

LA FRACTURACION DEL BORDE SUR DE LA DEPRESION DE GRANADA (DISCUSION ACERCA DEL ESCENARIO DEL TERREMOTO DEL 25-XII-1884) (*)

C. Sanz de Galdeano (**)

RESUMEN

El borde sur de la depresión de Granada está limitado por fallas de dirección este-oeste a N 100-120 E y por otras de dirección general N 130 E, NNW-SSE y N 15-40 E. Todas ellas han actuado desde el Mioceno superior y condicionaron el depósito de los materiales neógenos y cuaternarios. Posteriormente produjeron el encajamiento y la compartimentación de la cuenca. Además son las responsables de la formación de los relieves de Sierra Tejeda y Almirajara.

Las fallas este-oeste además de los movimientos verticales presentan otros de desgarre y como tales debieron actuar desde finales del Mioceno inferior, durante el medio y quizás hasta la etapa fini-Serravalliense incluida. Posteriormente, al norte de las sierras Tejeda y Almirajara han mantenido un eje de continua subsidencia donde se formaron los lignitos de Arenas del Rey. Este eje de subsidencia y fractura parece ser el responsable del terremoto del 25 de diciembre de 1884. Las direcciones de compresión que han actuado durante el Cuaternario superior son N 20 W y casi este-oeste, y junto a éstas existen importantes reajustes verticales.

PALABRAS CLAVE: Depresión de Granada, fracturación, sismotectónica.

ABSTRACT

The southern edge of the Granada basin is delimited by faults trending in an E-W to N 100-120 E direction and others trending in the general direction of NNW-SSE and N 15-40 E. All of these faults have been active since the Upper-Miocene and strongly influenced the deposits of the Neogene and Quaternary materials. Later they were responsible for the enclosing and compartmentation of the basin. The formation of the Sierra Tejeda and Sierra Almirajara reliefs are also due to these faults.

Apart from vertical displacements the E-W faults also show strike-slip movements and these latter must have been active since the end of the Lower-Miocene, through the Middle-Miocene and perhaps up to and including the Terminal-Serravallian. Since then, to the north of the sierras Tejeda and Almirajara, there has been a continual process of subsidence along an axis. Within this zone the lignites of Arenas del Rey were formed. This axis of fracturing and subsidence would appear to have been responsible for the earthquake on 25th December 1884. The compression directions during the Upper-Quaternary have been N 20 W and almost E-W and were accompanied by significant vertical displacements.

KEY WORDS: Granada basin, fracturing, seismotectonics.

Introducción

En este artículo se pretende ofrecer una visión de la fracturación moderna (posterior a la formación de los rasgos esenciales de la estructura alpina) de las

Cordilleras Béticas en el borde sur de la depresión de Granada, salvo en su terminación oriental, que ya fue objeto de una nota anterior (Sanz de Galdeano *et al.*, 1984). A la vez se muestran los rasgos geomorfológicos del sector de Arenas del Rey, donde se pro-

(*) Trabajo perteneciente al proyecto "Borde mediterráneo español: Evolución del Orógeno Bético y Geodinámica de las Depresiones Neógenas" (Dpto. de Investigaciones Geológicas del C. S. I. C., Centro Coordinado con la Universidad de Granada).

(**) Departamento de Geología. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada.

dujo hace un siglo el terremoto del 25 de diciembre, el cual aparece como una zona potencialmente inestable desde al menos el Mioceno superior.

Situación geográfica

El área estudiada está formada fundamentalmente por dos sectores bien diferenciados. El primer sector presenta alturas que oscilan entre los 800 y 1.200 metros, y corresponde en buena parte a la depresión de Granada. En el mismo se sitúan los pueblos de Alhama de Granada, Zafa-

rraya, Ventas de Zafarraya, Arenas del Rey, Játar, Fornes y Jayena.

El otro sector aparece al sur y corresponde a las sierras Tejeda y Almirajara, con cimas a 2.065 metros (Maroma), Malas Camas (1.792 m.), Puerto (1.824 m.) y Lucero (1.779 metros), entre otras. Hacia el este las sierras de albuñuelas y Guájares, ya menos altas, se unen a la Almirajara y cierran la depresión en este borde.

En su parte occidental la Sierra Tejeda cae con fuerte pendiente y da paso a un sector más deprimido (de 200 a unos 1.000 metros de altura sobre el nivel del mar). Es el sector que se abre hacia Colmenar. Allí, dentro del área estudiada, se sitúa Alcaucín. Este sector está limitado al norte por las elevaciones de la Sierra de Alhama (al sur de Zafarraya) y más al norte aparece la Sierra Gorda de Loja.

