

Reconstrucción morfoestructural mediante modelos de elevación digital en un SIG del fondo de la cuenca sedimentaria de la Cubeta del Saltador (Cordilleras Béticas Orientales)

Morpho-structural reconstruction using digital elevation models with a GIS of the Cubeta del Saltador sedimentary basin-floor (Eastern Betic Cordilleras)

E. García-Meléndez ⁽¹⁾, M. Ferrer-Julà ⁽²⁾, J.L. Goy ⁽¹⁾ y C. Zazo ⁽³⁾

⁽¹⁾ Departamento de Geología, Universidad de Salamanca, Pza. de la Merced s/n, 37008 - Salamanca

⁽²⁾ Departamento de Geografía, Universidad de Salamanca, C/ Cervantes nº 3, 37008 - Salamanca

⁽³⁾ Departamento de Geología, Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC), C/ José Gutiérrez Abascal, 2, 28006 - Madrid

ABSTRACT

GIS analysis operations are applied to both a set of available vertical electric sounding data (VES), and topographical data using digital elevation models (DEM) allowing the reconstruction of the approximate three-dimensional shape of the Cubeta del Saltador basin-floor and its limiting faults, as well as affording the thickness of the Plio-Quaternary sedimentary filling. From the morphological configuration of the basin floor, several furrows related to Plio-Quaternary fluvial systems are identified.

Key words: Neotectonics, Plio-Quaternary, vertical electric sounding, Almería

Geogaceta, 32 (2002), 203-206

ISSN:0213683X

Introducción

La interpretación de fotografías aéreas y de datos obtenidos en campo constituyen uno de los métodos convencionales de análisis y detección de fracturas y lineamientos en el terreno, facilitado por una serie de formas del relieve y anomalías geomorfológicas indicadoras de neotectónica. La incorporación de las imágenes de satélite al análisis morfoestructural supuso una información complementaria a la existente dado que permitía un análisis global de las áreas de estudio al trabajar con escalas pequeñas y abarcar grandes extensiones. Asimismo, es de esperar que con el aumento de la resolución espacial y espectral de las imágenes tomadas por los sensores de nuevos satélites se incrementa el grado de detalle de las observaciones. La incorporación posterior de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) supuso la incorporación de nuevas técnicas de estudio, especialmente las relacionadas con las facilidades que presenta esta herramienta para el tratamiento de los Modelos de Elevación Digital (MED) y generación de información a partir de ellos, que ha demostrado ser muy útil en la detección de lineamientos y elementos

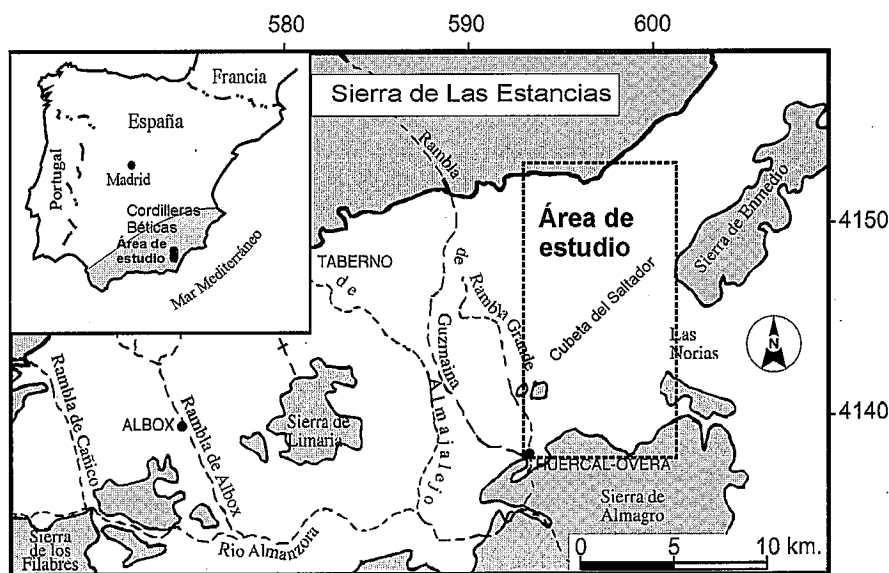


Fig.1.- Situación del área de estudio. Gris: relieves del basamento metamórfico (Paleozoico-Mesozoico); blanco: cuenca neógeno-cuaternaria.

