediments (Fig. 7). As translational sliding continued, the displaced mass broke up, and the eyewitness could see how the olive-trees were displaced without any deformation. The evolution of the movement caused retrogression of the slide into the crown, with the main head scarp approaching the top of the slope, and widening in the central part of the body. This retrogression caused the undermining of a talus-scrée, with a volume of rock blocks of around 50 000 m³, which suddenly invaded and moved long distances over the landslide surface (over 300 m), (Figs. 5E and 6). In a second stage, the disrupted mass flowed, becoming a debris flow rather than a slide (Cruden and Varnes, 1996). The debris flow tongue became narrower down-slope, adapting to the natural drainage network. Finally, the flow halted in the Es Julians Torrent (Figs. 6 and 7) on the 18 December 1924, when the rainy episode finished.

Dimensions and damage

Darder (1925) estimated an area affected by the landslide of 97,500 m², but the detailed and recent map drawn up for this work (Fig. 6B) shows an area of 73,400 m². The length of the movement is 594 m and the maximum width over 214 m. The head of the scarp is visible on the northern sector (Fig. 5C), with a height of 15 m. The invasion of the blocks from the scree left a tongue 300 m long, but it is possible to find rolling blocks further away (Fig. 6A). The volume of the displaced mass is estimated at 625 000 m³.

Regarding the damage caused, Darder (1925) refers to several dwellings affected by the landslide, and some olive-groves were razed. A general confusion occurred with the re-allocation of territorial boundaries, some of which are still unresolved to date. Economic losses were estimated up to 200 000 pesetas at that time (Majórica, Vida, Arte, 1924).

Triggering factor

All the information reported by Darder, as well as the newspaper reports (*Última Hora*, 1924; *Majórica, Vida y Arte*, 1924), reveal that the landslide was triggered by continuous and persistent rainfall during several days in December 1924. This persistent rain caused the saturation of the shallow colluvial sediments as well as the lubrication of the contact surface between these materials and the lower sediments from Keuper, with a very low permeability.

In the area there are a series of springs related to the contact between the permeable limestone and the low-permeable sediments from Keuper. Minor and intermittent springs flowing from the colluvial deposits also exist. Darder (1925) refers to the saturation of the debris sediments partially due to these springs (Fig. 8).

Conclusions

The Es Marroigs landslide started on the 16 December 1924 after a persistent rainy period and it could be classified as a complex planar-landslide debris flow. Several stages could be identified. First, a retrogressive planar landslide took place, with a very low deformation of the displaced mass and the vegetation on it. Later, the head scarp undermined a talus scree, with a volume of rock-blocks of around 50 000 m³, which suddenly invaded and moved long distances over the landslide surface. In the last stage, the disrupted mass flowed as a debris flow, adapting to the natural drainage network. Finally, the debris flow halted in the Es Julians Torrent on the 18 December 1924, when the rainy episode finished. Several houses and olive groves were affected with economic losses estimated at 200 000 pesetas at that time.

Introducción

La isla de Mallorca presenta diferentes dominios geomorfológicos, destacando la Sierra de Tramuntana en el sector noroccidental de la isla (Fig. 1). La abrupta topografía de esta cadena montañosa, ligado a su complejidad geológica y al clima mediterráneo de la región, determina una intensa dinámica de laderas con la consecuente ocurrencia de movimientos de diversas tipologías (Mateos y Azañón, 2005; Mateos, 2006).

El inventario de movimientos de ladera en la Serra de Tramuntana pone de manifiesto más de 200 eventos constatados desde el siglo XVII (Mateos, 2006).

Los procesos más frecuentes son los desprendimientos de rocas (68%), interceptando en numerosas ocasiones la red viaria de la Tramuntana. Los deslizamientos también hacen acto de presencia, y suelen afectar a los afloramientos de materiales blandos (Mateos y Giménez, 2007), concretamente a las arcillas yesíferas del Keuper (Triásico superior), que afloran ampliamente en el Valle de Sóller y en su prolongación hacia el noreste, donde se asienta la localidad de Fornalutx.

En este contexto, la ladera de la margen izquierda del torrente de Fornalutx, al pie de los relieves de la Sierra de Alfàbia, registra una serie de deslizamientos de cierta magnitud y frecuencia que, en ocasiones, han supuesto un grave peligro para el pueblo. Una de

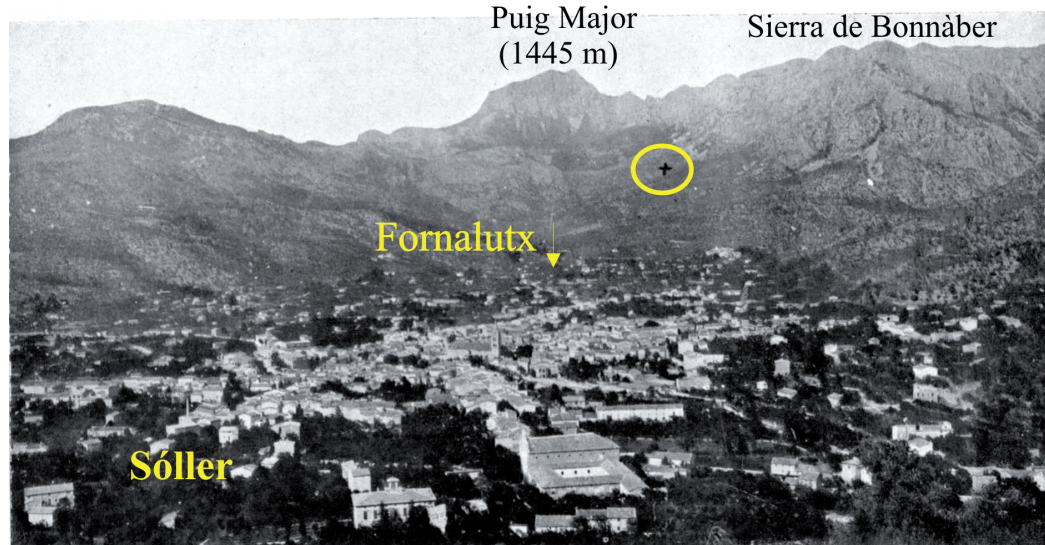
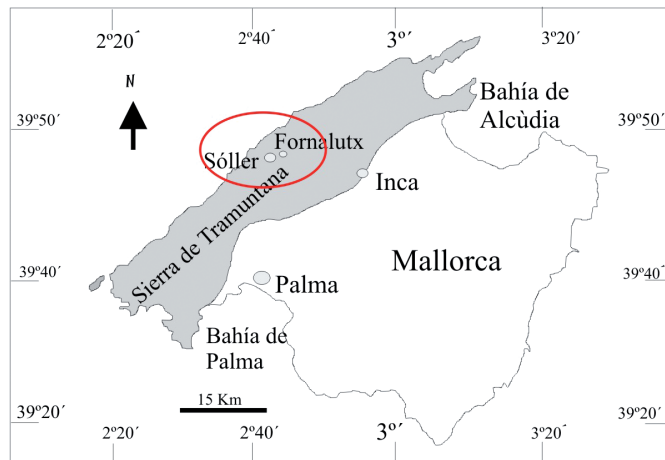


Figura 1. Localización de Sóller y Fornalutx en el corazón de la sierra de Tramuntana de Mallorca. La imagen inferior corresponde a la fotografía realizada por Darder, donde señaló con una cruz la ubicación del deslizamiento (Darder, 1925).