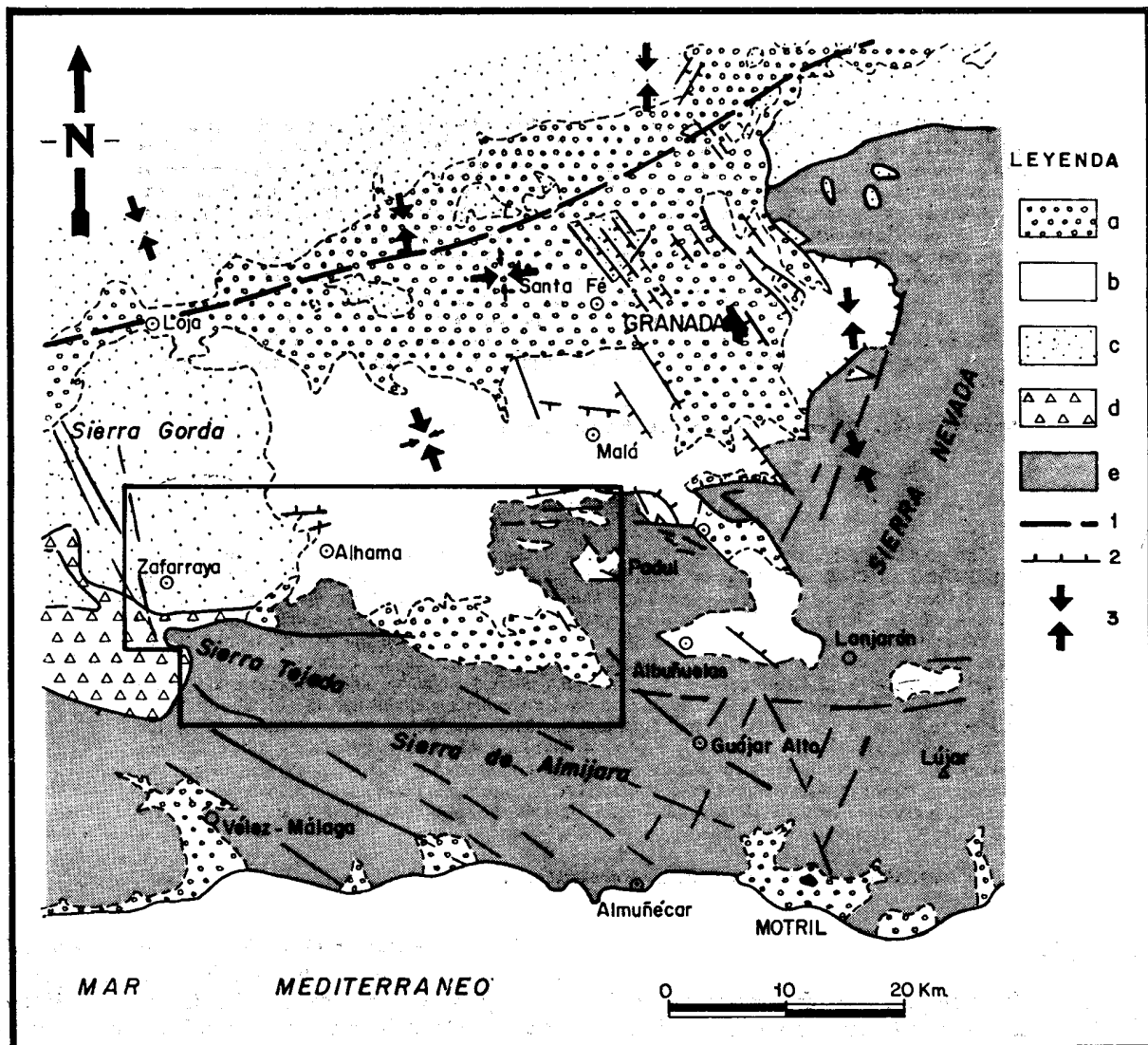


Fig. 1.—Localización del área estudiada en el borde sur de la depresión de Granada (señalada en el recuadro). a: Plioceno y Cuaternario; b: Mioceno superior, localmente medio; c: Zona Externa y Dorsal; d: Dominio de los flysch; e: Zona Interna o Bética sensu estricto. 1: Posición del accidente de Cádiz a Alicante; 2: Fracturas con indicación de hundimiento; 3: Direcciones de compresión cuaternarias. (Modificado de Sanz de Galdeano en Santanach *et al.*, 1980.)

