

Caracterización morfotectónica de la actividad de la falla de Concud (Cordillera Ibérica, Teruel)

Morphotectonic characterization of the Concud fault's activity (Iberian Range, Teruel)

P. Lafuente¹, T. Lamelas² y M.A. Soriano¹

1 Dpto. Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, Univ. de Zaragoza. 50009 Zaragoza. palomalt@unizar.es, asuncion@unizar.es

2 Dpto. Geografía y Ordenación del Territorio, Facultad de Filosofía y Letras, Univ. de Zaragoza. 50009 Zaragoza. tlamelas@unizar.es

Resumen: La falla de Concud, situada en la Cordillera Ibérica centro-oriental, es una estructura extensional que ha permanecido activa desde el Plioceno superior. Esto queda reflejado en el paisaje mediante un escarpe principal de entre 60 y 120 m modelado en materiales mesozoicos y miocenos, en el que se conservan algunas facetas triangulares. A partir del escarpe se desarrollan abanicos aluviales de corto recorrido. Se ha realizado el estudio morfotectónico de la falla para evaluar su actividad reciente. Así, se ha calculado el índice de anchura de fondo de valle (V_f) en 16 barrancos que atraviesan el frente montañoso generado por el movimiento de la falla, y el índice de sinuosidad del frente montañoso (S_{mf}). Considerando los resultados obtenidos de estos índices, y otros rasgos geomorfológicos de la falla, y aplicando las clasificaciones propuestas por diversos autores, se puede concluir que la falla presenta una actividad reciente entre moderada y alta. Esto se traduce en tasas de movimiento de la falla comprendidas entre 0,05 y 0,5 mm/a, o mayores de 0,03 mm/a, dependiendo de la clasificación utilizada.

Palabras clave: falla activa, morfotectónica, índice geomórfico, fosa del Jiloca, Cordillera Ibérica.

Abstract: The Concud fault, located in the Iberian Range, is an extensional structure active since the Upper Pliocene. The fault shows a main scarp (60-120 m high) on Mesozoic and Miocene materials. There are triangular facets conserved in the central sector of this scarp, and small alluvial fans are developed from its foot. The recent activity of the fault was determined by means of its morphotectonic study. The valley floor/width ratio (V_f) and the Mountain-front sinuosity index (S_{mf}) were calculated. The V_f index was obtained analyzing sixteen gullies that cross the mountain front generated by the fault. These data and other geomorphological characteristics of the Concud fault were compared with the classifications proposed by different authors. It can be concluded that the fault presents a recent activity between moderate and high. According to these data the movement rates of the fault are > 0.03 mm/y or range between 0.05 and 0.5 mm/y, depending on the considered classification.

Key words: active fault, Morphotectonics, geomorphic index, Jiloca graben, Iberian Range.

INTRODUCCIÓN

Para caracterizar el grado de actividad que presenta una falla en regiones intraplaca, con baja actividad sísmica, es importante estudiar su expresión geomorfológica actual, ya que las tasas de deformación tectónica se reflejan en las tasas y patrones de los procesos geomorfológicos. Así, para reconocer áreas de actividad tectónica significativa es muy útil la aplicación de índices geomórficos y el estudio de formas producidas o modificadas por los procesos tectónicos activos (Keller, 1986).

Las formas más características desarrolladas en zonas activas de climas semiáridos son los frentes montañosos generados por fallas. Realizando el análisis geomorfológico de los frentes montañosos y de su red de drenaje se puede obtener una valiosa información acerca de la historia tectónica de la falla (Silva *et al.*, 2003).

En esta comunicación se presenta el estudio morfotectónico de la falla de Concud, con el objetivo

de caracterizar su grado de actividad. Para ello se han comparado los resultados obtenidos a partir del análisis de índices geomórficos y del análisis de formas del relieve asociadas a la falla con las clasificaciones propuestas para fallas en climas semiáridos por McCalpin (1996; para fallas normales) y Silva *et al.* (2003).

