

## La fracturación en los macizos kársticos andaluces y su influencia en el desarrollo del relieve kárstico

José Benavente <sup>(1)</sup> y Carlos Sanz de Galdeano <sup>(2)</sup>

### RESUMEN

Los macizos kársticos andaluces muestran bien la fracturación "moderna" de la Cordillera Bética, la cual es con frecuencia el factor determinante, aunque no único, de su karstificación, controlando los coeficientes de infiltración, las redes espeleológicas y muchos aspectos morfológicos a diferentes escalas. Las fracturas con orientación NO-SE y NE-SO son las más importantes para el desarrollo del karst, seguidas por las fallas de dirección N060-090.

**Palabras clave:** Karst, Fracturación, Fallas, Andalucía, Cordillera Bética.

### ABSTRACT

The Andalusian karstic massifs show very well the "modern" fracturing of the Betic Cordillera, which is frequently the determinant factor, but not the only one, of its karstification, controlling the infiltration rates, the speleological network, and many other geomorphological features at different scales. The fractures orientated NW-SE and NE-SW are the most important controlling the karst development, followed by the faults N060-090.

**Key words:** Karst, Fracturing, Faults, Andalucía, Betic Cordillera.

### INTRODUCCIÓN

En Andalucía son relativamente abundantes los materiales karstificables, tanto carbonatados como evaporíticos. Los primeros aparecen bien representados tanto en las Zonas Internas (Complejo Alpujárride y Maláguide, Dorsal) como en las Zonas Externas (Subbético y Prebético) de la Cordillera Bética. Presentan diferentes edades según los distintos ámbitos geológicos a los que pertenecen, así como características litoestratigráficas y sedimentológicas relativamente variables (Meléndez y Sancho, 1989).

Por su extensión conviene destacar los macizos de las sierras Blanca y Mijas (Málaga), Almijara y Tejada (Málaga-Granada), y Gádor (Almería) en el complejo Alpujárride. La Serranía de Ronda (Málaga-Cádiz) integra diferentes macizos correspondientes a los dominios de la Dorsal y del Subbético interno-Penibético, con la característica común del gran desarrollo de sus manifestaciones exo y endokársticas. En la Zona Subbética, con la excepción de Sierra Gorda de Loja (Granada), la extensión de los macizos es menor, aunque por sus características morfológicas hay que reseñar, además de la citada Sierra Gorda, las sierras de Cabra (Córdoba) y Mágina

(Jaén), y, sobre todo, el Torcal de Antequera (Málaga). Por último, en la Zona Prebética, la mayor proporción de afloramientos carbonatados corresponden al conjunto montañoso de las sierras de Cazorla-Segura-Las Villas (Jaén, en parte prolongado hacia Albacete y Murcia) y Castril-Huésca (Granada). En este contexto, el sector de la Cabrilla-Pinar Negro (en la Sierra de Segura), merece ser destacado por la espectacularidad de sus formas kársticas de absorción. La posición general de estos macizos puede verse en la Fig. 1.

En cuanto a los materiales evaporíticos, son también abundantes en las Cordilleras Béticas, sobre todo dentro del Subbético (Trías Keuper) y en depósitos de relleno de cuencas neógenas. En particular, son de destacar los sectores de Archidona-Antequera, en Málaga (Durán y Molina, 1986) y de Sorbas, en Almería (Pulido, 1986).

No hay que olvidar que el territorio andaluz comprende otros ámbitos montañosos además del que corresponde a la Cordillera Bética, como es el caso de parte de las Zonas Sudportuguesa y Ossa-Morena, pertenecientes al Macizo Hespérico. En este ámbito son, sin embargo, muy poco abundantes los materiales karstificables. Cabe señalar aquí el afloramiento de mármoles precámbricos de la Sierra de Aracena (Huelva), en relación con el cual se desarrolla la conocida gruta de las Maravillas (del Val y Hernández, 1989), así como el karst fósil que dió origen a las explotaciones mineras del Cerro del Hierro (Sevilla).

<sup>(1)</sup> Instituto del Agua. Universidad de Granada, c/ Rector López Argüeta, s/n. 18071-Granada.

<sup>(2)</sup> Instituto Andaluz de Geología Mediterránea. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada. 18071-Granada.

