

# Lineamientos y fracturación en el extremo oriental de la Rama Aragonesa de la Cadena Ibérica (cuenca de Montalbán)

*Lineaments and fracturing at the eastern end of the Aragonian Branch (Montalbán Basin, Iberian Chain)*

S. Tena, A.M. Casas y M.A. Soriano

Departamento de Geología. Facultad de Ciencias. Universidad de Zaragoza. 50009 Zaragoza

## ABSTRACT

The analysis of Landsat lineaments at the eastern end of the Aragonian Branch (comprising the palaeozoic core of the Montalbán anticline, the Tertiary Montalbán basin and several outcrops of Mesozoic rocks) shows a constant NE-SW direction maximum throughout the area, with a secondary NW-SE maximum. The lineament pattern remains unchanged when analysing separately lineaments in rocks of different ages (Paleozoic, Mesozoic, Paleogene, Neogene). The maximum density estimated from cumulative length of lines is 2 km per km<sup>2</sup>. The comparison with geological maps and field observations allow to interpret lineaments as fractures and faults, many of them with little or no offset. The main NE-SW trend seems to correspond to Late Variscan faults reactivated during the mesozoic as extensional faults at the Mesozoic basins North and South of the studied area. The NW-SE maximum coincides with the main structural trend of the Aragonian Branch. Lineaments trending N-S to NNW-SSE are scarce and limited to the surroundings of the Alpeñés fault.

**Key words:** lineament, fracture, basement fault, Tertiary, Iberian Chain

Geogaceta, 24 (1998), 299-302  
ISSN: 0213683X

## Introducción

El análisis de lineamientos o estructuras lineales a partir de imágenes de satélite permite inferir patrones de fracturación, que en muchas ocasiones son difícilmente determinables a partir del estudio de campo o de fotografía aérea (Sabins, 1987). Excepto en el caso de materiales con estratificación subhorizontal, el estudio de los lineamientos debe ir acompañado de un reconocimiento geológico que permita diferenciar aquéllos debidos a estructuras de plegamiento, definidos por líneas de capa y los que son expresión geomorfológica de la fracturación. Hasta el momento, los estudios de lineamientos realizados en distintos lugares de la placa Ibérica (Vegas *et al.*, 1990; Rincón y Vegas, 1996; Arlegui y Soriano, 1996; Muñoz Martín, 1997; Cortés *et al.*, 1998; Cortés *et al.*, este volumen) muestran un patrón persistente con dos máximos de direcciones aproximadas NW-SE y NE-SW. Estos dos máximos, correspondientes a los de la fracturación tardihercínica (Arthaud y Matte, 1975) pueden aparecer conjuntamente o dominar uno de ellos dependiendo de las zonas geográficas.

El objetivo del presente trabajo es caracterizar la fracturación del área del sector de la Cordillera Ibérica situada en torno a la cubeta terciaria de Montalbán a partir del análisis de lineamientos en imagen de satélite, determinar las variaciones espaciales en su orientación, así