MARCO GEOLÓGICO

La falla de Concud conforma el límite NE del sector más meridional de la fosa del Jiloca (Cordillera Ibérica centro-oriental, Fig. 1). Ésta es una depresión tectónica asimétrica, con un margen occidental en suave graderío desde Sierra Menera y Sierra de Albarracín y un margen oriental conformado por las fallas normales en relevo de Calamocha, Sierra Palomera y Concud. El hundimiento generalizado del graben del Jiloca tiene lugar en el Plioceno superior-Cuaternario, bajo un régimen de esfuerzos extensional multidireccional, con una máxima extensión regional próxima a ENE-WSW. Este campo de esfuerzos continúa activo en la actualidad, como muestran los

mecanismos focales de sismos asociados a fallas normales (Herraiz *et al.*, 2000) y alineaciones epicentrales NW-SE, que indican una extensión NE-SW similar a la detectada durante el Cuaternario en la fosa del Jiloca (Simón, 2004).

El fondo de la fosa se encuentra relleno de materiales del Plioceno superior y Cuaternario, generalmente modelado en forma de glacis. La incisión de la red fluvial principal a lo largo de la fosa es pequeña, y tan sólo aparecen algunas terrazas fluviales escalonadas ligadas a los ríos Jiloca y Guadalaviar en los sectores norte y sur de la misma.

La falla de Concud es una falla normal de 13,5 km de longitud superficial. Su dirección media es NW-SE, aunque la traza se curva a N-S en su extremo meridional, en su articulación con la falla de Teruel. En su tramo central se desdobra en dos, con una traza norte (que pone en contacto materiales del tránsito Triásico-Jurásico con el Triásico inferior en la zona más septentrional, y distintos materiales neógenos hacia el sur) y una traza sur (con el Cuaternario en el bloque hundido). Su buzamiento promedio es 65-70° W, con dirección de movimiento prácticamente pura.

Los tres niveles de terrazas pleistocenas aparecen en ocasiones fracturados, basculados y a altitudes anómalas (Peña, 1981; Simón, 1983), y la terraza superior está superpuesta al glacis villafranquiense y no encajada en él (Simón y Soriano, 1993), lo que es un indicio claro de la actividad de la falla.

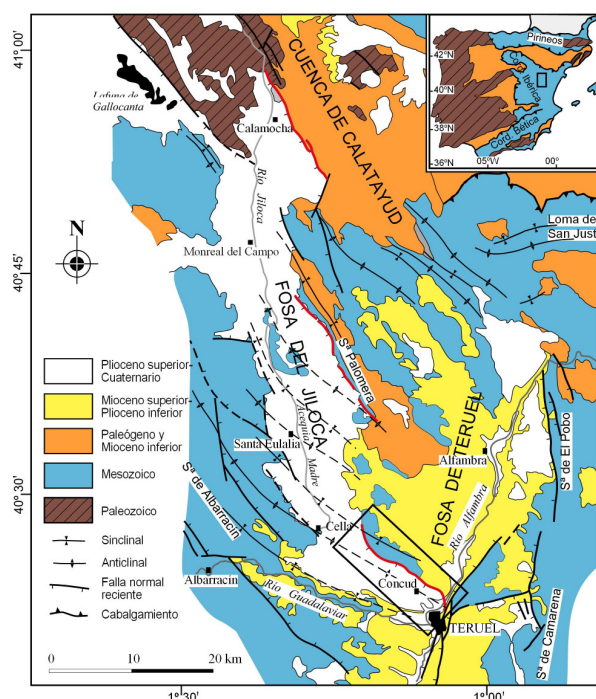


FIGURA 1. Mapa geológico esquemático de la fosa del Jiloca. En rojo se encuentran resaltadas las fallas en relevo que constituyen su borde oriental. De norte a sur: fallas de Calamocha, de Sierra Palomera y de Concud.

METODOLOGÍA

El análisis morfotectónico de la falla se ha realizado mediante el cálculo de los índices geomórficos de anchura de fondo de valle (V_f) y de sinuosidad del frente montañoso (S_{mf}) y mediante el estudio de la geomorfología asociada a la falla, a partir de fotografías aéreas, ortoimágenes digitales, modelo digital del terreno (MDT) y un exhaustivo trabajo de campo. El MDT utilizado para la evaluación de los rasgos morfotectónicos y el cálculo del índice S_{mf} , se ha realizado a partir de los archivos CAD y las imágenes georreferenciadas proporcionadas por el Centro de Documentación e Información Territorial de Aragón del Gobierno de Aragón.