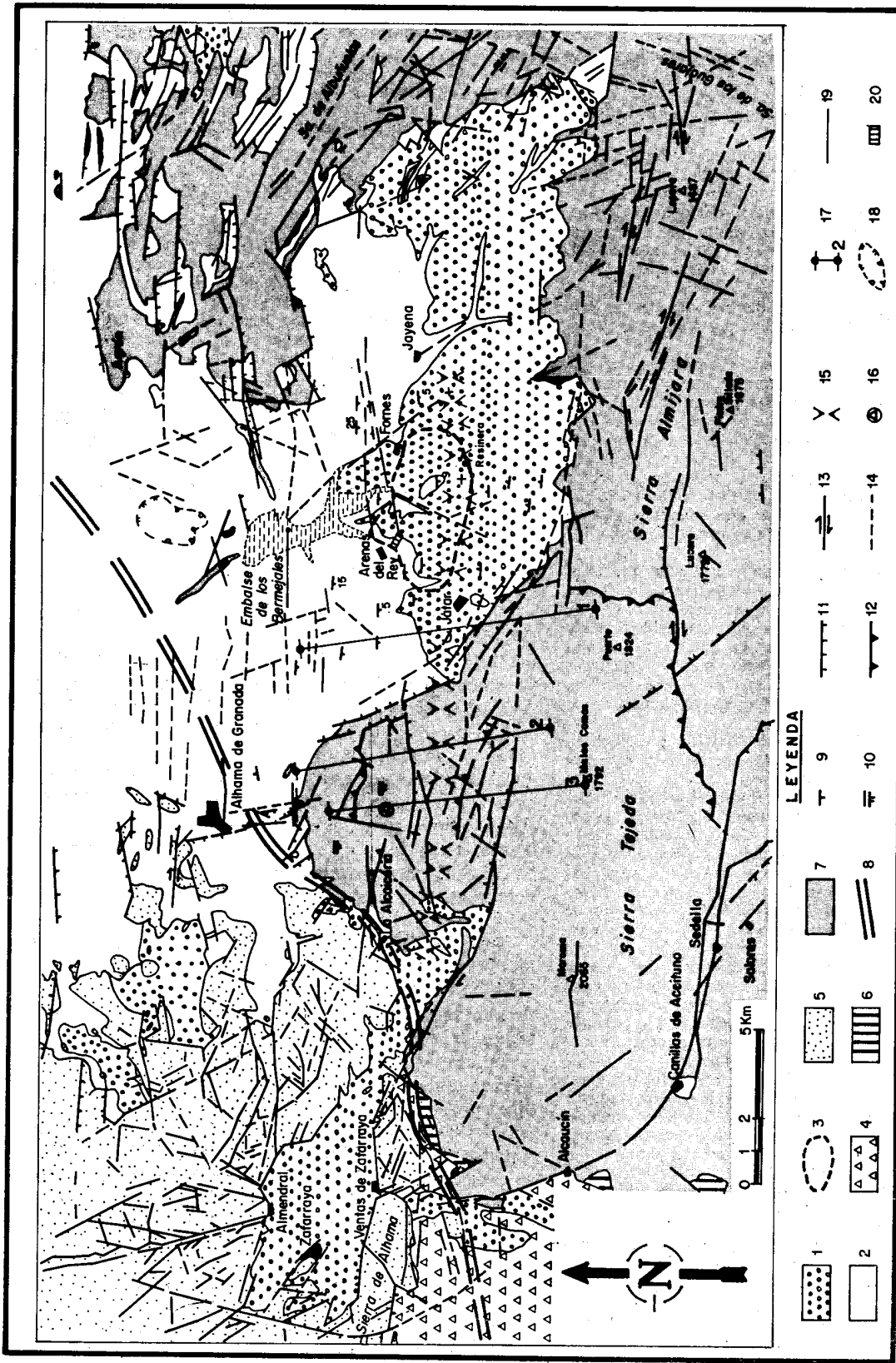


Fig. 2.—Principales rasgos geológicos y líneas de fractura del área estudiada. 1: Plioceno y Cuaternario; 2: Mioceno superior; 3: Área donde aparecen los lignitos. límites según Cañadas, 1984); 4: Dominio de los flysch; 5: Zona Externa y Dorsal; 6 y 7: Zona Interna; 8: Maláguide; 9: Alpujárride; 10: Posición del contacto entre las zonas Interna y Externa; 11: Buzamientos de materiales; 12: Buzamiento de superficie de arrasamiento; 11, 12, 13 y 14. Fracturas; 11: Indicación de hundimiento; 12: Cabalgamiento; 13: Movimiento horizontal; 14: Fractura de posición probable o de escasa importancia; 15: Localización del eje de subsidencia; 16: Posible situación del epicentro del terremoto del 25-XII-1884; 17: Posición y número de los cortes de la figura 3; 18: Deslizamiento; 19: Contactos discordantes; 20: Antigua posición del pueblo de Arenas del Rey.

Situación geológica

En este área aparecen materiales de las zonas Interna y Externa, del dominio de los flysch y de la Depresión de Granada (figs. 1 y 2). En la misma se dan parte de los contactos fundamentales de la estructura de las Cordilleras Béticas.

Dentro de la zona Interna los materiales representados corresponden en su inmensa mayoría al dominio Alpujárride: Son las unidades de los mantos de los Guájares, Herradura y Salobreña, según la nomenclatura de Avidad *et al.* (1981) y Elorza *et al.* (1979) y se extienden por las sierras de Albuñuelas, Guájares, Almirante y Tejeda, además de aflorar en el sector del sur de Alhama, más deprimido en general que los anteriores. También aflora en algunos puntos aislados en las proximidades del embalse de los Bermejales. Están formados esencialmente por mármoles y esquistos triásicos y paleozoicos.

El dominio maláguide sólo aparece en contados afloramientos visibles en la carretera entre Alhama y Ventas de Zafarraya, al sur de Ventas y en las proximidades de Alcaucín. Se encuentra muy tectonizado en general, en el contacto entre las zonas Interna y Externa o con el dominio de los flysch.

El dominio de los flysch aparece al oeste, en el sector de Colmenar-Alcaucín. Allí afloran también materiales discordantes de la formación Viñuela, de gran interés en cuanto que sirven para datar al actual contacto entre las zonas Interna y Externa.

A la zona Externa, en la que incluyo a efectos prácticos la Dorsal, pertenecen los relieves de Zafarraya y Sierra Gorda. Elementos de la Dorsal aparecen en los Baños de Alhama formados por calizas y margas. Al Subbético interno se pueden atribuir las unidades de Zafarraya y Sierra Gorda de Loja, y éstas formadas esencialmente por calizas y dolomías del Lías. Hay que destacar el relieve kárstico, muy desarrollado en estos materiales, en particular en el polje de Zafarraya.

Los materiales de la depresión de Granada presentes en el área estudiada tienen una edad comprendida entre el Mioceno superior y el Cuaternario.

El Mioceno superior, Tortonense, aflora discordante tanto sobre el Alpujárride (así, en numerosos puntos del borde oriental del área estudiada o en el río Cacán aguas abajo del embalse de los Bermejales, donde la discordancia es muy espectacular) o sobre los materiales de la zona Externa (así, en Alhama de Granada y en el borde de Sierra Gorda, y en el propio interior del polje de Zafarraya, donde se conoce por sondeos [Hidalgo, 1974]). En su base aparecen arenas y conglomerados con fauna marina y, sobre éstos, se depositaron calcarenitas bioclásticas. El espesor es variable. Puede oscilar desde pocos metros a algo más del centenar. Encima se formaron limos y margas con intercalaciones hacia el techo de niveles evaporíticos. La potencia de estos limos puede ser superior a varios cientos de metros al norte y parece que se acucian hacia el sur. Cerca del techo de estos últimos materiales se hace el paso a los del Messinense. Por último, aparecen unas calizas oquerosas lacustres, cuya edad puede situarse también entre el Messinense terminal y el Plioceno. En el sector de Arenas del Rey, Játar y Fornes existen además arenas, limos y lignitos lacustres de la última edad citada.

Discordantes sobre los anteriores materiales descritos aparecen conglomerados, arenas, limos y arcillas de tonos predominantemente rojos. Por comparación con los de otros sectores de la depresión de Granada su edad puede oscilar desde el Plioceno inferior al Pleistoceno ¿medio? Otros materiales, posiblemente de la misma edad, son los que rellenan en parte al polje de Zafarraya. Por último, existen depósitos de piedemonte, en especial en las laderas norte de Sierra Tejeda y en numerosos puntos cubiertos por derrubios o por suelos de cultivos.

En esta región parecen haberse producido tres etapas de arrasamiento, al menos parciales. La primera previa a los depósitos del Tortonense superior, la cual ya en esta edad empezó a deformarse, y hoy la encontramos sólo en algunos puntos. La segunda, posterior al depósito de los materiales miocenos y anterior a los conglomerados, limos y arcillas rojas del Plioceno-Pleistoceno ¿medio?, y la última posterior a estos depósitos.

Antecedentes

Son numerosos los autores que han estudiado la región desde diferentes puntos de vista, pero pocos son los trabajos que tratan del tema aquí abordado de fracturación tardía y su influencia. Cito a los autores de las hojas geológicas a escala 1:50.000 ya publicadas: Elorza *et al.* (1979), Avidad *et al.* (1981), González-Donoso *et al.* (1980). A partir de ellas puede obtenerse la larga lista de trabajos realizados en el área.

Hay, además, que señalar el trabajo de Boné *et al.* (1978) sobre la estratigrafía y paleontología de Arenas del Rey, el de Lhénaff (1979) sobre geomorfología de la depresión de Granada y, en lo referido a sismicidad y neotectónica, los de López-Arroyo *et al.* y Muñoz y Udías (1980), López-Casado y Sanz de Galdeano (en prensa), Pernia *et al.* (1983), Capote *et al.* (1984) y Vidal *et al.* (1984).