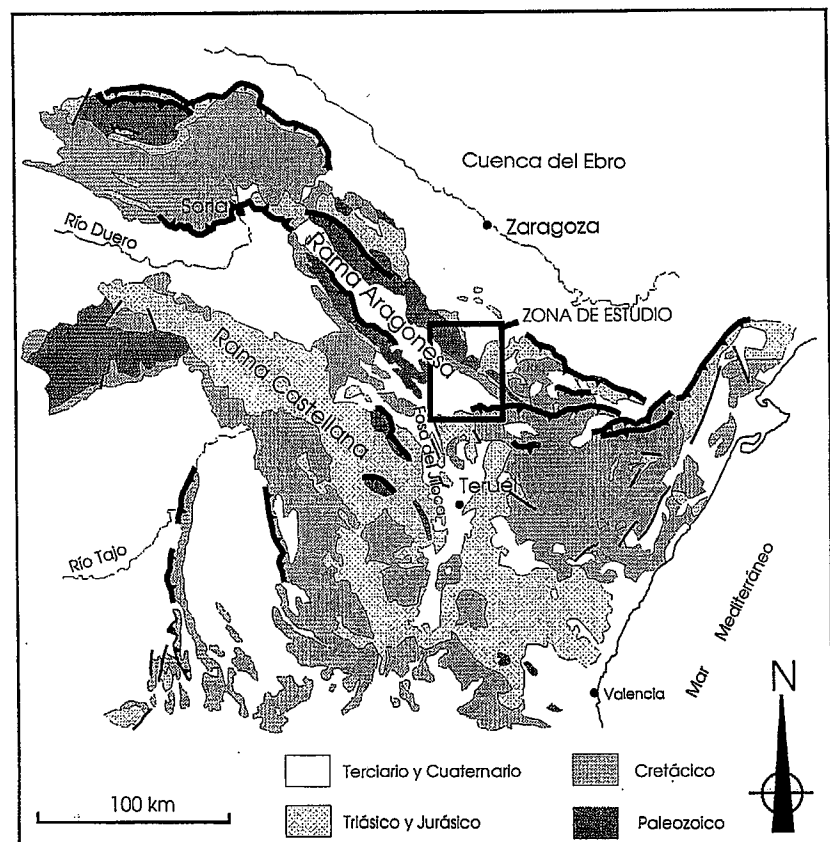


Figura 1. Situación geológica de la zona estudiada.

Figure 1. Geological location of the studied area.