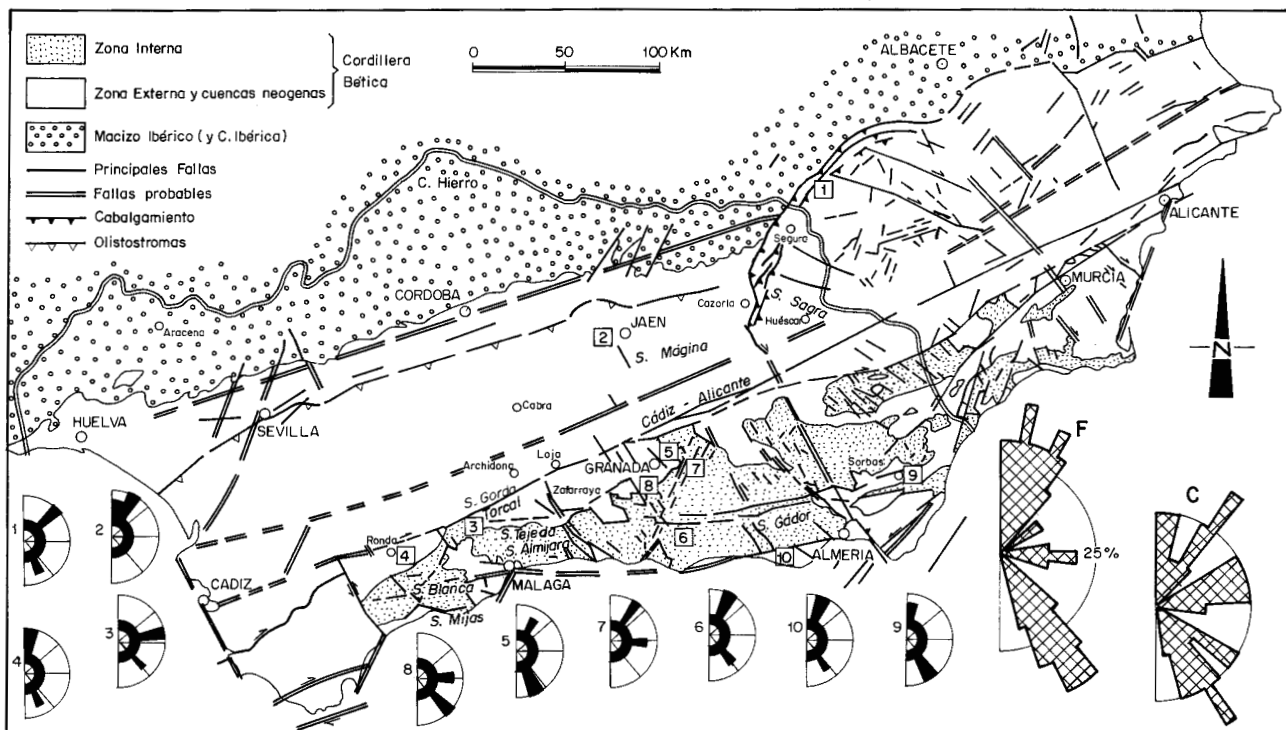


Fig. 1.- Principales fracturas de la Cordillera Bética y posición de algunos de los principales macizos kársticos andaluces. Se incluyen también diagramas de fracturación de varios de estos macizos. C: direcciones generales de los juegos de fracturas predominantes deducidas a partir de medidas de campo. F: Id. por fotointerpretación. (Modificada de Benavente y Sanz de Galdeano, 1985).

En lo que sigue nos ceñiremos exclusivamente al caso concreto de las Cordilleras Béticas que, si bien representan la mayor proporción de la extensión superficial de los macizos montañosos andaluces (y prácticamente la totalidad de los kársticos), según se ha visto, también se prolongan en dirección NE en otras autonomías (Murciana, Valenciana y parte de la de Castilla-La Mancha en la provincia de Albacete).

### IMPORTANCIA DE LA FRACTURACIÓN EN EL DESARROLLO DEL KARST

La karstificación presenta básicamente tres tipos principales de controles: climáticos, litológicos y estructurales. Las formas resultantes raramente obedecen de manera exclusiva a uno de estos tres factores, si bien es evidente que, en ciertos casos, alguno de ellos tiene una influencia más marcada. De hecho, en buena parte de la Cordillera Bética los karsts son típicamente estructurales (Pezzi, 1977).

El principal control estructural reside en la fracturación, aunque su influencia depende del nivel de escala que se considere. A nivel milimétrico o centimétrico la fisuración puede ser tan densa que la roca llega a adoptar un comportamiento hidrológico y mecánico más propio de materiales porosos homogéneos. Es lo que ocurre en algunos enclaves dentro de la formación carbonatada

alpujáride; su origen, más que tectónico, reside en procesos de fracturación hidráulica. A niveles superiores de escala (decimétrico a métrico) corresponde la fracturación que normalmente se mide en el campo; es la que determina más frecuentemente las directrices de los lapiaces estructurales y la que juega un papel más directo en la infiltración del agua meteórica. Fracturas decamétricas a kilométricas son apreciables a partir de fotogramas aéreos a escalas convencionales (1:10.000 a 1:50.000) y generalmente condicionan la alineación de ciertas formas superficiales de absorción de extensión reducida (campos de dolinas) o constituyen los bordes de otras de mayor rango (poljes); también determinan las principales pautas geométricas de las redes subterráneas, imponen buena parte de los límites de los acuíferos correspondientes y dan cuenta de la ubicación concreta de algunas formas de emisión. Fallas plurikilométricas, por último, visibles ya a partir de fotos de satélite, pueden aportar información sobre sistemas regionales de flujo subterráneo y/o explicar la aparición de manifestaciones termales. (Benavente y Sanz de Galdeano, 1989).