Figure 1. Location of Sóller and Fornalutx in the heart of the Tramuntana range. The lower image corresponds to the photo taken by Darder, with a cross indicating the site of the landslide (Darder, 1925).

las zonas de mayor peligrosidad es la ladera situada frente al núcleo de población, que ha registrado movimientos en 1954, 1974 y 2002, tras la ocurrencia de lluvias intensas (Mateos *et al.*, 2009). El último episodio, en la primavera de 2002, dio lugar a una serie de flujos de barro al pie de la ladera que alertaron de un posible riesgo por taponamiento del torrente. Las autoridades de la isla, junto al Servicio de Emergencias, mantuvieron la alerta durante varios días, temiendo la afección a numerosas viviendas que, en los últimos años, se han construido en los márgenes del torrente y aguas abajo del pueblo.

El deslizamiento que vamos a analizar en el presente trabajo afecta también a la ladera de la margen izquierda del torrente de Fornalutx, concretamente a la vertiente septentrional de la sierra de Bonnàber (Fig. 1), pero a una mayor altitud y distancia del pueblo que los referidos anteriormente, quedando alejado de la posible influencia del citado torrente. El deslizamiento de Es Marroigs, en el término municipal de Fornalutx, se inició el 16 de diciembre de 1924 tras la

ocurrencia de un largo e intenso periodo de lluvias en la zona. Se trata de un movimiento complejo –deslizamiento planar y flujo de derrubios– que llegó a afectar a una superficie de 73400 m² de tierras de labor y varias casas de labranza. El retroceso y hundimiento de la cabecera del deslizamiento descalzó un canchal de rocas que se precipitó rápidamente sobre la masa deslizada, quedando los bloques embebidos sobre la superficie, y desplazándose simultáneamente con el movimiento.

El geólogo mallorquín Bartomeu Darder i Pericàs (1894-1944) se encontraba por casualidad en la isla, y se desplazó rápidamente al lugar cuando el deslizamiento estaba en pleno movimiento, con la finalidad de llevar a cabo un reconocimiento del terreno. Su testimonio quedó recogido en la prensa mallorquina, que dedicó numerosas páginas al evento. El interés sobre este tipo de fenómenos fue especialmente notorio aquel año de entreguerras, ya que durante la primavera de 1924 hubo una serie de deslizamientos en la provincia de Granada (Monachil) que tuvieron

también un gran alcance mediático (Mateos y Ferrer, 1994).

En el presente trabajo se pretende analizar con detalle el deslizamiento de *Es Marroigs* de 1924 desde una perspectiva actual, pero tomando como base las detalladas descripciones facilitadas por Bartomeu Darder.

Bartomeu Darder i Pericàs



Figura 2. Bartomeu Darder i Pericàs (1894-1944), testigo y cronista del deslizamiento de *Es Marroigs* en 1924.

Figure 2. Bartomeu Darder i Pericàs (1894-1944), eyewitness and main chronicler of the *Es Marroigs* landslide in 1924.

Bartomeu Darder i Pericàs (Fig. 2) nació en la ciudad de Palma el día 1 de abril de 1894. Su afición a la geología comienza en los primeros años de bachillerato, de la mano de su primo Emili Darder, que más tarde sería alcalde de Palma durante la Segunda República. Darder inicia sus estudios de veterinaria en Zaragoza, y posteriormente en Madrid, donde el profesor Ramón y Cajal le enseña los secretos de la histología. Paralelamente, inicia la carrera de Ciencias, especialidad Ciencias Naturales, obteniendo esta licenciatura en 1916. Con 26 años oposita a una plaza de catedrático de Instituto, siendo destinado al instituto de Tarragona, donde pasa el resto de sus días hasta su temprana muerte a los 50 años de edad, el 24 de febrero de 1944.

Darder es sin duda uno de los científicos mallorquines con más proyección y reconocimiento internacional durante la primera mitad del siglo XX. Su relación con el geólogo francés Paul Fallot dió lugar a numerosas publicaciones y trabajos en el campo de la geología, paleontología e hidrogeología (Fornós, 2008). Ambos organizaron la excursión a Mallorca, dentro de las visitas previstas en el XIV Congreso Internacional de Geología, que se celebró en Madrid en el año 1926. Esta salida de campo, que atrajo a numerosos geólogos de prestigio internacional, supuso la apertura al mundo de la geología mallorquina. Curiosamente, organizando en Mallorca la citada excursión, tuvo lugar el deslizamiento de Fornalutx, que se inició el 16 de diciembre de 1924. Darder se desplazó rápidamente al lugar, recorriendo el terreno, hablando con los lugareños y anotando toda una serie de minuciosas

observaciones en su cuaderno de campo. Pocos días más tarde (25/12/1924), Darder escribe en el diario *La Almudaina* (Darder, 1924) un artículo titulado: "*Origen de los deslizamientos de tierras en Fornalutx*"; poniendo de manifiesto todas las observaciones realizadas y su opinión respecto a las causas del deslizamiento. Este documento constituye una de las primeras contribuciones a la prensa de un evento geológico redactadas por un especialista. A esta primera publicación siguen otras, como la de la revista "*Majórica, Vida y Arte*"; en cuyo número de diciembre de 1924 se publica un artículo titulado "*Desprendimientos de tierras en Fornalutx*"; que recoge entrecomilladas las opiniones de Darder, haciendo hincapié en las causas del deslizamiento. No obstante, el artículo de mayor contenido científico lo publica Darder al año siguiente (1925), en el *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, y bajo el título: "*Los deslizamientos de tierras en Fornalutx (Isla de Mallorca)*"; donde describe la geología de la ladera, así como todos los detalles de la evolución del deslizamiento, sus causas y efectos. Esta publicación va acompañada de un corte geológico del valle de Fornalutx y de dos fotografías: la primera recoge una vista general del Valle de Sóller con la ubicación del movimiento (Fig. 1 inferior); y la segunda, capta el deslizamiento en pleno movimiento, en la zona donde inicialmente se abrió la cabecera (Fig. 8).