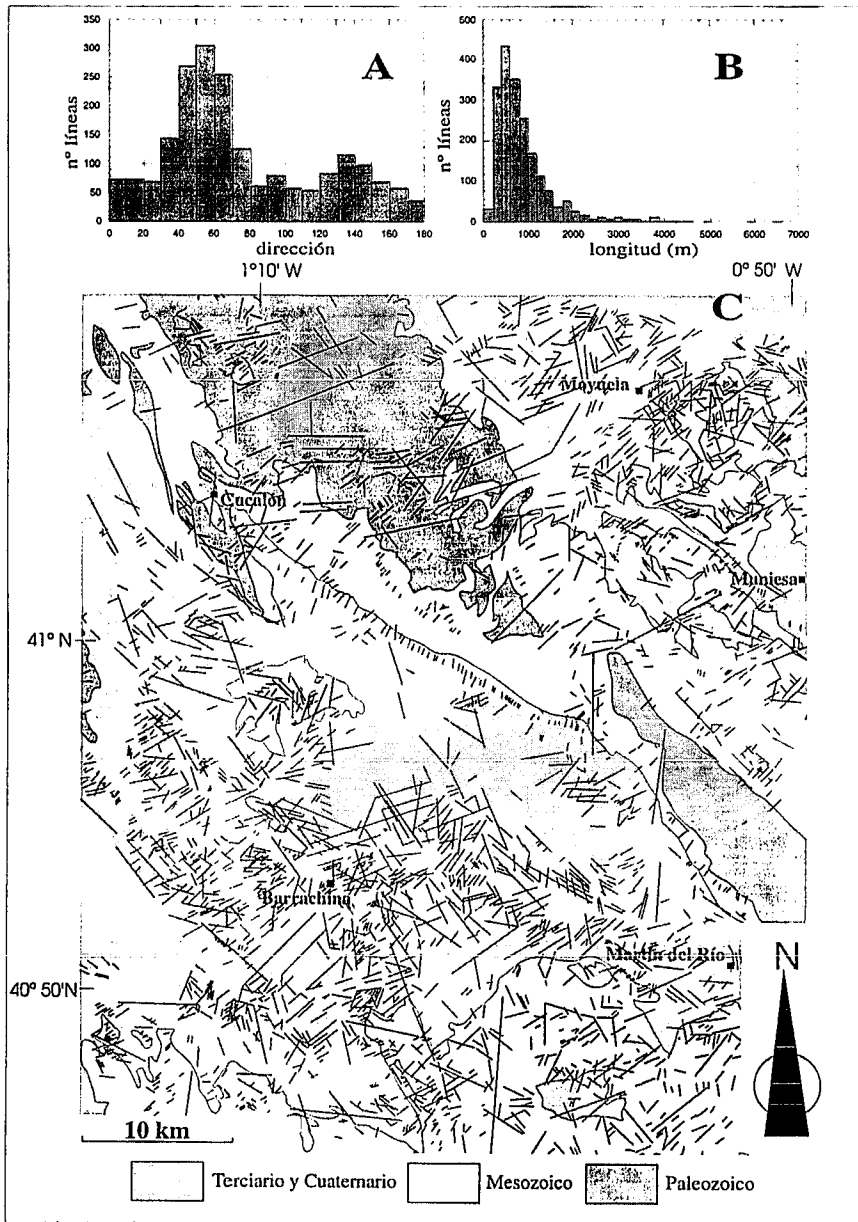


Figura 2. a) Histograma de frecuencia relativa de direcciones de todos los lineamientos cartografiados. b) Histograma de frecuencia relativa de longitudes de todos los lineamientos cartografiados. c) Mapa de lineamientos.

Figure 2. a) Histograms of relative frequency of orientations for all the lineaments. b) Histograms of relative frequency of lengths for all the lineaments. c) Lineament map of the studied area.

como su relación con la edad de las rocas sobre las que se encuentran, y relacionar las orientaciones principales y distribución de los mismos con las direcciones de fracturación principales en este sector de la Cordillera Ibérica.

**Situación geológica**

La zona estudiada comprende parte de la Rama Aragonesa, con alguno de los relieves mesozoicos situados entre ésta y la Sierra de Arcos, la cuenca de Montalbán y el frente norte del cabalgamiento de la Muela de Montalbán (Fig. 1).

A lo largo del núcleo del anticlinal paleozoico que constituye la Rama Aragonesa aparecen materiales de edad comprendida entre el Cámbrico y el Carbonífero, con una potencia conjunta superior a los 7000 m. La serie está constituida fundamentalmente por cuarcitas y pizarras, con algunos tramos carbonatados. Dentro del Carbonífero aparecen rocas volcánicas de carácter alcalino (Lago et al., 1988).

La serie triásica comienza con una discordancia en la base de las facies Buntsandstein. A continuación aparecen las facies Mus-

chelkalk y Keuper, con espesor reducido en relación a otras zonas de la Cordillera Ibérica. El Jurásico marino presenta potencias comprendidas entre 500 y 1000 m, y constituye la secuencia pre-rift de las cuencas del Cretácico inferior. Los materiales del Cretácico inferior presentan una potencia máxima de 800 m en las cuencas de Las Parras y de Oliete (Soria, 1996). Por encima aparecen la Fm. Arenas de Utrillas y el Cretácico superior carbonatado (500-600 m de potencia total). La serie paleógena plegada de la cubeta de Montalbán llega a alcanzar 2500 m de espesor conjunto (Pérez et al., 1983), y sobre ella se dispone el Neógeno horizontal que recubre todo el sector suroriental de la cuenca de Calatayud en su enlace con la cubeta de Montalbán.

El extremo oriental de la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica muestra una estructura relativamente compleja en la que interfieren la dirección estructural dominante de la Rama Aragonesa, NW-SE, representada fundamentalmente por el anticlinal de núcleo paleozoico de Montalbán y la orientación E-W (cabalgamiento de Aliaga, que constituye el extremo occidental del arco de Portalrubio-Vandellós). La dirección E-W es aproximadamente perpendicular a la dirección de acortamiento regional (Guimerà y Alvaro, 1990), mientras que la dirección NW-SE está condicionada por la existencia de estructuras hercínicas con esa orientación (Cortés y Casas, 1996). A estas dos orientaciones estructurales hay que añadirles las fallas de orientación NNW-SSE, que cortan al zócalo de la Rama Aragonesa (Cortés y Casas, 1996) y, en el caso de la falla de Alpeñés, a la cobertera mesozoica y terciaria (Tena y Casas, 1996).