La fracturación

En la figura 2 se recogen las fracturas que se han deducido del estudio de fotointerpretación después detalladamente corregido sobre el terreno. Muchas ya aparecen en los mapas de Elorza *et al.* (1979) y Avidad *et al.* (1981), si bien en algunos casos ahora se han prolongado más o deducido sus movimientos. Otras se señalan ahora por primera vez. En esta figura se puede ver que las más largas son de dirección este-oeste a N 100-120 E e incluso N 130 E. Estas últimas pueden ser de otro sistema independiente. Otro grupo tiene una dirección aproximada NNW-SSE. Existen algunas casi norte-sur, un poco desviadas al oeste, y, por fin, otro grupo oscila entre N 10-15 E a N 40-45 E.

Sanz de Galdeano (1983) agrupa las fracturas de las Cordilleras Béticas en tres sistemas principales: NNE-SSW, NW-SE y N 70-100 E, aún a sabiendas de que se trata de una generalización y de que, por tanto, existen fallas que tienen otras direcciones intermedias. En el área ahora estudiada podemos considerar como más importante el grupo de fallas de dirección este-oeste a N 100-120 E, difícil de separar del N 130 E, el NNW-SSE también a veces difícil de separar del N 130 E y a veces en transición con él si se considera que algunas fallas cambian de dirección, y, por último, el sistema N 15-40 E. Las fallas casi norte-sur parecen ser de menos importancia.

Datos sobre los movimientos de estas fracturas

El sistema este-oeste a N 120 E presenta varios puntos donde se observan sus movimientos. Así, en

la carretera de Granada a Almuñécar, en plena Sierra Almirajara (Coordenadas U.T.M. 340813), pasa una de estas fallas que hace prácticamente la continuación de las que van por el norte de Sierra Tejeda. En el punto citado hay notable trituración y la falla tiene localmente dirección N 80 E y estrías horizontales o casi horizontales con bloques de dolomías de aproximadamente un metro cúbico o incluso mayores, a modo de virutas arrastradas.

Más al oeste, aún en Sierra Almirajara, se ven varias bandas de trituración, alguna espectacular. Una de ellas, continuación de las antes referidas, muestra en el corte con una pista (punto de coordenadas U.T.M. 295832) más de 20 metros de anchura de rocas cataclásticas con estrías horizontales y oblicuas. La banda en sí tiene más anchura y sobre ellas (y sobre otras) se forman algunos valles que siguen la dirección de las mismas. En otros puntos de esta banda y en otras más meridionales, se observan también estrías verticales además de las horizontales y oblicuas. En muchos sitios la trituración de los mármoles rebasa a las propias bandas, aunque en éstas llega a observarse una foliación vertical incipiente. En estos casos es difícil separar los rasgos propios de una trituración por fallas de desgarre de otros debidos a fenómenos quizás más penetrativos en la roca. Por eso, para situar las bandas, se ha preferido usar los rasgos claros de superficies de fallas, intensa trituración del material casi a tamaño harina y foliación incipiente, además de los rasgos morfológicos.

Mucho más al oeste, al norte de Sierra Tejeda, casi directamente al norte de su pico Maroma, hay una pista ancha abandonada que va justamente en el contacto entre los mármoles de Sierra Tejeda y las unidades alpujárrides más septentrionales. Es una falla casi vertical, ligeramente buzante al norte, en la que se observa una zona de brecha no totalmente expuesta de 10 a 20 metros de anchura, aunque este valor puede ser mayor. Allí se ven en la mayor parte de los puntos estrías verticales y sólo en escasos puntos estrías horizontales, mucho más borradas, pero aún claramente visibles. Se interpretaría, sin seguridad, que se formaron antes.

Otras fallas más septentrionales han suministrado datos parecidos. Así, al noroeste de Alhama de Granada, en el kilómetro 30 de la carretera a Loja, en una pequeña cantera, una falla casi este-oeste presenta estrías casi horizontales que indican un movimiento dextro y otras oblicuas que indican un salto normal con movimiento de desgarre del mismo sentido. Afecta a calizas del Lías y a materiales del Mioceno superior y corresponde al grupo de fallas que pasa por el sector de los baños de aguas termales de Alhama de Granada.

Las fallas de los otros sistemas han suministrado muchos menos datos de microtectónica. No se han encontrado bien expuestas las superficies de falla de manera que conserven las estrías, aunque la falla en

sí se observe muy bien. Son muy patentes los movimientos verticales, pues levantan o hunden bloques y su edad puede deducirse de los desnivelamientos del Mioceno o del Plioceno-Pleistoceno ¿medio? No son patentes, por el contrario, los posibles movimientos horizontales. Tan sólo a escala cartográfica se puede hablar del movimiento de desgarre dextrorso de las fallas que de sur a norte bordean la parte occidental de Sierra Tejeda, pasa por Alcaucín y por la Sierra de Alhama, y por su parte oeste, y limitan fuera del área estudiada, a la Sierra Gorda de Loja.

El sector de Arenas del Rey

En este sector englobo el área comprendida entre Jayena, Alhama de Granada, Ventas de Zafarraya y Játar, con Arenas del Rey en su interior. En el mismo Lhénaff (1979) señala un polo de subsidencia situado en Arenas del Rey e indica que ha funcionado durante el Mioceno terminal como una trampa de sedimentos. Efectivamente, el área comprendida entre Arenas del Rey, Fornes y Játar donde se formaron los lignitos fue un sector de continua subsidencia durante ese tiempo y permitió, a pesar de los aportes de materiales, mantener las condiciones lacustres. Por otra parte, el actual relieve de las Sierras Tejeda y Almirajara no existía más que de forma incipiente, en absoluto tan pronunciado como el actual.

A lo largo del Plioceno y Pleistoceno ¿medio? se mantiene esta subsidencia, como también señala Lhénaff (*op. cit.*). Así, los conglomerados y arenas, procedentes ya de las sierras Tejeda y Almirajara, alcanzan notables espesores en este sector. Lhénaff cita 150 metros, espesor que se supera hasta alcanzar algo más de 200 metros, al sur y sureste de Jayena. Posteriormente la sedimentación del Plioceno-Pleistoceno ¿medio? parece colmatar la cuenca y se forma una superficie que lateralmente pasa a ser un glacis. Así, al oeste de Játar y al sur de Alhama de Granada existe una superficie de arrasamiento tallada esencialmente sobre materiales alpujárrides, pero también sobre miocenos. Así, esta superficie es posterior al Mioceno, y, a juzgar por su grado de conservación, también lo es al Plioceno-Pleistoceno ¿medio? con el que debió de enrasar.

