

CASTILLO, A. (1981)

"Estudio de la fracturación en el acuífero de La Alfaguara (Alpujárrides Septentrionales)"

Simposio sobre el agua en Andalucía, II: 627-642

## SIMPOSIO SOBRE EL AGUA EN ANDALUCIA

### ESTUDIO DE LA FRACTURACION EN EL ACUIFERO DE LA ALFAGUARA (ALPUJARRIDES SEPTENTRIONALES).

Antonio Castillo Martín \*

#### RESUMEN

Se estudia la fracturación en un acuífero kárstico, de unos 15 Km<sup>2</sup> de extensión, desarrollado en dolomías Alpujárrides del manto de La Alfaguara, al NE de Granada. El estudio se efectúa a tres niveles escalares, que denominamos micro, macro y macrofracturación-foto. A partir de un total de 1500 medidas de dirección de fracturación, se presentan histogramas de frecuencias, que permiten establecer las principales conclusiones.

#### RESUME

On étudie la fracturation dans un aquifère karstique, d'environ 15 Km<sup>2</sup> de superficie qui correspond à des dolomies de la nappe de La Alfaguara, au NE de Granada. L'étude est réalisée à trois niveaux que je denomine micro, macro et photo-macrofracturation. Avec un total de 1500 mesures de direction de fracturation, on presente des histogrames de frequences, lesquels permettent d'établir certaines conclusions.

#### ABSTRACT

Studied is the fracturation of a karstic acquiferous, which is out 15 Km<sup>2</sup> in size, located in the Alpujárrides dolostones in the Alfaguara nappe, which is located northeast of Granada. The study is carried out of three levels: microfracturation, macrofracturation and thirdly macrofracturation with aereal photographs. Given are frequency histograms, with a total of 1500 measurements of the directions of the fractures, which permit the establishment of the principal conclusions.

#### INTRODUCCION

##### 1. Justificación

El presente trabajo es una aportación al conocimiento, todavía relativamente pobre, de los materiales Alpujárrides, desde el punto de vista de su comportamiento hidrogeológico.

\* Cátedra de Hidrogeología. Universidad de Granada.

En general, en estos materiales, se desarrollan interesantes acuíferos, pero complejos en cuanto se refiere al origen y tipo de porosidad dominante. La porosidad principal es de origen secundario, la cual se ve muy incrementada por una fracturación de tipo penetrativo, que no es fácilmente cuantificable, ya que afecta a todo el volumen de la roca, incluso a las escalas más pequeñas, es lo que se ha denominado *kakiritización* (también brechificación, trituración...); en algunos sectores, como el que aborda este estudio, parece que la *kakiritización* está bastante relegada, para dar paso a una fracturación que, aunque no pueda compararse con la de la mayoría de los macizos calizos, puede considerarse en general bastante nítida y que, en principio, parece ser la principal responsable de la permeabilidad de la roca; esta fracturación aparece muy retocada por fenómenos de karstificación, que han favorecido el desarrollo de vías de infiltración preferencial de agua.

El presente trabajo trata de investigar esta fracturación. El estudio es bastante simple, ya que sólo se tiene en cuenta una variable de fracturación, que es la dirección.

## 2. Antecedentes

El tema de la fracturación, desde el punto de vista hidrogeológico, ha sido enfocado clásicamente tanto en los aspectos cualitativo como cuantitativo, por ser este último el que más nos interesa y en cuya línea se englobaría este trabajo, se citan a continuación algunos de los trabajos más interesantes de esta tendencia, como son los de: DROGUE et al (1975 a-b, 1976), GRILLOT et al (1975 a-b), GRILLOT (1977, 1979).

En lo que respecta a análisis de fracturación en macizos kársticos, dentro del marco de las Cordilleras Béticas, se pueden citar los trabajos de FERNANDEZ-RUBIO et al, (1975, 1978), RODRIGUEZ-ESTRELLA (1976), BENAVENTE et al, (1980).

## 3. Localización del área de estudio

Si bien el estudio de la fracturación se centra sobre un sistema acuífero carbonatado, que se desarrolla en las dolomías Alpujarrides del manto de La Alfaguara, considero un área de estudio mayor, la cual incluye al acuífero antes mencionado; este área tiene cierta unidad hidrogeológica (CASTILLO-MARTIN, 1980), la cual es necesaria a la hora de interpretar correctamente los datos de fracturación en relación con el acuífero carbonatado estudiado.

### 3.1. Localización geográfica

El área de estudio tiene una superficie aproximada de 30 Km<sup>2</sup> y está situada a unos 9 Km al NNE de Granada (figura 1). Como datos accesorios se puede decir que la altitud media es de 1.250 m, y su precipitación media anual es de 730 mm.

### 3.2. Localización geológica

El sector estudiado queda enclavado en el borde NE de la depresión de Granada, y especialmente en materiales Béticos adyacentes, en los que, según la subdivisión más clásica de las Unidades Béticas, están representados mate-