Hay que tener en cuenta que el origen de la karstificación es básicamente hidrogeológico: a partir de sistemas de flujo subterráneo determinados por la permeabilidad (K) y la porosidad (m) del macizo rocoso, además de por una serie de condiciones en los límites. Tanto K como m pueden cuantificarse, al menos en teoría, en base a parámetros tales como la orientación, intensidad, apertura

ra y longitud media de las fracturas (Snow, 1969; Kiraly, 1969).

En el caso concreto de los materiales kársticos, sin embargo, las relaciones entre la fracturación y la permeabilidad son de hecho fundamentalmente cualitativas, debido al efecto parcialmente autorregulador que inducen los procesos de disolución y precipitación sobre los sistemas de flujo, de manera que también intervienen otros factores, como la historia geomorfológica (evolución de las redes de drenaje superficiales y subterráneas, sobre todo) y climática de la región (Kiraly, 1975).

Por lo demás, la fracturación condiciona el carácter anisótropo y fuertemente heterogéneo de la permeabilidad en los macizos kársticos, con un efecto de escala muy marcado según se ha apuntado anteriormente. Así se registran variaciones de más de cinco órdenes de magnitud entre los valores de K obtenidos en laboratorio (efecto de microfisuras) y los que resultan del análisis a nivel de la totalidad del macizo, donde aparece ya la influencia de la red espeleológica superpuesta al efecto de las macrofisuras (Kiraly, 1975).

## **RASGOS GENERALES DE LA FRACTURACIÓN EN LAS CORDILLERAS BÉTICAS.**

Existen numerosos tipos de fracturas en las Cordilleras Béticas, pues su estructuración se ha realizado en un proceso que ha durado muchos millones de años, desde comienzos de las deformaciones alpinas (a finales del Cretácico). Así, se pueden considerar los desgarres, fallas inversas y cabalgamientos de unidades en numerosos casos muy importantes en las Cordilleras Béticas. Incluso anteriormente ya se habían producido fracturas a lo largo del Mesozoico. Sin embargo, las que más influencia van a tener en la evolución propia de los macizos kársticos son aquellas fracturas modernas formadas esencialmente a partir del Neógeno (aproximadamente los últimos 25 m.a.) y en especial a partir del Mioceno medio y superior. Estas son las que se describen a continuación.

Según la interpretación de Sanz de Galdeano (1988 y 1990) los diversos juegos de fracturas (del Neógeno a la actualidad) de las Cordilleras Béticas pueden integrarse en un sistema de desgarre dextroso en el que la dirección del máximo esfuerzo compresivo era ONO-ESE. Posteriormente, cuando la dirección de compresión pasó a ser aproximadamente NNO-SSE los movimientos de los diversos juegos del sistema cambiaron (Fig. 2).

No siempre es fácil la atribución de una fractura a un determinado juego, pues existen algunas cuya dirección cambia, además de otras cuya dirección es intermedia entre los diferentes juegos considerados. Aún así pensamos que en pro de la simplificación la agrupación en varios juegos es suficientemente válida.

Los juegos que consideramos son tres (Fig. 1). El primero de ellos corresponde a las fracturas de dirección N060-070 a E-O. En realidad podría ser dividido en dos juegos próximos a los valores extremos de la dirección indicada. En conjunto corresponde a las fracturas más largas de la Cordillera Bética, como la zona de fracturas Cádiz-Alicante (Sanz de Galdeano, 1983) (Fig. 1), de dirección N060-070, y la zona de fallas de las Alpujarras, de dirección N090. Son fallas que han tenido movimientos de desgarre dextrosos muy importantes, pero también en algunos casos movimientos verticales.

El segundo juego comprende a las fracturas cuya dirección oscila entre N130 y 160. Aunque presentes en toda la Cordillera, hay algunos sectores en que están mejor representadas. Así entre Nerja y Loja, en las proximidades de Granada, entre Ugíjar y Adra, etc. En general sus movimientos modernos más importantes son verticales o bien normales dextrosos.

El tercer juego de fracturas, de dirección variable N-S a NE-SO, puede ser dividido en dos con orientaciones N005-015 y N025-045. Está muy bien representado en el SE (fallas de Carboneras y Palomares) y en el borde occidental de Sierra Nevada. Sus movimientos suelen corresponder a gran escala a desgarres sinistrosos, aunque también presentan movimientos verticales muy importantes (caso del borde de Sierra Nevada).

