

# Algunas consideraciones sobre la hidrogeoquímica del acuífero Martil-Alila (Tetuán, Marruecos)

*Some considerations about the hydrogeochemistry of Martil-Alila aquifer (Tetouan, Morocco)*

J. Stitou El Messari (\*), A. Pulido Bosch (\*\*), K. Targuisti (\*), B. El Moutchou (\*) y J.C. Cerón (\*\*\*)

(\*) Departamento de Geología, Universidad Abdelmalek Esaadi, Facultad de Ciencias, B.P. 2121. Tetuán, Marruecos

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

(\*\*\*) Departamento de Geología, Universidad de Huelva, 21819-Huelva

## ABSTRACT

From data obtained in different wells of the Martil-Alila aquifer, the principal physicochemical characteristics of groundwater are studied. The origin of ions has a direct relationship with the dissolution of the aquifer materials. Possible mineralisation, urban and agricultural pollution have been detected. Temperature and chemical composition of waters show a thermal anomaly, directly related with the tectonic activity in the northwestern area.

**Key words:** hydrogeochemistry, pollution, thermomineral waters, neotectonics.

Geogaceta 23 (1998), 147-150  
ISSN: 0213683X

## Introducción

El acuífero aluvial litoral de Martil-Alila está situado en el norte de Marruecos, en el Rif septentrional, en la región de Tetuán. El sector estudiado (figura 1) está limitado por el mar mediterráneo al Este, las colinas paleozoicas al Norte, Sur y Oeste, y la Dorsal calcárea al Oeste. El acuífero tiene una superficie de 86 km<sup>2</sup> y su cuenca vertiente alrededor de 936 km<sup>2</sup>. Este sector litoral ha sido durante estos últimos años sometido a una presión antrópica progresiva. En efecto, el aumento de la demografía ha producido un notable incremento de la demanda de agua, al tiempo que ha generado residuos líquidos y sólidos urbanos en cantidades crecientes, susceptibles de contaminar.

El clima del área es de tipo mediterráneo sub-húmedo; la precipitación media anual para el período 1963/1995 es del orden de 650 mm; la temperatura media es de 16.3°C. Los valores anuales de la evapotranspiración real y de la lluvia útil, calculados según el método de Thornthwaite y considerando una capacidad de campo de 50 mm son de 465 mm y 128 mm, respectivamente.

Los materiales preorogénicos, que constituyen gran parte de los relieves circundantes de la llanura de Martil-Alila, pertenecen al complejo Gomáride (esquistos, pelitas...). Al Norte afloran los micasquistos y gneises del complejo Sébtide. Los materiales postorogénicos

