

Determinación de patrones de fracturación en el Neógeno del NE de la Cuenca del Duero a partir de una imagen de satélite.

Determination of fracture patterns in the Neogene rocks of the NE Duero Basin from a satellite image.

A.L. Cortés, A. Maestro y M.A. Soriano

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

ABSTRACT

From the study of satellite imagery, up to 1.396 lineaments on Neogene rocks of the northeastern Duero Basin have been identified. Length of lineaments fluctuates from 137 to 19.818 m. The statistical analysis of lineament directions shows a NE-SW mode and N130, N020, N090-100 y N180 relative maxima. The study of lineament orientation pattern within specific length-intervals shows a NE-SW dominant trend for the 0-3.000 m interval and NW-SE dominant directions for lineaments largest than 3.000 m. The comparison between satellite lineaments and the main structures affecting the pre-Neogene basement indicates that the orientation of largest lineaments seems to be controlled by major previous structures. Minor lineaments can correspond to faults and joints newly formed under the regional stress field in the Duero Basin during the Neogene.

Key words: lineament, fracturing, satellite imagery, Neogene, Duero Basin

Geogaceta, 24 (1998), 91-94
ISSN: 0213683X

Introducción

En determinados ambientes geológicos, el trabajo de campo o el estudio de la fotografía aérea convencional no permite determinar los patrones de fracturación, ya que la naturaleza del terreno (materiales detríticos poco consolidados), los procesos erosivos y las labores agrícolas (grandes extensiones de tierras cultivadas) impiden la observación directa de las estructuras. El sector nororiental de la cuenca terciaria del Duero, ocupado fundamentalmente por depósitos detríticos neógenos y depósitos recientes de los ríos Arlanzón y Pisuerga, se encuentra en esta situación. Con estas condiciones, el estudio de imágenes de satélite ayuda a detectar estructuras lineales de dimensiones hectométricas a kilométricas, especialmente aquellas con expresión geomorfológica (Nash *et al.*, 1996; Arlegui y Soriano, 1996).

Desde el punto de vista geológico, la región estudiada se sitúa en el extremo nororiental de la Cuenca del Duero, en su límite con los materiales paleozoicos y mesozoicos que constituyen el Macizo de Cameros-Demanda y las estribaciones meridionales de la Cordillera Cantábrica (Fig. 1). A grandes rasgos, el registro sedimentario del sector oriental de la Cuenca del Duero se puede dividir en

tres Secuencias o Complejos Tectono-sedimentarios de litologías variadas (Santesteban *et al.*, 1996). Los dos primeros complejos (Cretácico Superior-Oligoceno) afloran de forma discontinua junto a los márgenes de la cuenca. La presencia de materiales paleógenos en otros sectores no marginales de la cuenca está pro-

bada mediante datos sísmicos y sondeos profundos. El tercer complejo, con más de 200 m de potencia y considerado de edad Mioceno-Plioceno, se dispone horizontal y discordante sobre los dos anteriores. Está constituido por depósitos detríticos, carbonatados y evaporíticos, correspondientes a abanicos aluviales en los

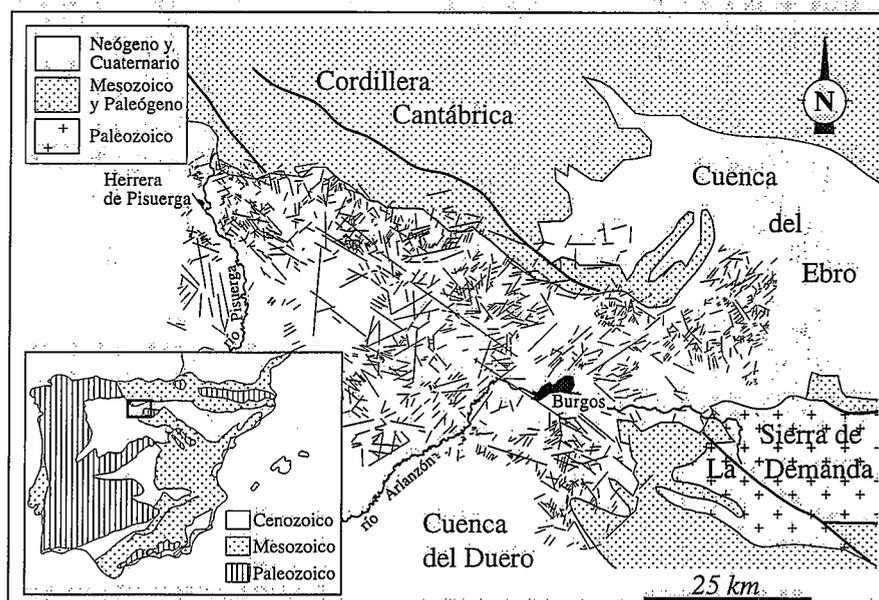


Fig. 1- Esquema geológico del sector estudiado y cartografía de lineamientos obtenidos a partir del estudio de la imagen de satélite.