**Metodología**

Para identificar lineamientos se ha utilizado la imagen de satélite 199-32 del Landsat 5 obtenida el 21 de septiembre de 1984 a las 10.13 de la mañana (hora solar). Las coordenadas de su centro son 40.20° N para la latitud y 0.49° W para la longitud. Este satélite lleva a bordo el sensor Thematic Mapper que registra siete bandas que abarcan el espectro visible y zonas del infrarrojo próximo (1, 2, 3, 4, 5 y 7) con resolución espacial de 30 m, y del infrarrojo térmico (banda 6) con resolución espacial de 120 m. A partir de esa imagen se seleccionó una ventana de trabajo correspondiente a unos 2186 km<sup>2</sup> cuyos límites aproximados son las localidades de Herrera de los Navarros y Munniesa, al Norte y Este respectivamente; el río Jiloca al Oeste y los Campos de Visiedo, al Sur (Fig. 2). Se realizaron diversas combinaciones de tres bandas, eligiéndose la de falso color resultante de utilizar las 2, 4 y 5 (en azul, verde y rojo, respectivamente) cuya tonalidad facilitaba el análisis visual de la imagen y el reconocimiento de los lineamientos. Para mejorar el

contraste de la imagen se efectuó su normalización. Para ello a partir del histograma que resulta de representar el número de pixels para cada nivel de gris se elimina un 1% de la información en ambos sentidos llevándose los nuevos extremos del histograma a 0 (negro) y 255 (blanco). Una vez conseguida una imagen óptima, se procedió a dibujar los lineamientos trabajando directamente sobre el monitor del ordenador.

La obtención de 2917 lineamientos obligó a utilizar un programa de exploración automática que utiliza ficheros de líneas en formato vectorial (EPS). Este realiza una exploración sistemática a lo largo de los ejes X e Y generando un fichero que proporciona, entre otros parámetros, las coordenadas X, Y inicial y final de cada línea, su longitud y su orientación respecto al Norte. A partir de este fichero se llevó a cabo un tratamiento estadístico de las orientaciones y dimensiones de los lineamientos utilizando programas informáticos convencionales.

Con objeto de facilitar la manipulación de datos, se superpuso a la imagen una malla de 42 ventanas de 300 x 300 pixels (6 columnas y 7 filas), de 8,85 km de lado. Para cada una de estas ventanas se realizó un estudio estadístico de la distribución de direcciones de lineamientos que se representó en un diagrama de rosas. Se realizaron estudios estadísticos de los lineamientos de los distintos materiales (Paleozoico, Mesozoico, Paleógeno, Neógeno) y del total de datos. Cuando un lineamiento afecta a dos materiales de distinta edad a la vez, se le considera perteneciente al material que más longitud de lineamiento tiene. Los lineamientos situados en los contactos de dos materiales se consideran incluidos en el más moderno.

### Análisis de lineamientos

Se han medido 2917 lineamientos que afectan a materiales de distintas edades, desde el Cámbrico Inferior hasta el Cuaternario (Fig.2). La longitud máxima que presentan es de 11217 m y la mínima de 104 m, en ambos casos sobre materiales de edad neógena. El histograma del total de longitudes de lineamientos muestra una distribución logarítmica, con una moda en torno a los 500 m (Fig. 2). En el intervalo de 0 a 1500 m la relación dirección-longitud muestra que los lineamientos NE-SW dominan y los lineamientos de más de 4000 m exhiben varios máximos.

El histograma del total de direcciones de lineamientos muestra una dirección principal de 050-060° (NE-SW) y máximos relativos en direcciones de 130-140° y 90-100°. Estas direcciones se repiten para los distintos grupos de materiales analizados por separado (Fig.3). Se ha dividido el número de lineamientos según afecten a materiales de distintas edades, quedando la distribución de esta manera: Paleozoico: 263 lineamientos; Mesozoico: 1063