Contexto geográfico y geológico del deslizamiento

La sierra de Bonnàber constituye la prolongación hacia el NE de la Sierra de Alfàbia (Fig. 1), una muralla de montañas que aísla los valles de Sóller y Fornalutx hacia el SE del resto de la isla, y cuyo extremo nororiental queda coronado por la cima más alta de Mallorca, el Puig Major (1445 m). El deslizamiento de *Es Marroigs* tuvo lugar en la ladera norte de la sierra de Bonnàber, que presenta una elevada pendiente desde el fondo del valle del torrente de Fornalutx hasta las cimas de la sierra, salvando un desnivel de unos 900 m. La zona más baja de la ladera ofrece unas pendientes en torno a los 30°, y se encuentra abanclada en su mayor parte, con el desarrollo de tradicionales cultivos de olivar. Hacia la cota 550 m, el relieve se vuelve mucho más abrupto, con pendientes cercanas a la vertical, culminando en las cumbres de la sierra. La cabecera del deslizamiento se sitúa aproximadamente a una cota de 520 m, prácticamente donde se produce el cambio de pendiente y donde son visibles numerosos canchales de roca (Fig. 3). La zona deslizada se extiende sobre una superficie de unos 73400 m², y se va estrechando progresivamente aguas aba-

Sierra de Bonnàber (960 m)

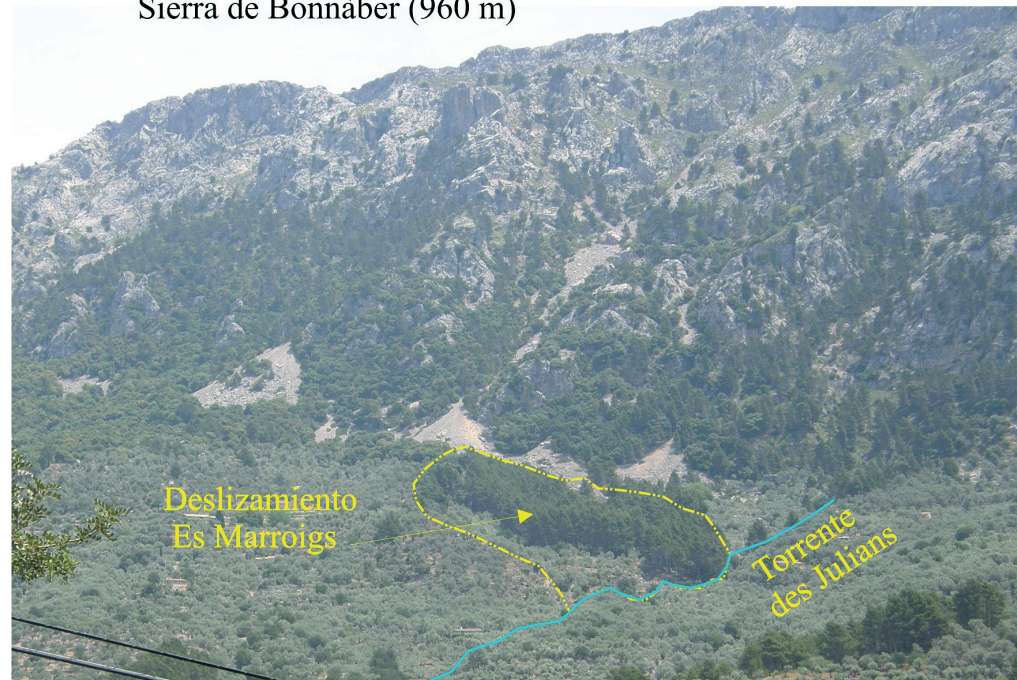


Figura 3. Detalle de la zona donde tuvo lugar el deslizamiento. La cabecera del deslizamiento coincide con el cambio brusco de pendiente que da lugar a los escarpes de roca en la coronación de la sierra de Bonnàber. Nótese los canchales adosados a la ladera y el curso del torrente des Julians.

Figure 3. Location of the landslide. The head scarp coincides with the change in the gradient of the slope, where Jurassic limestone crowns the mountains. The scree on the slope as well as the Es Julians Torrent can be observed.

jo, hasta finalizar en el propio cauce del torrente des Julians, que circula por el extremo meridional del deslizamiento (Fig. 3).

Desde el punto de vista geológico, el valle de Fornalutx se localiza en el sector central del dominio geomorfológico de la Sierra de Tramuntana, una cadena alpina formada por un sistema imbricado de cabalgamientos vergentes hacia el NO y cuyo nivel regional de despegue lo constituyen los materiales de naturaleza arcilloso-evaporítica del Triásico superior, las denominadas facies Keuper (Álvaro, 1987; Sàbat et al., 2011). Son precisamente estos últimos materiales los que conforman el sustrato geológico de las laderas de Fornalutx, rodeados por los imponentes relieves calcáreos de las sierras circundantes, donde predominan los materiales del Jurásico inferior (Lías), constituidos por calizas y dolomías principalmente. Discordantemente, sobre los materiales anteriormente citados, se disponen una serie de depósitos de edad cuaternaria correspondientes a sedimentos coluviales que tapizan las laderas del valle. Estos sedimentos cuaternarios pueden a su vez dividirse en tres unidades: (1) unas brechas fuertemente cementadas de depósitos coluviales del Pleistoceno superior (Mateos y Azañón, 2007), que dan lugar a afloramientos dispersos de pequeños macizos rocosos de gran dureza; (2) los materiales coluviales más recientes, fruto de la dinámica de las laderas, con la presencia bloques de roca desprendidos de los escarpes envueltos en una matriz de naturaleza arcillosa, y (3) los canchales de roca propiamente dichos, adosados a los escarpes

que coronan las zonas más elevadas del valle. Las tres unidades cuaternarias aparecen en la zona de estudio, cubriendo los sedimentos blandos y de baja permeabilidad del Keuper, compuestos principalmente por lutitas de color rojizo con niveles intercalados de yesos, y que buzan unos 30° hacia el SE.

El corte geológico realizado por Darder (1925) (Fig. 4) pone de manifiesto el predominio de los materiales del Keuper como sustrato de la ladera, y representa los depósitos de derrubios sobre los anteriores en la zona del deslizamiento. Aunque el conocimiento geológico actual modificaría este corte, ya que las rocas eruptivas que Darder sitúa en el fondo del valle forman parte de la secuencia del Keuper (el Muschelkalk no está), los buzamientos dibujados y la disposición general de los materiales es correcta.

Evolución del deslizamiento. Características y tipología de rotura

Según las descripciones e información facilitada por Darder, los primeros indicios del deslizamiento se detectaron el día 16 de diciembre de 1924, al aparecer unas grietas de más de medio metro de anchura, varios metros de longitud y de profundidad notable, que afectaron directamente a una de las casas situada en la zona. "Al día siguiente, 17 de diciembre, a primera hora de la madrugada, el movimiento se acentuó; gran parte de la masa de derrubios, arrastrando parte de las arcillas irisadas en que se

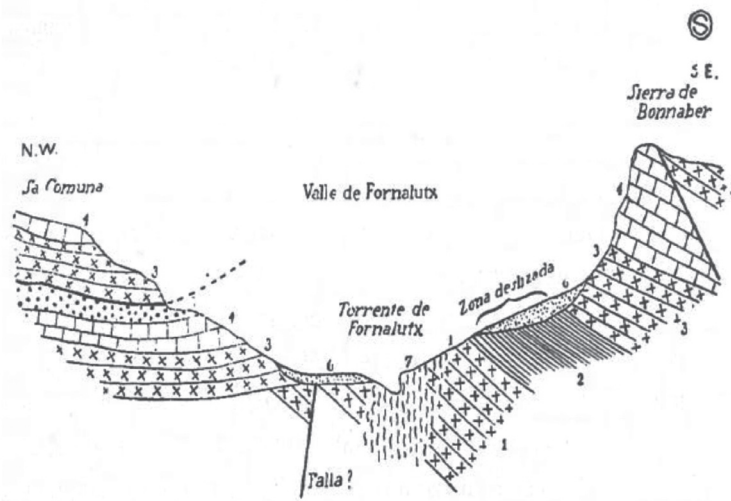


Fig. 1.—Corte geológico del valle de Fornalutx.

