

# La evolución de las laderas de la Sierra de Alhama (provincias de Granada y Málaga). Influencia de la estructura geológica y la paleosismicidad

*The evolution of the slopes of the Sierra de Alhama (Granada and Malaga provinces). Influence of the geologic structure and the paleoseismicity*

José Luis Clavero Toledo<sup>1</sup>, Carlos Sanz de Galdeano<sup>2\*</sup> y Rafael Yus<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Geólogo. Profesional de la geotecnia. C/ Etiopía, 12. Málaga (29018). [claverogetecnico@gmail.com](mailto:claverogetecnico@gmail.com)

<sup>2</sup> Exmiembro del IACT (CSIC – Univ. Granada). C/ Cervantes, 10. La Zubia (18140 – Granada). [csanz@ugr.es](mailto:csanz@ugr.es)

<sup>3</sup> Catedrático de Biología y Geología. Urbanización El Jardín, 22. Vélez-Málaga (29700 – Málaga). [rafael.yus82@gmail.com](mailto:rafael.yus82@gmail.com)

\*Corresponding author

## ABSTRACT

The Sierra de Alhama presents a very different evolution of its N and S slopes. On its southern slope there is an important development of coherent landslides that are absent on the north slope. These have been produced by the different structure of that mountain on each slope, combined with erosion, and the probable action of important paleoearthquakes.

**Key-words:** Erosion, landslides, paleoseismicity.

Geogaceta, 75 (2024), 63-66

<https://doi.org/10.55407/geogaceta100351>

ISSN (versión impresa): 0213-683X

ISSN (Internet): 2173-6545

## RESUMEN

La Sierra de Alhama presenta una muy diferente evolución de sus laderas N y S. En la ladera sur hay un importante desarrollo de deslizamientos de masas coherentes que están ausentes en la norte. Estos se han producido por la diferente estructura de esa sierra en cada ladera, combinada con la erosión, y probablemente por la acción de importantes paleoterremotos.

**Palabras clave:** Deslizamientos, erosión, paleosismicidad.

Fecha de recepción: 14/06/2023

Fecha de revisión: 24/10/2023

Fecha de aceptación: 24/11/2023

## Introducción

En la evolución morfológica de las laderas de las montañas concurren diversos factores: su litología, estructura, y las posibles inestabilidades tectónicas, además del clima. En el caso que se estudia se pretende mostrar cómo los dos primeros rasgos juegan un papel fundamental por su diferente distribución en cada ladera, así como el probable papel jugado por paleoterremotos.

La Sierra de Alhama o Sierra del Cabrero, ocupa parte del límite entre las provincias de Granada y Málaga (Fig. 1) y se extiende en una dirección aproximada E-O. Desde el punto de vista geológico es un sector singular: se sitúa en la Zona Externa, forma parte del Subbético Interno o Penibético, y a menos de un kilómetro al sur se sitúa la Zona Interna. A lo largo de ese contacto la Zona Interna se desplazó hacia el oeste en relación a la Externa.

Los aspectos geológicos del Subbético en el sector de estudio fueron descritos por Vera (1969). Diversos autores como López Arroyo *et al.* (1981), Clavero *et al.* (2007) y Grützner *et al.* (2013) proporcionaron in-

formación sobre los efectos del gran terremoto acontecido en 1884 (Terremoto de Andalucía) atribuida a la falla de Ventas

de Zafarraya. Sin embargo, no conocemos ningún artículo que describa la evolución de las laderas de la Sierra de Alhama, algo que tiene rasgos interesantes.

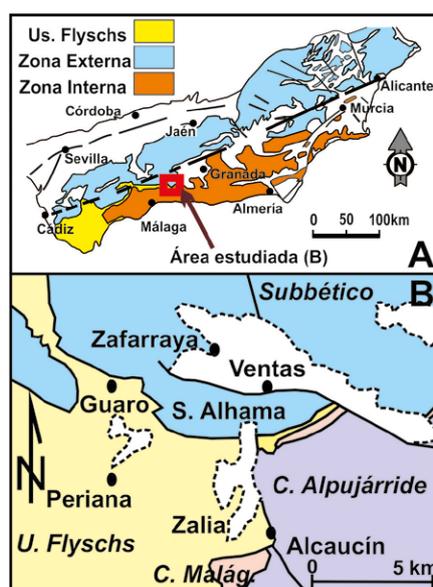
## Estratigrafía

La serie estratigráfica de la Sierra de Alhama está formada en su base por dolomías oscuras que tienen un espesor de al menos 500 m. Se atribuyen al Jurásico inferior, quizás incluyendo parte del Triás.