El índice de anchura de fondo de valle (V_f), propuesto por Bull y McFadden (1977), se expresa como

$$V_f = \frac{2V_{fw}}{(E_{ld} - E_{sc}) + (E_{rd} - E_{sc})},$$

siendo V_{fw} la anchura de fondo de valle, E_{ld} y E_{rd} las elevaciones de las divisorias izquierda y derecha respectivamente, y E_{sc} la elevación del fondo del valle, medidos todos ellos a lo largo de un perfil perpendicular al flujo. Este índice, medido a una pequeña distancia aguas arriba del frente montañoso, refleja la efectividad del encajamiento del curso fluvial. El encajamiento de los arroyos se produce a consecuencia de un descenso relativo de su nivel de base, lo cual puede estar causado por movimientos tectónicos con componente vertical. En nuestro caso se ha realizado la medida de los barrancos principales que atraviesan el frente montañoso a distancias de 250 y 500 m aguas arriba del escarpe; estos valores son los que establecen las clasificaciones que se van a utilizar para caracterizar el grado de actividad de la falla (Silva *et al.*, 2003 y McCalpin, 1996, respectivamente). El MDT utilizado para realizar las medidas tiene una resolución de 5 m, por lo que el parámetro V_f no se ha podido medir con mayor precisión y se ha establecido un mínimo de 5 m de anchura para cada barranco. Esto evita realizar subestimaciones en la anchura del fondo del valle, y por tanto exagerar artificialmente el valor del índice V_f .

El índice de sinuosidad del frente montañoso (S_{mf}), también propuesto por Bull y McFadden (1977), se expresa como

$$S_{mf} = L_{mf}/L_m,$$

donde L_{mf} es la longitud total del frente montañoso en su contacto con la base del pedimento o el abanico aluvial, y L_m la longitud del frente montañoso medido en línea recta. Este índice refleja un balance entre la tendencia de los arroyos y los procesos de ladera a producir un frente montañoso irregular (sinuoso) y la tectónica activa con componente vertical, que tiende a generar un frente montañoso recto. Cuando el índice tiene un valor cercano a 1, indica un levantamiento tectónico activo. La escala de trabajo condiciona el valor obtenido en la medición de la longitud de una

línea sinuosa, ya que ésta es un parámetro fractal. Silva *et al.* (2003) proponen el uso de una escala 1:50.000. Dada la moderada longitud de la falla, se ha utilizado una escala 1:25.000, cuyo detalle puede llevar a mediciones aparentes mayores de la longitud del frente sinuoso. Así se asegura que el valor calculado para el índice S_{mf} indique, en todo caso, una actividad de la falla inferior a la real. Las medidas de los parámetros que definen el índice se han realizado con un curvímeter digital sobre ortofotos a escala 1:25.000, y los valores utilizados son la media de 5 medidas sobre el mismo segmento.

Las clasificaciones utilizadas para designar el grado de actividad de la falla también tienen en cuenta rasgos como la morfología del piedemonte (desarrollo de abanicos aluviales e incisión de los canales en los mismos), la sección transversal de los valles (en forma de V o de U) y la existencia o no de facetas triangulares.

RESULTADOS

La falla de Concud se expresa en el paisaje mediante un escarpe de entre 60 y 120 m en materiales mesozoicos y miocenos, incidido por barrancos transversales que han modelado facetas triangulares (Fig. 2).



FIGURA 2. Vista frontal de las facetas triangulares conservadas en el sector central de la falla de Concud.

A partir del escarpe de la falla se desarrollan abanicos aluviales de corto recorrido (1-2 km), que se encuentran incididos por los barrancos principales que atraviesan la falla. En ocasiones los ápices de los abanicos aparecen cortados por la falla.

Para estudiar las anomalías en el perfil transversal de los barrancos que atraviesan el escarpe se ha calculado el índice V_f en 16 barrancos (Fig. 3). Se han seleccionado únicamente aquellos cuya longitud es suficiente para que las medidas puedan realizarse a las distancias que marcan las clasificaciones que se van a utilizar (250 y 500 m aguas arriba del escarpe). Los perfiles transversales de los barrancos a esas distancias aguas arriba de la unión escarpe-piedemonte tienen en general forma de V suave.