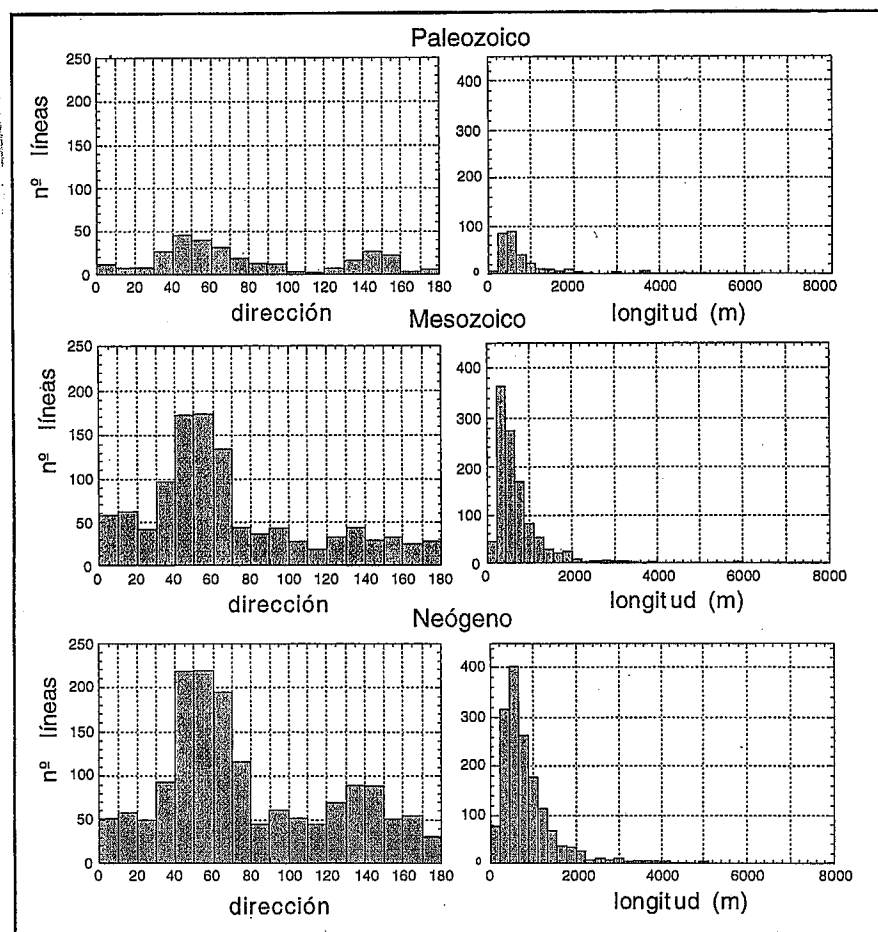


Figura 3. Histogramas indicando la frecuencia relativa de la orientación y longitudes de los lineamientos para los distintos materiales: Paleozoico, Mesozoico y Neógeno.

Figure 3. Histograms showing the relative frequency of orientation and length of the lineaments from different materials: Paleozoic, Mesozoic and Neogene.

lineamientos; Paleógeno: 43 lineamientos; Neógeno: 1548 lineamientos. En cuanto a las direcciones, el máximo 050-060° destaca con mayor importancia sobre los materiales mesozoicos y neógenos que sobre los paleozoicos. En el Mesozoico el máximo relativo más importante tiene dirección 000-020° (N-S) que también aparece como máximo relativo en el Neógeno (Fig. 3).

La máxima densidad de lineamientos se sitúa en la zona de Barrachina ocupada por materiales neógenos y se extiende siguiendo los límites de la cuenca terciaria de Montalbán. Otros máximos importantes son los registrados en la zona noroeste de Muniesa, alargándose en una dirección N-S. En el anticlinal NW-SE de Cúcalón-Montalbán el número de lineamientos es el más bajo. El hecho de que la dirección NW-SE de esta estructura no se refleje en una mayor densidad de lineamientos en esta zona puede ser debido a la presencia de una vegetación densa y a las características pizarrosas del material paleozoico del núcleo del anticlinal que dificultan su reconocimiento. Del mismo modo

también existe una densidad muy baja en el extremo suroccidental de la imagen, ocupado por los depósitos del valle del Jiloca.

El análisis espacial mediante la malla de celdas muestra que los lineamientos NE-SW dominan en toda la zona, existiendo además máximos relativos de dirección 130-150° en la mayor parte de las celdas (Fig. 4). Esta dirección NNW-SSE corresponden a la fracturación en la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica (Cortés y Casas, 1996). En esta zona, varios de ellos se encuentran alineados con esta dirección y coinciden con la falla de Alpeñés. Sin embargo, estadísticamente es un rasgo secundario frente a la dirección NE-SW.