Encima hay calizas de tonos más claros que las dolomías, que alcanzan unos 200 m de espesor. En su parte superior presentan sílex oscuro en nódulos, a veces casi en bancos. Elorza *et al.* (1979) las atribuyen al Jurásico inferior - Toarciense.

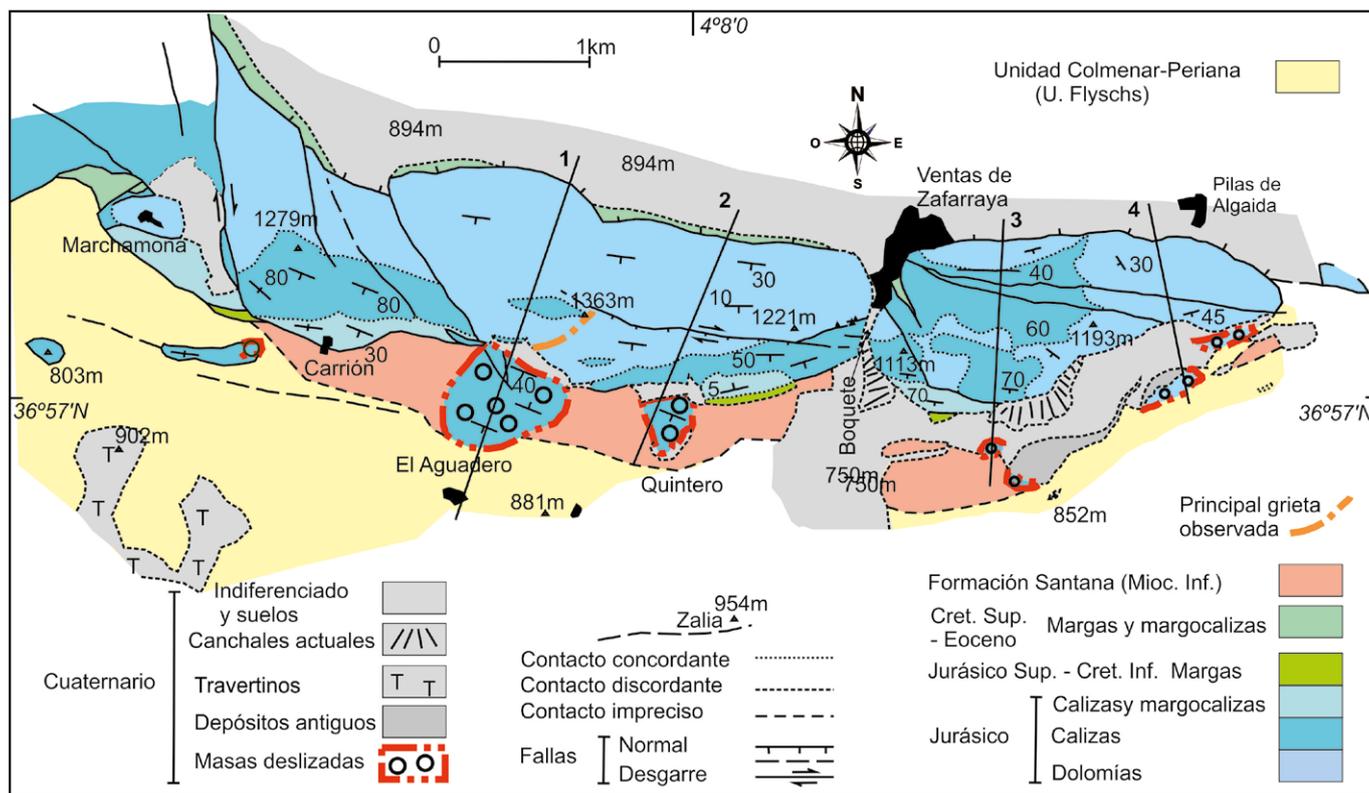
Sobre esos términos aparecen calizas y margocalizas con sílex de colores claros. Alcanzan en algunos puntos hasta unos 100 m de espesor, mientras que no se conservan en otros. Dan relieves mucho menos marcados que las dolomías y las calizas antes citadas. Su edad es Jurásico medio.

Encima se observan margas, margocalizas y algún nivel calizo de tonos blan-



**Fig. 1. Situación regional del sector estudiado. En B, en blanco: depósitos cuaternarios y suelos (ver figura en color en la Web).**

Fig. 1. Regional situation of the studied sector. In B: in white: Quaternary deposits and soils (see color figure in Web).

