

SISTEMAS DE FRACTURAS NEÓGENAS EN LA CUENCA DE ALMAZÁN (SECTOR ORIENTAL DE LA CUENCA DEL DUERO)

A. Maestro González y A.L. Cortés Gracia

Departamento de Geología, Universidad de Zaragoza, Plaza San Francisco s/n, 50009 Zaragoza

Resumen: Los depósitos neógenos de la Cuenca de Almazán (N de España) presentan una importante fracturación. Estudios de campo han permitido determinar a escala de afloramiento la existencia de varias orientaciones de fracturación: NNE-SSW, NE-SW, ENE-WSW, NW-SE y NNW-SSE. A partir del análisis de la imagen satélite se han identificado más de 2300 lineamientos. El tratamiento estadístico de estos lineamientos muestra la existencia de un máximo absoluto de dirección ENE-WSW, junto a dos máximos relativos de orientación ESE-WNW y NW-SE. El estudio comparativo realizado entre las fracturas identificadas a escala de afloramiento y los lineamientos obtenidos de la imagen satélite indican cómo la mayoría de estos lineamientos podrían corresponder a diaclasas y fallas de pequeño desplazamiento. Las estructuras definidas por los lineamientos y las fracturas observadas en campo han sido formadas bajo la actuación del campo de esfuerzos que actuó en la Cuenca de Almazán durante el Neógeno, caracterizado por la superposición de un estado extensional y compresional (en régimen de desgarre).

Palabras clave: fracturación, falla, diaclasa, lineamiento, imagen satélite, Neógeno, Cuenca de Almazán

Abstract: Neogene rocks of the Almazán Basin (N Spain) show an important fracturing. Field studies allow to determine fault and joint systems at the outcrop scale with several orientation maxima: NNE-SSW, NE-SW, ENE-WSW, NW-SE and NNW-SSE. From the study of satellite imagery, more than 2300 lineaments have been identified. The statistical analysis of lineament directions shows an ENE-WSW absolute maximum and ESE-WNW and NW-SE relative maxima. The comparison between fractures at the outcrop scale and satellite lineaments indicates that most lineaments correspond to joints and faults with little offset. Both fractures and lineaments were formed under the regional stress field in the Almazán Basin, because of the superposition of extensional and compressional (strike-slip regime) stress fields during the Neogene.

Key words: fracturing, fault, joint, lineament, satellite image, Neogene, Almazán Basin

Maestro González, A. y Cortés Gracia, A.L. (1999): Sistemas de fracturas neógenas en la Cuenca de Almazán (sector oriental de la Cuenca del Duero). *Rev. Soc. Geol. España*, 12 (1): 29-36.

La Cuenca de Almazán se localiza al norte de la Península Ibérica y forma parte de las provincias de Soria y Zaragoza. Con una extensión de unos 4000 km² constituye el sector más oriental de la Cuenca del Duero. Desde el punto de vista geológico, la Cuenca de Almazán es una depresión sedimentaria de geometría sinclinal generada durante el Paleógeno, rellena por materiales de esta edad plegados (más de 2500 m de potencia) y por materiales neógenos subhorizontales (unos 500 m de espesor) que colmatan el relleno terciario de la cuenca. La cuenca está limitada al norte por la Sierra de Cameros, al este por la Rama Aragonesa y al sur por la Rama Castellana de la Cordillera Ibérica (Fig. 1). Su límite occidental no está claro, ya que las unidades neógenas presentan continuidad con las de la Cuenca del Duero (*s.s.*), aunque se podría situar en los paleorreliques mesozoicos del sector del Burgo de Osma.

El Terciario de la Cuenca de Almazán está dividido en nueve Unidades Tectosedimentarias (Carballeira y Pol, 1989; Armenteros, 1991; Lendínez, 1991). Las

cuatro primeras (UTS I-IV) se incluyen en el Paleógeno, si bien hemos centrado nuestro estudio en las cinco restantes, correspondientes al Neógeno: UTS V (Mioceno inferior), UTS VI (Mioceno inferior-medio), UTS VII (Mioceno medio-superior), UTS VIII (Mioceno superior-Plioceno inferior) y UTS IX (Plioceno). Corresponden a ambientes continentales en medios de abanicos aluviales y sistemas lacustres. La potencia total de la serie neógena es de unos 500 m.

Los materiales neógenos que rellenan la cuenca no presentan deformaciones significativas a escala macroestructural (pliegues, grandes fallas, etc.), como se ha podido constatar a partir de las observaciones de campo y el estudio de superficies de referencia cartográficas (Gracia Prieto *et al.*, 1990; Cortés y Maestro, 1997). A escala de afloramiento, sin embargo, las unidades neógenas aparecen densamente fracturadas, afectadas por fallas de escaso desplazamiento y sistemas de diaclasas muy desarrollados (Maestro y Casas, 1995; Cortés y Maestro, 1997). Si cambiamos la escala de