## **INFLUENCIA DE LA FRACTURACIÓN EN EL DESARROLLO DEL RELIEVE KÁRSTICO EN LOS MACIZOS ANDALUCES**

En un trabajo anterior (Benavente y Sanz de Galdeano, 1985) integramos los resultados de una serie de estudios previos de diferentes autores sobre fracturación (a nivel de medidas de campo y de fotointerpretación) junto a otros datos morfoestructurales, para confirmar la importancia de los tres juegos de fracturas antes comentados y establecer su mayor o menor grado de karstificación, a nivel general, en la parte andaluza de la Cordillera Bética. Además, también se señaló que la situación de las surgencias termales muestra con claridad su relación respecto a las principales fallas (o más comúnmente zonas de fallas), especialmente en la intersección entre los juegos N130-160 y N060-090.

Según los datos de dicho trabajo, los juegos de fracturas que acaban de ser descritos aparecen bien representados en los macizos kársticos andaluces, bien en forma de fallas o simplemente como diaclasas. El tamaño es muy variable: existen líneas de fallas con desplazamientos importantes, que pueden llegar a individualizar macizos; otras son importantes a nivel del afloramiento; disminuyendo progresivamente se llega a las simples diaclasas, en numerosos casos muy abundantes, de manera que fragmentan las calizas en bloques poligonales de la decena de metros de lado, a veces incluso menos.