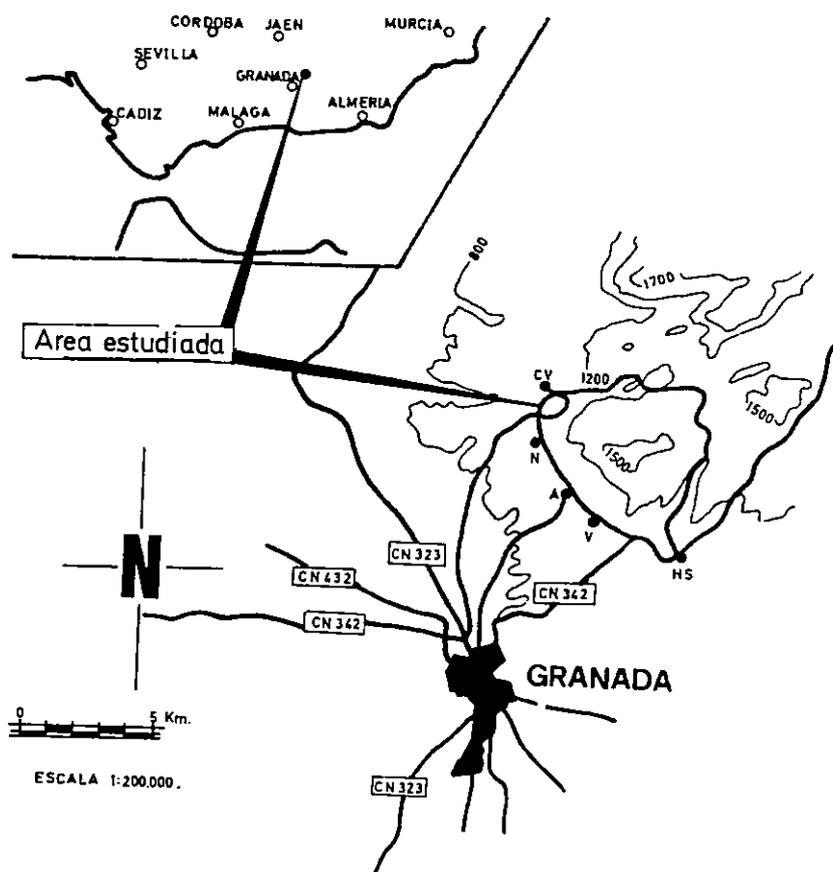


Figura 1.- Localización geográfica. A: Alfacar; CV:Cogollos Vega; HS:Huetor Santillán; N:Nívar; V:Viznar.

riales del Subbético interno (?) (Subbético ultrainterno o Dorsal Bética, según los distintos autores), del Complejo Alpujárride y del Complejo Maláguide (figura 2).

#### AMBITO GEOLOGICO

##### 1. Ideas generales

En la figura 2 se presenta el mapa geológico del área de estudio, tomado de GARCIA DUERAS y NAVARRO VILA (1976), autores a los que remito para un estu-

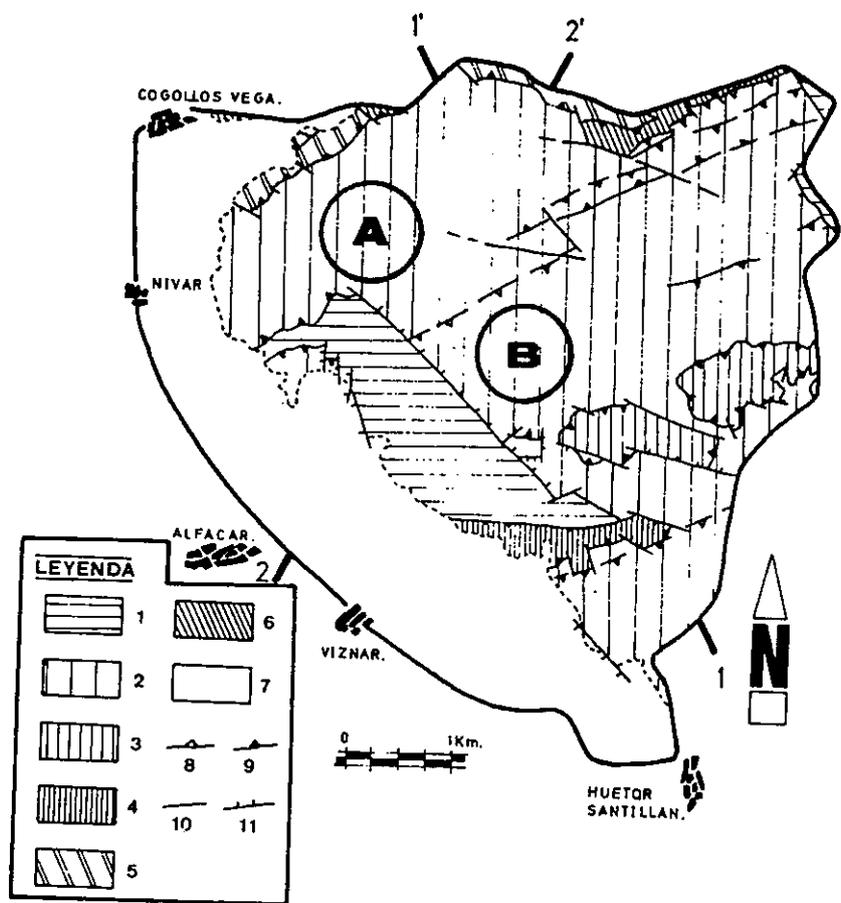


Figura 2.- Unidades y complejos presentes en el área de estudio. Tomado de GARCIA DUEÑAS y NAVARRO VILA (1976).  
 Leyenda: 1.-Unidad de la Mora. 2.-Manto de la Alfaguara. 3.-Manto de Carbonales. 4.-Manto de la Plata. 5.-Unidad Maláquide (a). 6.-Unidad Maláquide (b). 7.-Depresión de Granada.  
 A.-Sector de fracturación Sierra de la Yedra. B.-Sector de fracturación Sierra de Alfacar.

dio más detallado de la geología de este sector, junto a los trabajos de DURAND DELGA et al (1967), FOUCAULT (1976), NAVARRO VILA (1976) y DIAZ HERNANDEZ (1977).