Fig. 1. - Study site location. Gray: Palaeozoic-Mesozoic metamorphic basement relief; white: Neogene-Quaternary basin.

tectónicos (Sánchez Serrano *et al.*, 1996; 1998) en ocasiones relacionados con fallas activas (Goldsworthy & Jackson, 2000) incluso en áreas en las que los cambios de pendiente son muy suaves y pre-

sentan un uso agrícola intensivo siendo imperceptibles a partir de métodos convencionales y de Teledetección (García-Meléndez *et al.*, 1996). En el presente trabajo se analiza la aportación que puede

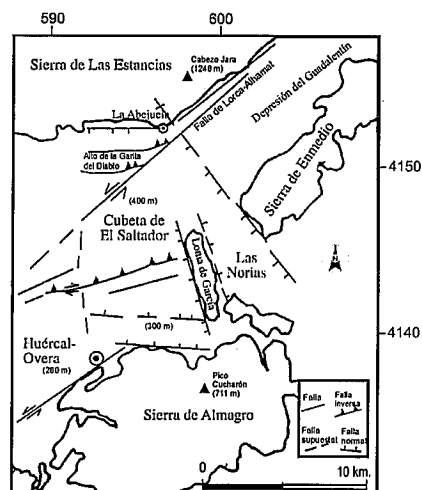


Fig. 2.- Esquema morfoestructural de la parte oriental de la cuenca de Huércal-Overa Basin.

Gris: relieves del basamento metamórfico; blanco: cuenca neógeno-cuaternaria.

Fig. 2. Morpho-structural scheme of the eastern Huércal-Overa. Gray: metamorphic basement; white: Neogene-Quaternary basin

significar la utilización de los SIG analizando datos de profundidad basados en sondeos eléctricos verticales (SEV), siendo el principal objetivo la reconstrucción de los límites de la Cubeta de El Saltador, su morfología y el espesor del relleno sedimentario Plio-cuaternario. Para ello se utilizan los mencionados datos disponibles junto con datos de altimetría utilizando un Sistema de Información Geográfica (SIG) como herramienta para generar los modelos de elevación digital (MED) que permitirán el análisis morfoestructural.

Contexto geológico y geomorfológico

La cuenca neógeno-cuaternaria de la Cubeta del Saltador (sector oriental de la cuenca de Huércal-Overa) (Fig. 1) está situada en la provincia de Almería, perteneciendo al gran dominio morfoestructural de las Cordilleras Béticas Orientales, que se extiende desde Almería en el SW hasta Alicante en el NE, este dominio morfoestructural presenta una zona de cizalla a escala cortical y una geometría sigmoidal a lo largo de la cual se localizan varias cuencas cuaternarias (Silva *et al.*, 1993; Silva, 1994). La cuenca de Huércal-Overa pertenece a la Zona Interna de las Cordilleras Béticas y su formación está ligada a una actividad tectónica distensiva que tuvo lugar a partir del Serravaliense, originando una estructura en grabens y semigrabens con una orientación aproximada E-W como consecuencia de una apertura extensional (Mora-

Gluckstadt, 1993). A partir del Mesiniense superior, la actividad de fallas de desgarre (orientadas NE-SW y NW-SE) se ha relacionado con el predominio de un régimen de esfuerzos próximo a N-S (Mora-Gluckstadt, 1993). En este contexto, tanto la morfología como una gran parte del relleno sedimentario de la Cubeta del Saltador están condicionados por la actividad de la falla de desgarre sinistral de Lorca-Alhama (García-Meléndez, 2000) cuya orientación general es de N45-60E en la Depresión del Guadalentín (Silva, 1994), con un cambio a una dirección más próxima a E-W en la cuenca de Huércal-Overa. La actividad de esta falla interfirió con las fracturas orientadas aproximadamente E-W que limitaban los semigrabens y grabens, de manera que hubo una modificación en la geometría original, superponiéndose una estructura en *pull-apart* que originó una serie de deformaciones en el relleno sedimentario originando varios relieves en sus márgenes (García-Meléndez, 2000). Desde su formación este área actuó como una cuenca subsidente en la cual se acumularon sedimentos marinos correspondientes al Mioceno superior, y de origen aluvial al menos durante el Plioceno superior y Cuaternario. La geometría de la Cubeta de El Saltador presenta una disposición alargada en la dirección N-S de unos 11 Km y una anchura de unos 6 Km aproximadamente y viene determinada por una serie de elementos estructurales que la delimitan (Fig. 2): a) en el norte de la Cubeta, la Sierra de Las Estancias y, en el extremo sur de ésta, las distintas fallas previas de la época inicial de apertura de la cuenca a partir del Serravaliense, de orientación próxima E-W que se acoplan con la falla de Lorca-Alhama, formando una terminación en “cola de caballo” (Briend, 1981; Silva, 1994), y más concretamente los relieves de origen tectónico originados por su actividad como es el Alto de la Garita del Diablo (García-Meléndez, 2000); b) en el sur los relieves formados por la Sierra de Almagro; c) al este la Loma de García, relieve orientado aproximadamente N-S y limitado por fallas normales orientadas N170E, formada por sedimentos Plio-Cuaternarios de origen aluvial; d) al NE por una fractura NW-SE que también limita el *horst* de la Sierra de Enmedio; y, e) al oeste por una fractura N-S deducida a partir del cambio geomorfológico que presenta el sector occidental de la cuenca de Huércal-Overa.