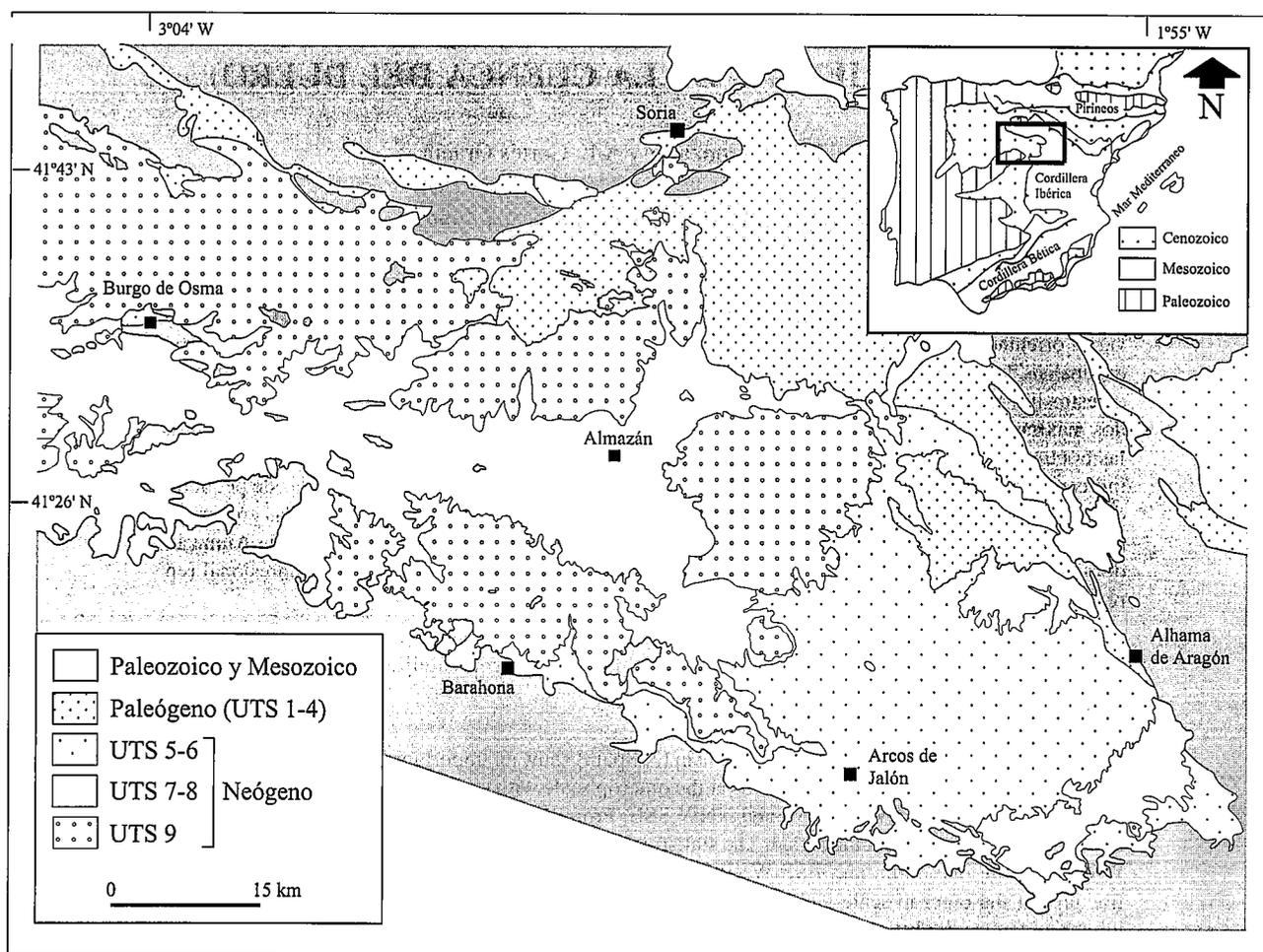


Figura 1.- Mapa geológico de la Cuenca de Almazán, detallando las unidades neógenas estudiadas en este trabajo.

observación, con el estudio de la fotografía aérea convencional (escala 1:30.000) no es posible determinar los patrones de fracturación, ya que la naturaleza del terreno (materiales detríticos, mayoritariamente lutíticos, en gran parte de la cuenca), los procesos erosivos y las labores agrícolas (grandes extensiones de tierras cultivadas) impiden la observación directa de las estructuras. Con estas condiciones, el estudio de imágenes de satélite ayuda a detectar estructuras lineales de dimensiones hectométricas a kilométricas (Sabins, 1987), especialmente aquellas con expresión geomorfológica (Nash *et al.*, 1996; Arlegui y Soriano, 1996).

El objetivo fundamental de este trabajo es estudiar los sistemas de fracturas que afectan a los materiales neógenos de la Cuenca de Almazán. Descartado el uso de la fotografía aérea convencional, nos centraremos en el análisis de las fracturas a escala de afloramiento y en el estudio de la imagen satélite para caracterizar los patrones de fracturación en cada caso y determinar las relaciones existentes entre los distintos tipos de estructuras analizadas.

Metodología

Para caracterizar la fracturación a escala de afloramiento se ha llevado a cabo un detallado trabajo de

campo midiendo más de 2300 planos de fracturas. Dependiendo del tipo de estructura, se ha medido la dirección, buzamiento y sentido de buzamiento de todos los planos, añadiendo el cabeceo de la estría y los indicadores de sentido de movimiento cuando se trataba de fallas. En general, sólo se han considerado representativos aquellos afloramientos con medidas de más de 12 planos de falla o 30 diaclasas, obteniendo una media de 42 planos por afloramiento para el conjunto del área estudiada. Mediante el estudio estadístico de las orientaciones y las relaciones geométricas entre las diferentes familias determinadas (Hancock, 1985; Arlegui, 1992, 1996) se han establecido los patrones de fracturación para cada uno de los afloramientos estudiados, diferenciando en lo posible cuando correspondían a diaclasas y a fallas. Los datos de orientación de los planos fueron analizados mediante el empleo de diagramas de frecuencia (diagramas en rosa, histogramas o curvas de frecuencia) para obtener las direcciones dominantes en cada afloramiento, realizándose así mismo un análisis conjunto de los mismos a escala de cuenca.

