Contribución del contenido en tritio a la identificación del origen del agua subterránea: Sierra de Gádor (Almería)

Contribution of tritium content to identify the origin of groundwater: Sierra de Gádor (Almería)

A. Vallejos [1], A. Pulido-Bosch [1], L. Molina [1], F. Sánchez Martos [1], J. Gisbert [1], y W. Martín Rosales [2],

[1] Departamento de Hidrogeología. Universidad de Almería. 04120-La Cañada (Almería)
[2] Departamento de Geodinámica. Universidad de Granada. 18071-Granada

ABSTRACT

Tritium content of rainwater in Sierra de Gador has been higher than at 10 TU during the last forty years. Groundwater samples apparently indicate the absence of recent contributions from the precipitation. The mixture with older waters stored inside the aquifer frequently hides the presence of modern recharge. From the content in tritium one can recognize two areas of preferential flow and recharge. One coincides with vulnerable basins to the generation of surface runoff and the other one is bound to a process of marine intrusion.

Key words: rainwater, tritium, mixed water, carbon-14

Geogaceta, 31 (2002), 83-85
ISSN:0213683X

Introducción

La Sierra de Gádor se localiza en el sector suroccidental de la provincia de Almería y constituye una gran unidad carbonatada, caracterizada por una topografía muy accidentada y fuertes pendientes. La vertiente Sur, área objeto del presente trabajo, ocupa una superficie de 320 km^2. La Sierra de Gádor pertenece al llamado Dominio de Alborán (Balanyá y García-Dueñas, 1987) dentro de la Cordillera Bética. Los materiales aflorantes pertenecen al Complejo Alpujárride, caracterizado en este sector por la superposición de dos mantos de corrimiento: Gádor y Felix (figura 1). El primero de ellos ocupa la mayor parte de la vertiente Sur, estando constituido por una serie carbonatada de edad Triásico medio-superior, con potencia superior a 700 m, que reposa sobre una formación metapelítica permowerfeniense. La unidad de Felix, cabalgante sobre la de Gádor, incluye un tramo carbonatado de edad Triásico medio-superior cuyo espesor varía entre 60 y 100 m. A muro este manto está formado por filitas y cuarcitas, que alcanzan 200 m de espesor. Durante el Mioceno superior se depositaron conglomerados y calcarenitas discordantes sobre los materiales triásicos. Los materiales pliocuaternarios y cuaternarios están ampliamente representados en el área.

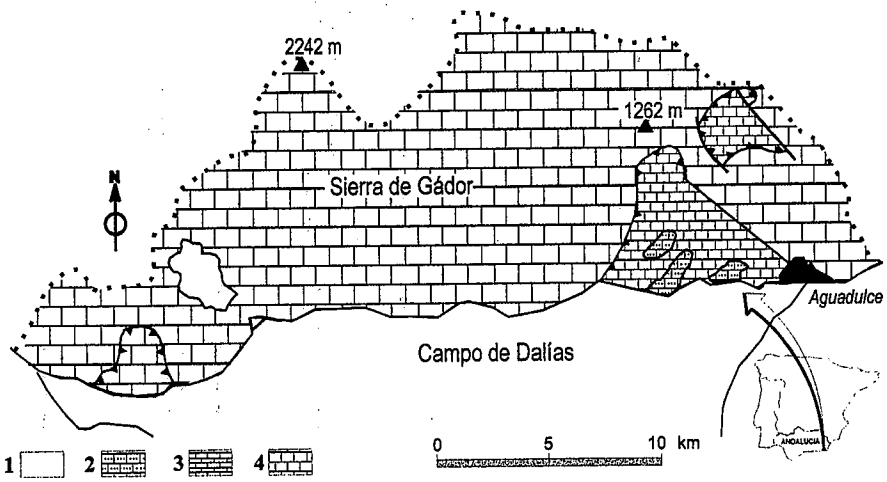

Fig. 1.- Localización y rasgos hidrogeológicos del área de estudio. (1) Materiales cuaternarios, (2) calcarenitas del Mioceno, (3) carbonatos de Felix, (4) carbonatos de Gádor.