1. Muschelkalk.—2. Margas irisadas.—3. Dolomías en lechos del Keuper.
4. Caliza liásica.—5. Burdigaliense.—6. Derrubios.—7. Roca eruptiva básica.

(Escala 1: 16.500 para longitudes y alturas).

hallaban antes asentados, se deslizaba pendiente abajo, hacia el fondo del valle. La masa de tierras, al precipitarse pendiente abajo, producía la obstrucción de los arroyos que las lluvias habían determinado, y sus aguas, junto con las de algunos filetes acuíferos que la ruptura del terreno había puesto al descubierto, produjeron un barro espantoso, y las aguas fangosas se deslizaban sobre aquella masa de tierra, lodo, peñascos colosales y los restos de olivos que se tronchaban como simples cañas. Es indudable que el movimiento empezó por transporte, al que siguió luego un hundimiento; de manera que en las primeras horas los árboles se mantenían intactos; nosotros vimos una encina que de esta forma había descendido, junto con los terrenos en que estaba plantada, cerca de un centenar de metros; de los bancales no quedó ni rastro. El hundimiento vertical de los terrenos alcanzó a unos 20 m. en el sitio máximo, es decir, hacia el NE. La rápida pendiente de la ladera ha motivado que el desastre se extendiera a zonas inferiores, pues las aguas, al arrastrar la masa de tierras y piedras, han originado que ésta sepultase numerosos terrenos, destruyendo sus bancales y sepultando sus olivos; felizmente, ha sido una zona relativamente estrecha, pues de lo contrario los perjuicios hubieran sido mucho mayores.

El descenso de los terrenos duró todo el día 17, en que se deslizaron unos 250 m; pero, felizmente, el mismo día 17 dejó de llover, y el 18 ya sólo se deslizó unos 60 m más, y poco a poco el terreno fue asentándose definitivamente.

Figura 4. Reproducción del corte geológico realizado por Darder (1925). La disposición estructural de los materiales de la ladera buzando hacia el SE es correcta, así como la disposición de los depósitos coluviales sobre las margas irisadas del Keuper. El conocimiento geológico actual pone de manifiesto que los materiales eruptivos que sitúa Darder en el fondo del valle, forman parte de la secuencia del Keuper, y por lo tanto, los materiales del Muschelkalk no afloran en la ladera.

Figure 4. Original geological cross-section from Darder (1925). The series, bending towards SE, is correct, as well as the superposition of the colluvial deposits over the Keuper sediments. The volcanic materials that Darder located at the bottom of the valley correspond to the Keuper series, according to current knowledge. Therefore, the Muschelkalk sediments do not outcrop in the area.

La explicación geológica es la general a todos estos accidentes; las aguas continuas, reblandeciendo la masa arcillosa de debajo del caos de derrubios, determinó un deslizamiento pendiente abajo, ofreciéndose el caso particular de que este movimiento fuese en cierto modo independiente de los derrubios que la arcilla soportaba, de manera que, quedando éstos formando una especie de bóveda, a causa de no deslizarse tan de prisa como su substrato, no tardaba en hundirse verticalmente, gracias a lo cual los árboles han podido ser transportados y sufrir un descenso sin apenas trastocarse, pues, como hemos dicho, su tronchamiento ha sido posterior, por efecto del movimiento de arrastre de peñas y tierras. La relativa lentitud del movimiento ha evitado las desgracias personales”.

Según las precisas descripciones de Darder, el movimiento tuvo tres episodios diferenciados: uno inicial, donde la vegetación se desplazó sin apenas deformación y que afectó principalmente a la zona inferior habitada; otro intermedio, cuando se produce el retroceso y hundimiento de la cabecera, y quedan al descubierto los escarpes del deslizamiento; y el final, donde un flujo de tierra, lodo y “peñascos colosales” arrasa e invade lo que encuentra a su paso, canalizándose hacia el torrente de Es Julians.

La interpretación que se propone de tales observaciones es la siguiente: (1) Se inicia un deslizamiento planar, en el contacto entre los materiales de derrubios y las arcillas yesíferas impermeables del Keuper, que constituye un movimiento lento y perceptible que apenas produce deformaciones en la masa desplaza-

da. Este hecho es avalado por el desplazamiento casi "intacto" de la vegetación, que recoge también el diario Última Hora (22 de diciembre de 1924) al relatar las observaciones del gobernador tras visitar la zona: "el día de la ocurrencia, un corpulento olivo, escurriéndose con un bloque enorme de tierra, llegó a recorrer trescientos metros hacia abajo, parando luego y quedando fijo sin experimentar el menor daño". El movimiento comienza en la zona intermedia de la ladera, donde se situaban las casas de labranza sobre el olivar y donde aparecen las primeras grietas el día 16 de diciembre. (2) Posteriormente, se produce un retroceso del deslizamiento ladera arriba, un ensanchamiento del mismo y el hundimiento de la cabecera, dando lugar a los escarpes de coronación y los laterales del deslizamiento. (3) El retroceso y hundimiento definitivo de la cabecera tiene lugar en la base del canchal, produciendo el descalce del mismo y precipitándose los bloques sobre la masa deslizada. El resultado de toda la masa en movimiento da lugar a un flujo de derrubios que se derrama por la ladera canalizándose hacia la red natural de drenaje, concretamente hacia el torrente des Julians, situado en el extremo meridional del deslizamiento (Figs. 3 y 6B). La tipología de rotura podría clasificarse como un movimiento complejo (Cruden y Varnes, 1996), que consiste en un deslizamiento planar con un flujo de derrubios.