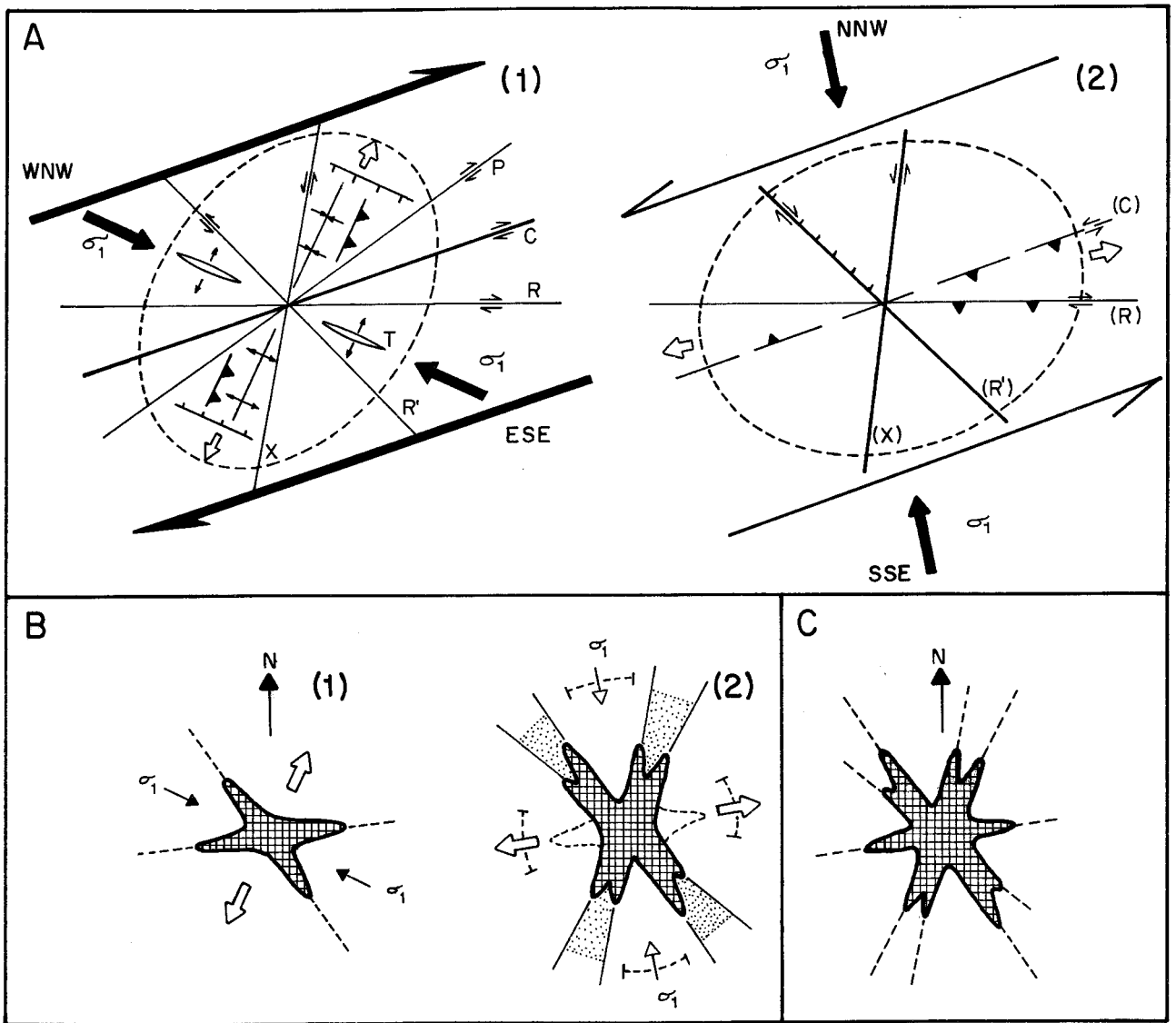


Fig. 2.- Comparación de la fracturación "moderna" en la Cordillera Bética y las fracturas presentes en sus macizos kársticos. A) Modelo evolutivo de la fracturación en la Cordillera Bética (tomado de Sanz de Galdeano, 1988) considerada en un principio como un sistema de cizalla dextroso. c: falla principal. R: falla sintética de tipo Riedel. P: falla simétrica a R. R': falla antitética. X: falla simétrica a R'. T: fracturas de tensión.  $\sigma_1$ : dirección principal de compresión. B) Interpretación de las fracturas presentes en los macizos kársticos. 1: fracturas formadas en primer lugar. 2: fracturas posteriores formadas con  $\sigma_1$  casi N-S y una tensión casi perpendicular. 3: resultado final de los procesos 1 y 2. (Tomado de Benavente y Sanz de Galdeano, 1985).

Son los juegos N130-160 y N005-045 los que generalmente se encuentran mejor representados y sobre todo el primero de ellos suele presentar fallas de mayor longitud. Estos son los juegos que se reconocen también como más karstificados en el sur de Portugal (Grillot y Almeida, 1982). Peor representación en lo que a karstificación se refiere suele presentar el juego N060-090, salvo en algunos macizos próximos a importantes líneas de fractura de la citada dirección (así por ejemplo el Torcal de Antequera).

Algunos diagramas de frecuencia de fracturas de varios macizos kársticos se muestran en la Fig. 2, ligeramente modificada de Benavente y Sanz de Galdeano

(1985), donde también se incluye una interpretación de conjunto de los mismos.

Con posterioridad a dicho trabajo de síntesis han aparecido otros de temática más o menos afín, en una serie de macizos kársticos andaluces, algunos de los cuales comentamos a continuación.

Eraso (1985/86) presenta una serie de ejemplos en los que se analiza la predicción de las direcciones principales de drenaje kárstico a partir del tratamiento gráfico de medidas de orientaciones de estilolitos, venas de calcita, etc. según la metodología de Arthaud y Mattauer (1969), de manera que se identifiquen las principales