Método

Para obtener la información necesaria sobre la morfología de la Cubeta del Sal-

tador a partir de operaciones de análisis con un SIG, se dispone de una serie de sondeos eléctricos verticales realizados por el IGME (1977) para la prospección hidrogeológica de la Cubeta de El Saltador, y de los datos correspondientes a la altimetría del área de estudio del MTN a escala 1:50.000. En primer lugar se introdujeron en el SIG (programa ILWIS, versión 2.22) los puntos georreferenciados correspondientes a las intersecciones de las líneas de los SEV (Fig. 3A) por medio de su digitalización, asignando como atributo a cada uno de ellos la profundidad a la que se encuentra el sustrato impermeable (tanto terciario como de las unidades pertenecientes al basamento bético), con lo que se obtuvo la potencia del relleno plio-cuaternario que alcanza en la parte más profunda de la cubeta los 340 m (Fig. 2B). El siguiente paso fue la interpolación de dichos puntos por medio del método conocido como Media Móvil, que utiliza una media ponderada de los valores de los puntos obteniendo como resultado un mapa *raster*, de forma que los valores de un *pixel* se calculan como la suma de los productos de los puntos y de los pesos o ponderación, dividido por la suma de los pesos (Manual de ILWIS, 1997). De esta manera, se obtuvo como resultado un mapa *raster* en el que cada *pixel* (resolución espacial de 30 m) tiene un valor calculado a partir de dicha interpolación, en el que los valores de los puntos cercanos a un determinado *pixel* tienen más importancia (peso) para el valor final del *pixel* que los puntos que están más alejados. Esto significa que antes de interpolar, el programa realiza un paso intermedio en el que, para cada *pixel*, se calculan las distancias de todos los puntos hacia él a fin de calcular los valores de peso o ponderación; para ello es necesario determinar una distancia límite. Si la distancia entre un punto con valor y un *pixel* es mayor que la distancia límite, entonces se asigna un valor de peso cero, por el contrario, si esa distancia es menor, entonces se calcula el valor de peso mediante la función de la distancia inversa:

$$\text{peso} = (1/d^n) - 1,$$

en donde d es la distancia entre un punto y el *pixel* en cuestión dividida por la distancia límite (en este caso 2350 m, que es un valor elevado con lo cual se utilizará un mayor número de puntos para calcular el valor de un *pixel* determinado), y n es el exponente de peso (en este caso 2). Posteriormente para cada *pixel* se calcula su valor como la suma de los productos de los valores de