El estudio de los lineamientos se realizó a partir de una imagen *Thematic Mapper* del satélite *Landsat* (200-31) tomada el 12.10.1984. Para el análisis de la imagen se tomó una combinación de falso color utilizando las bandas 2, 4 y 5 (azul, verde y rojo), que tiene

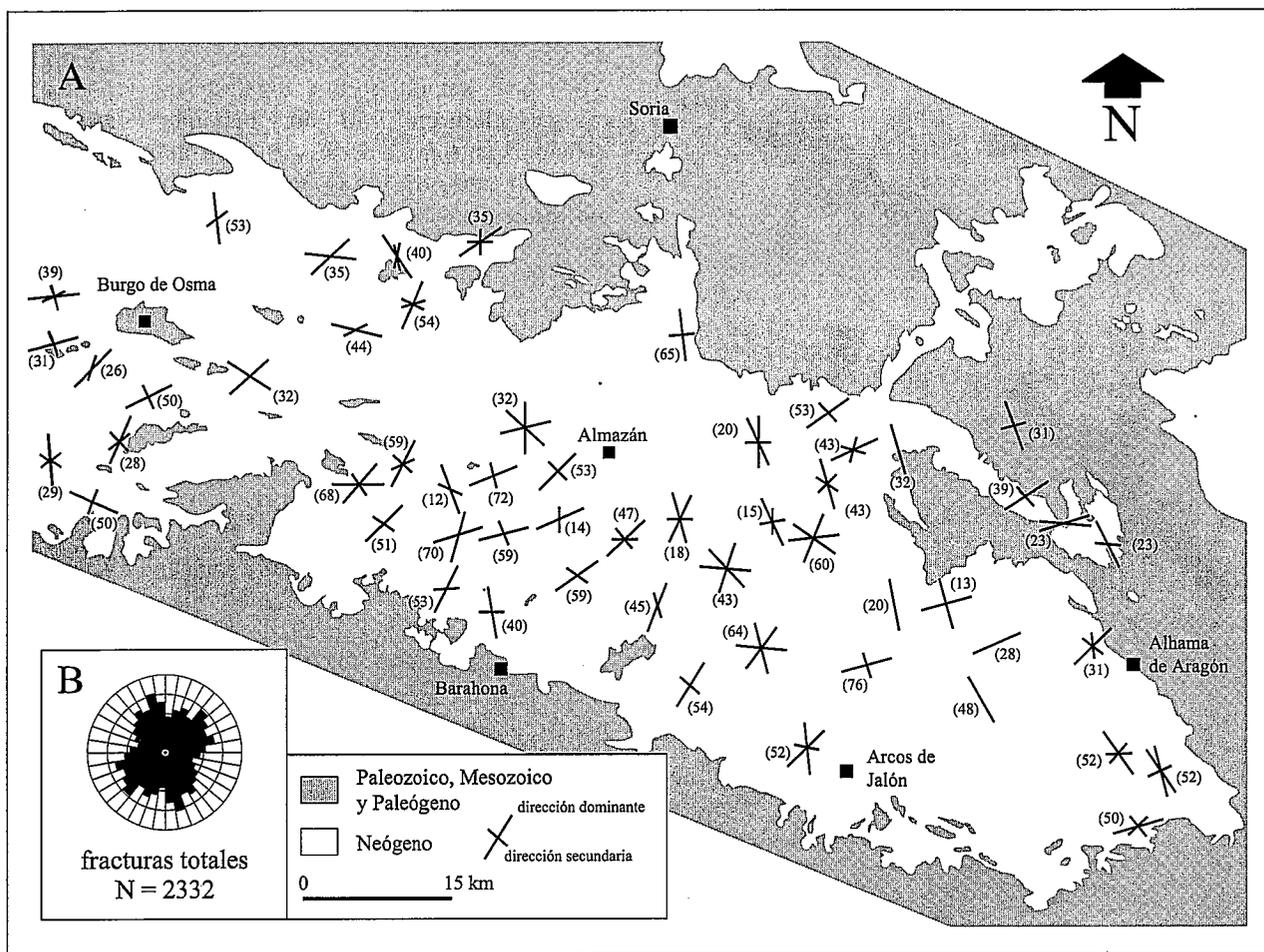


Figura 2.- Fracturación de los materiales neógenos a escala de afloramiento. A: direcciones dominantes de fracturas en cada uno de los afloramientos estudiados. B: rosa de direcciones de fracturación para el conjunto de la Cuenca de Almazán. (N: número de datos; intervalo entre clases: 10°; círculo externo: 10%).

una resolución de 30 m. El análisis detallado de la misma se llevó a cabo mediante un programa de tratamiento digital de la imagen sobre monitores y copias impresas de sublimación, con subescenas a escala 1:100.000. Los lineamientos obtenidos a partir de la imagen satélite fueron analizados con programas de exploración automática, generando un fichero final en el que para cada línea identificada constaban, entre otros parámetros, las coordenadas inicial y final (para un sistema de coordenadas arbitrario), la orientación (respecto al norte establecido) y la longitud en metros (obtenida por comparación con una línea determinada de longitud conocida). Los datos de este fichero fueron tratados mediante programas estadísticos para establecer diagramas de frecuencia de orientación, longitud, relaciones orientación / longitud, etc.

Fallas y diaclasas a escala de afloramiento

Los materiales neógenos de la Cuenca de Almazán presentan una importante fracturación a escala de afloramiento. Dentro de las estructuras estudiadas destacaremos los sistemas de diaclasas subverticales con diferentes estilos arquitectónicos (H, T, X, y, A,

según Hancock, 1985) y las fallas de dimensiones centimétricas a métricas y escaso desplazamiento.

Sistemas de diaclasas

Los sistemas de diaclasas (más de 2000 planos) han sido estudiados atendiendo a la orientación de las mismas y a las relaciones de corte entre las diferentes familias determinadas. Cabe destacar que en la Cuenca de Almazán no existe un patrón general de fracturación común al conjunto de afloramientos, por lo que no es posible definir un sistema de fracturas dominante a escala de cuenca (Fig. 2A). El análisis conjunto de todas las direcciones de fracturación muestra dos tendencias dominantes con direcciones aproximadas NNW y NE, que presentan varios máximos en torno a N025, N045, N075, N145 y N165 (Fig. 2B).