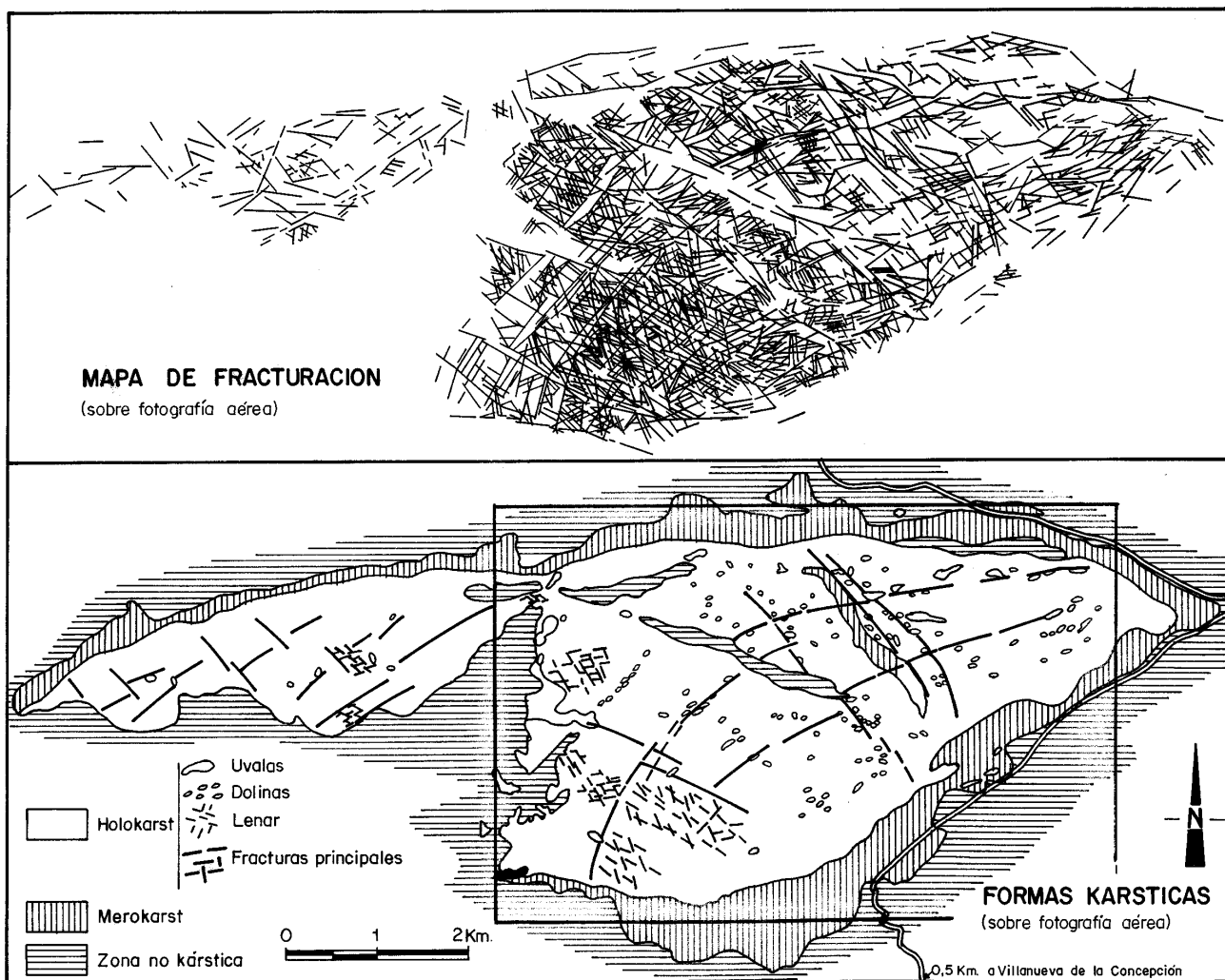


Fig. 3.- Mapas de fracturación y de formas kársticas del Torcal de Antequera. (Tomados de Delgado y Fernández Rubio, 1975). El recuadro indica la posición de la Fig. 4.

situaciones de esfuerzos a que se han visto sometidos los macizos kársticos. Entre los casos que dicho autor considera hay algunos andaluces; así en la Sierra de Líbar (Subbético), entre Málaga y Cádiz, se identifican tres direcciones predominantes de conductos kársticos: N140-150E, N50-60E y N5-25E; en el entorno de la presa de San Clemente (Sierra Seca, en el contacto entre el Prebético y Subbético), Granada, se evidenció, mediante coloración, una dirección aproximada de flujo kárstico en dirección SSO; en el sector de Benínar - Fuentes de Marbella (Alpujárride), Almería, la interconexión sumideros-surgencias se realiza con un sentido N160E.

Calvache y Benavente (1987) destacan, en el macizo del Jabalcuz-La Grana (Jaén), que los juegos N150-170 y N010-030 se karstifican fácilmente, mientras que lo hace en menor grado el juego N070-090.

López Limia (1987) hace un estudio muy detallado

del karst de Pinar Negro (Sierra de Segura, Jaén) en el que, entre otros aspectos, encuentra que las direcciones preferentes de fracturación detectadas en foto aérea (N010-040) coinciden con la orientación más frecuente de las numerosas dolinas que allí existen.

López Chicano y Pulido (1988) reconocen el predominio del sistema de fracturas N075-095 en tramos rectilíneos de galerías en una red kárstica fósil en Sierra Gorda de Loja (Granada). En ese mismo macizo, López Chicano (1989) identifica, a partir del análisis de datos de campo y de foto aérea, cuatro familias principales de fracturas: N000-010, N050-070, N090-100 y N140-150. En particular, (y esto supone una notable contribución metodológica respecto a estudios anteriores de este tipo en el área) se analiza en ese trabajo la evolución de los esfuerzos en fases sucesivas de compresión y distensión, que pone de manifiesto importantes rejuegos de estas familias de fracturas y la evolución paralela de dicho karst.



Fig. 4.- Fotografía aérea de parte del Torcal de Antequera. Ver posición en Fig. 3.

En la mayoría de los ejemplos citados se han considerado las direcciones más frecuentes, fundamentalmente a partir del análisis de fotogramas aéreos, de las fracturas karstificadas. Es lo que se denomina "intensidad" de fracturación y puede cuantificarse tanto a partir del número como de la longitud acumulada de fracturas para los intervalos angulares que se consideren. Su importancia es obvia para determinar el grado de control estructural de distintas morfologías kársticas, como es el caso del citado trabajo de López Limia (1987) y también de otro anterior (Bach y Estalrich, 1980) con objetivo similar en el sector de El Ejido-Roquetas (Almería). Las figuras 3 y 4, correspondientes al Torcal de Antequera, pueden servir de ilustración sobre este aspecto, aunque igualmente podrían utilizarse imágenes de muchos otros macizos.

El condicionamiento total o parcial de la mayoría de los poljes suele ser tan evidente a partir de fotogramas aéreos que raramente necesita ser puesto de manifiesto a partir de otros métodos. En particular, Nicod (1983) señala la relación de los principales poljes mediterráneos con accidentes que rejuegan periódicamente. Para Lhénaff (1986) el origen tectónico de todos los poljes de la Cordillera Bética es evidente, si bien existen algunas situaciones en que la trascendencia de las fracturas es determinante: a) en los ligados a fosas tectónicas, ya sea asociados a pliegues relativamente simples (caso de los poljes de la Sierra de Líbar: Delannoy y Díaz del Olmo, 1986) como a estructuras de cabalgamiento relativamente complejas (caso de los poljes de la Sierra de Cabra: Lhénaff, 1975; Pezzi, 1977) y b) los formados en estructuras de imbricación de escamas, donde pueden distinguirse casos simples, como los poljes del interior de Sierra Gorda (Delgado y Fernández-Rubio, 1975), y complejos, cuyo mejor exponente es el polje de Zafarraya, el mayor de la Cordillera Bética.