beta del Saltador, distinguiéndose en él la traza de varias fracturas, así como cierta morfología. No obstante, se procedió a crear varias vistas tridimensionales con el fin de discernir mejor la morfología y los límites de la cubeta (Fig. 3C). De esta manera se ponen de manifiesto los siguientes límites coincidiendo con fallas: en el extremo noroccidental, la falla NE-SW que corresponde a la continuación de la falla de Lorca-Alhama, permitiendo la representación de su trazado en la cuenca de Huércal-Overa (Fig. 2); otra fractura que se pone de manifiesto es la orientada aproximadamente E-W localizada al pie de la Sierra de Almagro; la tercera fractura identificada es la que con dirección NNW-SSE limita el relieve Plio-Cuaternario de la Loma de García. También se distinguen diferentes elementos morfológicos, como son los importantes escarpes que dibujan el contorno de la cubeta, relacionados con las fallas anteriores. Destaca la presencia de varios surcos relacionados con la presencia de paleovalles que debieron de ser activos con posterioridad al Mesiniense, una vez que se produjo la continentalización de la cuenca y la instalación de un sistema fluvial previo a las condiciones endorreicas que predominaron durante la mayor parte del Cuaternario (García-Meléndez, 2000). Los surcos más profundos están localizados en los extremos occidental y oriental de la cubeta (Fig. 3C), y estarían relacionados con la existencia, al menos desde el Plioceno superior y hasta el tránsito con el Cuaternario, de un sistema fluvial de orientación aproximada E-W procedente de la parte occidental de la cuenca de Huércal-Overa que al llegar a la cubeta de El Saltador se uniría con otros sistemas procedentes del Norte, para continuar hacia el Este por el surco más oriental hacia la cuenca de Pulpí.

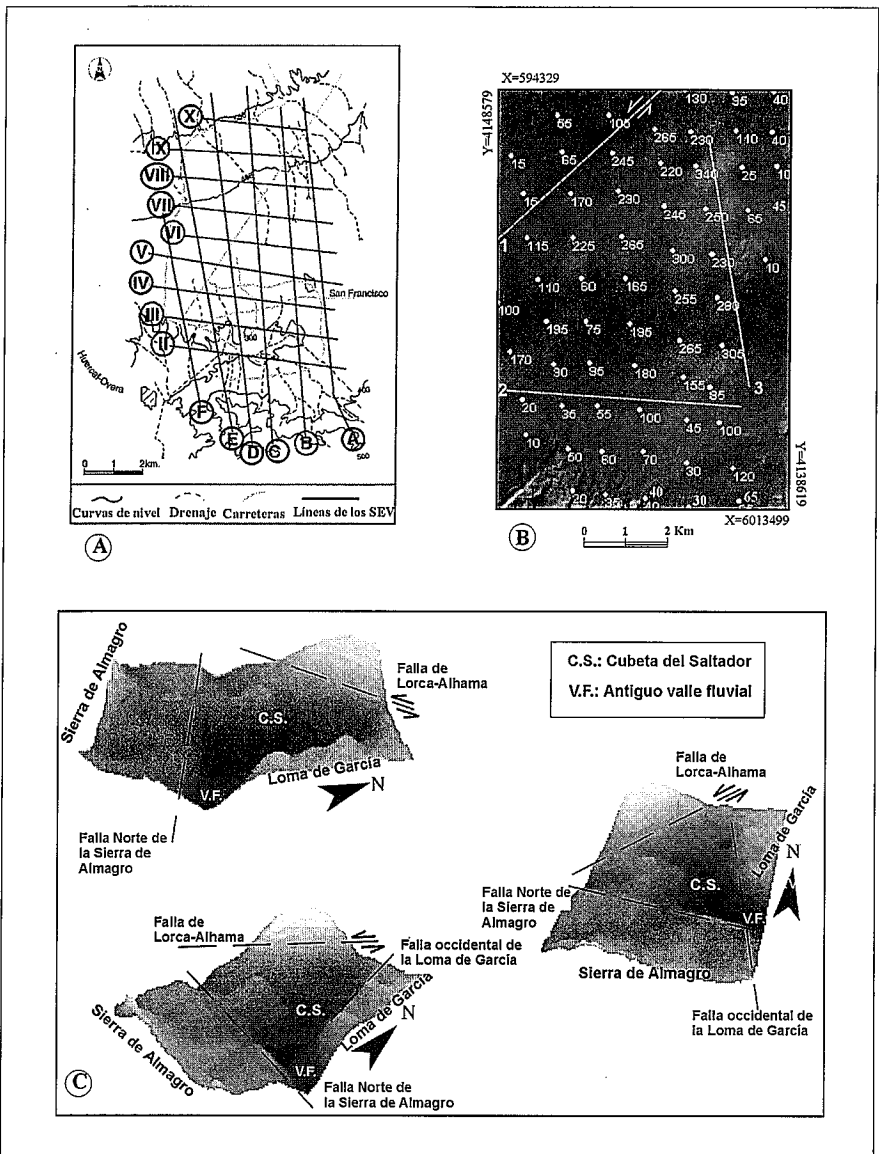


Fig. 3.- A) Localización de parte de las líneas de los SEV. B) Mapa de profundidades del relleno sedimentario Plio-cuaternario con los espesores correspondientes a los puntos de intersección de las líneas de los SEV; 1: falla de Lorca-Alhama; 2: falla norte de la Sierra de Almagro; 3: falla occidental de la Loma de García. C) Representación tridimensional de la morfología del fondo de la Cubeta del Saltador, mostrando las principales fallas.