Los valores del índice V_f obtenidos se encuentran en un rango entre 0,11 y 0,87 en el caso de los calculados a una distancia de 250 m aguas arriba de la unión escarpe-piedemonte, y entre 0,059 y 0,40 en aquellos calculados a 500 m (Tabla I). En general los valores de V_f son más pequeños en la zona en la que el escarpe está elaborado en materiales mesozoicos (sector NW), favorecido por las características de estos materiales.

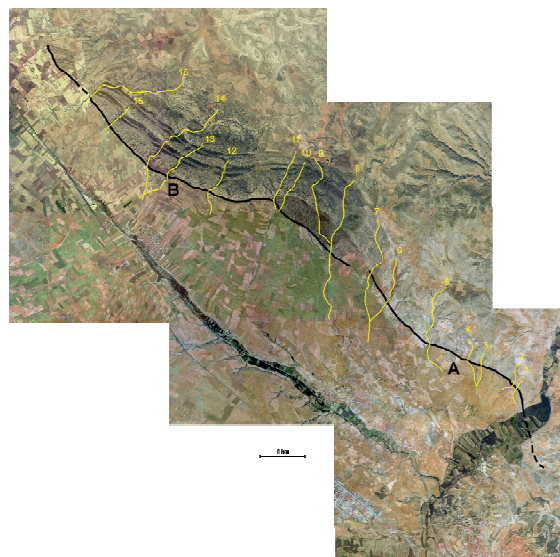


FIGURA 3. Ortoimagen de la falla de Concud en la que se muestran en amarillo los barrancos en los que se ha calculado el índice V_f , y los dos segmentos en los que se ha dividido la falla (A y B) para el cálculo del índice S_{mf} .

250 m aguas arriba		500 m aguas arriba	
Barranco	V_f	Barranco	V_f
1	0,436815	2	0,321141
2	0,389196	5	0,265154
3	0,249345	6	0,171559
4	0,24354	7	0,21186
5	0,213643	9	0,261732
6	0,212761	11	0,059571
7	0,497141	12	0,10457
7 (abajo)	0,223814	13	0,098431
8	0,230904	14	0,400962
9	0,879972	16	0,159403
	10	0,418901	
	11	0,112808	
	12	0,139684	
	13	0,132057	
	14	0,154669	
	15	0,138531	
	16	0,362083	

TABLA I. Índice de anchura de fondo de valle (V_f) a 250 y 500 m aguas arriba del escarpe (en negrita los valores máximo y mínimo en cada distancia).

En cuanto al índice S_{mf} , el frente montañoso se ha dividido en dos segmentos (Fig. 3) en función de la distinta litología en la que está elaborado el escarpe (segmento A: escarpe en arcillas y margocalizas lacustres miocenas; segmento B, con predominio de materiales mesozoicos carbonatados). Los valores obtenidos son de 1,16 en el segmento A y de 1,14 en el segmento B.

INTERPRETACIÓN Y CONCLUSIONES

Los valores obtenidos del índice V_f (Tablas I y II), junto con el hecho de que los barrancos tienen forma de V suave, indican una tectónica activa (clase 1) a moderada (clase 2) siguiendo la clasificación de Silva *et al.* (2003), y una actividad de la falla rápida (clase 2), con algún valor que podría encajar también en la clase

	Falla de Concud	McCalpin (1996)	Silva et al. (2003)
Índice V_f	0,059-0,40 0,11-0,87	Actividad rápida-lenta	Tectónica activa-moderada
Índice S_{mf}	1,14-1,16	Actividad rápida	Tectónica activa
Facetas conservadas	Sí	-	Tectónica activa
Abanicos aluviales	Algo incididos	-	Tectónica moderada

TABLA II. Índices morfométricos y características geomorfológicas principales de la falla de Concud que se han utilizado para realizar la clasificación de su grado de actividad.

3 (lenta) de McCalpin (1996). Los valores del índice S_{mf} (Tabla II) indican que existe una tectónica activa (Silva *et al.*, 2003), y que la actividad de la falla es rápida (McCalpin, 1996).