### Interpretación y discusión

A partir de otros estudios sobre la relación de lineamientos observados en imágenes satélite con estructuras frágiles a nivel de afloramiento en cuencas neógenas de la Cordillera Ibérica y en la Cuenca del Ebro, se ha visto que los rasgos superficiales que producen lineamientos

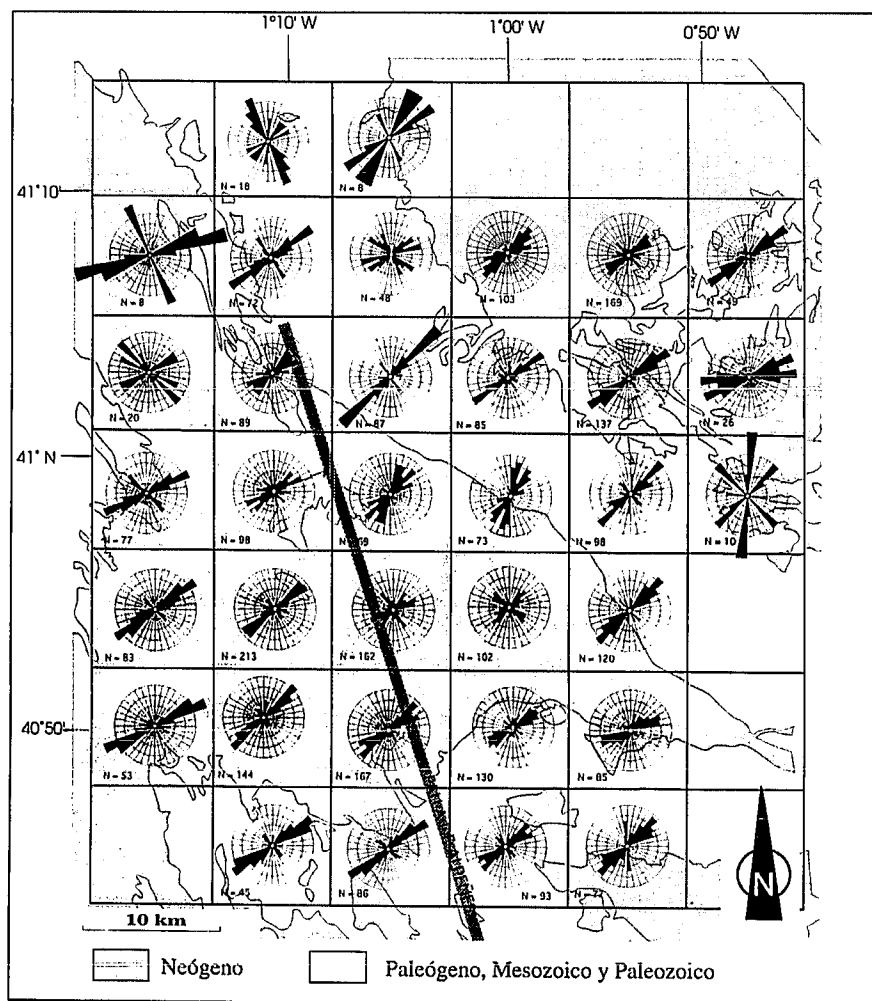


Figura 4. Variación espacial de las direcciones de lineamientos. Diámetro de la circunferencia=20% para todas las rosas

Figure 4. Spatial variations of lineament orientations. Diameter of the outer circle: 20%

tos corresponden a escarpes de falla o a pequeñas fallas alineadas y diaclasas (Cortés *et al.*, 1998; Arlegui y Soriano, 1996). En nuestro caso, las principales fallas cartografiadas en el mapa geológico a escala 1:200.000 (Gabaldón *et al.*, 1991) coinciden en la imagen de satélite con lineamientos dibujados sobre ésta.