En lo referente al origen de estas estructuras, las diaclasas se pueden atribuir en ocasiones a fracturas de cizalla o híbridas de tensión y cizalla (Hancock, 1985; Arlegui, 1992), mostrando dos familias dominantes que forman un diedro agudo de 30-40° que contiene al eje de máxima compresión horizontal. Sin embargo, es más frecuente que las diaclasas presenten arquitecturas en H, con una familia dominante y otra secundaria que se

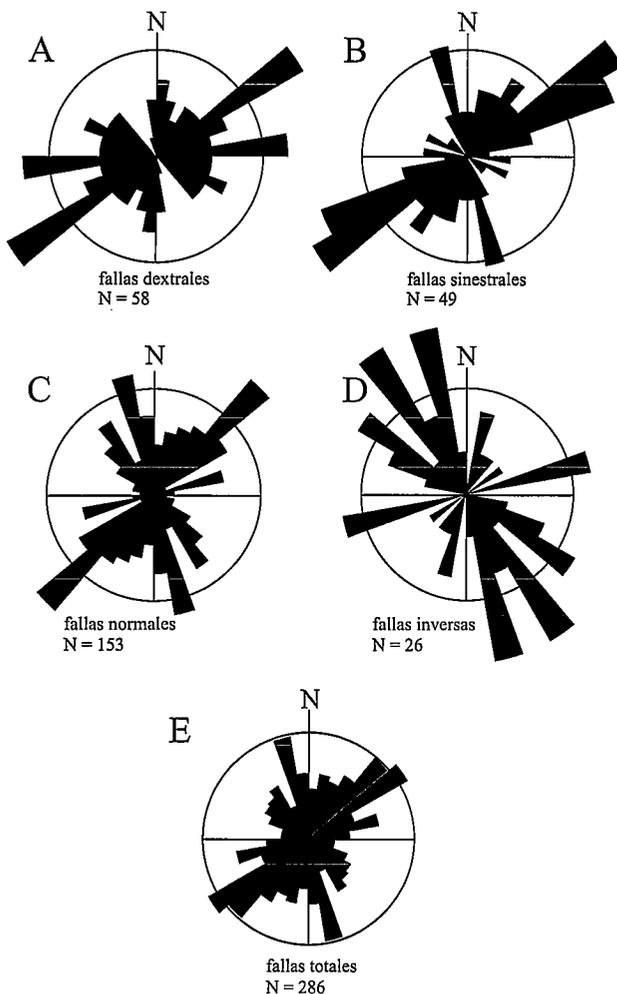


Figura 3.- Diagramas en rosa de direcciones de los distintos tipos de fallas identificados a escala de afloramiento. A: fallas dextrales; B: fallas sinestrales; C: fallas normales; D: fallas inversas; E: representación conjunta de todos los tipos de fallas. (N: número de datos; intervalo entre clases: 10°; círculo externo: 10%).

corta contra la primera (*cross joints*). En este caso, a las diaclasas se les atribuye un origen tensional, con el eje de máxima extensión perpendicular a la familia dominante. En otros casos, las diaclasas no son sistemáticas o no aparecen direcciones preferentes, lo que impide deducir el origen de las mismas.

Fallas

Las fallas analizadas son en su mayoría normales (153 planos), aunque existen fallas direccionales (107 planos) e inversas (26 planos). En general se presentan en los afloramientos asociadas con diaclasas de diferentes tipos en un número mucho menor que estas últimas. No se descarta la idea de que en algunos casos las fracturas sin indicadores de movimiento relativo puedan corresponder a fallas, cuyos tectoglifos han sido borrados por los procesos de meteorización.

Aunque no existe un patrón claro a escala de cuenca, los diferentes tipos de fallas presentan direcciones dominantes bien diferentes en cada caso (Fig.

3). Las fallas normales muestran un máximo absoluto de dirección NE-SW, con máximos relativos NW-SE a NNW-SSE. Las fallas direccionales presentan un máximo muy claro en N050-060 y máximos relativos más dispersos en torno a E-W y N-S. El máximo absoluto coincide en fallas con movimientos dextrales y sinestrales, aunque los máximos relativos son diferentes para cada grupo. Las fallas inversas por su escaso número son poco representativas y muestran una mayor dispersión en sus orientaciones, aunque puede distinguirse un máximo absoluto con una dirección en torno a NW-SE y dos máximos relativos con orientaciones NNE y ENE.

Lineamientos

El análisis detallado de la imagen de satélite ha permitido identificar más de 2300 lineamientos en las rocas neógenas de la Cuenca de Almazán que han sido cartografiados sobre una base geológica esquemática (Fig. 4A). La identificación de los lineamientos está condicionada en gran medida por el tipo de afloramiento de las rocas a las que afectan, siendo especialmente difícil determinarlos cuando existe una cubierta vegetal importante (bosques de coníferas en el sector norte y noroeste de la cuenca) o en zonas de depósitos cuaternarios (terrazas del río Duero).

La mayor densidad de lineamientos se sitúa en el sector central y oriental de la cuenca coincidiendo con los afloramientos de los materiales más antiguos de la serie estudiada (Mioceno inferior-medio), independientemente de la litología de los mismos. La longitud de los lineamientos identificados oscila entre 100 y 7000 m aproximadamente (Fig. 5A). Se observa una moda en torno a 600 m y una distribución logarítmico-normal en la frecuencia de longitudes (Fig. 5B). El análisis estadístico de orientación de los lineamientos muestra un máximo absoluto en dirección N060-070 y máximos relativos destacados en N100-110 y N130-140 (Fig. 4B).