Para clasificar el grado de actividad de la falla, además de realizar el cálculo de los índices geomórficos, se han tenido en cuenta otros rasgos geomorfológicos (Tabla II). Así, el hecho de que algunas facetas triangulares se encuentren conservadas indica una tectónica activa según la clasificación de Silva *et al.* (2003). A partir del escarpe de la falla se desarrollan abanicos aluviales de corto recorrido (1-2 km), datados en el Pleistoceno superior, que se encuentran incididos por los barrancos principales que atraviesan la falla. Esto indica que la tasa de incisión de la red fluvial durante el Holoceno es algo mayor que la tasa de levantamiento del frente. El hecho de que se encuentren incididos por los canales inter-abanicos, algunos de los cuales incluso llegan a conectar con el eje del valle, es más propio de una tectónica moderada (Silva *et al.*, 2003; la clasificación propuesta por McCalpin en 1996 es menos concreta en este aspecto). Sin embargo, algunos de los ápices de los abanicos aparecen cortados por la falla, lo que es propio de una tectónica activa.

Las clasificaciones de McCalpin (1996) y de Silva *et al.* (2003) asignan tasas de desplazamiento características para cada grado de actividad. Según esto, a la falla de Concud le correspondería una tasa comprendida entre 0,05 y 0,5 mm/a según la clasificación de McCalpin (1996), y una tasa mayor de 0,03 mm/a según la de Silva *et al.* (2003). Los estudios estructurales realizados acerca de la actividad de la falla concuerdan con los resultados que hemos obtenido en este trabajo (Lafuente *et al.*, 2007).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado en el marco del proyecto CGL2006-09670/BTE, financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia y los Fondos Europeos de Desarrollo Regional (FEDER).

REFERENCIAS

- Bull, W.B. y McFadden, L.D. (1977): Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California. En: *Geomorphology in Arid Regions* (D.O. Doehring, ed.). Publications in Geomorphology, State University of New York at Binghamton: 115-138.
- Herraiz, M., De Vicente, G., Lindo-Ñaupari, R., Giner, J., Simón, J.L., González-Casado, J.M., Vadillo, O., Rodríguez-Pascua, M.A., Cicuéndez, J.I., Casas, A., Cabañas, L., Rincón, P., Cortés, A.L., Ramírez, M. y Lucini, M. (2000): The recent (upper Miocene to Quaternary) and present tectonic stress distributions in the Iberian Peninsula. *Tectonics*, 19 (4): 762-786.
- Keller, E.A. (1986): Investigation of Active Tectonics: Use of Surficial Earth Processes. En: *Active Tectonics: Impact on Society* (R.E. Wallace, ed.). Washington D.C. National Academy Press, 136-147.
- Lafuente, P., Simón, J.L., Rodríguez Pascua, M.A., Arlegui, L.E. y Liesa, C.L. (2007): Aproximación al comportamiento paleosísmico de la falla de Concud (Teruel, Cordillera Ibérica). *Resúmenes del 3er Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Girona.
- McCalpin, J.P. (1996): *Paleoseismology*. Academic Press, 588.
- Peña Monne, J.L. (1981): Las acumulaciones cuaternarias de la confluencia de los ríos Alfambra y Guadalaviar, en las cercanías de Teruel. *Actas VII Coloquio de Geografía*, Pamplona: 225-259.
- Silva, P.G., Goy, J.L., Zazo, C. y Bardají, T. (2003): Fault generated mountain fronts in southeast Spain: geomorphologic assessment of tectonic and seismic activity. *Geomorphology*, 50: 203-225.
- Simón, J.L. (1983): Tectónica y neotectónica del sistema de fosas de Teruel. *Teruel* 69: 21-102.
- Simón, J.L. (2004): La tectónica extensional neógena-cuaternaria en la Cordillera Ibérica. En: *Geología de España* (J.A. Vera, ed.). Pral. Sociedad Geológica de España/Instituto Geológico y Minero de España: 615-617.
- Simón, J.L. y Soriano, M.A. (1993): La falla de Concud (Teruel): actividad cuaternaria y régimen de esfuerzos asociado. *El Cuaternario en España y Portugal. Actas 2ª reunión del Cuaternario Ibérico*, 2: 729-737.