Como el estudio de la fracturación se va a centrar en los materiales dolomíticos Alpujárrides (los materiales Maláguides carecen de interés hidrogeológico, y los del Subbético interno (?) presentan una fracturación aceptablemente conocida) paso a describir más detalladamente estos.

El Complejo Alpujárride pertenece a la Zona Bética, y se caracteriza fundamentalmente por dos hechos:

- Presencia de terrenos postpaleozoicos, en la estructura alpídica de mantos de corrimiento.
- Desarrollo de un metamorfismo regional ligado al ciclo Alpídico.

Este Complejo Alpujárride es el intermedio dentro de la Zona Bética; tectónicamente debajo de él se encuentra el Complejo Nevado-Filábride, y encima el Complejo Maláguide; está compuesto, a su vez, por diversos mantos de corrimiento, variables de una transversal a otra de las Cordilleras Béticas. En la transversal en que se sitúa el área de estudio existen tres mantos que, de abajo arriba, tectónicamente son: manto de La Alfaguara, manto de Carbonales, y manto de la Plata, de todos ellos el mejor representado y el de mayor interés hidrogeológico es el manto de La Alfaguara, que es el primero que se superpone, tectónicamente, en este sector a los materiales del Subbético interno (?).

La serie comienza con filitas violáceas, de potencia muy variable, a las que se superpone un tramo carbonatado (calizas, dolomías y mármoles) de edad Trías medio-superior, de unos 1000 m de espesor, el aspecto es variable según los sectores, entre masivo y estratificado. Este paquete carbonatado supone un buen acuífero y es en el que se va a analizar la fracturación.

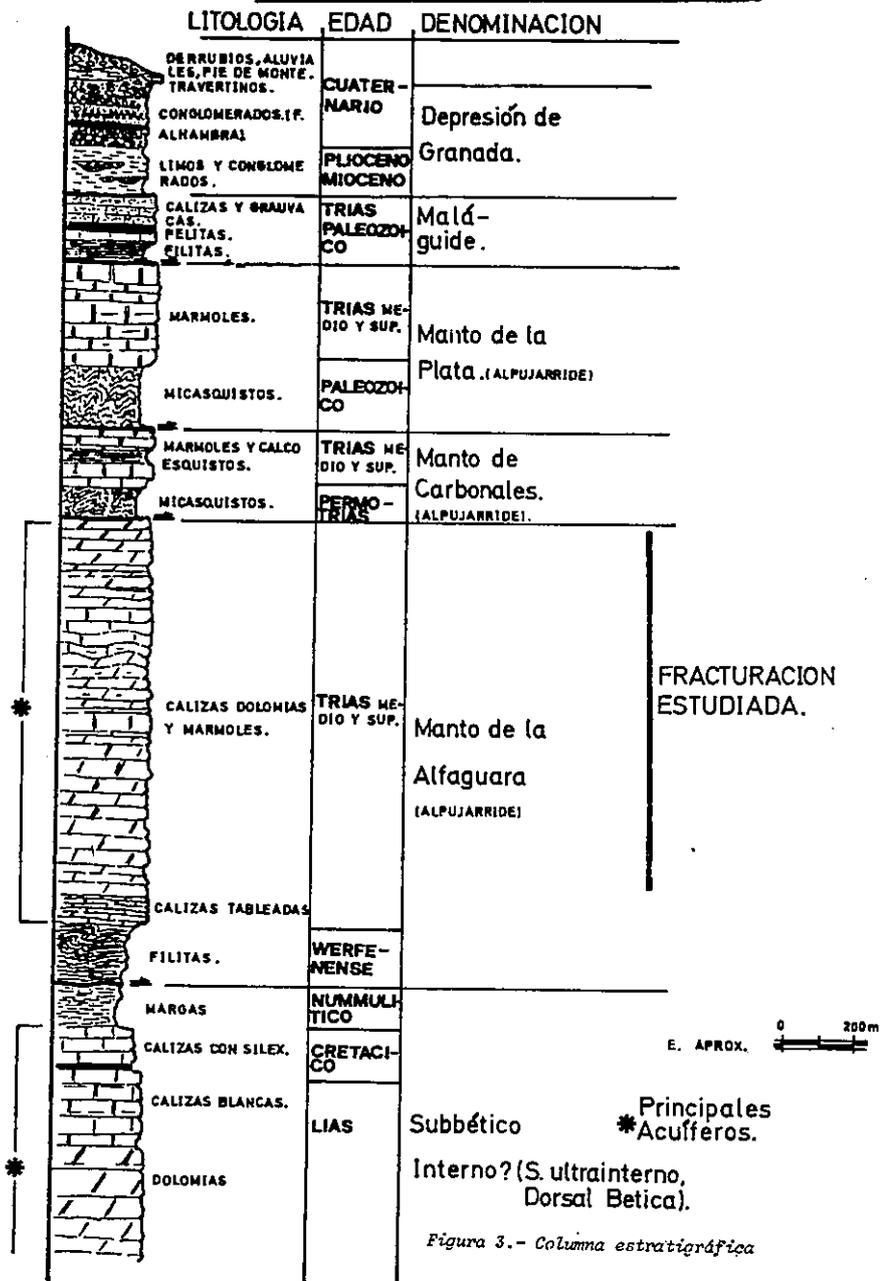
Estos materiales Alpujárrides, junto con los del Subbético interno (?) (figura 2), constituyen un acuífero karstico, libre, de unos 15 Km<sup>2</sup> de afloramiento, con una infiltración media del 50% al 60%, un volumen de agua anual regulable de 10 Hm<sup>3</sup> y una alta velocidad de circulación del agua; el substrato impermeable está constituido por las filitas Alpujárrides del manto de La Alfaguara (cuando existen).