Los lineamientos muestran en general unas orientaciones preferentes (N060-070) claras y homogéneas a la escala de la región estudiada, salvo en sectores cercanos a las grandes estructuras de la Cordillera Ibérica (pliegues y cabalgamientos de la Rama Aragonesa, Rama Castellana y borde sur de Cameros) donde aumenta la proporción de lineamientos paralelos a las mismas. No es posible establecer una relación directa entre los lineamientos y las estructuras a escala de afloramiento. Sobre el terreno, en la zona donde se identifica el lineamiento a partir de la imagen satélite, en lugar de grandes estructuras existe una importante fracturación a escala de afloramiento.

Interpretación y discusión

Los sistemas de fracturas que afectan a los materiales neógenos de la Cuenca de Almazán muestran pa-

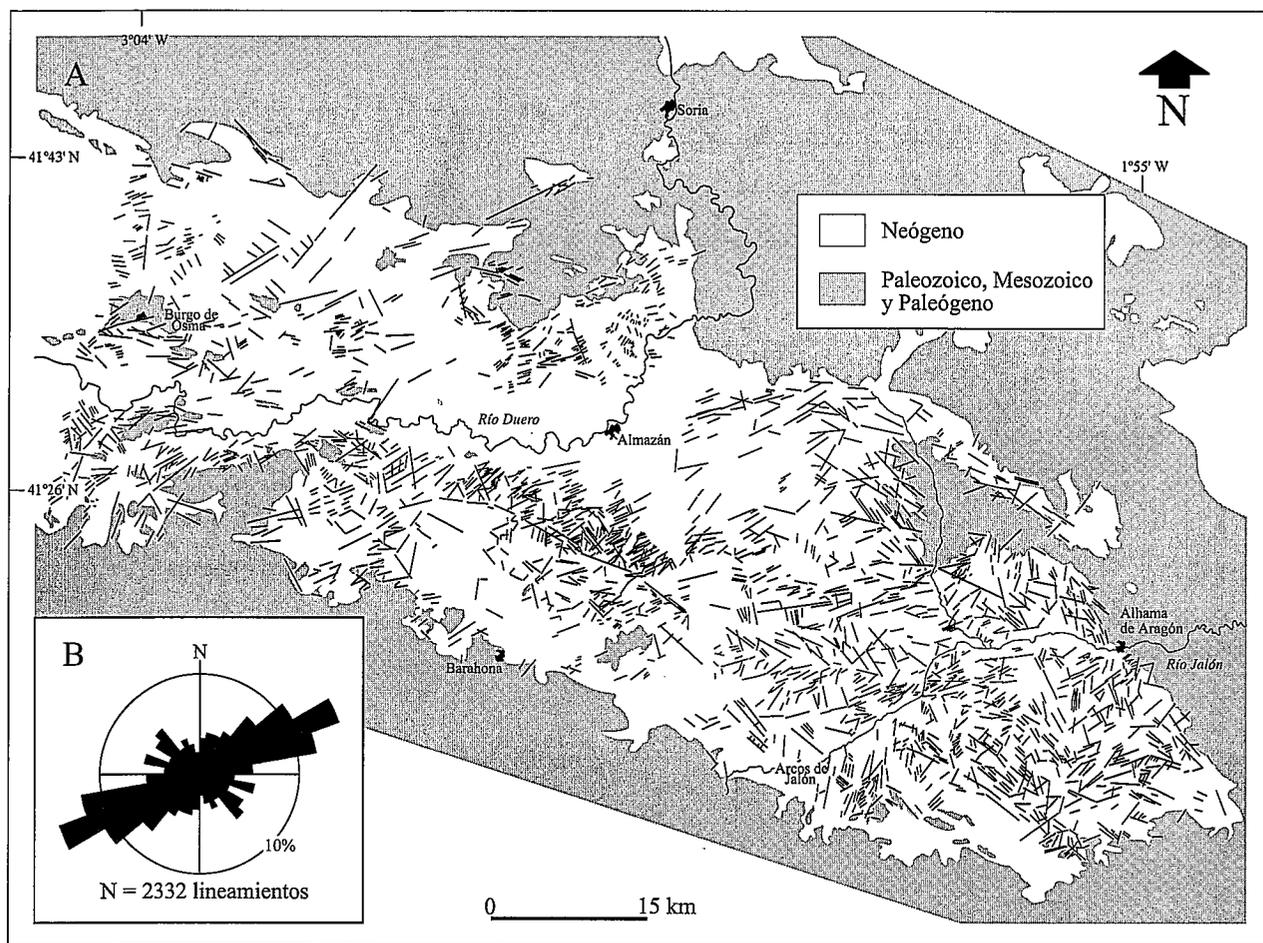


Figura 4.- A: Mapa esquemático que muestra los lineamientos identificados en la zona estudiada. Se han representado únicamente aquellos que afectan a materiales neógenos. B: Diagrama en rosa que muestra las direcciones dominantes de lineamientos a escala de cuenca. (N: número de datos; intervalo entre clases: 10°; círculo externo: 10%)

trones direccionales relativamente bien definidos para cada una de las escalas estudiadas. Si prestamos atención únicamente a las direcciones dominantes para cada tipo de estructuras, observamos que la distribución de orientaciones en los lineamientos obtenidos a partir de la imagen satélite presentan cierta similitud con el conjunto de fallas direccionales a escala de afloramiento (Fig. 6). La relación entre los lineamientos y los sistemas de diaclasas no está tan clara, coincidiendo la orientación más frecuente de lineamientos con uno de los máximos relativos obtenidos para las diaclasas (fracturas *s.l.*). Como se ha comentado en el apartado anterior, no existe una relación directa entre los lineamientos y las estructuras a escala de afloramiento, no pudiendo identificar los primeros como una estructura concreta a esta escala. En su lugar aparecen sistemas de fracturas de menores dimensiones que individualmente no presentan exactamente la misma dirección que los lineamientos. Algunas de estas fracturas pueden estar relacionadas con la reactivación de estructuras previas subyacentes que condicionan la geometría de la fracturación en los niveles que se encuentran por encima.