La subsidencia en este sector, ya señalada en el Mioceno terminal y durante el Plioceno-Pleistoceno ¿medio?, continuó posteriormente y a lo largo de un eje que se determina bastante bien. Este iría, al menos en lo que actualmente es visible, desde el oeste de Ventas de Zafarraya, casi al sur de la Alcaicería hasta, al menos, las proximidades de Jayena. O sea, a lo largo de casi 20 kilómetros. Puede que continúe a ambos lados, pero esto no se aprecia en la morfología. Lo que se observa es:

a) En el relieve a modo de mesa que existe entre

Arenas del Rey, los Bermejales y Alhama de Granada, el Mioceno, incluido el terminal, buza ligeramente al sur, unos cinco grados, igual que la superficie en ella construida y lo mismo el glacis antes citado al sur de Alhama. En Arenas del Rey puede observarse el Mioceno buzante al sur y al Plioceno-Pleistoceno discordante encima también buzante al sur, aunque algo menos. Aproximadamente al sureste de Fornes los materiales del Plioceno-Pleistoceno también están buzando unos cinco grados al sur. Sin embargo,

b) Existen a lo largo de este eje o en sus proximidades fracturas que afectan a materiales modernos. Así, directamente al norte de Fornes, los materiales del Plioceno-Pleistoceno aparecen desnivelados unos 150 metros en dos puntos si se descuenta el buzamiento original hacia el norte que debieron de tener los materiales. Lo hace gracias a dos escalones de dirección casi este-oeste. Estos, que deben de corresponder a fracturas, se prolongan hacia el este y dan lugar a una estructura sinforme en los materiales mioce-

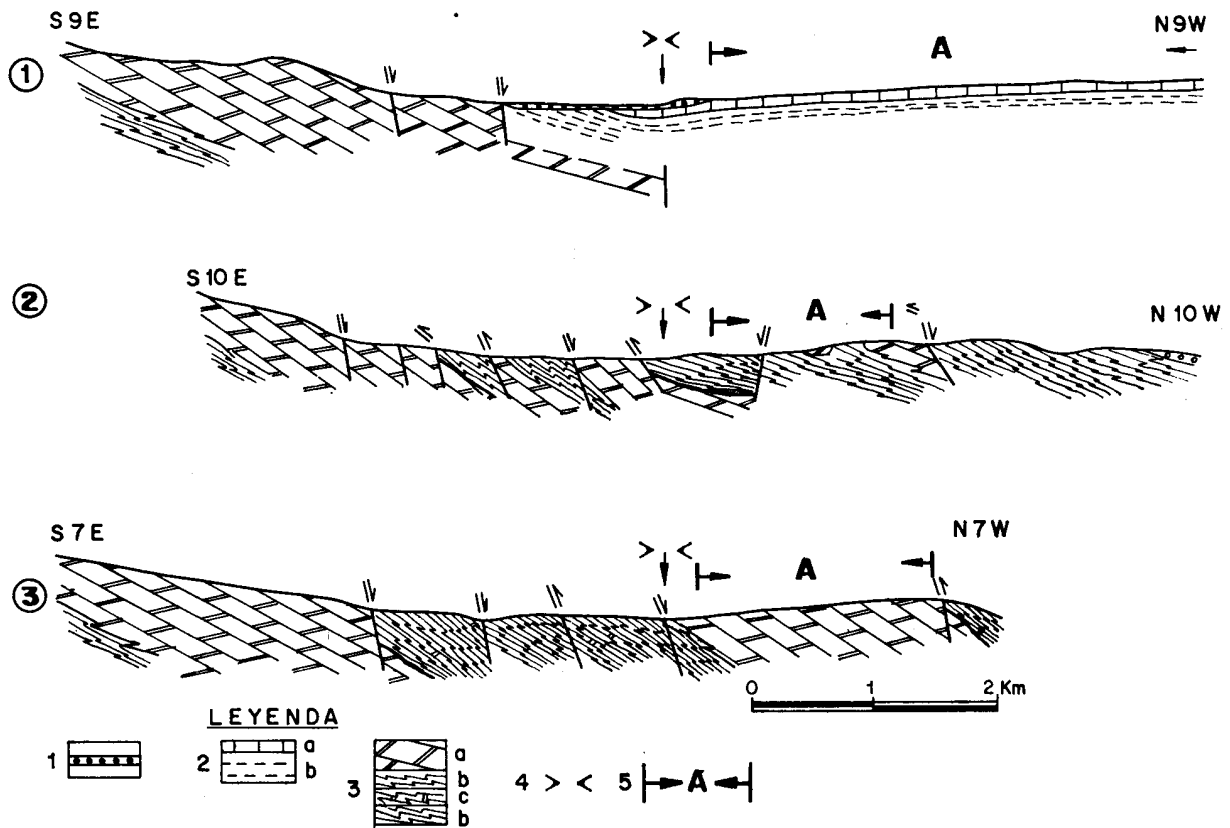


Fig. 3.—Cortes geológicos del sector de Arenas del Rey. 1: Plioceno-Pleistoceno ¿medio?; 2: Mioceno superior. a: Calizas lacustres; b: limos; 3: Materiales alpujarrides. a: Mármoles; b: Esquistos; c: Mármoles intercalados en los esquistos; 4: Posición del eje de subsidencia; 5: Superficie de arrasamiento buzante al sur.

todos los buzamientos cambian a poco menos de un kilómetro al sur de cualquiera de los puntos que se acaban de citar, tanto sean en los materiales como en las superficies de glacis, y pasan a buzarse al norte. Este cambio se produce a lo largo del eje citado, el cual coincide en buena parte con el área donde se formaron los lignitos (ver figs. 2 y 3).

nos perfectamente visible gracias a las calizas lacustres del techo allí conservadas. Se alcanzan buzamientos del orden de 25 grados. También más al sur, así, un kilómetro al sur de Játar hay fallas que afectan al Mioceno y al Plioceno-Pleistoceno, las cuales hunden los materiales hacia el eje antes señalado.

Cantos estriados en el sector de Arenas del Rey

En la carretera que va de Alhama a la Alcaicería afloran conglomerados del Plioceno-Pleistoceno que están formados, en parte, por cantos calizos provenientes de la zona Externa y por otros de la Interna. En los primeros en algunos casos se pueden observar bien estrías producidas por disolución por presión (Sanz de Galdeano y Estévez, 1981). Se hicieron sesenta medidas de estas estrías en cantos que se reparten con gran homogeneidad y casi por mitades en las direcciones este-oeste y N 20 W. Existen también algunas estrías verticales ahora no incluidas en las medidas. Indica esto, dada la edad de los materiales en que se encuentran las estrías, que en el Cuaternario superior, si no actualmente, se producen en la región compresiones de dirección N 20 W, este-oeste y también movimientos verticales, lo que es acorde con lo observado en otras áreas de las Cordilleras Béticas (fig. 1).