El sistema es drenado por una treintena de manantiales, casi todos situados en su borde SW, los más importantes son el manantial de Fuente Grande (Alfacar, con un caudal medio de 200 l/s) y el manantial de Guevejar (Híjar, con un caudal medio de 40 l/s); las aguas son de facies bicarbonatadas cálcicas y óptimas para el consumo humano.

## 2. Síntesis estructural

El sector investigado presenta gran complejidad tectónica, y para abordar el estudio de las deformaciones que lo han afectado durante la Orogenia Alpina hay que distinguir una primera fase de carácter compresivo (mantos de corrimiento y fallas inversas), y una segunda fase distensiva (representada por diaclasas y fallas normales fundamentalmente).

## COLUMNA ESTRATIGRAFICA.



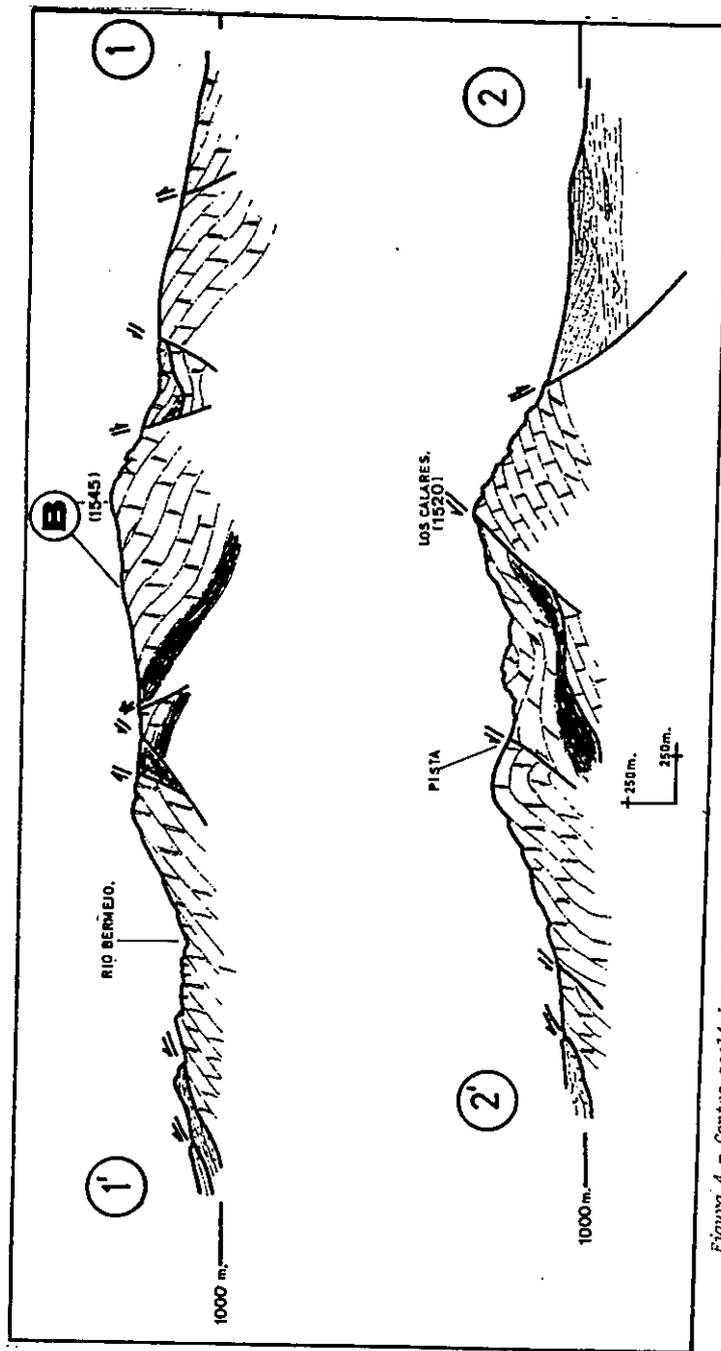


Figura 4.- Cortes geológicos (observados en el corte 1-1' y la situación del sector de fracturación de la Sierra de Alfacaar).

### *Tectónica compresiva*

La estructura tectónica del sector se caracteriza por el apilamiento de mantos de corrimiento, de diversas unidades y complejos. Los mantos de corrimiento que afectan al Complejo Alpujárride representan las últimas fases compresivas de la Orogénia Alpina.

Anteriormente a esta fase se han detectado otras tres fases de deformación, de carácter compresivo, acompañadas de esquistosidades de flujo y plano axial, pliegues isoclinales tumbados o muy apretados, y recristalización y blastesis metamórfica, que alcanzan el grado medio a alto de metamorfismo.

Estas deformaciones son observables en las filitas de la base del manto de la Alfaguara, y en las cuarcitas y micasquitos de los mantos de la Plata y Carbonales.

Posteriormente a los mantos de corrimiento existen otras fases compresivas de menor importancia, representadas por pliegues de gran radio; posiblemente la insinuante estructura en anticlinal del manto de la Alfaguara corresponde a estas últimas fases.

El manto inferior es el manto de la Alfaguara que a su vez ha cabalgado en el área a un Subbético interno (?), como el de las ventanas de Alfacar o del Púlpito; Subbéticas también; extremo aún no comprobado, con lo que sería paraautóctono o autóctono relativo respecto a las unidades Alpujárrides.