La variabilidad de direcciones que muestran las fracturas a escala de afloramiento (tanto las fallas como las diaclasas) encuentra su explicación en el origen di-

verso de las mismas, relacionado con el campo de esfuerzos que las ha generado y con las posibles perturbaciones del mismo producidas por la presencia y actuación de estructuras mayores. La geometría de la fracturación va a depender del régimen tectónico en el que se formaron: sistemas de fracturas subverticales conjugadas (fallas direccionales, diaclasas de cizalla) son típicos de un régimen de desgarre; sistemas de fracturas paralelas y ortogonales entre sí son típicos de regímenes extensionales, etc.

En este sentido, la interpretación de las diferentes estructuras estudiadas debe realizarse dentro del marco del campo o campos de esfuerzos tectónicos que han actuado en la región durante el periodo estudiado en este trabajo. Los estados de esfuerzos durante el Neógeno en la Cuenca de Almazán (Maestro y Casas, 1995; Casas y Maestro, 1996; Cortés y Maestro, 1997) evolucionan gradualmente desde un régimen compresivo (desgarre) en el Mioceno inferior a una distensión generalizada a partir del Plioceno, con estados compresivos locales menos frecuentes. A partir del análisis de mesoestructuras frágiles, estos autores observan que todas las estructuras encontradas en los materiales neógenos de la cuenca no pueden ser explicadas mediante un único campo de esfuerzos de carácter primario, con

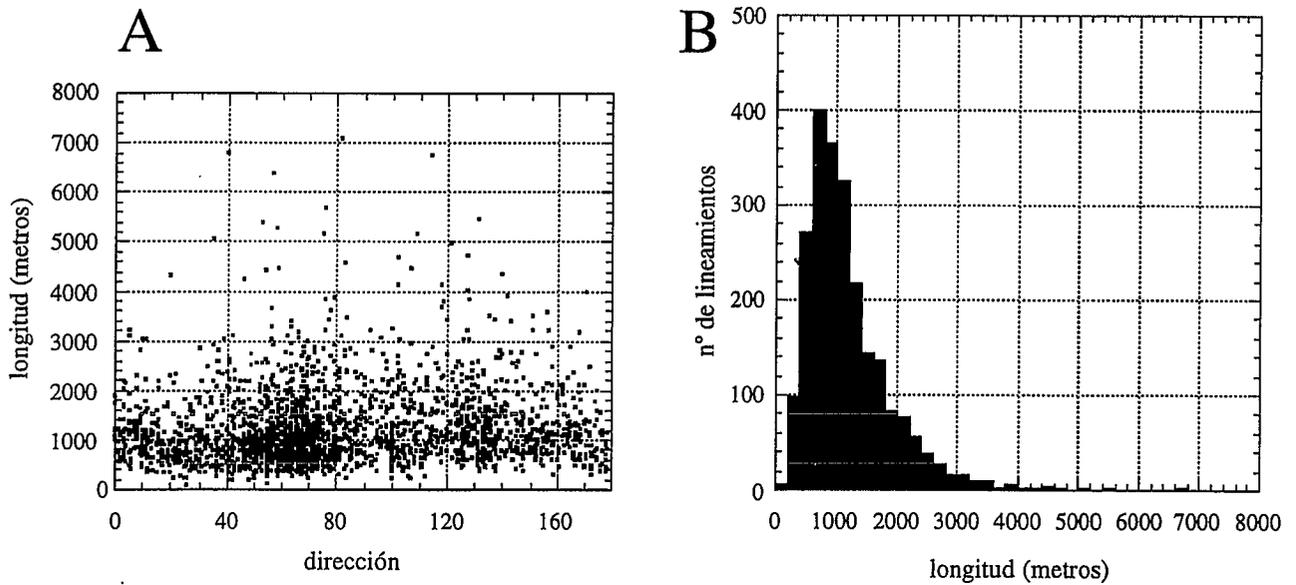


Figura 5.- A: Representación gráfica de los valores de longitud (en metros) de los lineamientos identificados frente a su orientación. B: Histograma que muestra la distribución de longitudes para el conjunto de lineamientos.

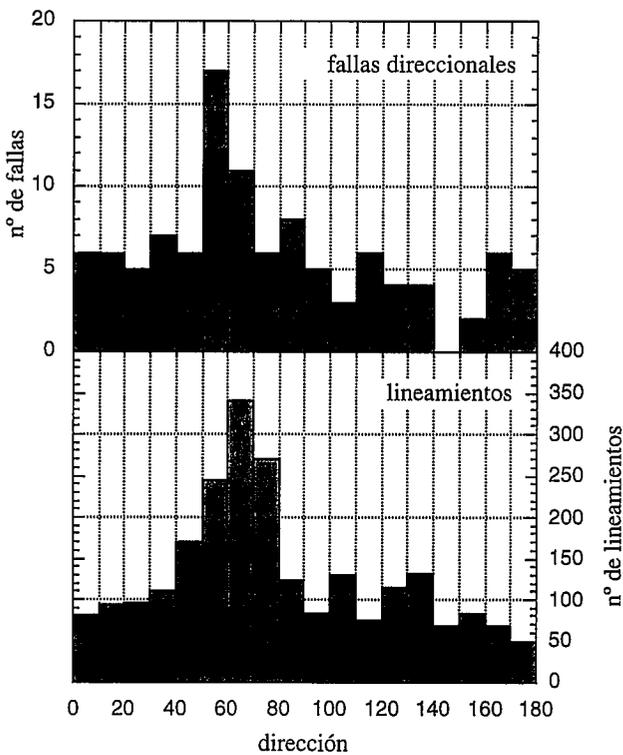


Figura 6.- Histogramas de orientaciones comparativos entre fallas direccionales y lineamientos.

una dirección y una relación de esfuerzos definida. El esfuerzo horizontal máximo del campo de esfuerzos regional está controlado por los campos compresivos primarios dominantes en este sector de la Península Ibérica durante el periodo estudiado: NNE a NE procedente del Pirineo (Pérez-Lorente, 1987; Casas, 1992; Jurado y Mueller, 1996) y NW a NNW procedente de las Béticas (Giner *et al.*, 1996; De Vicente *et al.*, 1996).

