

# Sobre la composición isotópica del agua de lluvia en Sierra de Gádor (Almería)

*About isotopic composition of rainwater in Sierra de Gador (Almeria)*

A. Vallejos (\*), J. Gisbert (\*), F. Sánchez Martos (\*), L. Molina (\*), A. Pulido Bosch (\*) y W. Martín Rosales (\*\*)

(\*)Departamento de Hidrogeología. Universidad de Almería. 04120-La Cañada (Almería)

(\*\*) Departamento de Geodinámica. Universidad de Granada. 18071-Granada

## ABSTRACT

*The stable isotopes of rainwater, measured in samples at locations with different altitude, show a distinctive altitudinal distribution. Analysis of the precipitation indicates the dominant source and direction of the air masses. The local meteoric water line that is established indicates a primarily Mediterranean origin for the precipitation recharging the aquifers.*

**Key words:** *precipitations, oxygen-18, deuterium*

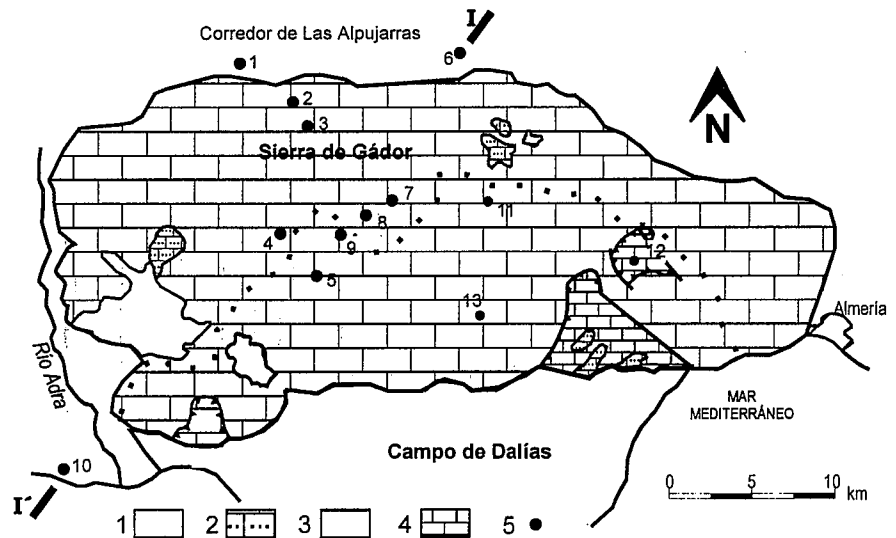
*Geogaceta, 29 (2001), 139-141*

*ISSN: 0213683X*

## Introducción

La Sierra de Gádor constituye un dominio morfoestructural caracterizado por una orografía abrupta, ocupando una superficie de unos 320 km<sup>2</sup>. Se localiza en el sector suroccidental de la provincia de Almería. Las formaciones acuíferas existentes en la vertiente Sur de Sierra de Gádor están en conexión hidráulica con las unidades acuíferas del Campo de Dalías, donde en la actualidad se riegan más de 17000 ha de cultivos extratempranos, bajo plástico. Esto junto con la actividad turística importante y creciente en el área supone una gran explotación de las aguas subterráneas, cuya fuente de alimentación es el agua de precipitación.

Desde el punto de vista geológico, los materiales preorogénicos aflorantes pertenecen al Complejo Alpujárride y comprenden dos unidades: Gádor y Felix (Aldaya, 1969). La primera de ellas está constituida por una serie carbonatada, con potencia superior a los 700 m, que reposa sobre metapelitas. La unidad de Felix, cabalgante sobre la de Gádor, incluye un tramo carbonatado, de espesor inferior a 100 m, que descansa sobre una formación pelítica de filitas y cuarcitas. Los materiales carbonatados de ambas unidades presentan una alta permeabilidad. Respecto a los materiales postorogénicos, las calcarenitas miocenas y pliocenas, los conglomerados,



**Fig. 1.-** Localización y rasgos hidrogeológicos del área de estudio. (1) materiales cuaternarios, (2) calcarenitas pliocenas, (3) carbonatos de Gádor, (4) carbonatos de Felix, (5) puntos de muestreo.

*Fig. 1.- Location and hydrogeologic features of the study area. (1) Quaternary materials, (2) Pliocene calcarenites, (3) Gador carbonates, (4) Felix carbonates, (5) sampling point.*

dos, terrazas marinas y gravas que constituyen los abanicos aluviales son también permeables.