En las proximidades de este sector no se pueden obtener más medidas de cantos estriados, pues no se produce esta mezcla de cantos de las zonas Externa e Interna. Así, cuando los cantos son marmóreos, no conservan bien las estrías en su superficie.

Interpretaciones: evolución de la región desde el Mioceno medio. Importancia de las fracturas

Es conocido que el contacto entre las zonas Interna y Externa de las Cordilleras Béticas se establece casi definitivamente en el Burdigaliense, quedando ya casi suturado. Este contacto tiene una dirección media aproximada N 70 E y va acompañado de grandes líneas de fractura, así, el accidente de Cádiz-Alicante (Sanz de Galdeano, 1983) o los accidentes que determinan el corredor de las Alpujarras (Sanz de Galdeano *et al.*, en prensa a y b). Estos otros accidentes se han movido de forma notoria desde finales del Mioceno inferior y durante el Mioceno medio e incluso superior.

Las bandas de fallas de desgarre del corredor de Las Alpujarras continúan de hecho al oeste y pasan por las laderas norte de las sierras Almirajara y Tejada hasta su unión con el contacto entre las zonas Interna y Externa. Además existen otras líneas de fracturas paralelas más al sur y algunas otras oblicuas con las que convergen. Estas fallas de desgarre pueden ser las responsables de los rasgos más modernos de las estructuras de Tejada y Almirajara. Así, al sur de Sierra Tejada la falla que pasa por Sedella es de estas características y lamina a una unidad y pone en contacto otras dos. La propia unidad de Sierra Tejada en su parte ESE es cabalgante con vergencia hacia el sur o sureste. Al norte de Sierra Tejada las unidades alpujárrides están recorridas por las fallas este-

oeste y si se observan los cortes del mapa confeccionado por Elorza *et al.* (1979) o la figura 3, cortes 2 y 3, parecen corresponder a fallas normales y a fallas inversas, todas muy buzantes e inclinadas hacia el norte. Se podrían interpretar como fallas de desgarre que tienen movimientos en la vertical, unas veces con movimiento normal y otras inverso. Así, forman cabalgamientos y en algún caso escamas vergentes al sureste, subsidiarias de los movimientos dextrorsos de la fallas de desgarre. De igual forma el cabalgamiento de Sierra Tejada podría estar relacionado con este hecho.

En esta hipótesis los rasgos citados se han debido de formar a finales del Mioceno inferior y/o durante el Mioceno medio, incluso han podido moverse en la etapa fini-Serravaliense (o mejor Tortonense basal), de acuerdo con Estévez *et al.* (1984), Rodríguez Fernández (1982) y Sanz de Galdeano *et al.* (en prensa b).

En profundidad la línea principal de fracturas no parece situarse al pie de las Sierras Tejada y Almirajara, aunque ahí haya una falla muy neta, sino algo más al norte, donde se mantiene la mayor subsidencia desde el Mioceno superior. Este accidente debió de producir una importante desgarradura de las unidades. En superficie se manifiesta por los rasgos que se acaban de señalar, de manera que se abre en numerosas fracturas de menor entidad individual.

Cuando comenzó el Mioceno superior, y tras la etapa fini-Serravaliense ya referida, la región debía estar sin relieves importantes; no existían los de las sierras de Tejada y Almirajara ahora tan prominentes. Durante el Tortonense continuó la actividad tectónica. A diferencia de otros sectores en los que son manifiestos (Sanz de Galdeano *et al.*, en prensa a y b), aquí no se observan claros movimientos laterales en los materiales del Tortonense. Sí hay pruebas de la propia inestabilidad de la cuenca, así, poco más al norte, en Agrón, hay gruesos bloques calizos intercalados en sedimentos finos, posible respuesta a escarpes de fallas en movimiento. Esto mismo puede verse al noreste de los Bermejales y en otros puntos. Están ligados a fallas este-oeste y a otras N 130 E y NNW-SSE. Es decir, en el Tortonense existen estos otros sistemas de fallas además de las este-oeste. [Estas son consideradas las más antiguas de la región (a excepción del contacto entre la zonas Interna y Externa) y relacionadas con compresiones WNW-ESE. Otras fallas de dirección NW-SE y NNE-SSW parecen haberse formado posteriormente por compresiones nortesur a N 20 W.] Los saltos verticales de todas estas fracturas crearon algunos sectores elevados y otros subsidentes, además del eje ya señalado de Arenas del Rey.

Debe ser en el Plioceno inferior cuando se produce un nuevo arrasamiento seguido por una muy importante etapa de creación de relieve, lo que de inmediato da origen a la formación de los depósitos del Plioceno-Pleistoceno ¿medio? En muchos casos es

muy difícil separar estos movimientos de los que ya pudieron producirse a lo largo del Mioceno superior y por eso en buena parte hay que describir sus efectos en conjunto.

El resultado de estos movimientos se resume en la siguiente evolución: La cuenca de depósito del Mioceno superior comienza a restringirse casi desde el principio, con sectores que se elevan y pasan a ser de erosión, mientras otros aún se hunden más. Quizás el sector ocupado por Alpujarride al sur de Alhama ya comenzase a elevarse en este momento ayudado por fallas noroeste-sureste. Otro sector elevado, sobre todo a partir, parece ser, de la etapa del Plioceno inferior, es el del este de Jayena, por el que discurre parte de la carretera de Granada a Almuñécar. Allí afloran actualmente materiales alpujarrides y sólo quedan algunos restos de sedimentos marinos del Tortonense situados en pequeñas fosas. Es claro que durante el Tortonense la cuenca de Albuñuelas estaba unida a la de Arenas del Rey. Esta se encuentra actualmente encajada gracias a la combinación de los movimientos verticales de las fallas noroeste-sureste que la limitan en los bordes oriental y occidental y a los movimientos de las fallas este-oeste que la limitan por el sur. Valores de saltos de 100, 200, 300 metros y más se pueden calcular en numerosos puntos.