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

Las formaciones acuíferas existentes en la vertiente Sur de la sierra son los carbonatos de las unidades de Gádor y Felix, fisurados y karstificados. Las calcarenitas miocenas tienen comportamiento acuífero, con porosidad intergranular, fisuración y procesos de karstificación. Las calcarenitas que culminan la serie pliocena, así como las terrazas marinas, gravas y arenas que integran los abanicos aluvia-

AÑO	EUROPA	THONON	GADOR	VERA
1991		15	10	
1990		17	11	
1989		29	16	
1988		25	14	
1987		24	14	
1986		22	13	
1985		22	13	
1984		22	13	
1983		24	14	
1982		29	16	
1981		39	20	
1980		33	18	
1979		59	29	
1978		86	40	
1977		74	35	
1976		117	53	
1975		171	76	
1974		113	52	66
1973		126	57	39
1972		145	65	47
1971		228	101	100
1970		189	84	73
1969		206	91	83
1968		217	96	102
1967		213	94	132
1966		247	109	118
1965		437	190	221
1964		1637	700	611
1963		3106	1324	1284
1962	700		301	350
1961	110		50	48
1960	145		65	65
1959	450		195	220
1958	300		131	140
1957	125		57	55
1956	100		46	43
1955	35		19	15
1954	300		131	140
1953	25		14	10
1952	20		12	8

Tabla 1.- Concentraciones anuales de Tritio (en UT) en el agua de lluvia.

Table 1.- Annual concentrations of Tritium (in TU) in the rainwater.

les cuaternarios también se comportan como acuífero. Los materiales calizo-dolomíticos alpujárrides están en conexión hidráulica con las unidades acuíferas de Balanegra y Aguadulce del Campo de Dalías (Pulido-Bosch *et al.* 1991).

Datos

El estudio de la composición isotópica en tritio de las aguas subterráneas en esta región se basa en datos obtenidos a partir de un muestreo realizado en Septiembre de 1993. La situación de los puntos muestreados se muestra en la figura 3 y los contenidos obtenidos en las diferentes muestras se incluyen en la tabla 2.

Las determinaciones fueron llevadas a cabo en el Laboratorio de Estudios Medioambientales de la Academia Húngara de las Ciencias (Debrecen, Hungría). Se utilizó un contador de partículas β para efectuar las determinaciones analíticas, cuyo límite de detección se sitúa en 1 UT.

Resultados y discusión

El contenido en tritio aporta información sobre la presencia de aguas infiltra-

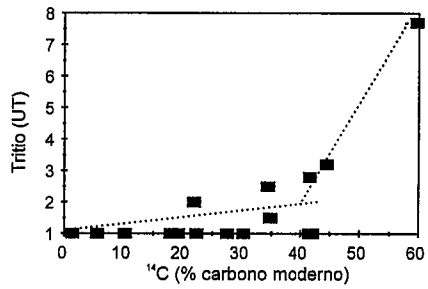

Fig. 2.- Relación Carbono-14 - Tritio.

Fig. 2.- Carbono-14 - Tritium relationship.

das en el acuífero recientemente. Sin embargo, antes de discutir los valores del tritio en este contexto, hay que tener en cuenta la entrada de tritio procedente del agua de lluvia. Ya que el tritio del agua procede, principalmente, de las explosiones termonucleares acaecidas con posterioridad a 1952, para interpretar los valores de concentración de tritio es necesario conocer las concentraciones de tritio de las precipitaciones de la zona durante los últimos cuarenta años, es decir, tras los ensayos nucleares realizados en la atmósfera. No se tienen medidas directas de la concentración de tritio en las precipitaciones de la zona de estudio. No obstante, la distribución del tritio en las precipitaciones, a escala global y en diferentes zonas de la Península, muestra que dichas concentraciones sólo han experimentado variaciones pequeñas dentro de la Península, pudiéndose reconstruir la curva de distribución del tritio en las precipitaciones en cualquier punto con un pequeño error.

La correlación mensual de los datos de tritio pluviométrico entre Vera (Almería) y Thonon les Bains (Francia) presenta una buena recta de ajuste (Carulla, 1978). Ya que desde el punto de vista climático la zona de estudio y el área de Vera son bastante similares, se pueden utilizar, igualmente, los valores anuales de tritio medidos en Thonon les Bains, a la hora de calcular las concentraciones de tritio para el borde Sur de Sierra de Gádor. Por lo tanto, los datos valorados para Sierra de Gádor han sido obtenidos por correlación realizada anualmente, hasta 1963, con una serie de valores medios de Europa Central (Carulla, 1978) y hasta 1991 con los datos de Thonon (IAEA, 1992). No se dispone de datos en Thonon anteriores a 1963.