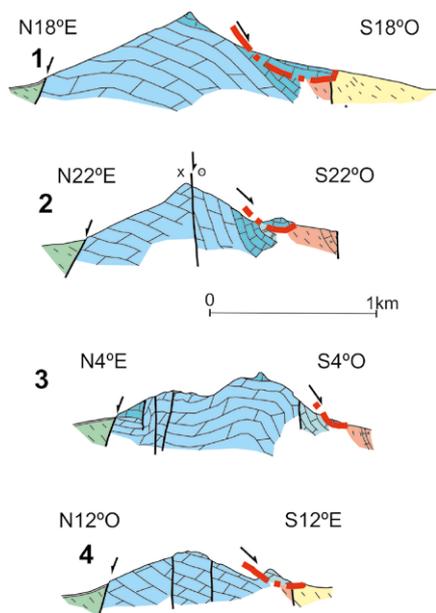


**Fig. 2. Esquema cartográfico de la Sierra de Alhama. Se señala la posición de los cortes de la figura 3 (ver figura en color en la Web).**  
 Fig. 2. Cartographic scheme of the Sierra de Alhama. The position of the cross-sections of figure 3 is indicated (see color figure in Web).

cos y asalmonados que corresponden al Jurásico superior. Se presentan de forma discontinua y se encuentran muy tectonizados, afectados predominantemente por fallas de desgarre dextrorso. También

se observan margas y margocalizas blancas que se atribuyen al Cretácico inferior que igualmente se presentan en afloramientos discontinuos (Fig. 2). Buena parte de sus afloramientos se encuentran cubiertos por depósitos de ladera.

de unos 200 m, generalmente menos. Su contacto con los términos inferiores debió ser originalmente discordante, aunque ahora se encuentra muy tectonizado. Hasta aquí las secuencias que pueden considerarse propias del Subbético en este sector.



**Fig. 3. Cortes geológicos de la Sierra de Alhama. En rojo se indican los sectores deslizados. Colores iguales a los de la Fig. 2 (ver figura en color en la Web).**

Fig. 3. Geological cross-sections of the Sierra de Alhama. The landslides are indicated in red. The colors correspond to those of Fig. 2 (see color figure in Web).

En la parte norte de la Sierra de Alhama afloran margas y margocalizas blancas y asalmonadas. Son las facies típicas del Cretácico superior al Eoceno del Subbético. Forman gran parte del relleno de la depresión (polje) de Zafarraya y su espesor supera varios cientos de metros, aunque solo se observan algunas decenas de metros pues el relleno cuaternario de la depresión las oculta. La falla de Ventas de Zafarraya (Grützner *et al.*, 2013) separa estos materiales de las dolomías (Figs. 2 y 3).

En la parte sur de Sierra de Alhama afloran términos más modernos. No se ven allí los sedimentos del Cretácico superior, sino que sobre los términos del Cretácico inferior se encuentra en primer lugar la "Formación Santana" (Mathis, 1974) (Fig. 2). Está formada por margas, arcillas y areniscas en la base sobre la que afloran calizas detríticas, en muchos casos conglomeráticas, con intercalaciones de margas y arcillas y, a techo, se vuelven a observar arcillas y areniscas. Esta formación, cuya edad es Mioceno inferior, en algunos puntos alcanza un espesor

Encima se sitúa el Complejo Colmenar-Periana (Fig. 2) (Elorza *et al.*, 1979) que aflora al sur de la Sierra de Alhama y está formado por arcillas, arenas y areniscas rojizas y pardas. Se atribuye al Mioceno inferior y puede considerarse *grosso modo* como equivalente a las unidades de Flyschs del Campo de Gibraltar.

Más al sureste, aparecen dos complejos de la Zona Interna, el Maláguide y el Alpujárride (Fig. 1 B), cuya descripción no es necesaria para los objetivos del presente trabajo.

Justo fuera del sector estudiado, al SSO del Boquete de Zafarraya (Figs. 1B, 2 y 4) se encuentra la llamada Mesa de Zalia en la que existe un espesor de unos 200 m de conglomerados y travertinos. Estos últimos abundan en el techo de la formación, pero ya existen -sobre todo como cantos y bloques arrastrados- desde los sedimentos basales. En su parte norte muestran una neta discordancia angular que se abre hacia el sur (Vera, 1969). Estos travertinos y los existentes en



**Fig. 4. Panorámica general N-S de la Sierra de Alhama y su entorno (ver figura en color en la Web).**

*.Fig. 4. N-S panoramic view of the Sierra de Alhama and its surrounding area (see color figure in Web).*

Periana se formaron a partir de surgencias del borde sur de la Sierra de Alhama, actualmente no activas.