En la Cordillera Ibérica existen dos direcciones dominantes de fallas extensionales: NW-SE y NE-SW, heredadas de la etapa de fracturación tardihercínica (Arthaud y Matte, 1975). Estas dos direcciones de fracturación, presentes en prácticamente todos los materiales del interior de la Península (Muñoz Martín, 1997; Cortés *et al.*, 1998; Cortés *et al.*, este volumen), presentan distinta importancia según las zonas, ya que dentro de las propias cuencas ibéricas las fallas responsables del control de la sedimentación durante el Cretácico Inferior pasan de ser NW-SE en la zona occidental a NE-SW en la oriental. En el caso de la cuenca de Las Parras-Galve, situada al sur de la zona

de estudio, las fallas de dirección ENE-WSW serían las responsables del control de la subsidencia, mientras que las de dirección NW-SE a NNW-SSE corresponderían a fallas de transferencia con movimiento direccional (Soria, 1997). De esta manera, la familia principal de lineamientos corresponde con la dirección de las principales fallas extensionales mesozoicas.

**Conclusiones**

Se observa la existencia de lineamientos dispuestos mayoritariamente en dirección 050-060° (NE-SW) y en otra dirección secundaria 130-140° (NW-SE). Las distribuciones de sus direcciones sobre materiales de distintas edades revelan similitudes entre sí y con el total de datos.

Se considera la dirección máxima NE-SW como correspondiente a fallas de edad tardihercínica reactivadas durante el mesozoico como fallas extensionales. Estas mis-

mas direcciones de fracturación afectan a materiales terciarios comportándose tras su reactivación como fallas direccionales durante las etapas compresivas.

**Agradecimientos**

El programa de exploración automática de líneas se desarrolló en el Centro de Tratamiento Digital de Imágenes de la Universidad de Zaragoza por María José Marín y Pilar Sancho. El presente trabajo ha sido financiado con el proyecto 221-98 de la Universidad de Zaragoza.

**Referencias**

Arlegui, L.E. y Soriano, M.A. (1996): *Cuad. Lab. Xeol. Laxe*, 21: 11-21.  
 Arthaud, F y Matte, P. (1975): *Tectonophysics*, 25: 139-171.  
 Casas-Sainz, A. M. y Gil-Imaz, A. (1997): *Geologische Rundschau*, 86 (en prensa).  
 Cortés, A., Casas, A. (1996): *Rev. Soc. Geol. España*, 9 (1-2), 51-66.  
 Cortés, A., Maestro, A. y Soriano, M. A. (1998): *Geogaceta* (este volumen)  
 Cortés, A., Maestro, A.; Soriano, M. A. y Casas, A. (1998): *Geol. Mag.* (en prensa)  
 Gabaldón, V. Lendínez, A., Ferreiro, E., Ruiz, V., López de Alda, F., Valverde, M., Lago San José, M., Meléndez, A., Pardo, G., Ardevol, L., Villena, J., Pérez, A., González, A., Hernández, A., Alvaro, M., Leal, M.C., Aguilar Tomás, M., Gómez, J.J, Carls, P. y colaboradores (1991): *Hoja del Mapa Geológico de España* a E 1:200.000 N° 40. ITGE. 239 pp.  
 González, A. y Guimerà, J. (1993): *Rev. Soc. Geol. España*, 6 (1-2), 151-165.  
 Guimerà, J. y Alvaro, M. (1990): *Bull. Soc. Géol. France*, 8: 339-348.  
 Lago, M., Pocovi, A., Bastida, J. y Amigó, J.M.(1988): *II Congreso Geológico de España*, Granada, Comunicaciones, Vol. 2: 31-34.  
 Muñoz Martín, A. (1997): *Tesis Doctoral*, Univ. Complutense, Madrid, 331 p.  
 Pérez, A. (1983): *Bol. R. Soc. Española Hist. Nat. (Geol.)*, 81 (3-4). 197-223.  
 Rincón P. J. y Vegas, R. (1996): *Geogaceta*, 20 (4), 929-931.  
 Sabins, F.F.JR. (1987): *Remote sensing. Principles*. W.H. Freeman and Co., 449 pp.  
 Soria, A.R. (1996): *Tesis Doctoral*. Univ. de Zaragoza, 363 p.  
 Tena, S. y Casas, A.M.(1996): *Geogaceta*, 20 (4), 789-791.  
 Vegas, R., Vázquez, J.T., Suriñach, E. y Marcos, A. (1990): *Tectonophysics*, 184: 367-378.