Los datos de la tabla 1 indican que las concentraciones anuales de tritio en la zona objeto del estudio han sido superiores a 10 UT durante los últimos cuarenta años, habiendo alcanzado un valor máximo estimado de 1324 UT en el año 1963, debido a la gran cantidad

MUESTRA Nº	^{14}C (pmC)	^{3}H (UT)	^{14}C* (pmC)	X	100-X
950	34,4	2,5	32,8	2,8	97,3
304	22,3	<1,0	21,5	1,1	98,9
1054	44,5	3,2	42,8	3,5	96,5
1032	41,6	2,8	40,0	3,1	96,9
314	10,2	<1,0	9,3	1,1	98,9
150	21,9	2,0	20,3	2,2	97,8
259	42,1	1,0	41,6	1,1	98,9
372	19,2	<1,0	18,4	1,1	98,9
748	5,6	<1,0	4,7	1,1	98,9
32	34,8	1,5	33,9	1,7	98,4
1200	59,7	7,7	56,8	8,5	91,5
586	1,4	<1,0	0,4	1,1	98,9
839	30,3	<1,0	29,6	1,1	98,9
362	41,5	<1,0	41,0	1,1	98,9
567	27,5	<1,0	26,8	1,1	98,9
321	17,9	1,0	17,1	1,1	98,9

^{14}C*: concentración de ^{14}C en la fracción más antigua del agua
X: porcentaje de la fracción más reciente
100-X: porcentaje de la fracción más antigua

Tabla 2.- Porcentajes de agua reciente y agua antigua, en el agua de mezcla.

Table 2.- Percentages give recent water and ancient water, in the mixed water.

de megatones nucleares explosionados en la atmósfera durante el año anterior, disminuyendo a grandes rasgos a partir de este año, debido al cese temporal de los ensayos nucleares.

Muestras que no contienen tritio indican la ausencia de agua procedente de las precipitaciones caídas durante los últimos cuarenta años. Las concentraciones en tritio encontradas en las aguas de los acuíferos carbonatados del Campo de Dalías son muy bajas. Muchas de las muestras presentan menos de 1 UT; son aguas anteriores a 1953 o se trata de aguas antiguas con una proporción muy pequeña de agua reciente. Si se representa el contenido en ^{14}C (% de carbono moderno) frente al tritio de las diferentes muestras analizadas se obtienen dos tendencias (representadas por dos líneas), las cuales tienden a definir los límites de los resultados en eras pre y post-bomba intersectados alrededor de 2 UT y un 40 % de carbono moderno (figura 2).

No hay ningún valor superior a 8 UT (tabla 2), implicando que las aguas extraídas tienen una contribución reducida de las precipitaciones de los últimos años, dado que a partir de 1954 y sobre todo de 1957 el contenido de las precipitaciones anuales se cuenta en varias decenas, hasta centenas, llegando probablemente a más de 1000 UT en 1963. Las recargas pluviométricas que se realizan en este medio llegan totalmente mezcladas a las zonas de explotación del acuífero con las aguas preexistentes y con las aguas de reserva del mismo. Esta mezcla reduce frecuentemente las concentraciones en tritio y enmascara la presencia de agua de recarga moderna. Como se observa en la figura 3, el sector más oriental muestra valores más elevados indicando una zona con mayor influencia de recarga moderna (sondeos 1182, 1200 y 950), es