Una marcada irregularidad pluviométrica constituye un rasgo importante del clima de este sector. El número medio de días de lluvia al año es de 35; el gradiente pluviométrico calculado en el área es de 17 mm/100 m, existiendo asimismo una disminución progresiva de la precipita-

ción hacia el Este. La precipitación media del área para el período 1965/66 a 1990/91 es de 289 mm, con diferencias de hasta 260 mm entre las cotas más altas y las áreas más bajas. Excepcionalmente las precipitaciones se hacen en forma de nieve por encima de los 1800 m s.n.m. La temperatura media anual del área es de 17.9 °C, con valores medios máximos mensuales en Agosto (24.7 a 27.2 °C) y

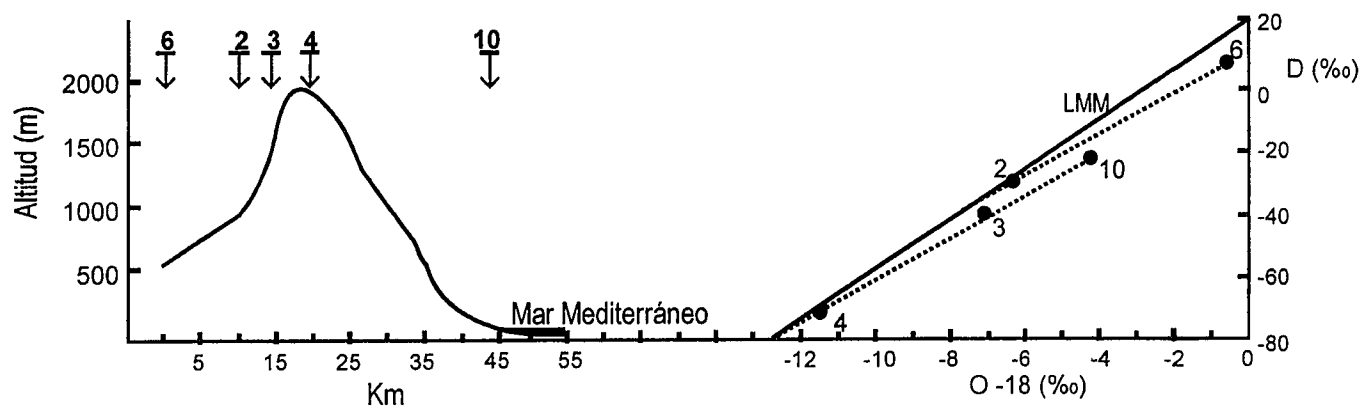


Fig. 2.- Evolución de la composición isotópica de la precipitación a lo largo del corte I-I', mostrado en la figura 1. Los números corresponden a los códigos de los puntos de muestreo. LMM: Línea Meteorológica del Mediterráneo.

Fig. 2.- Evolution of the isotopic composition of precipitation samples along the cross-section I-I', shown in figure 1. The numbers correspond to sampling point codes. LMM: Mediterranean Meteoric Water Line.

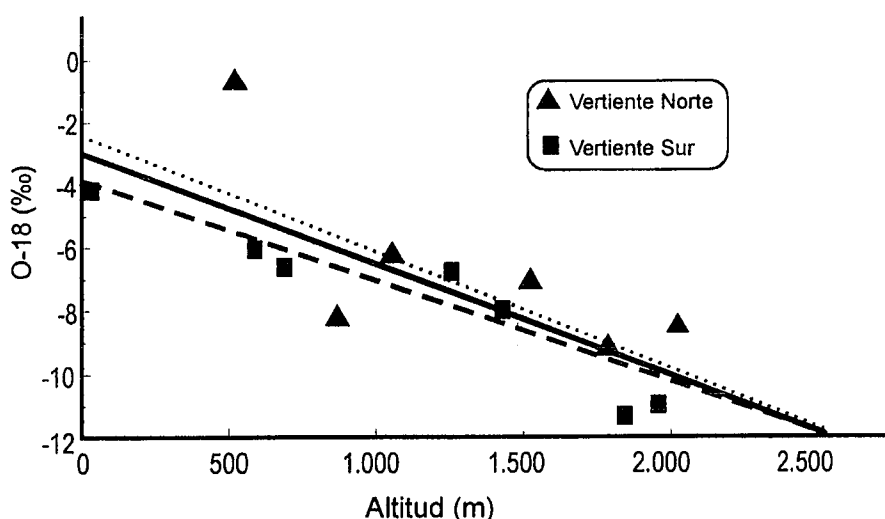


Fig. 3.- Relación entre la altitud del punto de muestreo y el contenido en oxígeno-18. Línea discontinua para las muestras de la vertiente sur, línea punteada para las muestras de la vertiente norte y línea continua para toda la Sierra de Gádor.