En la ladera sur de la Sierra de Alhama hay además depósitos localmente potentes, del orden de hasta 10 m, de derrubios acumulados, además de canchales, bien desarrollados. Pero el rasgo más interesante son las importantes masas deslizadas (Figs. 2 a 5) que no se observan en la ladera norte.

### Estructura del sector estudiado

La estructura de la Sierra de Alhama es relativamente simple: en su lado norte está limitada por una falla normal (falla de Ventas de Zafarraya) con una ligera

componente de falla de desgarre dextrorsa (Grützner *et al.*, 2013). Esta falla hunde su labio norte y su salto vertical es al menos de 500 m. A ella se atribuye el terremoto del 24-12-1884 (Reicherter *et al.*, 2003). En este labio norte las dolomías buzcan hacia el sur, es decir, contra la pendiente de esa ladera (Figs. 2 y 3). En la parte central de la sierra hay algunas fallas que la recorren longitudinalmente (además de otras transversales que la cortan en su sector occidental). Son fallas de desgarre dextrorso, aunque presentan posteriores movimientos verticales, hundiendo su labio sur. En el borde sur, el buzamiento general es también en esta dirección, localmente con valores incluso cercanos a la vertical.

Esta estructura de la Sierra de Alhama hace que exista una notoria asimetría en la disposición de los materiales: están a contrapendiente en el lado norte y a favor de la pendiente en el lado sur.

Aunque actualmente la Sierra de Alhama domina topográficamente a los materiales del Campo de Gibraltar y a los de la Zona Interna directamente situados al sur, el análisis de los contactos no muestra un cabalgamiento. Es decir, el Subbético no se observa que sea cabalgante, sino que tanto la estructura general como otras menores muestran desplazamientos laterales dextrorsos. Así, en términos altos de la serie subbética se observan abundantes estructuras menores que indican desplazamientos



**Fig. 5. Vista del deslizamiento del sector de El Aguadero (ver figura en color en la Web).**

*.Fig. 5. View of the landslide of the El Aguadero sector (see color figure in Web).*

dextrorsos. Esto se observa también en el contacto entre la formación Santana y términos más bajos del Subbético.

También, en el Complejo Maláguide, directamente al sur, abundantes microestructuras indican desplazamientos de tipo dextrorso.

## Deslizamientos y estructuras asociadas

El rasgo más notorio que existe en la ladera sur de la Sierra de Alhama son los numerosos deslizamientos de masas coherentes de carbonatos (calizas y dolomías) allí presentes (Figs. 2 a 5). Uno de ellos, el que llamamos de la Mesa de El Aguadero, tiene más de medio kilómetro de longitud (no es un deslizamiento meramente superficial, pues tiene un espesor superior a 70 m). En la ladera norte no se observan este tipo de depósitos, aunque sí hay, como en la sur, cantos caídos, incluso bloques de varios metros cúbicos.

En la ladera sur también existen grietas de varios cientos de metros de longitud que presentan diversos grados de apertura, en algún punto de varios metros de anchura. Es común que dichas grietas tengan un doble relleno: bandas de espeleotemas y brechas posteriores que a veces ocupan el espacio creado durante la apertura de las grietas.

## Discusión

La presencia de deslizamientos en la ladera sur de la Sierra de Alhama se debe a que en ella las dolomías y las calizas tienen una clara tendencia a deslizarse, al contrario de lo que ocurre en la norte.

Originalmente esta ladera sur tuvo un relieve muy diferente al actual: términos de la formación Santana y de la unidad de los Flyschs, al igual que los complejos de la Zona Interna, alcanzaban mucha mayor altura que la actual. Pero han sido fuertemente erosionados (solo las calizas de la formación Santana destacan algo en el relieve). El resultado de esta erosión es que la ladera sur perdió la protección que impedía los deslizamientos.

Además, hay otro factor a considerar en el desencadenamiento de los deslizamientos; se trata de fuertes terremotos. La falla de Ventas de Zafarraya (a la que se atribuye el terremoto de 1884) y otras fallas más o menos paralelas, son activas. Ese terremoto no ha podido ser el único

en la historia de la región (Grützner *et al.*, 2013), y posiblemente otros anteriores contribuyeran a desencadenar importantes deslizamientos.