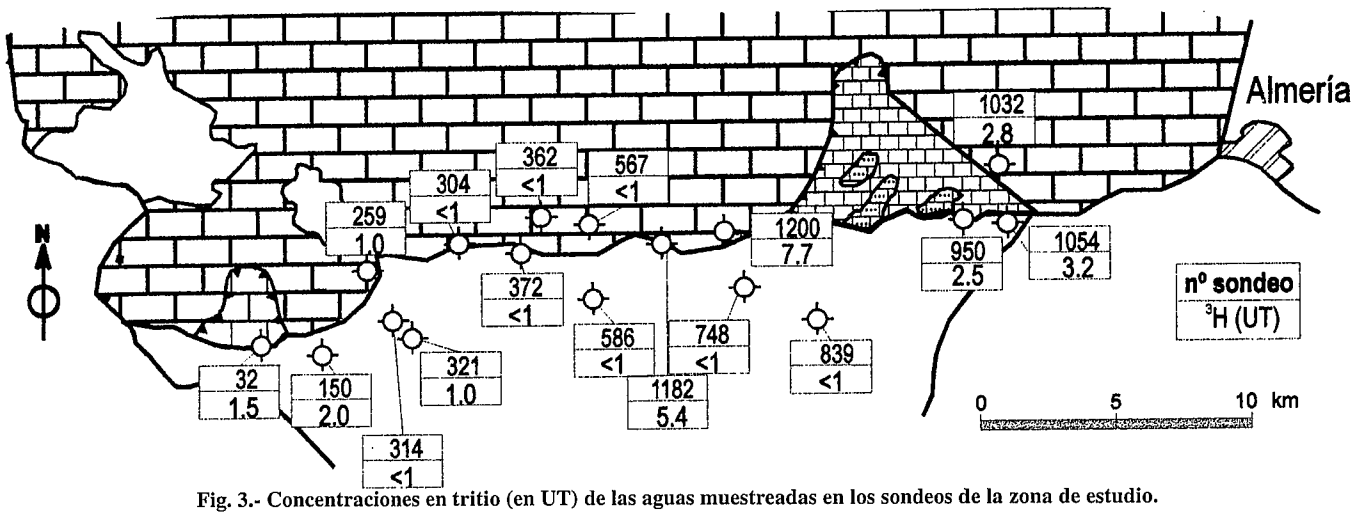

Fig. 3.- Concentraciones en tritio (en UT) de las aguas muestreadas en los sondeos de la zona de estudio.

Fig. 3.- Concentrations in tritium (in TU) of the waters sampled in the boreholes of the study area.

decir, una circulación preferencial del agua subterránea, correspondiendo ésta a la intrusión marina actual detectada en los sondeos 1032 y 1054. Existe una serie de discordancias entre las edades calculadas a partir del ^{14}C y del ^{3}H (Vallejos, 2001). Algunos contenidos en tritio medidos indican una recarga posterior a 1953, mientras el valor de ^{14}C indica una edad entorno a los 1000 o 2000 años según modelo Fontes y Garnier (Fontes, 1983) (ej. sondeos 950 y 1032), pudiendo ser explicada esta discordancia en la edad por una mezcla de aguas de edad diferente, como ha sido mostrado por Mazor et al. (1985) para otro área.

Si se aplica el modelo de cálculo del porcentaje de mezcla entre aguas recientes y aguas antiguas de Mazor et al. (1986) basado en:

(1) El agua recargada post-1953 contiene unas 90 UT como media, junto con un 90 % de carbono moderno. Así 1 UT está acompañada por aproximadamente 1 pcm.

(2) El ^{14}C medido en un agua subterránea mezclada corresponde a la suma del ^{14}C contribuído por la fracción más reciente y por la fracción más antigua. Puede ser deducida la concentración de ^{14}C de la fracción más antigua y el porcentaje de componentes antiguos y recientes en la mezcla. El porcentaje de la fracción más antigua en la mezcla, analizando los datos obtenido en el borde de Sierra de Gador, supera en todos los casos el 90 % (tabla 2).

Consideraciones finales

El contenido en ^{3}H no supera las 8 UT, implicando que las aguas extraídas tienen una contribución reducida de las precipitaciones de los últimos años. La mezcla con aguas de reserva del acuífero enmascara la presencia de agua de recarga moderna. La fracción más antigua en la mezcla se estima que supera el 90%. Los mayores contenidos en ^{3}H revelan una zona donde la circulación del flujo subterráneo es más rápida, coincidiendo con cuencas vulnerables a la generación de escorrentía. En el sector más oriental, la recarga moderna está ligada a la intrusión marina actual detectada en alguno de los sondeos.

Agradecimientos

El presente estudio se ha hecho en el marco del proyecto HYD99-0597-CO2-O2 (CICYT), como contribución al IGCP-488 de UNESCO.

Referencias

Balanyá, J.C. y García Dueñas, V. (1987): *C.R. Ac. Sc.*, 304, Série II: 929-934.

Carulla, N. (1978). *Tesis Doctoral.* Univ. Autónoma de Barcelona. 2 tomos.

Fontes, J.C. (1983): *Tech. Rep. Seres 91, IAEA*: 285-318

IAEA (1992): *Technical Reports Series* No. 331.

Mazor, E., Vuataz, F.D. y Jaffé, F.C. (1985): *Jaun Hydrol.* 76, 233-246.

Mazor, E., Jaffé, F.C., Fluck, J. y Dubois, J.D. (1986): *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1611-1618.

Pulido-Bosch, A; Navarrete, F; Molina, L y Martínez-Vidal, JL. (1991): *Wat. Sci. Tech.* 24 (11), 87-96.

Vallejos, A. (2001): *Univ. de Almería-IEA*. 242 p.