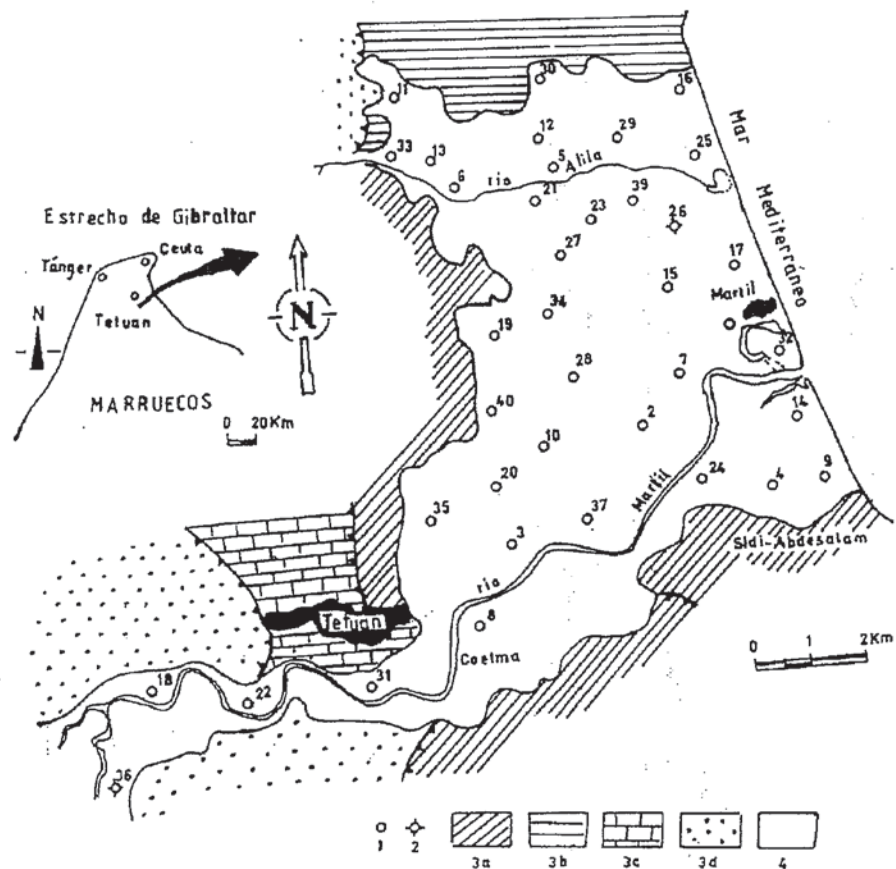


Fig. 1.- Localización geográfica y esquema hidrogeológico del área de estudio. 1: pozo; 2: sondeo; 3: material del borde (3a: complejo Gomáride; 3b: complejo Sébtide; 3c: Dorsal calcárea; 3d: flysch); 4: Cuaternario.

Fig. 1.- Geographic location and hydrogeological scheme of the study area. 1: well; 2: drill well; 3: border materials (3a: Gomáride complex; 3b: Sébtide complex; 3c: Dorsal calcárea; 3d: flysch); 4: Quaternary materials.

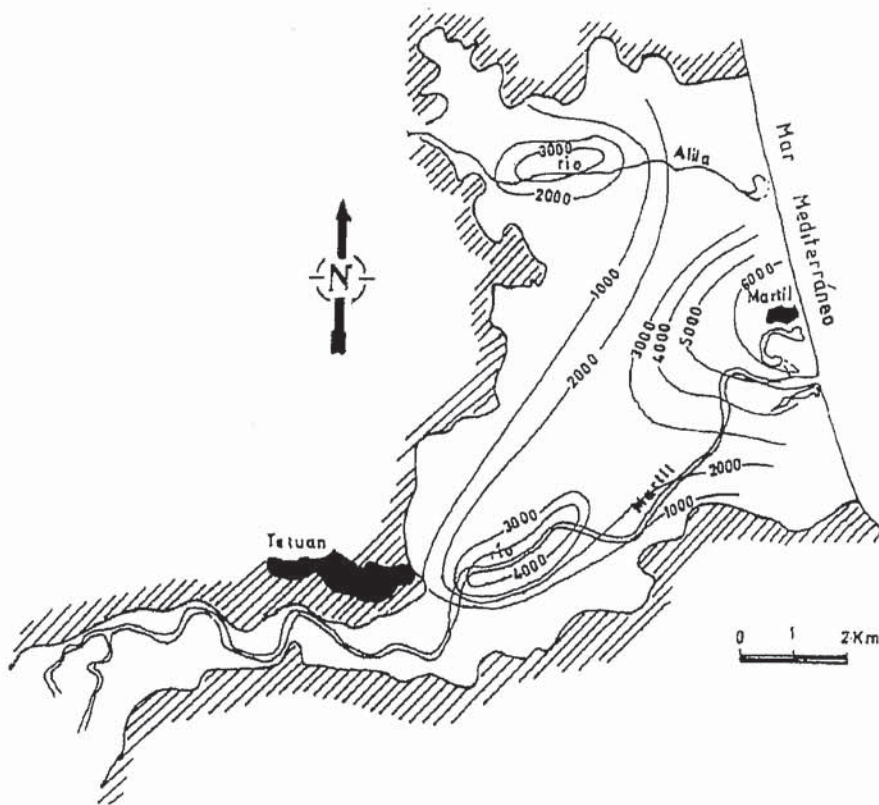


Fig. 2.- Distribución espacial de la conductividad en las aguas del acuífero detrítico.