El manto de la Alfaguara, a su vez, está cabalgado por otros dos mantos Alpujárrides. Primero por el de Carbonales, que aflora al Este del sector, y está representado por dos bloques tectónicos, jalonados por fallas normales que los han preservado de la erosión. Al NE de Víznar aflora el manto de la Plata, a favor del labio hundido de una falla normal, de gran salto, que lo pone en contacto mecánico con los materiales subbéticos de la ventana de Alfacar. El manto de la Plata está superpuesto al manto de Carbonales.

Los corrimientos de los mantos Alpujárrides, unos sobre otros, así como sobre los materiales subbéticos, se realizan sobre superficies deslizantes, representadas por los niveles filíticos y esquistosos de estas unidades, situados debajo de los correspondientes paquetes carbonatados. Por efecto de las laminaciones tectónicas, debidas a los corrimientos, en numerosas ocasiones no se observan tales materiales plásticos, y los contactos entre las unidades se realizan directamente entre los paquetes carbonatados. Otras veces estos materiales presentan complejidades tectónicas de detalle debidas, también, al propio fenómeno del corrimiento.

La unidad alpujárride mejor representada es la inferior: el manto de la Alfaguara.

A su vez los materiales alpujárrides están cabalgados al Norte por diversas escamas del Complejo Maláguide, en las que se repiten términos de edad Paleozóica y Permotriásica. Estas escamas descansan directamente sobre el manto de la Alfaguara en el sector estudiado.

La edad de los corrimientos no se ha podido establecer con toda exactitud; sin embargo se sabe que las traslaciones han finalizado por lo menos después del Oligoceno superior, ya que materiales de esta edad se encuentran pellizcados por el manto de la Alfaguara (Barranco del Puerto). El comienzo de los corrimientos Subbéticos se ha establecido en el Cretácico medio.

### *Tectónica descompresiva*

Terminada la fase compresiva el área comienza a relajarse, y se individualiza la depresión de Granada a favor de grandes fallas normales que la delimitan.

Estas fallas normales afectan, independientemente, a los materiales subbéticos y béticos del área estudiada; así como a ciertos depósitos postorogénicos de la depresión, también reconocidos en este sector.

Estas fallas normales se agrupan en familias. El grupo más importante corresponde a aquellas de dirección N 110° E - N 130° E; en todos los casos el buzamiento más generalizado de los planos de falla es hacia el S.

Estas fallas, en muchos casos, delimitan las unidades, y los juegos conjugados producen estructuras tipo horts, como la ventana de Alfacar, y tipo grabben que preservan las unidades Alpujárrides superiores de la erosión.

Estas fallas comenzaron a actuar, al menos, en el Mioceno superior aunque en edades postmiocénicas presenten su mayor desarrollo de actividad.

Afectan a materiales de edad Plioceno e incluso posterior y se conocen diversos casos de coberteras eluviales afectadas por ellas, y con buzamientos contrarios al de la pendiente, debido precisamente al movimiento pulsante pero continuado de dichas fallas.

### **ANÁLISIS DE LA FRACTURACION**

#### **1. Proceso sistemático**

El primer paso en la elaboración de este estudio ha consistido en un exámen detallado de la fracturación del área, a escala global, lo cual sólo se podía conseguir a partir del análisis de la fracturación en fotografías aéreas, lo que se realizó con fotogramas a escala 1:33.000 primero (S.G.E.), y a 1:20.000 posteriormente (vuelo Iberocarto; el análisis de la fracturación, mediante fotografías aéreas, es una técnica de estudio bastante común; GRILLOT, 1977, RAZACK, 1978 a-b).

De este estudio previo del sector se obtuvieron bastantes conclusiones; la fracturación, que en general, es bien visible en toda el área, a escala de afloramiento, no era visible sobre los fotogramas aéreos en gran parte de ésta, las causas había que buscarlas en la vegetación existente en algunas partes del sector, en el predominio de un suelo arcilloso, producto de los fenómenos de karstificación, y en la existencia de una intensa microfracturación, que no llegaba a tener resolución en los fotogramas aéreos utilizados.

Este estudio sirvió para descartar una gran superficie de terreno, correspondiente a dolomías Alpujárrides del manto de la Alfaguara, que pretendía estudiar y permitió centrar la atención y esfuerzos hacia dos sectores, en los que la fracturación a la escala fotográfica utilizada era visible y parecía razonablemente densa, estos sectores los denominé sector Sierra de la Yedra y sector Sierra de Alfacar, los cuales aparecen marcados de manera genérica por los círculos A y B, respectivamente, en todas las figuras que sobre esta área presento.

Ambos sectores tienen una superficie análoga (2 Km<sup>2</sup> aproximadamente) y presentaron en un primer intento de analizar la fracturación visible, una den-

sidad semejante de fracturas; en el sector Sierra de la Yedra pude definir 119 fracturas, y en el sector Sierra de Alfacar 131, que eran claramente visibles a escala 1:33.000; se podían haber definido al menos otras tantas, pero al ser un poco más hipotética su visión, preferí no hacerlo para no falsear, en lo posible, la información que ya tenía. Intenté, en un último esfuerzo por aumentar el número de medidas, recurrir a un estudio de la fracturación sobre fotografías aéreas a una escala mayor, concretamente sobre fotogramas a escala 1:20.000 (vuelo Herocarto), cedidas por la Delegación Provincial del Ministerio de Agricultura, pero, en contra de lo que podía parecer, el número de fracturas observables fué menor que el obtenido en los fotogramas del S.G.E. a escala 1:33.000, lo cual se debe, sin duda, al bajo contraste de la película utilizada en este vuelo. Sobre un superponible de los fotogramas aéreos, a escala 1:33.000, realicé el mapa de fracturación (figura 5), y a partir de estos datos realicé dos histogramas de frecuencias de dirección de fracturación, uno para el sector Sierra de la Yedra y otro para el sector de Alfacar, ya que desde el principio, decidí tratar los datos de ambos sectores independientemente, ante la posibilidad de que se tratara de dos dominios tectónicos algo diferentes, según se deducía de los estudios de índole estructural realizados (NAVARRO VILA, 1976).