Al expresar la intensidad de fracturación del conjunto de los intervalos angulares por unidad de superficie, se obtiene un valor de "densidad" de fracturación. Su interés a la hora de analizar el relieve kárstico es inme-

diato, pues los valores máximos de dicho parámetro en un macizo dado suelen corresponder a las mayores evidencias de karstificación superficial, como hemos comprobado en el caso de Sierra Blanquilla, en la Serranía de Ronda (Benavente *et al.*, 1980).

Por último, también a partir de fotogramas aéreos puede obtenerse información sobre las longitudes de las fracturas karstificadas, y así se ha hecho en alguno de los trabajos citados. El valor medio absoluto que resulta para cada macizo no tiene demasiado interés, y de hecho está influenciado por la escala de las fotos empleadas. Más importante es señalar que los valores más altos parecen estar relacionados con macizos litológicamente heterogéneos (Calvache y Benavente, 1987). Otro aspecto de interés se deriva de la propia distribución de frecuencias de dicho parámetro, tipo log-normal (Benavente, 1979 y otros trabajos posteriores). Prescindiendo de consideraciones matemáticas, ello puede ser interpretado como que, a partir de un estado previo de fracturación, las fracturas que se generen están condicionadas por las longitudes de las que ya existen (Razack, 1979). Esto incide en lo expuesto anteriormente, en el sentido de que en los estudios de fracturación es conveniente tratar de identificar la "historia" de las fracturas, en relación con los esfuerzos que las han producido, y no atender únicamente a las características geométricas con que aparecen en la actualidad.

## CONCLUSIONES

Los principales juegos de fracturas presentes en general en la Cordillera Bética también están claramente representados en sus distintos macizos kársticos.

Como es lógico, no son las fracturas el único factor determinante de la karstificación en los macizos andaluces, pero sí es el más importante en muchos de ellos y de hecho ejerce un control decisivo en las características geomorfológicas e hidrogeológicas de los mismos, desde la génesis de una microporosidad o de un lapiaz incipiente hasta el desarrollo de las grandes redes espeleológicas o el condicionamiento de los mayores poljes.

En general son las líneas de fractura NO-SE y las NE-SO las que ejercen dicho control de forma más notoria, salvo en aquellos macizos afectados por grandes fallas N060-090, o situados en sus proximidades.

Estudios recientes permiten mostrar una evolución paralela entre el desarrollo temporal de las fracturas y la propia evolución y orientación de las redes hidrológicas subterráneas. Desde el punto de vista metodológico resulta por tanto muy recomendable abordar el estudio de las fracturas de manera que se identifique la historia de los esfuerzos que las han originado, complementando con otras medidas (de campo y/o a partir de fotos aéreas)

que permitan describir sus principales características geométricas: intensidad, densidad y longitud.

## AGRADECIMIENTOS

Trabajo realizado parcialmente a través del proyecto PB88-0059 de la D.G.I.C. y T. (Cuencas neógenas de las Zonas Internas) y el grupo de Trabajo "Análisis y Dinámica de Cuencas" (Junta de Andalucía).

## REFERENCIAS

ARTHAUD, F. y MATTAUER, M. (1969): Exemples de stylolites d'origine tectonique dans le Languedoc. Leurs relations avec la tectonique cassante. *Bulletin Société Géologique de France*, 7, XI, 738-743.

BACH, J. y ESTALRICH, J. (1980): Relación entre tectónica y formas kársticas. Tres ejemplos concretos. *Actas Espeleológicas*, M-1, 55-68. Sabadell.

BENAVENTE, J. (1979): Un ejemplo de análisis estadístico de la fracturación en un macizo kárstico. *Tecniterrae*, 37, 51-65.

BENAVENTE, J.; FERNÁNDEZ GUTIÉRREZ, R.; FERNÁNDEZ RUBIO, R. y PULIDO, A. (1980): Algunas consideraciones metodológicas para el estudio de la fracturación en acuíferos kársticos. *Actas Espeleológicas*, M-1, 19-54. Sabadell.

BENAVENTE, J. y SANZ de GALDEANO, C. (1985): Relación de las direcciones de karstificación y del termalismo con la fracturación en las Cordilleras Béticas. *Estudios Geológicos*, 41, 177-188.

BENAVENTE, J. y SANZ de GALDEANO, C. (1989): Condicionamientos estructurales del karst. En J.J. DURÁN y J. LÓPEZ MARTÍNEZ (Eds.): *El Karst en España*. Monografías 4, 65-71. Sociedad Española de Geomorfología, Madrid.

CALVACHE, M.L. y BENAVENTE, J. (1987): Análisis de la fracturación y del funcionamiento hidrogeológico en el sistema de Jabalcuz-La Grana (provincia de Jaén). *Hidrogeología y Recursos Hidráulicos*, XII, 385-396.