Fig. 1- Geological sketch of the studied region and map of lineaments determined from satellite imagery.

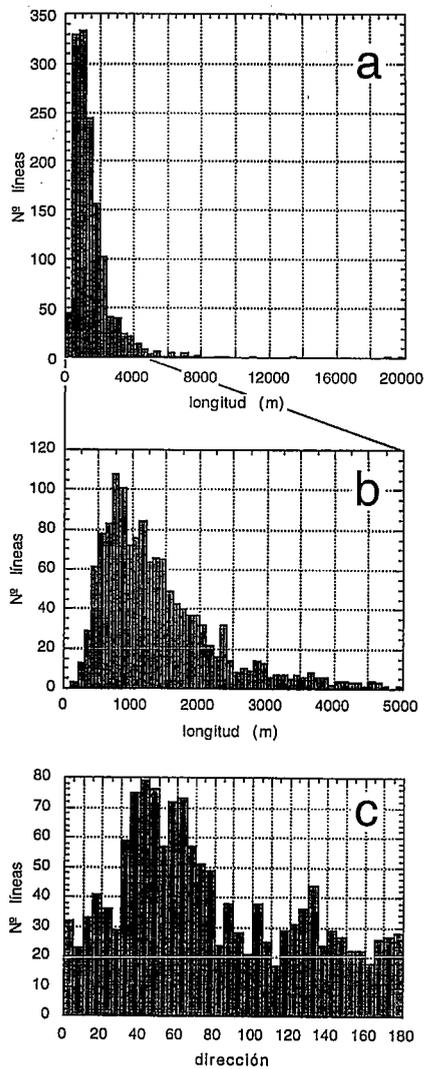


Fig. 2- a) Histograma de frecuencias que muestra la distribución de longitudes de los lineamientos identificados. b) Detalle del intervalo de longitudes 0-5.000 m. c) Histograma que indica la frecuencia relativa en la orientación de los lineamientos.

Fig. 2- a) Histogram showing the length distribution of mapped lineaments. b) Detailed histogram of lineament lengths within the interval from 0 to 5.000 m. c) Histogram indicating the relative frequency of orientation of lineaments.

bordes y secuencias de carácter fluvial y lacustre-palustre en las zonas más internas o deprimidas, que rellenaron una cuenca conformada prácticamente con la configuración actual (Santisteban *et al.*, 1996).

En el sector nororiental de la cuenca (alrededores de Burgos), las unidades neógenas corresponden fundamentalmente a sedimentos detríticos subhorizontales

(Pol y Carballeira, 1986). Se apoyan mediante una discordancia con paleorrelieve sobre todas las unidades anteriores, ocupando la mayor extensión del sector citado a pesar de su escasa potencia, que en general no supera los 100 m de espesor. Los depósitos conglomeráticos cuarcíticos culminantes del piedemonte (rañas) se consideran de edad Plioceno y, en general, no superan la decena de metros de espesor (García del Cura, 1974; Armenteros, 1986).

El objetivo fundamental de este trabajo es caracterizar los patrones de fracturación en las rocas neógenas del sector NE de la Cuenca del Duero, a partir del análisis de una imagen de satélite, y determinar los factores que controlan la orientación de los lineamientos analizando las principales estructuras que afectan al substrato pre-neógeno.

Metodología

Para realizar este trabajo se utilizó la imagen 201-31 del satélite Landsat 5 obtenida el 18 de agosto de 1984 a las 10.25 de la mañana (hora solar). Las coordenadas de su centro son 41.4704° N para la latitud y 3.30° W para la longitud. Este satélite lleva a bordo el sensor "Thematic Mapper" que registra siete bandas espectrales. Las bandas 1, 2, 3, 4, 5 y 7 tienen unos intervalos de longitud de onda que abarcan el espectro visible y zonas del infrarrojo próximo, siendo su resolución espacial de 30 m. La banda 6 recibe información del infrarrojo térmico y su resolución espacial es de 120 m. A partir de dicha imagen se seleccionó una ventana de trabajo correspondiente a unos 5.000 km² para la que se realizaron diversas combinaciones de tres bandas. Finalmente se eligió una combinación de falso color utilizando las bandas 2, 4 y 5 (azul, verde y rojo, respectivamente) cuya tonalidad facilita el análisis visual de la imagen y el reconocimiento de los lineamientos. Para mejorar el contraste de la imagen y facilitar su estudio se efectuó su normalización. Para ello, a partir del histograma que resultaba de representar el número de píxeles para cada nivel de gris, se eliminó 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.