A partir de estos histogramas (figura 5) planifiqué la campaña de toma de medidas de fracturación a escala de afloramiento, donde desde un principio decidí distinguir dos niveles escalares, dentro de la fracturación, uno que denominé macrofracturación, que englobaba a aquellas fracturas de escala igual o superior a la decamétrica, y otro que denominé microfracturación, donde serían tratadas todas aquellas fracturas de escala métrica y que suponían la mayor población; deseché todas las fracturas que tenían escalas inferiores a la métrica, entre otras razones porque los fenómenos de karstificación, que eran intensos en ambos sectores habían retocado muchas de estas fracturas, lo que dificultaba bastante el precisar la dirección originaria de las fracturas y presentaba un intervalo de direcciones, que en muchos casos, superaba los 40° (sexagesimales).

A partir del mapa de fracturación (figura 5) elegí cuatro estaciones de toma de datos, para cada sector, la distribución de estas estaciones intenté que fuera lo más homogénea posible para cubrir cada uno de los sectores donde iba a realizar el muestreo (un plano de detalle de la distribución de estas estaciones se presenta en el cuadro general, al final del trabajo); cada estación abarca una superficie circular de 7 hectáreas, que fué muestreada a lo largo de dos itinerarios ortogonales de 300 m de longitud, cuyo azimut u orientación se fijó en base a las direcciones principales de fracturación, definidas a partir de los dos histogramas realizados sobre la fracturación obtenida de los fotogramas aéreos a escala 1:33.000.

En el sector de la Sierra de la Yedra tracé los itinerarios a lo largo de dos direcciones privilegiadas de fracturación (prácticamente ortogonales), mientras que en el sector de la Sierra de Alfacar decidí hacer los itinerarios en direcciones oblicuas a las direcciones de fracturación dominante, con esto pretendía ver si existía alguna relación entre micro y macrofracturación-foto y si en caso de haberla se veía influenciada por las direcciones de los itinerarios de muestreo.

Después de realizar el conteo de la fracturación, para cada una de las estaciones y posteriormente para cada uno de los sectores (S.Y. y S.A.), procedí a elaborar los histogramas correspondientes.

No ha sido posible incluir, en este estudio, un análisis de la fracturación

que considere la longitud de las fracturas por familias, dada la baja población de fracturas observadas por fotografía aérea.

No he tenido, tampoco, en cuenta la abertura de las fracturas, ya que este dato es bastante difícil de tomar en la realidad, aunque en teoría pueda ser interesante.

No he considerado, tampoco, el buzamiento de las fracturas, porque no es observable en la mayoría de ellas; si suponemos que los fenómenos de karstificación siguen en principio estos planos, se puede decir que en general los buzamientos observados están próximos a los 90°: es decir que se trataría de fracturas en su mayoría verticales.

Por último cabe decir que hubiera sido de gran interés el disponer de mayor número de datos de fracturas, repartidos en un mayor número de estaciones, para el nivel de microfracturación, con lo que la fiabilidad de los resultados, obtenidos hubiera sido indudablemente mayor, pero por ser este un estudio que sólo pretendía tener una orientación en torno a la fracturación utilicé el número de datos mínimo que hiciera fiable el estudio con un nivel de confianza superior al 80 % (MATHERON, 1965).

## 2. Fracturación en el sector Sierra de la Yedra.

### 2.1. Fracturación sobre foto aérea

Para trazar la fracturación sobre foto aérea utilicé, en un principio, los fotogramas nº22827 y 22828 del rollo 227, del Servicio Geográfico del Ejército a escala 1:33.000, que cubren estereoscópicamente la sierra de la Yedra; para su observación utilicé un estereoscopio de espejos. En una superficie de 2 Km<sup>2</sup>, pude trazar 119 fracturas claramente visibles, con las cuales elaboré un histograma de frecuencias previo conteo de la fracturación (dirección), que realicé manualmente con una plantilla elaborada a tal efecto y mediante proyección del panel de fracturas en una pantalla, con lo que dispuse de una ampliación notable (lo óptimo hubiera sido realizar el conteo en un banco de óptica); GRILLOT et al, 1975 a; del histograma (figura 5) se desprende que existe una dirección principal de fracturación alrededor del valor N 60° E, el cual agrupa aproximadamente al 55 % de la población y otra conjugada, menos importante, alrededor del valor N 140° E, que agrupa aproximadamente al 25 % de la población; existe una ausencia casi total de fracturación en las direcciones N-S y E-W.

Intenté contrastar estos resultados con los que hubiera podido obtener con fotogramas aéreos a escala 1:20.000 (vuelo Ibercarto), pero, como indiqué anteriormente, fueron pocas las fracturas observables a esta escala, (visión estereoscópica apartir de los fotogramas nº3680 y 3681, de la pasada 1°).