Cortés *et al.* (1996) indican que durante el Neó-

geno las direcciones de máxima compresión NE en la Cuenca de Almazán son el resultado de la desviación de los esfuerzos procedentes del margen pirenaico (con una dirección cercana a N-S en la Cuenca del Ebro) debido a la existencia de grandes estructuras de dirección NW-SE en el sector noroccidental de la Cordillera Ibérica, a las que se disponen perpendiculares. Las direcciones de máxima compresión NW-SE (procedentes del margen bético), dominantes en áreas cercanas, son registradas también en las rocas neógenas de la Cuenca de Almazán aunque con menor importancia relativa, al menos a escala de afloramiento. Esta última compresión es tardía respecto a la NE-SW (Casas y Maestro, 1996; Cortés *et al.*, 1996; Cortés y Maestro, 1997) en la zona estudiada y probablemente es la dominante en la actualidad.

De esta manera, las estructuras estudiadas pueden ser explicadas dentro de este régimen tectónico complejo. Buena parte de las fallas direccionales (NE a ENE sinestrales y N-S dextrales) y posiblemente muchos lineamientos (ENE) son compatibles con la compresión NNE a NE. Los lineamientos de esta dirección podrían corresponder a grandes estructuras lineales con escaso desplazamiento o a zonas de fractura formadas por estructuras menores con desplazamiento prácticamente nulo. Dependiendo del grado de evolución de estas zonas de fractura las estructuras menores asociadas podrían presentar direcciones muy variadas y diferentes de la dirección general del lineamiento. Por otra parte, las fallas sinestrales cercanas a N-S y las dextrales NE-SW a ENE-WSW son compatibles con una dirección de compresión próxima a NW-SE. Por último, muchos de los sistemas ortogonales de diaclasas, fallas normales y algunos lineamientos estarían relacionados con la distensión generalizada que aparece al final del Neógeno en el NE de la Península Ibérica (Simón,

1984, 1989; Moissenet, 1989). Esta da lugar a la aparición de macroestructuras extensionales en el sector oriental de la Cordillera Ibérica (fosas de Teruel, Maestrazgo) y Catalánides, así como al desarrollo de importantes sistemas de fracturas a diferentes escalas en el sector central de la Cuenca del Ebro (Simón, 1989; Arlegui *et al.*, 1994; Arlegui, 1996).

Conclusiones

El trabajo de campo y el estudio detallado de una imagen de satélite ha permitido caracterizar la fracturación a diferentes escalas que afecta a los materiales neógenos de la Cuenca de Almazán. Las estructuras a escala de afloramiento corresponden a sistemas de diaclasas y fallas con escaso desplazamiento. Los lineamientos obtenidos a partir de la imagen de satélite corresponden en general a zonas fracturadas con una expresión morfológica no identificable mediante la fotografía aérea convencional. No ha sido posible establecer una relación directa entre los lineamientos y estructuras concretas a escala de afloramiento.

El tratamiento estadístico de los datos de campo muestra los distintos patrones de fracturación a escala mesoestructural, tanto para cada afloramiento concreto como para el conjunto de los mismos a la escala de la cuenca. De esta manera, se observan dos tendencias claras en las direcciones de fracturación cercanas a NNW-SSE y NE-SW. Tanto las direcciones de las fracturas como la geometría de la fracturación en cada afloramiento están controladas por el campo de esfuerzos regional que las generó y por las posibles perturbaciones del mismo debidas a estructuras mayores, no pudiendo atribuir una génesis común a todas las estructuras estudiadas.

Los lineamientos identificados muestran un patrón direccional mucho más definido y homogéneo a escala de cuenca que las diaclasas o las fallas. Presentan un máximo absoluto muy claro de dirección N060-070 y máximos relativos N100-110 y N130-140 mucho menos importantes. La comparación entre las orientaciones de los lineamientos y las estructuras a escala de afloramiento y su integración dentro del marco tectónico neógeno de la Cuenca de Almazán permite interpretar la mayor parte de los lineamientos (de dirección ENE) como fracturas o sistemas de fracturas con escaso o nulo desplazamiento compatibles con un esfuerzo horizontal máximo cercano a NE-SW. En las cercanías de las grandes unidades estructurales que limitan la cuenca (Rama Aragonesa, Rama Castellana, Sierra de Cameros), las direcciones de los lineamientos parecen estar influenciadas por la existencia de estructuras previas, probablemente reactivadas durante el Neógeno.

El origen de los sistemas de fracturas a distintas escalas que aparecen en las rocas neógenas de la Cuenca de Almazán debe buscarse en el régimen de esfuerzos complejo que actuó en la región durante el Neógeno: las compresiones NNE a NE y NNW a NW (campos

primarios en régimen de desgarre procedentes de los márgenes pirenaico y bético, respectivamente) y extensión tendente a radial (con el esfuerzo máximo horizontal controlado por el campo compresivo dominante).