En relación al descalce del canchal, Darder (1924) lo relata así en la revista de la Almudaina: "Al pie del cortado de la sierra de Bonnàber debió ocurrir en lejanos tiempos, una caída de rocas que formaron un cono de derrubios adosado a las laderas fuertemente pendientes del valle de Fornalutx; estos derrubios son, en su parte inferior, arcillosos, mientras que en su superficie existe un verdadero caos de rocas caídas amontonadas fantásticamente. El conjunto de estos derrubios se hallaba apoyado sobre las rocas constitutivas de la montaña, que en el lugar del deslizamiento eran precisamente arcillosas triásicas. Así pues, teníamos tierras arcillosas de derrubios adosadas sobre arcillas del Trías. Han venido las continuadas lluvias de estos días pasados; el agua filtrándose por entre las rocas del derrubio, alcanzaba la arcilla y la reblandecía; en el contacto de ambas arcillas desaparece la adherencia, y la fuerza de la gravedad pone en movimiento la arcilla del derrubio hacia la parte baja de la ladera, contribuyendo a ello las aguas subterráneas que se infiltran en sus capas. Este deslizamiento de la masa arcillosa, se hace en cierto modo independiente de los derrubios que soporta, de manera que éstos, constituidos por el caos de rocas caídas unidas por tierra, quedó retrasado en su marcha y por consiguiente formando una especie de bóveda, cuyo hueco era debido a la marcha más rápida de las arcillas".

Las observaciones realizadas en campo de los materiales deslizados ponen de manifiesto una masa de derrubios embebida en una matriz arcillosa, tal y como indica Darder en el párrafo anterior, donde se constata una granoclasificación inversa; es decir, el tamaño de los bloques aumenta hacia la superficie, con una superposición de los bloques de roca originarios del canchal (Fig. 5A). A medida que se asciende hacia la cabecera del deslizamiento, los bloques son de mayor tamaño, algunos superando los 80 m³ en volumen, observándose en algunos signos de arrastre (Fig. 5B). Los escarpes laterales son bien visibles en el sector septentrional del deslizamiento, con alturas ligeramente superiores a los 15 m, y dejando al descubierto las brechas cementadas pleistocenas en sus paredes (Fig. 5C). El espesor de la masa deslizada disminuye hacia cotas más bajas, adquiriendo valores de hasta 20 m en las zonas más altas, y de unos cuantos metros en el pié (Fig. 5D), cuando se canaliza hacia el torrente des Julians. La masa de derrubios presenta morfologías lobuladas y caóticas, con algunas zonas hundidas donde se intuyen antiguas surgencias de agua.

En la cabecera del deslizamiento se observa la zona hundida con la invasión de los bloques procedentes del canchal (Fig. 5F), donde quedan acumulados los de mayor tamaño, así como la lengua de avance de estos bloques sobre el deslizamiento (Fig. 5E). El volumen de bloques procedentes del canchal, involucrados en el deslizamiento, se estima en torno a los 50000 m³.

En base a las observaciones de campo, al reconocimiento geológico de la zona, y al análisis de la fotografía aérea (Fig. 6A), se ha elaborado la cartografía de la Fig. 6B, donde se representan los diferentes elementos del deslizamiento sobre el mapa topográfico, la invasión de bloques procedentes del canchal y la canalización del flujo de derrubios hacia el torrente des Julians. En la citada figura se representa la localización del corte geológico que recoge la Fig. 7, donde queda reflejada la superficie planar del deslizamiento, el flujo de derrubios asociado, así como los bloques de mayor tamaño originarios del canchal invadiendo la superficie del movimiento. La superficie de rotura se identifica a unos 20 m de profundidad máxima, en el contacto entre los derrubios de ladera y los materiales de baja permeabilidad del Keuper.

Dimensiones y afecciones

La cifra de la superficie afectada del deslizamiento indicada por Darder (1925), equivaldría a 97500 m²: "El Sr. D. Elviro Sans ha tenido la amabilidad de comuni-



Figura 5. Observaciones en campo del deslizamiento. A: Masa desplazada con una granuloclasificación inversa; B: Bloques de gran tamaño procedentes del canchal con signos de arrastre; C: Escarpe lateral del deslizamiento en su extremo norte, poniendo al descubierto las brechas cementadas del Pleistoceno D: Límite lateral del flujo de derrubios; E: Lengua de bloques procedentes del canchal invadiendo el deslizamiento; F: Cabecera del deslizamiento hundida e invadida por los bloques del canchal.

Figure 5. Field observations. A: Displaced mass with an inverse graded bedding; B: A large block from the scree with dragging signs; C: Northern lateral escarpment of the landslide where the breccias from Pleistocene outcrop; D: Lateral border of the debris flow; E: The runout of the scree blocks over the landslide; F: Blocks from the scree invading the head escarpment.

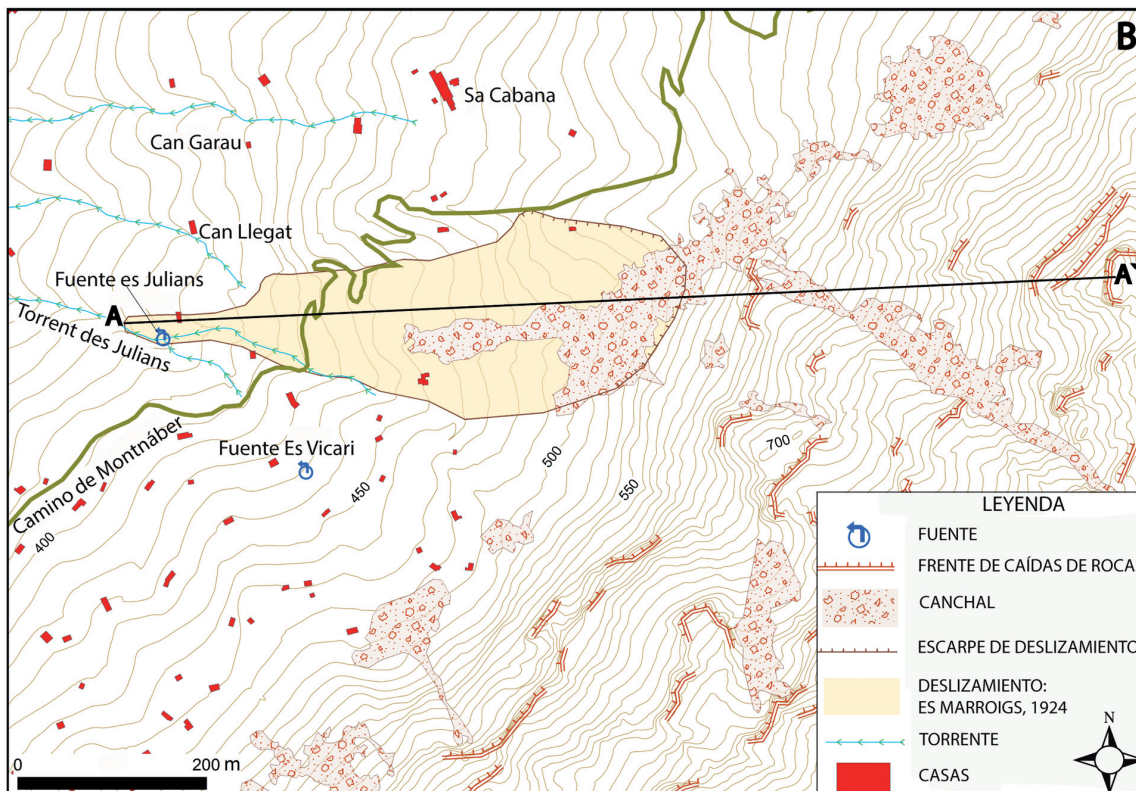
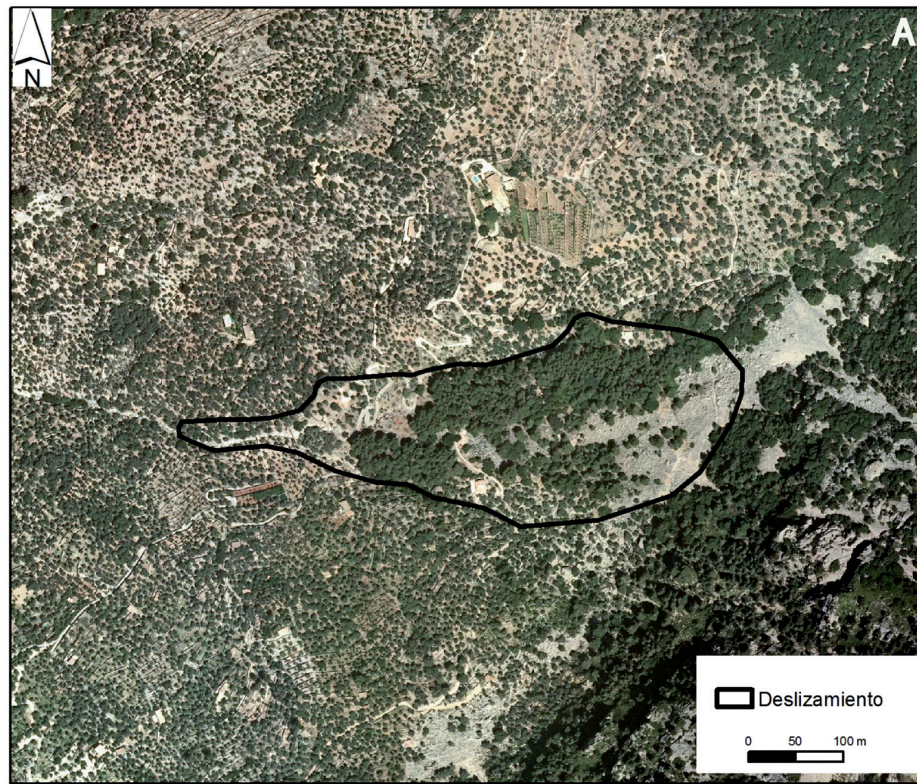