El elevado número de líneas obtenido (1.396 lineamientos) aconsejaba la utilización de un programa de exploración automática. Este se desarrolló en el Centro

de Tratamiento Digital de Imágenes de la Universidad de Zaragoza utilizando ficheros de líneas en formato vectorial (EPS). El programa 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.

Análisis de lineamientos

La cartografía de lineamientos muestra una distribución irregular de los mismos en la zona estudiada (Fig. 1). Estos se encuentran en mayor número en las inmediaciones del contacto entre la Cordillera Cantábrica y la Cuenca del Duero. A lo largo de los cursos de los ríos Pisuerga y Arlanzón se observa una disminución en el número de lineamientos debido a la presencia de depósitos cuaternarios en los valles. Al sureste de Herrera de Pisuerga y en los alrededores de Burgos aparecen zonas con menor densidad de lineamientos coincidiendo con la presencia de materiales arcillosos-arenosos miocenos y rañas pliocuaternarias.

La longitud de los lineamientos determinados en esta región oscila entre 137 y 19.818 m. El histograma de frecuencias de la longitud de las líneas muestra una distribución logarítmico normal (Fig. 2a). El número de lineamientos crece muy bruscamente para longitudes entre 0 y 1.000 m, para después disminuir de forma progresiva hasta 4.000-5.000 m, aunque aparecen lineamientos dispersos con longitudes mayores de 5.000 m. En la ampliación de la zona con mayores frecuencias (Fig. 2b) se aprecia la tendencia mencionada y se observa que la moda corresponde a longitudes en torno a 700 m.

La orientación de los lineamientos en esta zona es muy variada (Fig. 2c), observándose un dominio de la dirección NE-SW (N040-060) y varios máximos relativos en torno a N130, N020, N090-100 y N180. La elaboración de diagramas en rosa en función de la longitud de los lineamientos (Fig. 3) muestra una dirección dominante NE-SW cuando los lineamientos tienen longitudes menores de 2.000 m, mientras que al aumentar la longitud considerada cobran mayor importancia otras direcciones que aparecían como secundarias anteriormente, hasta el punto de dominar la dirección NW-SE en los lineamientos mayores de 3.000 m.

Relación entre lineamientos y estructuras

Para determinar los factores que controlan la orientación de los lineamientos se ha realizado una comparación entre sus direcciones y las de las estructuras a escala cartográfica. A partir de los mapas geológicos a escala 1:200.000 de Reinosa y Burgos (IGME, 1970, 1971) se han medido las orientaciones de fallas y pliegues que afectan a materiales paleozoicos y mesozoicos. Tomados los datos en conjunto, los lineamientos muestran una orientación dominante NE-SW, mientras que en fallas y pliegues domina la dirección NW-SE (Fig. 3f). Sin embargo, considerando aquellos lineamientos cuya longitud es mayor de 3000 m (Fig. 3d, e), se observa una coincidencia manifiesta entre éstos y las fracturas cartográficas (dirección dominante NW-SE en ambos casos).

El análisis de las estructuras en detalle, muestra que los grandes lineamientos de dirección NW-SE que se observan en el entorno de Burgos parecen estar relacionados con un importante «accidente» en el basamento pre-neógeno, interpretado a partir de datos geofísicos (perfiles sísmicos y sondeos petrolíferos) en el subsuelo de la Cuenca del Duero (ITGE, 1990). Corresponde a una falla inversa que llega a afectar al Paleógeno y queda fosilizada por los sedimentos neógenos. También aparece una gran estructura de similar orientación afectando a las superficies de erosión neógenas del borde sur de la Cordillera Cantábrica (Gracia Prieto *et al.*, 1990). Se trata de una falla NW-SE, que coincide aproximadamente con la traza de la Falla de Ubierna (Pujalte y Hernández, 1997) y marca un escalón morfológico que hunde el bloque NE entre 75 y 100 m.

En el interior de la Cuenca del Duero se han descrito importantes lineamientos que controlan la orientación de algunos tramos de los principales ríos (Duero, Arlanzón, Pisuerga). Estos lineamientos han sido interpretados como importantes fallas de zócalo, probablemente fracturas tardihercínicas reactivadas, que apenas se manifiestan en superficie (Mediavilla *et al.*, 1996). La actuación de estas grandes fallas durante el Neógeno produjo una subsidencia diferencial en la cuenca que controló el relleno endorreico de la misma y la formación de sistemas menores de fracturación (Santisteban *et al.*, 1996). La orientación dominante de estas estructuras es NE-SW, muy similar a la moda de los lineamientos estudiados en este trabajo.