DELANNOY, J.J. y DÍAZ del OLMO, F. (1986): La Serranía de Grazalema (Málaga-Cádiz). *Karstologia Memoires*, 1, 55-69.

DELGADO, S. y FERNÁNDEZ RUBIO, R. (1975): Morfología kárstica de las Sierras de Loja y Alhama (Granada). *Cuadernos Geográficos de la Universidad de Granada*. Monografía 1, 109-120.

DURÁN, J.J. y MOLINO, J. A. (1986): Karst en los yesos del Trías de Antequera (Cordilleras Béticas). *Karstologia Memoires*, 1, 37-46.

ERASO, A. (1985-86): Método de predicción de las direcciones principales de drenaje en el karst. *Kobie* (Serie Ciencias Naturales), XV, 15-122. Bilbao.

FERNÁNDEZ RUBIO, R. y DELGADO, J. (1975): Fisuración y karstificación del Torcal de Antequera (Málaga). *Cuadernos Geográficos de la Universidad de Granada*. Monografía 1, 93-107.

GRILLOT, J.C. y ALMEIDA, C. (1982): Tectonique cassante post-hercynienne dans l'Algarve (Sud du Portugal). Incidence sur l'hydrologie karstique. *Revue de Géologie Dynamique et Géographie Physique*, 23, 2, 119-130.

KIRALY, L. (1969): Statistical analysis of fractures (orientation and density). *Geologische Rundschau*, 59, 125-151.

KIRALY, L. (1975): Rapport sur l'état actuel des connaissances dans le domaine des caractères physiques des roches karstiques. *Hydrology of Karstic Terrains*, 53-67. Association Internationale de Hydrogéologie.

LHÉNAFF, R. (1975): Les poljés ouvertes de la Sierra de Cabra (Cordillères Bétiques). *Cuadernos Geográficos de la Universidad de Granada*. Monografía 1, 85-92.

LHÉNAFF, R. (1986): Les grands poljés des Cordillères Bétiques andalouses et leurs rapports avec l'organisation endokarstique. *Karstologia Memoires*, 1, 101-112.

LÓPEZ CHICANO, M. (1989): *Geometría y estructura de un acuífero kárstico perimediterráneo: Sierra Gorda (Granada y Málaga)*. Tesis de Licenciatura. Univ. de Granada. 68 p. (inédita).

LÓPEZ CHICANO, M. y PULIDO, A. (1988): Aproximación al conocimiento de las direcciones preferenciales de karstificación en el acuífero carbonático de Sierra Gorda (Granada). *Actas II Congreso Geológico de España*, 2, 403-406.

LÓPEZ LIMIA, B. (1987): Geomorfología del karst de Pinar Negro (Sierra de Segura, Jaén). *Lapiaz*. Monografía 11. 55 p.

MELÉNDEZ, A. y SANCHO, C. (1989): Características estratigráficas y sedimentológicas de las principales formaciones carbonatadas con interés en el desarrollo del Karst. En J.J. DURÁN y J. LÓPEZ MARTÍNEZ (Eds.). *El Karst en España*. Monografías 4, 45-54. Sociedad Española de Geomorfología, Madrid.

NICOD, J. (1983): Nouvelles recherches géomorphologiques sur les karsts méditerranéens. *Karstologia Memoires*, 1, 33-38.

PEZZI, M.C. (1977): Morfología kárstica del sector central de la Cordillera Subbética. *Cuadernos Geográficos de la Universidad de Granada*. Monografía 2. 289 p.

PULIDO, A. (1986): Le Karst dans les gypses de Sorbas (Almería). Aspects morphologiques et hydrogéologiques. *Karstologia Memoires*, 1, 27-35.

RAZACK, M. (1979): Approche numerique et quantitative de l'étude sur clichés aériens de la fracturation des reservoirs en roches fissurées. *Revue Institute Francais du Pétrole*, XXXIV, 4, 547-574.

SANZ de GALDEANO, C. (1983): Los accidentes y fracturas principales de las Cordilleras Béticas. *Estudios Geológicos*, 39, 157-165.

SANZ de GALDEANO, C. (1988): The fault system and the neotectonic features of the Betic Cordilleras. En E. BANDA y V. MENDES (Eds.). *Proceedings 5th European Geotransverse Workshop*, 99-109. The Iberian Peninsula. European Science Foundation.

SANZ de GALDEANO, C. (1990): Geologic evolution of the Betic Cordilleras in the Western Mediterranean, Miocene to the present. *Tectonophysics*, 172, 107-119.

SNOW, D.T. (1969): Anisotropic permeability of fractured media. *Water Resources Research*, 5, 1273-1289.

VAL, J. del y HERNÁNDEZ, M. (1989): El Karst en el macizo Hespérico. En J.J. DURÁN y J. LÓPEZ MARTÍNEZ (Eds.): *El Karst en España*. Monografías 4, 217-229. Sociedad Española de Geomorfología, Madrid.