Son las fallas este-oeste del mismo borde de las sierras Tejeda y Almirajara las que más netamente muestran los movimientos producidos desde el Plioceno inferior. En las faldas de Sierra Tejeda existen al sur y al oeste de Játar materiales miocenos formados por limos, lo que no explica en absoluto un relieve próximo tan fuerte. Igual se puede decir con otros puntos en relación a Sierra Almirajara. O sea, los saltos verticales de las fallas de los bordes norte de ambas sierras se han producido desde el Plioceno a la actualidad. El desnivel topográfico es del orden de 600 a 800 metros y el valor del salto con facilidad debe de superar 1.000 metros. Por tanto, con anterioridad al Plioceno no han existido las elevaciones montañosas de las sierras Tejeda y Almirajara que se observan tan prominentes en la región. Esto mismo parece suceder en otros sectores de la Cordillera, tanto al este como al oeste del área estudiada. Estos movimientos han debido de seguir actuando recientemente, pues existen escarpes muy bien conservados de más de 50 metros de altura que se sitúan en estas fallas y en otras noroeste-sureste y afectan también a materiales del Plioceno-Pleistoceno. Numerosos ejemplos de éstos se ven en las proximidades de Játar.

Estos movimientos considerados separadamente corresponden a una etapa distensiva, pero hay que encuadrarlos en la evolución geodinámica de las Cordilleras Béticas. El contexto general en que hay que situarse es en el de la apertura del Atlántico a la que va ligada la migración de África hacia el norte y de Iberia posiblemente hacia el este. Esto da lugar a compresiones aproximadamente este-oeste que se al-

ternan con otras de dirección casi norte-sur o NNW-SSE. Además hay momentos de relajamiento y de reajuste isostático. Parece ser que a fines del Mioceno inferior y durante el Mioceno medio son los esfuerzos este-oeste o, más exactamente, WNW-ESE los que han predominado y producido deformaciones caracterizadas por desgarres importantes. Durante el Mioceno superior pudieron cobrar más importancia las compresiones norte-sur junto con momentos de reajuste isostático, traducidos por saltos verticales de las fallas. Algunas áreas de especial debilidad mantuvieron la subsidencia. Esta situación debió de prolongarse a lo largo del resto del Neógeno, con la etapa ya señalada de vigorosa creación de relieve.

Durante el Cuaternario superior, a juzgar por las estriaciones medidas en los cantos de conglomerados se mantiene el mismo cuadro geodinámico general. Parece que predominan las compresiones laterales, pero éstas son repartidas, casi por igual, de dirección N 20 W y casi este-oeste y, además, las estriaciones muestran movimientos verticales. Esto mismo se observa en el borde occidental de Sierra Nevada y en otros puntos de la depresión de Granada.

La red de fracturas en relación con el terremoto del 25 de diciembre de 1884

Según numerosos autores, entre ellos Muñoz y Udías (1980), el epicentro del terremoto se sitúa unos seis kilómetros al sur de Alhama de Granada. Señalan los autores citados que se debió de producir un movimiento de unos 20 kilómetros de longitud según la dirección este-oeste, desde las proximidades de Arenas del Rey hasta casi Ventas de Zafarraya. Opinan que "no está asociado a una sola falla, sino a una serie de fracturas conjugadas". El eje de subsidencia coincide con esta línea y se continúa algo más al este.

Discuten López Arroyo *et al.* (1980) el lugar del terremoto en función de sus efectos y describen acertadamente los materiales en que se asientan los pueblos de la zona. Cabe tan solo añadir que Játar no sólo se asienta en materiales diferentes que Arenas del Rey, sino que lo hace en buena parte sobre travertinos cuaternarios, lo que lo debió favorecer desde el punto de vista sísmico.

Con estos datos y con los de los mapas de isosistas de las numerosas comisiones que se formaron parece con mucho lo más acertado concluir que el terremoto se produjo por el movimiento de las fallas este-oeste, en concreto las de la zona de mayor debilidad en la que se centró desde el Mioceno superior la subsidencia a lo largo del eje ya señalado. En las proximidades aparecen fallas noroeste-sureste, pero la distribución general de los efectos del terremoto y la necesaria longitud y capacidad de las fallas las descartan en principio. También por la situación de los efectos del terremoto parece poderse descartar las fallas del borde

oeste de Sierra Tejeda, que hacia el norte llegan al borde norte de Sierra Gorda de Loja.

No podemos, sin embargo, adelantar ninguna hipótesis acerca del posible mecanismo del terremoto, o mejor, acerca del movimiento que pudo tener la falla. Quizá fuese un movimiento vertical, a juzgar por la importancia de éstos desde el Plioceno, pero también pudo ser debido a la actuación de las compresiones N 20 W o casi este-oeste. En este segundo caso cabe, incluso, la posibilidad de que, si bien en conjunto estas fallas este-oeste se han movido esencialmente como dextrorsas, pudieran hacerlo como sinistrorsas. Como dextrorsas la dirección de σ_1 era aproximadamente N 60 W. Direcciones de σ_1 este-oeste a N 60-70 E producirán teóricamente un movimiento en sentido contrario.

Conclusiones

- La evolución del borde meridional de la Depresión de Granada está fuertemente condicionada a la actuación de la red de fracturas existente.
 - De esta red hay que destacar el sistema este-oeste a N 120 E cuyos movimientos primeros y más importantes son de desgarre dextrorso, a los que se unen movimientos verticales. Algunos rasgos tales como cabalgamientos y escamas producidos en materiales alpujárrides pueden ser interpretados como rasgos subsidiarios de los desgarres.
 - Los movimientos verticales de las fallas este-oeste han mantenido, al norte de las sierras Tejeda y Almijara, una zona de subsidencia desde el Mioceno superior y han dado lugar a la formación de los lignitos de Arenas del Rey y al entrapamiento de importantes depósitos del Plioceno-Pleistoceno ¿medio? A partir del Plioceno se produce la surrección de las Sierras Tejeda y Almijara con saltos verticales que alcanzan más de 1.000 metros.
 - Los movimientos verticales de los otros sistemas de fracturas unidos a los del este-oeste han encajado el sector de Arenas del Rey.
 - Estas fracturas no son sino una parte del conjunto de las existentes en las Cordilleras Béticas. Así, las este-oeste se continúan por el corredor de Las Alpujarras y llegan al sur en las proximidades de Mojácar (Almería). Los otros sistemas también continúan. Así, las del borde oeste de Sierra Tejeda se prolongan tanto al norte, hasta tocar al accidente de Cádiz-Alicante, y al sur hasta alcanzar el mar. Las del este de Jayena se continúan por las proximidades de los Guájares y también alcanzan el mar.
 - Las direcciones de compresión obtenidas para el Cuaternario superior son N 20 W y este-oeste, lo que, junto con reajustes verticales, hace que sea muy difícil pronosticar el comportamiento de la región. En todo caso es la continuación desde el Mioceno medio de una tectónica de deriva de Iberia hacia el este y de Africa hacia el norte y noreste.
- El terremoto del 25 de diciembre de 1884 puede asignarse plausiblemente a las fracturas que han producido la zona de debilidad y subsidencia al norte de las sierras Tejeda y Almijara.