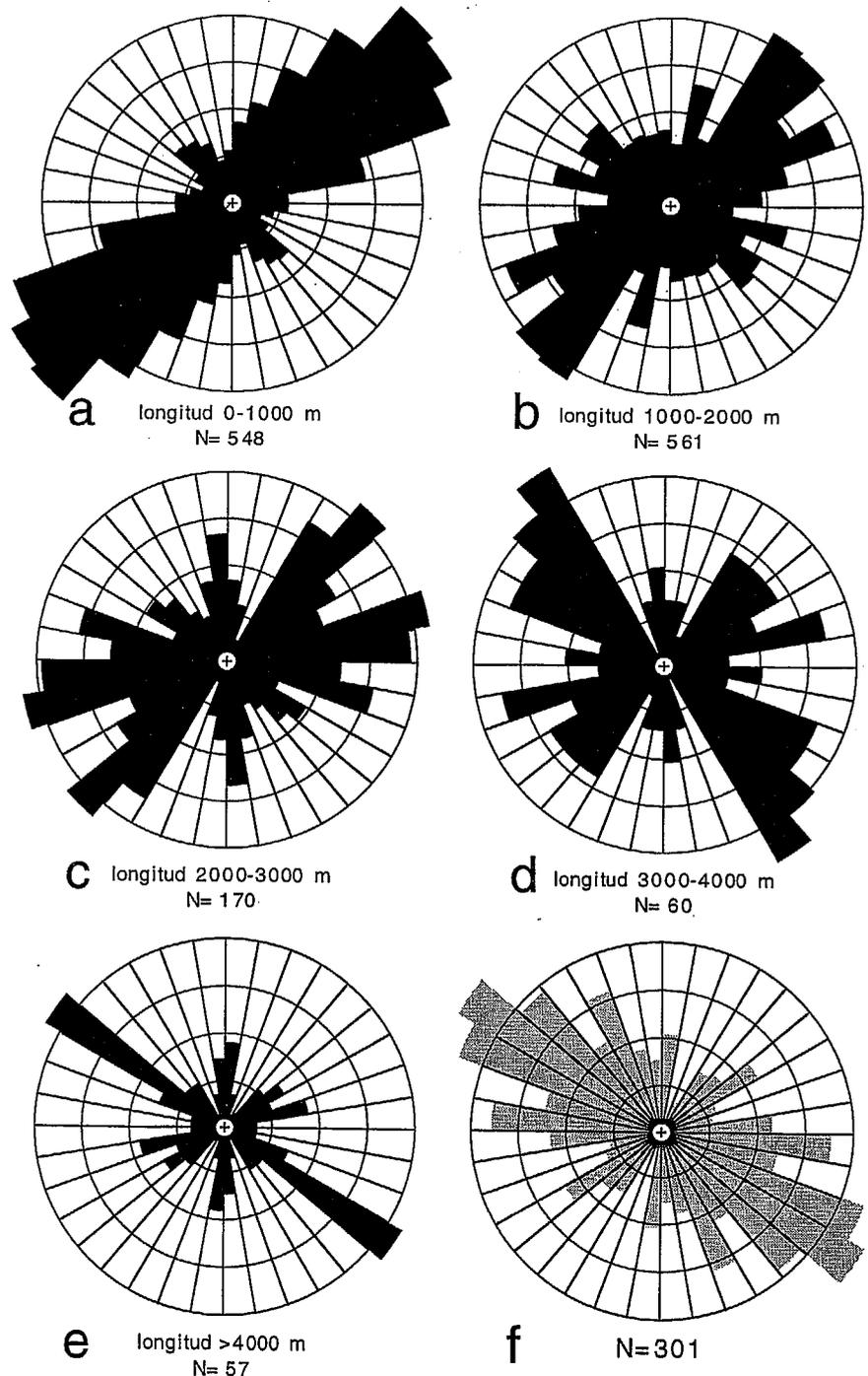


Fig. 3- a, b, c, d, e) Diagramas en rosa que muestran la distribución de orientaciones en función de la longitud de los lineamientos. f) Orientaciones de las principales estructuras cartográficas que afectan al substrato pre-neógeno. (Círculo externo: 10% de los datos).

Fig. 3- a, b, c, d, e) Rose diagrams showing the orientation distribution depending on the length of lineaments. f) Orientation of major mapped structures affecting the pre-Neogene basement. (Outer circle: 10% of data).