### 2.2. Fracturación sobre recorridos a pié

A raíz de los estudios de fracturación sobre fotografía aérea, pasé a tomar datos sobre la fracturación a escala de afloramiento, para lo cual realicé medidas a lo largo de las cuatro estaciones que figuran en el cuadro general (al final del trabajo); cada estación consistía en dos itinerarios ortogonales, de 300 m de longitud cada uno, en el que tomé 75 medidas por itinerario, lo que supone 150 medidas por estación, y un total de 600 medidas de microfracturación, con las que elaboré el histograma (cuadro general) y los cuatro correspondientes a cada una de las estaciones (cuadro general).

FRACTURACION SOBRE FOTO -  
GRAFIA AEREA A ESCALA  
1:33000

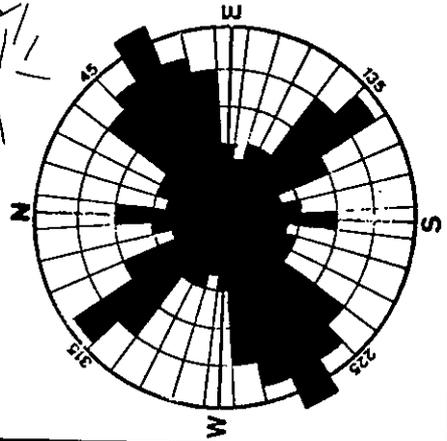
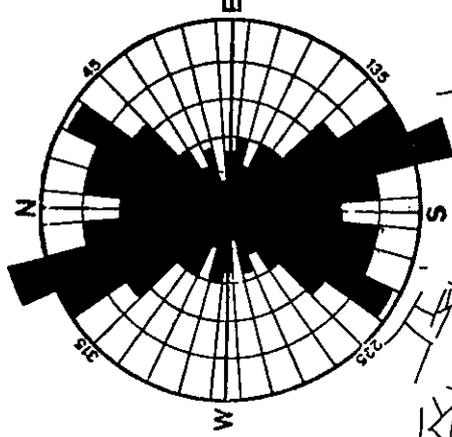


Sierra de la Yedra  
(119 medidas)



ROLL 224  
#22446  
ROLL 227  
#22827

Sierra de Alfacar.  
(131 medidas)



En el total de las cuatro estaciones pude anotar 30 fracturas, que en principio no podía considerar como microfracturas, por tener escalas de deca a hectométrica, por lo que opté por considerar otro apartado al que denominé macrofracturación, para distinguirlo del de macrofracturación-foto. Con estas medidas realicé el histograma de macrofracturación (cuadro general).

### 3. Fracturación en el sector Sierra de Alfacar

#### 3.1. Fracturación sobre foto aérea

Para trazar la Fracturación sobre foto aérea utilicé, en un principio, los fotogramas n°22446 y 22447 del rollo 224, del Servicio Geográfico del Ejército a escala 1:33.000, con los cuales tenía la estereoscopia de la sierra de Alfacar. En una superficie aproximada de 2 Km<sup>2</sup>, pude identificar 131 fracturas claramente visibles, con las cuales elaboré un histograma de frecuencias, previo conteo de la fracturación (dirección) (figura 5), y de él se desprende que existe un juego bastante neto de macrofracturas, con dirección principal de fracturación alrededor del valor N 140° - 150° E, el cual agrupa aproximadamente al 25 % de la población, y otro conjugada N 20° - 40° E, que agrupa al 25% de la población; hay ausencia casi total de fracturación en el intervalo de dirección N 50° - 120° E.

El poco contraste de las fotografías a escala 1:20.000 tampoco permitió, en este caso, hacer un estudio comparativo de la fracturación a ambas escalas (La visión estereoscópica se consiguió con los fotogramas n°3620 y 3621 de la pasada 1ª).

#### 3.2. Fracturación sobre recorridos a pié

A raíz del estudio de fracturación sobre fotografía aérea, pasé a tomar datos sobre la fracturación a escala de afloramiento, para lo cual realicé medidas a lo largo de las cuatro estaciones que figuran en el cuadro general; cada estación consistía en dos itinerarios ortogonales de 300 m de longitud, donde tomé 50 medidas por itinerario, lo que supuso 100 medidas por estación, y un total de 400 medidas de microfracturación, con las que elaboré el histograma general de microfracturación (cuadro general) y los cuadros correspondientes a cada una de las estaciones (cuadro general).

En el total de las cuatro estaciones anoté 10 macrofracturas, con las que confeccioné el histograma general de macrofracturación (cuadro general).

### CONCLUSIONES

- Existe una correlación aceptablemente buena entre micro, macro y macrofracturación-foto (sector Sierra de la Yedra y sector Sierra de Alfacar).
- La fracturación varía localmente (de unas estaciones a otras), pero a escala de dominio tectónico se comporta bastante homogéneamente (sector Sierra de la Yedra y sector Sierra de Alfacar).
- El estudio de la fracturación de las sierras de la Yedra y de Alfacar, ha sido una confirmación de que ambas pertenecen a dominios tectónicos distintos, como en un principio se supuso.
- Las direcciones de muestreo, parece que no han influido, al menos sensiblemente, en la relación micro, macrofracturación-foto (sector Sierra de

la Yedra y sector Sierra de Alfacar).

- Los estudios de fracturación realizados han dado como direcciones de fracturación privilegiadas las siguientes:

Sierra de la Yedra (sector): N 50° - 70° E y N 130° E  
Sierra de Alfacar (sector): N 180° - 190° E y N 30° - 40° E

- Parece probable, por consideraciones hidrogeológicas y por los datos de fracturación obtenidos, que las fracturas de dirección N 50 - 70 E y N 30° - 40° E sean las que sirvan de conducto principal de circulación del agua, para las sierras de la Yedra y Alfacar respectivamente (esta última conclusión es bastante arriesgada con los datos considerados, pero puede constituir la hipótesis más probable, a comprobar o analizar, en futuros trabajos).