Fig. 3.- Altitude versus oxygen-18 for precipitation samples. Broken line for samples in southern slope, dotted line for samples in northern slope and solid line for Sierra de Gádor, undifferentiated.

mínimos en Enero (10.2 a 13.5 °C). Con todo ello, el área queda caracterizada como de clima semiárido.

**Resultados e interpretación**

Se analizó O-18 y D del agua de lluvia (Abril de 1990) en varias estaciones termopluviométricas localizadas en la Sierra de Gádor a diferente altitud (figura 1). La precisión analítica fue ± 0.05 por mil para el O-18 y ± 1 por mil para el D. Todos los datos utilizados vienen expresados en tanto por mil, y el estándar de referencia utilizado ha sido el V-SMOW. Además, para la mejor interpretación de

estos datos se han utilizado análisis isotópicos del agua de lluvia de otros autores (Araguás, 1991).

Existen ciertos rasgos característicos en la distribución de la precipitación. La península en su conjunto recibe la mínima precipitación durante el verano, un efecto que es más acusado en la mitad sur. Este fenómeno está relacionado con la circulación atmosférica general ya que durante los meses de verano se debilitan las borrascas procedentes del Atlántico Norte. El anticiclón de las Azores suele ser la característica climática más importante del verano. Los periodos estacionales de máxima

precipitación reflejan el origen de la mayor parte de las masas que producen la lluvia. En la región en estudio se presenta la máxima precipitación durante el invierno, ya que se dan las condiciones que permiten la precipitación del alto exceso de vapor generado en el mar Mediterráneo.

En el corte I-I', indicado en la figura 1, se observa (figura 2) una disminución de los isótopos pesados en las masas de aire durante su ascenso y al paso sobre la sierra (estaciones 10 a 4). La lluvia de las estaciones localizadas a cotas más bajas (10 y 6) están más enriquecidas en isótopos pesados y el valor de "d" (exceso de deuterio, definido como  $d = \delta D - 8\delta^{18}O$ ) es menor que en las estaciones montañosas. Sin embargo, la muestra más enriquecida (6) está asociada a una estación tierra adentro. Este hecho podría ser debido a un frente nuboso con circulación predominante del Oeste. Las masas de aire que proporcionan la precipitación al encontrarse con la Sierra de Gádor se canalizan a través del Corredor de Las Alpujarras, descargando en un primer momento en el borde Norte de la Sierra. La disminución del parámetro "d" con la cota media del área de recarga se ha detectado tanto en las aguas de lluvia (efecto pseudoaltitud), como en las aguas subterráneas, aunque las pendientes de las relaciones lineales que caracterizan dicho fenómeno son diferentes en cada caso (García-López *et al.*, 1997).

El gradiente isotópico medio con la altitud puede ser determinado directamente por las muestras recogidas en las estaciones localizadas a diferente altitud y distribuidas tanto por la vertiente

Norte como por la Sur de Sierra de Gádor. El efecto altitud puede ser utilizado para estimar la elevación media de la recarga de aguas captadas en el borde Sur de la Sierra. La magnitud de este efecto sobre la composición isotópica de la precipitación depende del clima y de la topografía local. La relación  $^{18}\text{O}$ -altitud se muestra en la figura 3. El gradiente de la recta es  $-0.32\text{‰}/100\text{ m}$  para la vertiente Sur, y  $-0.36\text{‰}/100\text{ m}$  para la vertiente Norte. Estas variaciones se interpretan como resultado de las diferencias existentes desde el punto de vista pluviométrico entre ambas vertientes. El gradiente pluviométrico en la vertiente Sur se estima en  $26\text{ mm}/100\text{ m}$  y  $31\text{ mm}/100\text{ m}$  en la Norte (Martín Rosales, 1997). Si se considera la Sierra de Gádor en conjunto (figura 3) el gradiente de la recta obtenida en la relación  $\delta^{18}\text{O}$ -altitud es  $-0.34\text{‰}/100\text{ m}$ . Los gradientes isotópicos en función de la altitud cambian estacionalmente y habría que considerar una corrección para la distribución de la altitud dentro del área de recarga (Holdsworth *et al.*, 1991).