Figura 6. A) Fotografía aérea de la zona donde se observa con claridad la invasión de los bloques procedentes del canchal sobre el deslizamiento. B) cartografía del deslizamiento sobre la base topográfica. Se ubica el trazado del corte geológico de la Fig. 7.

Figure 6. A) Aerial photograph where the rock blocks from the scree invading the landslide can be observed. B) Topographical map of the landslide. The cross section represented in Figure 7 is shown.

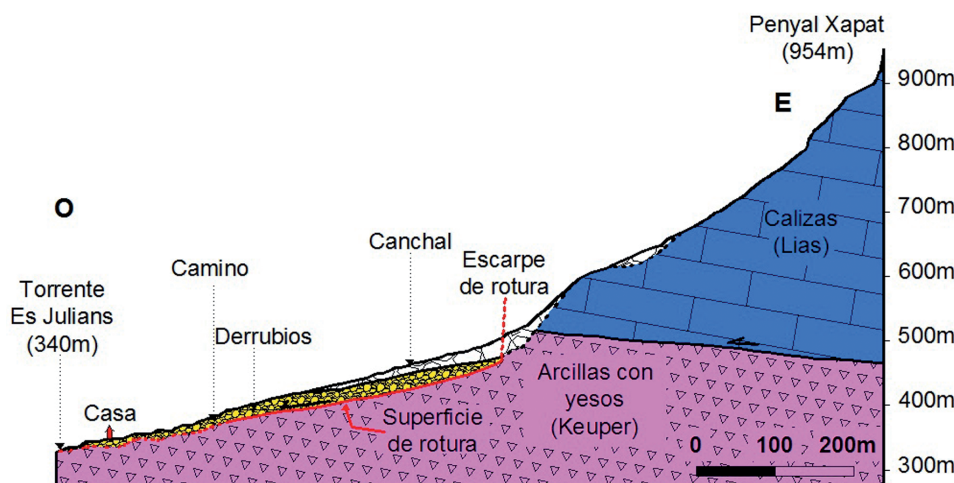


Figura 7. Corte geológico del deslizamiento. La superficie de rotura está en el contacto entre los derrubios de ladera y los materiales de baja permeabilidad del Keuper. Al pie se observa el flujo de derrubios que llegó a canalizarse en el torrente des Julians. Se observa el canchal invadiendo la cabecera del deslizamiento y el alcance de los bloques sobre la masa deslizada.

Figure 7. Geological cross-section of the landslide. The failure surface coincides with the contact between the colluvial sediments and the low permeability materials from Keuper. The debris flow at the toe of the landslide, which reached the Es Julians Torrent, can be observed. The blocks from the scree invading the surface of the landslide are represented.

carne que la zona destruida comprende 9 Hectáreas y 75 áreas". Estos datos se aproximan a los facilitados por el periódico Última Hora, de fecha 22 de diciembre de 1924, donde relata que "el Gobernador Marqués de la Garantía, tras recorrer las tierras afectadas estimó que el terreno destruido es en cantidad de unas catorce cuarteradas", lo que equivaldría a unos 99450 m² (una cuarterada mallorquina es aproximadamente 7103 m²).

La cartografía reciente realizada del deslizamiento (Fig. 6B) pone de manifiesto una superficie afectada de unos 73400 m², algo inferior a los datos aportados por los testigos. La longitud del movimiento, desde la cabecera hasta los lóbulos finales que llegan al torrente, se calcula en unos 594 m y la anchura máxima de 214 m. La diferencia de cota entre la cabecera y el pie del deslizamiento se estima en unos 210 m, quedando finalmente la ladera con una pendiente de unos 22°. En la citada figura se representa el escarpe de coronación, que únicamente es visible en el sector norte (Fig. 5C), ya que en el resto está cubierto por los bloques del canchal. El alcance del conjunto de estos bloques se estima en unos 300 m, aunque hay bloques rodados a mayores distancias. El volumen total de material movilizado por el deslizamiento se estima en unos 625000 m³.