#### BIBLIOGRAFIA

- BENAVENTE, J.; FERNANDEZ G. DEL ALAMO, R.; FERNANDEZ-RUBIO, R.; PULIDO BOSCH, A. 1980. *Algunas consideraciones metodológicas para el estudio de la fracturación en acuíferos kársticos*. VIII Simposium d'Espéologie. Actas espeleológicas I: 19-54. Sabadell.
- CASTILLO MARTIN, A. 1980. *Estudio hidrogeológico del macizo de la Yedra-Alfacar-Viznar (prov. de Granada)*. Mem. inéd. Cátedra Hidrog. 133 pp. Granada.
- DIAZ HERNAHDEZ, J.L. 1977. *Análisis hidrogeológico del alto-medio Darro (prov. de Granada)*. Tesis Licenciatura. Univ. Granada. 180 pp. Granada.
- DROGUE, C.; GRILLOT, J.C.; RECH, R.; SEON, G. 1975.a. *Essai d'identification sur un champ de forages de la geometrie d'un acuífere calcaire*. Résumé 3<sup>e</sup> Reunion Scien. Terre. 131. pp. Montpellier.
- DROGUE, C.; MAS, G.; GRILLOT, J.C.; LLORIA, C.; GUERIN, R. 1975 b. *Utilisation du filtrage optique pour l'étude de la fracturation des roches carbonatées en hydrogeologie*. Rev. Geogr. Phys. Geol. Dyn. (2), XVII (1) 39-44. Paris.
- DROGUE, C.; GRILLOT, J.C. 1976. *Structure geologique et premiers observations piezométriques a la limite de sous-système karstique de terrien (perimetro experimental)*. 2<sup>e</sup> Coll. d'Hydrogeologie en pays calcaire. Bull. Sc. Univ. Besaçon. 25 (3): 195-210.
- DURAND DELGA, M.; FOUCAULT, P. 1967. *La Dorsalle Betique, nouvelle element paleogeographique et structurale des Cordilleres Betiques au bord Sud de la Sierra Arana (prov. de Grenade, Espagne)*. Bull. Soc. Geol. France 7<sup>a</sup> serie (9):723-728.
- FERNANDEZ-RUBIO, R.; DIAZ HERNAHDEZ, J.L. 1978. *Determinación de la fisuración dominante a partir de los fotogramas aéreos, y constatación hidroquímica de la circulación acuífera subterránea a favor de la fracturación principal de un acuífero carbonatado. Cuenca alta del río Darro (prov. de Granada)*. Tecniterrae, 25. Madrid.
- FOUCAULT, P. 1976. *Complements sur la geologie de l'ouest de la Sierra Arana et de ses environs (prov. de Grenade, Espagne)*. Bull. Soc. Geol. France, 7<sup>a</sup> serie, XVIII (3): 649-658.

- GARCIA DUERAS, V.; NAVARRO VILA, F. 1976. *Alpujarrides, Maláguides et autres unités allochtones au nord de la Sierra Nevada (Prov. de Grenade, Espagne)*. Bull. Soc. Geol. France. XVIII (3). 641-648.
- GRILLOT, J.C.; BRION, M.; GUERIN, R.; LESQUER, A. 1975.a. *Essai d'interprétation des sondages électriques pluridirectionnels appliqués au milieu carbonaté fracturé*. Rev. Geogr. Phys. Geol. Dyn. XVII (2): 166-169. Paris.
- GRILLOT, J.C.; DROGUE, C.; GUERIN, R.; MAS, G.; LLORIA, C.; BRION, M.; LESQUER, A. 1975 b. *Introduction à l'étude et à l'interprétation hydrogéologique de la fracturation d'un massif calcaire (karst du Haut-Vidourte)*. Lab. Hydrog. U.S.T.L. 4p. Montpellier.
- GRILLOT, J.C. 1977. *À propos de méthodologies d'analyses quantitatives, à l'échelle régionale, de champs de fractures: premiers résultats d'une application*. Rev. Geogr. Phys. Geol. Dyn. XIX (3): 215-234. Paris.
- GRILLOT, J.C. 1979. *Structure des systèmes aquifères en milieu fissuré. Contribution méthodologique à cette connaissance*. (Thèse). Lab. Hydrog. U.S.T.L. 211 pp. Montpellier.
- MATHERON, G. 1965. *Les variables régionalisées et leur estimation*. Masson. 212 pp. Paris.
- NAVARRO VILA, F. 1976. *Los mantos Alpujarrides y Maláguides al Norte de Sierra Nevada (prov. de Granada)*. Tesis Doctoral. Univ. Bilbao.
- RAZACK, M. 1978.a. *Contribution à l'étude de la structure des aquifères en roches fissurées, numérisation et analyse quantitative de la fracturation relevée sur clichés aériens*. Thèse. Univ. Languedoc. 124 pp.
- RAZACK, M. 1978 b. *Sur la contribution de méthodes d'analyse numérique appliquées à l'étude d'un champ de fractures pour une meilleure connaissance de la structure des réservoirs fissurés*. C.R. Acad. Sc. Paris. T. 286, série D. 1577-1580.
- RODRIGUEZ ESTRELLA, T. 1976. *El sistema hidrogeológico del calar del Mundo*. I Simp. Nac. de Hidrog. Valencia.

# HISTOGRAMAS

(CUADRO GENERAL)

A. CASTILLO (1990).