El deslizamiento de la Mesa de El Aguadero (Fig. 5) posiblemente necesitó una sacudida repentina para formarse. Y en sus cuevas interiores se reconocen marcadores paleofreáticos que se encuentran inclinados, así como formaciones de estalagmitas giradas, coincidiendo sus cambios de inclinación con desplazamientos de toda la Mesa de El Aguadero hacia el sur. El último gran movimiento ha podido ser datado por la inflexión terminal de estos espeleotemas (Clavero *et al.*, 2007), obteniendo una edad aproximada de unos 4.000 años BP, conseguida por los métodos de datación del carbono-14 (laboratorio Beta Analytic de Florida) y por el sistema de datación U-Th (Univ. de Southampton en Inglaterra). Esto indica que en el deslizamiento de la Mesa del Aguadero actuaron sucesivos paleoterremotos, uno de ellos de la edad citada, al margen de roturas recientes en las simas que probablemente correspondan con el último gran terremoto de 1.884, aunque no se tiene constancia de que se desplazara significativamente en esta fecha.

Por su parte, las citadas grietas de la Sierra de Alhama, actualmente más altas que los deslizamientos, muestran al menos dos etapas de apertura. Una primera progresiva pero lenta, con la formación de espeleotemas a veces de unos 30 cm de espesor, y otra más brusca, con apertura neta y relleno de brechas. Corresponden al mismo fenómeno de los deslizamientos, pero sin alcanzar esos desplazamientos, quedando los materiales casi *in situ*. En la Fig. 2 se marca en naranja la grieta mayor. También algunas fallas muestran grietas abiertas después de sus movimientos principales, así en la falla de desgarre del SO de Ventas de Zafarraya, se observa una apertura posterior a su funcionamiento con espeleotemas y relleno de brechas.

La actividad tectónica del sector queda también demostrada por el hecho de que en la Mesa de Zalia existe la citada discordancia angular en materiales del Cuaternario. Se ha debido formar por el movimiento progresivo de subsidencia de una falla allí situada.

## Conclusiones

El flanco sur de la Sierra de Alhama presenta fuertes buzamientos en esa di-

rección, lo que facilitó que se produjeran deslizamientos de masas coherentes de carbonatos, algo que no ocurre en el lado norte, en el que el buzamiento a contrapendiente lo impide en gran medida.

La erosión eliminó el soporte que el flanco sur tenía, dejando los estratos calizos y dolomías sin apoyo.

La presencia en este sector de la falla de Ventas de Zafarraya, además de otras fallas, entre ellas el contacto entre las Zonas Interna y Externa, ha propiciado que se haya visto sometido a fuertes terremotos, los cuales muy probablemente son los que desencadenaron los deslizamientos descritos y la apertura de importantes grietas. Existen rasgos que muestran que estos hechos se han producido en diversas etapas.

## Agradecimientos

Las correcciones y sugerencias de dos revisores anónimos han mejorado sensiblemente el texto final.

## Referencias

- Clavero, J.L., Marín, F., Martínez, M.A. y Mateos, A. (2007). En: *Asociación Española de Ingeniería sísmica. Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Gerona, Comunicaciones.
- Elorza, J.J., García-Dueñas, V., González-Donoso, J.M., Martín, L. y Matas, J. (1979). *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja de Zafarraya nº 1040 y memoria*. IGME. 64 p.
- Grützner, C., Ruano, P., Jabaloy, A., Galindo-Zaldívar, J., Becker-Heidmann, P., Sanz de Galdeano, C., Rudersdorf, A. y Reicherter, K. (2013). *Cuaternario y Geomorfología*, 27 (3-4), 5-32.
- López Arroyo, A. Martín Martín, A.J. Mézcua Rodríguez, J. (1981). *El terremoto de Andalucía del 25 de diciembre de 1884*. IGN, 5-94.
- Mathis, V. (1974). *Étude géologique de l'extrémité orientale de la zone de Colmenar (prov. de Malaga, Espagne)*. Tesis 3<sup>er</sup> ciclo. Univ. Besançon, 192 p.
- Reicherter, K.R., Jabaloy, A., Galindo-Zaldívar, J., Ruano, P., Becker-Heidmann, P., Morales, J. Reiss, S. y González-Lodeiro, F. (2003). *International Journal of Earth Sciences*, 92, 912-922.
- Vera, J.A. (1969). *Memoria IGME 72*, 187.