En la representación global de los valores  $\delta\text{D}$  en función de los de  $^{18}\text{O}$  (figura 4) las muestras se sitúan a la izquierda de la línea continua correspondiente a la precipitación meteórica mundial ( $\delta\text{D} = 8\delta^{18}\text{O} + 10$ ); esto se explica por la contribución de los frentes de procedencia mediterránea a las precipitaciones locales. La línea discontinua representa la línea meteórica mediterránea ( $\delta\text{D} = 8\delta^{18}\text{O} + 22$ ; Gat y Carmi, 1970). Las precipitaciones de origen mediterráneo deben contribuir de forma significativa a la recarga de los acuíferos de la zona. Las precipitaciones procedentes de frentes nubosos que se generan en el mar Mediterráneo tienen valores  $\delta$  menos negativos que las procedentes del océano Atlántico debido a su historia más corta -menor distancia a la zona donde se genera el vapor y, por tanto, menor empobrecimiento isotópico del agua-. Cuando la contribución relativa

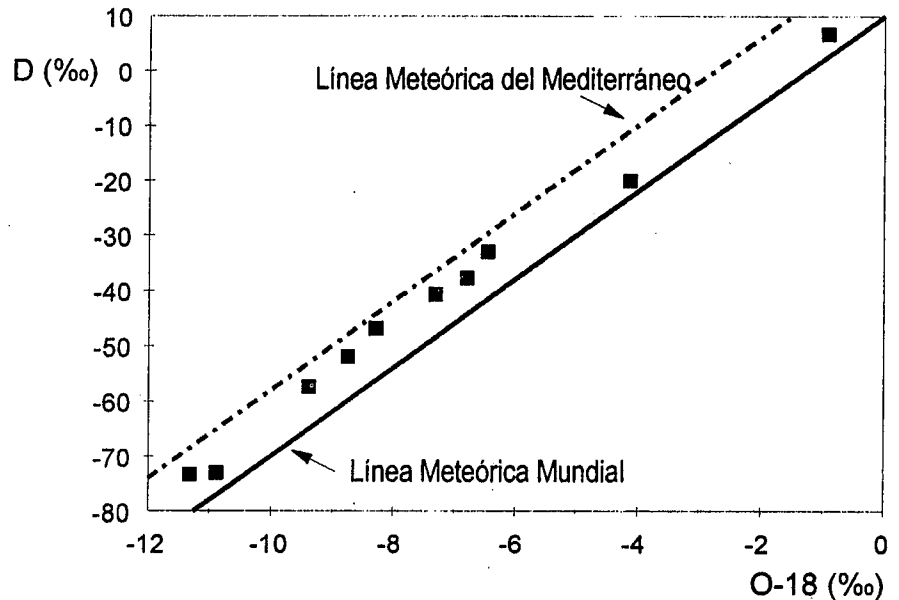


Fig. 4.- Relación oxígeno-18/deuterio para las muestras de precipitación de Sierra de Gádor.

Fig. 4. Oxygen-18/Deuterium relationship for precipitation samples from Sierra de Gádor.

de estos frentes mediterráneos es menor, se tienen valores  $\delta$  más negativos. Otro factor que puede contribuir a que las precipitaciones tengan valores  $\delta$  más negativos es la menor temperatura media ambiental reinante durante la época invernal.

#### Consideraciones finales

La precipitación que recarga los acuíferos de la región es predominantemente de origen mediterráneo. Frentes nubosos con circulación predominante del oeste pueden verse canalizados por el Corredor de Las Alpujarras, de modo que descarga la lluvia en un primer momento en la vertiente norte de la Sierra. El gradiente isotópico en función de la altitud puede establecerse en  $-0.34\text{‰}/100\text{ m}$ , a pesar de que puede cambiar estacionalmente. Este gradiente sufre variaciones asimismo según atienda a la vertiente norte o a la vertiente sur.

Estas variaciones son el resultado de las diferencias pluviométricas que existen entre ambas vertientes.

#### Agradecimientos

El presente trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto CICYT HID99-0597-CO2-02.

#### Referencias

- Aldaya, F. (1969): *Tesis Doctoral*. Univ. Granada. 527 p.
- Araguás, L. (1991): *Tesis Doctoral*. Univ. Madrid. 286 p.
- Gat, J.R. y Carmi, I. (1970): *Journal Geophys. Res.*, 75, 3039-3048.
- García-López, S., Benavente, J. y Cruz-Sanjuán, J.J. (1997): *Geogaceta*, 21, 109-112.
- Holdsworth, G., Fogarasi, S. Y Krouse, H.R. (1991): *Journal Geophys. Res.*, 96, 7483-7494.
- Martín Rosales, W. (1997): *Tesis Doctoral*. Univ. Granada. 266 p.