En relación a las afecciones, Darder (1925) hace referencia a varias casas destruidas (sin cuantificar): "las casas desaparecieron en absoluto, no quedando otro vestigio de ellas que alguna viga suelta o restos de objetos; como dato curioso, diremos que en nuestra presencia fue encontrado un despertador en marcha y una escopeta cortada en dos pedazos, hallados a más de 15 m de distancia el uno del otro". También relata la elevada parcelación del terreno, dedicado al cultivo del olivar: "comprenden un gran número de pequeñas fincas, que pertenecen a 16 propietarios distintos, y todas ellas eran espléndidos olivares, a excepción

de la parte más elevada, en que había encinares". La información oral facilitada por el hijo de un testigo que habitaba la casa de Can Llegat (Fig. 6B) confirma igualmente varias casas arrasadas por el movimiento. En concreto comenta que su madre desalojó rápidamente su vivienda, llevando los enseres en una mula hasta Fornalutx, aunque finalmente la casa no fue alcanzada. También refiere las grandes pérdidas que causó en el olivar y la confusión de lindes de las fincas, que aún perdura.

Respecto a la valoración de las pérdidas económicas hay una cierta confusión, ya que las primeras estimaciones (Majórica, Vida, Arte, 1924) hacen referencia a unas doscientas mil pesetas de la época, aunque Darder (1925) las reduce a la mitad "su valor aproximado es de unas cien mil pesetas, cifra explicable, dado el alto valor de los terrenos de esta comarca".

Las lluvias como desencadenante

Tanto los artículos publicados por Darder, como todas las reseñas publicadas en la prensa de la época, no dejan ningún lugar de dudas que el agente desencadenante del deslizamiento fue el episodio previo de persistentes y continuadas lluvias: "Este año pasado, las lluvias de diciembre en esta comarca fueron copiosísimas y de muchos días de duración" (Darder, 1925). Al no disponer de datos pluviométricos de la época, ya que las primeras estaciones meteorológicas en Mallorca datan de 1944, no podemos cuantificar la lluvia acontecida.

El propio autor hace referencia a procesos similares ocurridos ese mismo año en la localidad granadina de Monachil, donde se desencadenó un gran deslizamiento en la primavera (29 de marzo de 1924) después de 23 días de continuadas lluvias (Mateos, 1992; Mateos y Ferrer, 1994; Navarro-Newman, 1924).

La disposición geológica de los materiales en el área determina la aparición de una serie de manantiales en el contacto entre las calizas permeables del Lías, y los materiales de baja permeabilidad del Keuper. Adicionalmente, hay una serie de manantiales de menor caudal y con un régimen estacional, que parecen drenar los depósitos de derrubios en su contacto con el Keuper, como las fuentes de Es Vicari y Es Julians (Fig. 6B). Así lo recoge Darder (1925): "En esta ladera brotan diversos manantiales; de ellos, los dos más próximos al lugar del deslizamiento son la llamada Font Major de Bonnàber, constante aun con las mayores sequías, y la Font des Julians, que sólo mana en invierno, además, con las grandes lluvias se forman manantiales transitorios, pero de gran caudal, conocidos con el nombre genérico mallorquín de aubellons; éstos brotan principalmente por los derrubios, y son debidos al agua que éstos absorben por los enormes huecos que dejan las rocas del caos." "La explicación geológica es la general a todos estos accidentes; las aguas continuas, reblandeciendo la masa arcillosa de debajo del caos de derrubios, determinó un deslizamiento pendiente abajo."

Las persistentes lluvias acontecidas en la zona debieron saturar los depósitos de derrubios, con un im-

portante contenido de arcillas en su matriz, lubricando además el contacto entre éstos y los sedimentos yesíferos del Keuper. Este hecho desencadenó el deslizamiento inicial, cuyo plano de rotura coincide con el contacto entre ambos materiales. La saturación de los derrubios determinó el flujo posterior que avanzó sobre las casas situadas ladera abajo, a una velocidad que permitió la rápida evacuación de las mismas. Según la interpretación de las descripciones facilitadas por los testigos, la velocidad del flujo de derrubios debió estar comprendida entre 0.5 m/min-2 m/min. El cese de las lluvias frenó finalmente el movimiento: "Felizmente cesaron las lluvias y la masa detuvo su carrera, evitándose grandes desgracias, pues no había ningún terreno que pudiera actuar de muro de contención." (Majórica, Vida, Arte, 1924).

Como último documento gráfico reproducimos la fotografía realizada por Darder al deslizamiento (Fig. 8): "La fotografía de la lámina XII permite ver la cortadura producida en las arcillas irisadas del Trías, así como los bancales que han quedado como suspendidos." La fotografía recoge el escarpe lateral del deslizamiento (en el extremo N), y parcialmente la zona de hundimiento de la cabecera, donde el autor ubica la aparición de un manantial.