El resto de los lineamientos identificados, con longitudes menores de 3 km y orientación dominante NE-SW, no parecen controlados por la orientación de estructuras mayores y deben corresponder a fallas y fracturas con escaso o nulo desplazamiento generadas durante el Neógeno-

no-Cuaternario. Aunque no se puede establecer una relación directa entre estas estructuras y el campo de esfuerzos que las generó, éstas son compatibles con el campo regional neógeno que actuó en el NE de la Cuenca del Duero. A partir del análisis de mesoestructuras frágiles se ha

interpretado un campo de esfuerzos regional con un esfuerzo horizontal máximo entre N-S y NE-SW (Cortés *et al.*, 1996; Cortés y Maestro, 1997).

Conclusiones

El estudio detallado de una imagen de satélite ha permitido identificar hasta 1.396 lineamientos en las rocas neógenas del NE de la Cuenca del Duero. Los lineamientos obtenidos corresponden en general a zonas fracturadas con una expresión morfológica no identificable mediante el trabajo de campo y la fotografía aérea convencional debido a las condiciones de afloramiento de los materiales.

El análisis estadístico de los lineamientos muestra que éstos presentan longitudes variadas (entre 100 y 20.000 m) con una moda en torno a 700 m. El patrón direccional está bastante definido, apreciándose una tendencia dominante de dirección NE-SW y orientaciones N130, N020, N090-100 y N180 bien marcadas aunque mucho menos frecuentes.

La comparación entre las orientaciones de los lineamientos y las estructuras que afectan al substrato pre-neógeno muestra una buena correlación para longitudes mayores de 3.000 m, que presentan una dirección dominante NW-SE. Esto parece indicar un control de las estructuras previas, algunas reactivadas du-

rante el Neógeno, en la orientación de los lineamientos más importantes. El resto de los lineamientos (de dirección dominante NE-SW) son interpretados como sistemas de fracturas con escaso o nulo desplazamiento compatibles con el campo de esfuerzos regional dominante a lo largo del Neógeno.

Agradecimientos

Agradecemos a A.M. Casas las sugerencias y discusiones mantenidas sobre distintos aspectos de este trabajo. 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 del Proyecto de Investigación 221-98 de la Universidad de Zaragoza.

Referencias

- Arlegui, L.E. y Soriano, M.A. (1996): *Cuad. Lab. Xeol. Laxe*, 21: 11-21
- Armenteros, I. (1986): *Estratigrafía y sedimentología del Neógeno del sector noroccidental de la Depresión del Duero*. Publ. Diput. de Salamanca. Serie Castilla y León, 426 p.
- Cortés, A.L., Liesa, C.L., Simón, J.L., Casas, A.M., Maestro, A. y Arlegui, L. (1996): *Geogaceta*, 20 (4): 806-809.
- Cortés, A.L. y Maestro, A. (1997): *Rev. Soc. Geol. España*, 10 (1-2): 189-202
- García del Cura, M. A. (1974): *Estudios Geol.*, 30: 579-597.
- Gracia Prieto, F.J., Nozal Martín, F., Pineda Velasco, A. y Wouters de Vries, F.F. (1990): *Geogaceta*, 7: 38-40.
- IGME (1970): *Mapa y memoria explicativa de la hoja 20 (Burgos) del Mapa Geológico de España E. 1:200.000*.
- IGME (1971): *Mapa y memoria explicativa de la hoja 11 (Reinosa) del Mapa Geológico de España E. 1:200.000*.
- ITGE (1990): *Documentos sobre la geología del subsuelo de España*. Tomo V: Duero-Almazán.
- Mediavilla, R.M.; Dabrio, C.J.; Martín Serrano, A. y Santisteban, J.I. (1996): In: *Tertiary basins of Spain: the stratigraphic record of crustal kinematics*, (P.F. Friend y C.J. Dabrio, Eds.), Cambridge Univ. Press, Cambridge: 228-236.
- Nash, C.R., Rankin, L.R., Leeming, P.M. y Harris, L.B. (1996): *Tectonophysics*, 260: 245-257.
- Pol, C. y Carballeira, J. (1986): *Studia Geol. Salmanticensis*, 22: 7-35.
- Pujalte y Hernández (1997): *Geogaceta*, 22: 165-167.
- Santisteban, J.I.; Mediavilla, R.; Martín Serrano, A. y Dabrio, C.J. (1996): In: *Tertiary basins of Spain: the stratigraphic record of crustal kinematics*, (P.F. Friend y C.J. Dabrio, Eds.), Cambridge Univ. Press, Cambridge: 183-187.