Agradecemos a A.M. Casas y M.A. Soriano las aportaciones y discusiones mantenidas sobre distintos aspectos de este trabajo, así como a J.P. Calvo Sorando y los dos revisores anónimos por las sugerencias realizadas sobre el manuscrito original. Del mismo modo agradecemos a M.J. Marín y M.P. Sancho (Centro de Tratamiento Digital de Imágenes de la Universidad de Zaragoza) el desarrollo del programa de exploración automática de líneas. Este trabajo ha sido elaborado en el marco de los proyectos de investigación PB93-1218 (DGICYT), SHISTO2-SIGMA (CSN-ENRESA) y 221-98 (Universidad de Zaragoza).

Bibliografía

- Arlegui, L.E. (1992): Métodos de investigación aplicables a diaclasas. Ejemplos de Los Monegros, Cuenca del Ebro. *III Cong. Geol. España / VIII Congr. Latinoam. Geol.*, Salamanca: 259-264.
- Arlegui, L.E. (1996): *Diaclasas, fallas y campo de esfuerzos en el sector central de la Cuenca del Ebro*. Tesis doctoral, Univ. Zaragoza (inédita): 308 p.
- Arlegui, L.E. y Soriano, M.A. (1996): Lineamientos y su influencia en los modelados del centro de la cuenca del Ebro. *Cuad. Lab. Xeol. Laxe*, 21: 11-21
- Arlegui, L.E., Simón, J.L. y Soriano, M.A. (1994): Un sistema regional de fracturas NW-SE en el centro de la Cuenca del Ebro. *II Congreso del Grupo Español del Terciario*, Jaca. Comunicaciones: 39-42
- Armenteros, I. (1991): *Informe complementario sobre la Sedimentología del Neógeno*. Memoria explicativa de la Hoja 350 (Soria) y Hoja 377 (Burgo de Osma) del Mapa Geológico de España a escala 1:50.000. ITGE, Madrid.
- Carballeira, J. y Pol, C. (1989): *Informe complementario sobre el Paleógeno de la Cuenca de Almazán*. Mapa Geológico de España a escala 1:50.000. ITGE, Madrid: 49 pp.
- Casas, A.M. (1992): El frente norte de las Sierras de Cameros: Estructuras cabalgantes y campo de esfuerzos. *Zubía*, monográfico n° 4: 220 p.
- Casas, A.M. y Maestro, A. (1996): Deflection of a compressional stress field by large-scale basement faults. A case study from the Tertiary Almazán Basin (Spain). *Tectonophysics*, 255: 135-156.
- Cortés, A.L. y Maestro, A. (1997): Análisis de los estados de esfuerzos recientes en la Cuenca de Almazán (provincias de Soria y Zaragoza). *Rev. Soc. Geol. España*, 10 (1-2): 183-196
- Cortés, A.L., Liesa, C.L., Simón, J.L., Casas, A.M., Maestro, A. y Arlegui, L. (1996): El campo de esfuerzos compresivo neógeno en el NE de la Península Ibérica. *Geogaceta*, 20: 806-809.
- De Vicente, G., Giner, J.L., Muñoz-Martín, A., González-Casado, J.M. y Lindo, R. (1996): Determination of the present-day stress tensor and the neotectonic interval in the Spanish Central System and the Madrid Basin, Central Spain. *Tectonophysics*, 266: 405-424.
- Giner, J.L., De Vicente, G. y Lindo, R. (1996): Estado de esfuerzos actuales en el centro peninsular a partir del análisis conjunto de mecanismos focales de terremotos. *Geogaceta*,

- 20 (4): 996-999.
- Gracia Prieto, F.J., Nozal Martín, F., Pineda Velasco, A. y Wouters de Vries, F.F. (1990): Superficies de erosión neógenas y neotectónica en el borde NE de la Cuenca del Duero. *Geogaceta*, 7: 38-40.
- Hancock, P.L. (1985): Brittle microtectonics: Principles and practice. *Jour. Struct. Geol.*, 7: 437-457.
- Jurado, M.J. y Mueller, B. (1996): Orientación de esfuerzos en el NE de la Península Ibérica: nuevos indicadores a partir del análisis de datos de sondeos. *Geogaceta*, 19: 27-30.
- Lendínez, A. (1991): *Mapa Geológico de España a escala 1:50.000, hojas 379 (Gómara), 380 (Borobia) y 435 (Arcos de Jalón)*. ITGE, Madrid.
- Maestro, A. y Casas, A.M. (1995): Fracturación y estado de esfuerzos durante la compresión terciaria en la Cuenca de Almazán (Provincias de Soria y Zaragoza). *Rev. Soc. Geol. España*, 8 (3): 193-214.
- Moissenet, E. (1989): Les fossés néogènes de la Chaîne Ibérique: leur évolution dans le temps. *Bull. Soc. Géol. France*, 8 (5): 919-926.
- Nash, C.R., Rankin, L.R., Leeming, P.M. y Harris, L.B. (1996): Delineation of lithostructural domains in northern Orissa (India) from Landsat Thematic Mapper imagery. *Tectonophysics*, 260: 245-257.
- Pérez-Lorente, F. (1987): La estructura del borde Norte de la Sierra de Cameros (La Rioja). *Bol. Geol. Min.*, 98: 484-492.
- Sabins, F.F. Jr. (1987): *Remote sensing. Principles and interpretation*. W.H. Freeman and Co., New York, 449 p.
- Simón, J.L. (1984): *Compresión y distensión alpinas en la Cadena Ibérica Oriental*. Tesis doctoral, Univ. Zaragoza. Pub. Instituto de Estudios Turolenses, Teruel: 269 p.
- Simón, J.L. (1989). Late Cenozoic stress field and fracturing in the Iberian Chain and Ebro Basin (Spain). *Jour. Struct. Geol.*, 11 (3): 285-294.

Manuscrito recibido el 27 de Mayo de 1998

Aceptado el manuscrito revisado el 19 de Enero de 1999