Bibliografía

- AVIDAD, J.; GARCÍA DUEÑAS, V.; GALLEGOS, J. A. y GONZÁLEZ DONOSO, J. M.
1981. Mapa geológico de España. Serie MAGNA, escala 1:50.000, núm. 1.041 (Dúrcal). I.G.M.E.
- BONE, E.; DABRIO, C. J.; MICHAUX, J.; PEÑA, J. A. y RUIZ BUSTOS, A.
1978. Stratigraphie et Paléontologie du Miocene Supérieur d'Arenas del Rey. Bassin de Grenade (Andalousie, Espagne). *Bull. Soc. belge Géologie*, 87, 87-99.
- CAÑADA, P.
1984. *Estudio hidrogeológico preliminar y de drenaje de las explotaciones a cielo abierto de Lignito y Arenas del Rey y de turba de Padul*. Tesis de Licenciatura. Univ. de Granada.
- CAPOTE, R.; GONZÁLEZ DE VALLEJO, L. y SKIPP, B. O.
1984. Estudio sismotectónico de la región de Arenas del Rey (prov. Granada). *I Congreso Español de Geología*, 3, 11-25.
- ELORZA, J. J.; GARCÍA DUEÑAS, V.; GONZÁLEZ DONOSO, J. M.; MARTÍN GARCÍA, L. y MATAS GONZÁLEZ, J.
1979. Mapa geológico de España. Serie MAGNA, escala 1:50.000, núm. 1.040 (Zafarraya). I.G.M.E.
- ESTÉVEZ, A.; GONZÁLEZ DONOSO, J. M.; LINARES, D.; MARTÍN ALGARRA, A.; SANZ DE GALDEANO, C. y SERRANO, F.
1984. El cabalgamiento finiserravallense del norte de Sierra Arana (Cordillera Bética). Observaciones sobre la caracterización bioestratigráfica del Serravallense. *Mediterránea*, 3, 151-173.
- GONZÁLEZ DONOSO, J. M.; GALLEGOS, J. A.; SANZ DE GALDEANO, C. y FONTBOTÉ, J. M.
1980. Mapa geológico de España. Serie MAGNA, escala 1:50.000, núm. 1.026 (Padul). I.G.M.E.
- GONZÁLEZ DONOSO, J. M. y VERA, J. A.
1969. Mapa geológico de España. Escala 1:50.000, número 1.025 (Loja). I.G.M.E.
- HIDALGO, J.
1974. Fluctuaciones del nivel piezométrico en el polje de Zafarraya (provincia de Granada). V Coloquio de Investigaciones sobre el Agua. San Sebastián. Documentos de Investigación Hidrológica, 16, 97-112, Barcelona.
- LHÉNAFF, R.
1979. Le bassin de Grenade (Andalousie, Espagne): Morphogenèse d'une cuvette intra-montagneuse. *Méditerranée*, 3, 37-44.

- LÓPEZ ARROYO, A.; MARTÍN MARTÍN, A. J. y MEZCUA (1.^a parte) y MUÑOZ, D. y UDÍAS, A. (2.^a parte)
1980. El terremoto de Andalucía del 25 de diciembre de 1984. *Instituto Geogr. Nat.*, Madrid, 139 págs.
- LÓPEZ CASADO, C. y SANZ DE GALDEANO, C.
(en prensa) Tectónica, intensidad máxima y riesgo sísmico en Granada. V asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica, Madrid, 1983.
- PERNIA, J. M.; GONZÁLEZ DE VALLEJO, L.; SAINT-AUBIN, J.; GÓMEZ-PRIETO, J. A.; ROSALES, F.; ESTÉVEZ, A.; SANZ DE GALDEANO, C.; UDÍAS, A.; CAPOTE, R. y CARBO, A.
1983. Mapa sismotectónico de España. Hoja piloto (Granada). Escala 1:1000.000. I.G.M.E.
- RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ, J.
1982. *El Mioceno del sector central de las Cordilleras Béticas*. Tesis doctoral. Universidad de Granada, 224 págs.
- SANTANACH, P. F.; SANZ DE GALDEANO, C. y BOUSQUET, J. C.
1980. Neotectónica de las regiones mediterráneas de España (Cataluña y Cordilleras Béticas). *Bol. Geol. Min.*, 91-92, 417-440.
- SANZ DE GALDEANO, C.
1983. Los accidentes y fracturas principales de las Cordilleras Béticas. *Estudios geol.*, 39, 157-165.
- SANZ DE GALDEANO, C. y ESTÉVEZ, A.
1981. Estriaciones tectónicas en cantos de conglomerados. Su estudio en las depresiones de Granada y Guadix-Baza. *Estudios geol.*, 37, 227-232.
- SANZ DE GALDEANO, C.; ESTÉVEZ, A.; LÓPEZ GARRIDO, A. C. y RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ, J.
1984. La fracturación tardía al suroeste de Sierra Nevada (terminación occidental del corredor de Las Alpujarras, zona Bética). *Estudios geol.*, 40, 183-191.
- SANZ DE GALDEANO, C.; RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ, J. y LÓPEZ GARRIDO, A. C.
(en prensa a) A strike-slip fault corridor within the Alpujarra Mountains (Betic Cordillera, Spain).
1984. Tectosedimentary evolution of the Alpujarran Corridor (Betic Cordilleras, Spain). *Paleogeography and Geodynamics of the Perityrrhenian area*. Florencia, 53-54. *Y Giornale di Geologie* (en prensa b).
- VIDAL, F.; SANZ DE GALDEANO, C. y DE MIGUEL, F.
1984. Neotectónica y Sismicidad de la depresión de Granada. *Energía Nuclear*, 149-150, 267-275.

*Recibido el 26 de noviembre de 1984.
Aceptado el 30 de diciembre de 1984.*