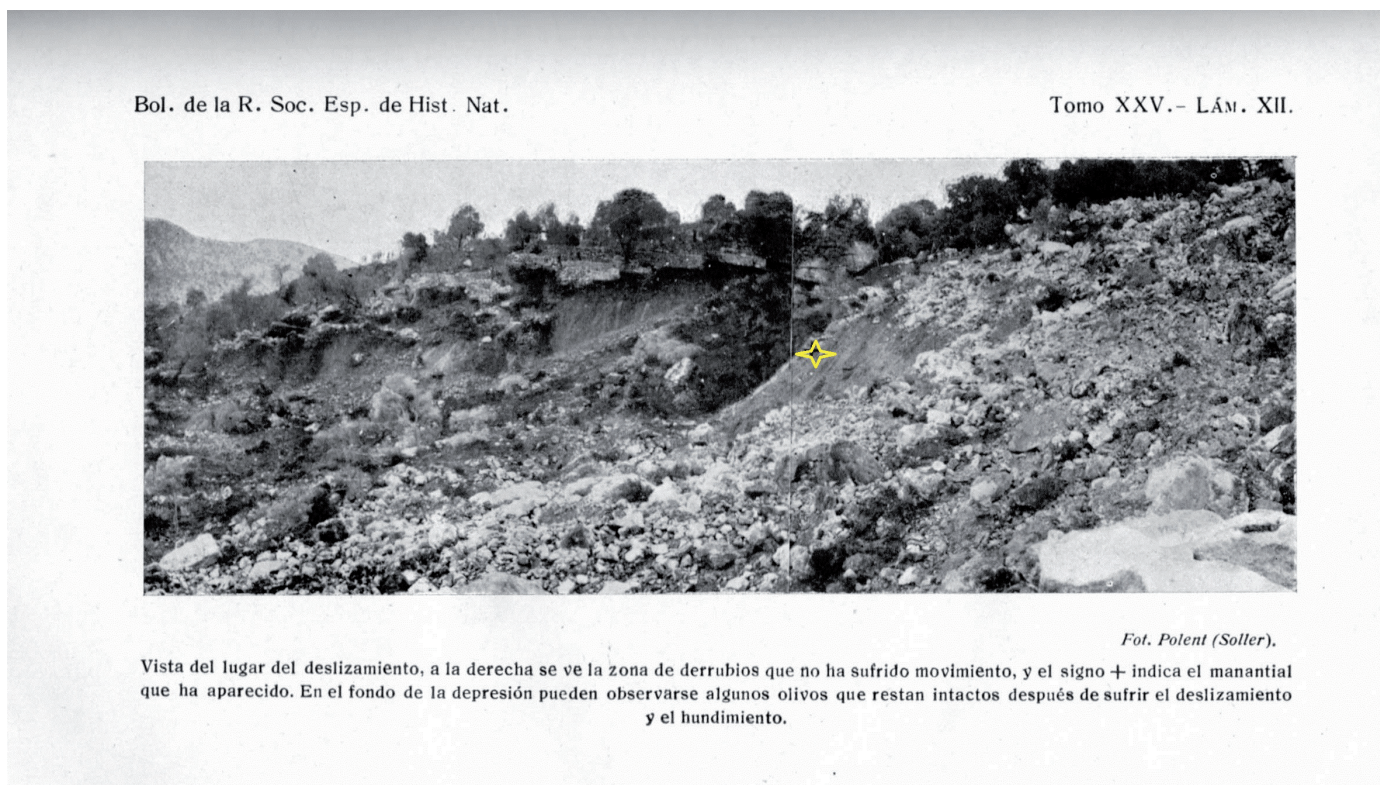


Figura 8. Reproducción de la fotografía realizada por Darder al deslizamiento en pleno movimiento. Nótese las observaciones realizadas por el autor en el pie de la figura donde refiere la aparición de un manantial en el punto señalado con una cruz (resaltado en amarillo).
Figure 8. Original photo of the landslide taken by Darder in 1924. The text below refers to water springing out at the point indicated with a yellow cross.

Conclusiones

La interpretación de los diferentes documentos de Darder sobre el deslizamiento de Es Marroigs de 1924, unido al trabajo de campo realizado para el presente trabajo, pone de manifiesto que se trató de un movimiento complejo, que puede ser clasificado como un deslizamiento planar con un flujo de derrubios.

En relación a la evolución del deslizamiento pueden reconstruirse tres etapas diferentes: una inicial, donde se genera el deslizamiento planar que apenas produce deformación en la vegetación y masa desplazada; una segunda etapa de retroceso de la cabecera del deslizamiento, que produce el descalce del canchal de rocas; y una última etapa de desarrollo del flujo de derrubios, con los bloques procedentes del canchal sobre la superficie del mismo y desplazándose ambos de forma simultánea. El flujo de derrubios avanzó ladera abajo a una velocidad que permitió el desalojo de algunas viviendas; canalizándose hacia el torrente des Julians y deteniendo su marcha en el cauce del mismo el día 18 de diciembre.

Las lluvias persistentes a lo largo de numerosos días previos al movimiento constituyen el factor desencadenante. Hay constancia de deslizamientos de grandes dimensiones en la primavera de ese mismo año en la región granadina de Monachil, lo que induce a pensar que debió ser un año especialmente lluvioso a escala regional.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto DORIS, del 7º Programa Marco de la Unión Europea (FP7/2007-2013), nº 242212. También ha sido parcialmente financiado por el proyecto TOPOBÉTICA- CGL2011-29920, del Ministerio de Economía y Competitividad. Nuestro especial agradecimiento al Sr. Jordi Vicenç Mayol, dueño de la finca Can Llegat, por transmitirnos la herencia oral de su padre de tales acontecimientos. Al Dr. Joan Fornós Astó, de la Universitat de les Illes Balears, por facilitarnos los documentos y fotografías de Darder. In Memoriam, al geólogo Bartomeu Darder i Pericàs, sin cuyos magníficos testimonios el deslizamiento de Es Marroigs hubiera quedado en el olvido.

Referencias

Álvaro, M. 1987. La tectónica de cabalgamientos de la Sierra Norte de Mallorca (Islas Baleares). *Boletín Geológico y Minero*, 98, 34-41.

- Cruden, DM. and Varnes, J. 1996. Landslide types and processes. In: Landslides Investigation and Mitigation. Special Report 247. Keith Turner and Robert Schuster Eds. *Transportation Research Board* (US). 36-90.
- Darder, B. 1924. Origen de los deslizamientos de tierras de Fornalutx. *La Almudaina*, 25 de diciembre de 1924.
- Darder, B. 1925. Los deslizamientos de tierras en Fornalutx (Isla de Mallorca). *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*. Tomo XXV. Año 1925. 142-148.
- Fornós, J. J. 2008. *Bartomeu Darder i Pericàs, geòleg i mestre*. Publicaciones de la Universitat de les Illes Balears. Palma, año 2008. 329 pp.
- Majórica, Vida, Arte. 1924. Desprendimiento de tierras en Fornalutx. *Revista Majorica, Vida, Arte*, diciembre de 1924, nº 13. 3-6.
- Mateos, R.M. 1992. *Análisis de los movimientos de ladera en la zona de Monachil (Granada). Realización de un mapa de peligrosidad a escala 1: 10,000*. Colección de Tesis del Master de Ingeniería Geológica. Universidad Complutense de Madrid. Año 1992. 65pp.
- Mateos, R.M., Ferrer, M. 1994. Methodology for landslides hazard map 1:10.000 in the area of Monachil (Granada, Spain). *Proceedings 7th International IAEG Congress*. Lisboa. Septiembre 1994. Vol. III. 2059- 2065.
- Mateos, R.M. y Azañón, J.M. 2005. Los movimientos de ladera en la Sierra de Tramuntana de la Isla de Mallorca: tipos, características y factores condicionantes. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 18 (1-2): 89-99.
- Mateos, R.M. 2006. *Los movimientos de ladera en la Serra de Tramuntana (Mallorca). Caracterización geomecánica y análisis de peligrosidad*. Tesis doctoral. Colección Digital de Tesis de la Universidad Complutense de Madrid. 375 p.
- Mateos, R.M. y Azañón, J.M. 2007. Dinámica de laderas en la vertiente costera de la Sierra de Tramuntana de la Isla de Mallorca, desde el Pleistoceno superior. *Resúmenes XII Reunión Nacional de Cuaternario*. Ávila, 2007. 21-22.
- Mateos, R.M. y Giménez, J. 2007. El deslizamiento de Biniarroi (Mallorca) de 1721. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 20 (1-2): 3-16.
- Mateos, R.M., Bermejo, M., Hijazo, T., Rodríguez-Franco, J.A., Ferrer, M., González de Vallejo, L.I, García, I. 2009. Los deslizamientos de la ladera de la margen izquierda del torrente de Fornalutx (Mallorca). *Boletín Geológico y Minero*: 119 (4), 443-458.
- Navarro-Newman, P. 1924. Los fenómenos geológicos de Monachil. *Revista Ibérica*, nº 529, 34-48.
- Redacción Última Hora. 1924. Hundimiento de terrenos en Sóller. *Diario Última Hora*. 22 de diciembre de 1924.
- Sàbat, F., Gelabert, B., Rodríguez-Perea, A., Giménez, J. 2011. Geological structure and evolution of Majorca: Implications for the origin of the Western Mediterranean. *Tectonophysics*, 510 (2011), 217-238.

Recibido: mayo 2013

Revisado: junio 2013

Aceptado: septiembre 2013

Publicado: octubre 2013