Fig. 3.- A) Location of part of the VES lines. B) Map showing the Plio-Quaternary sedimentary filling depth with points corresponding to the thickness of the VES lines intersection points; 1: Lorca-Alhama fault; 2: northern Sierra de Almagro fault; 3: western Loma de García fault. C) Three-dimensional views of the basin-floor, showing the main faults bounding the Cubeta del Saltador.

peso y los valores de los puntos, dividido por la suma de los pesos:

$$\text{valor del pixel} = \frac{\sum (p_i \cdot \text{val}_i)}{\sum p_i}$$

en donde p_i es el valor de peso o ponderación para el punto i , y val_i es el valor del punto i .

Una vez obtenido el mapa de profundidades, se procedió a generar el modelo de elevación digital correspondiente a la superficie topográfica de la Cubeta del Saltador, a partir de la digitalización de las curvas de nivel del MTN escala

1:50.000, obteniendo tras su *rasterización* e interpolación un MED con resolución espacial de 30 m. Finalmente, para obtener la cartografía del fondo de la cubeta el último paso es restar a la superficie topográfica el mapa de profundidades previamente calculado por interpolación de los puntos de los SEV, obteniéndose así el mapa representado en la figura 3B.

Resultados

El resultado final (Fig. 3B) muestra un mapa sombreado del fondo de la Cu-

Conclusiones

La utilización de modelos de elevación digital realizando operaciones de análisis en un SIG ha permitido determinar no sólo los límites estructurales de una cuenca sedimentaria íntimamente relacionados con la actividad de fallas durante el Plio-Cuaternario, si no además reconstruir la morfología de su fondo gracias a las posibilidades de visualización de MED que ofrecen los SIG, lo cual ha facilitado la identificación de una serie de surcos relacionados con la existencia de antiguos valles correspondientes a sistemas fluviales. Cabe destacar la plena identificación del trazado de la falla de Lorca-Alhama en la parte oriental de la

cuenca de Huércal-Overa, así como el trazado de la falla E-W que limita el frente norte de la Sierra de Almagro, confirmando así las observaciones realizadas en trabajo de campo y por criterios geomorfológicos.

Agradecimientos

Trabajo financiado por los proyectos PB98-0265 y PB98-0514 de la DGES.

Referencias

- Briend, M. (1981): *Documents et Travaux*, IGAL 4, 208 pp.
- García-Meléndez, E. (2000): *Tesis Doctoral*, Universidad de Salamanca (inédita), 528 pp.
- García-Meléndez, E., Goy, J.L. Zazo, C., Ferrer-Julà, M. (1996): En: *Geographical Information, from research to application*, Rumor, M., McMillan, R., Ottens, H.F.L. (Eds.), IOS Press, Amsterdam, 1, 493-496.
- Goldsworthy, M., Jackson, J. (2000): *Jour. Geol. Soc., London*, 157, 967-981.
- IGME (1977): *Prospección eléctrica en La Ballabona y El Saltador (Almería)*. Informe interno, 8 pp.
- ILWIS (1997): *ILWIS 2.1 for windows. Reference guide*. ITC, Enschede, 616 pp.
- Mora-Gluckstadt, M. (1993): *Unpublished PhD Thesis*, University of Oxford, 232 pp.
- Sánchez Serrano, F., Gómez Ortiz, D., Bergamín de la Viña, F.J., Tejero López, R. (1996): *Geogaceta*, 19, 23-26.
- Sánchez Serrano, F., Tejero López, R., Bergamín de la Viña, F.J., (1998): *Rev. Soc. Geol. España*, 11 (1-2), 139-149.
- Silva, P.G. (1994): *Tesis Doctoral*, Universidad Complutense de Madrid (inédita), 642 pp.
- Silva, P.G., Goy, J.L., Somoza, L., Zazo, C., Bardají, T. (1993): *Tectonophysics*, 224, 289-303.