Fig. 2.- Spatial distribution of the water conductivity in the detrital aquifer.

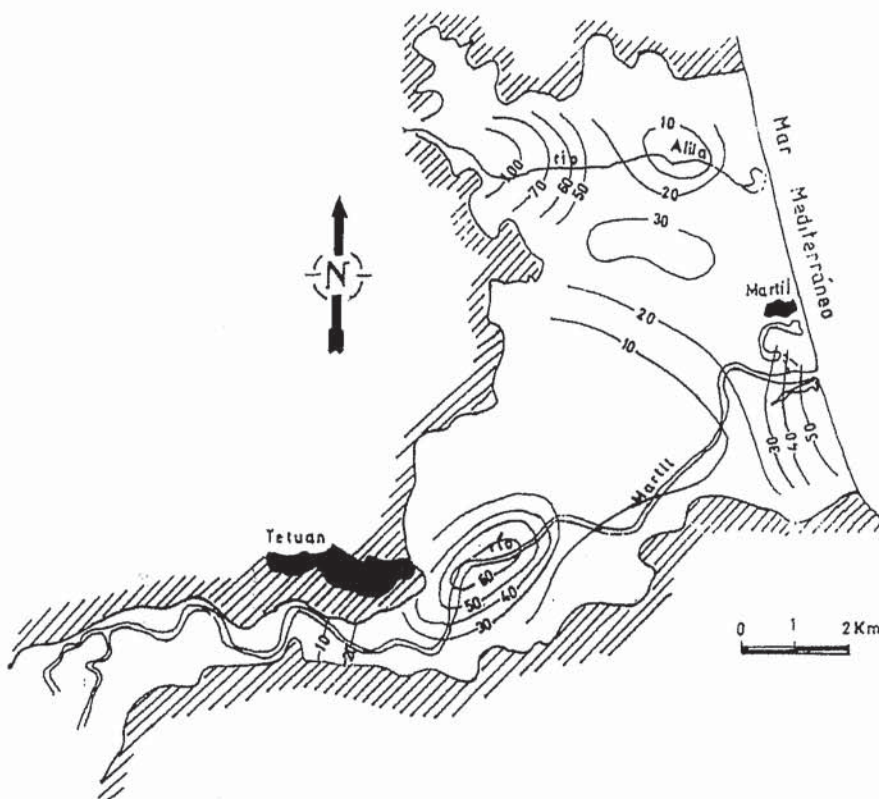


Fig. 3.- Distribución espacial de los nitratos en las aguas del acuífero detrítico.

Fig. 3.- Spatial distribution of the nitrates in the detrital aquifer water.

que forman el relleno de la llanura están formados por margas, arcillas, arcillas arenosas, limos, arenas y gravas (Choubert, 1969; Kornprobst, 1974; El Morabiti, 1991; Stitou El Messari, 1995).

En lo que se refiere a la naturaleza del sustrato del acuífero, se le supone impermeable y formado por margas y arcillas terciarias. El espesor del relleno cuaternario varía entre 0 y 36 m; su litología, de acuerdo con los resultados de dos campañas de geofísica y los datos de los sondeos mecánicos, corresponde fundamentalmente a gravas más o menos arcillosas. La recarga se produce por infiltración de la precipitación a partir de la escorrentía superficial de las ramblas que vierten hacia la llanura y de los aportes subterráneos de los ríos Martil y Alia (El Morabiti, 1991; El Morabiti y Pulido Bosch, 1993; Stitou El Messari, 1995).

**Los focos potenciales de contaminación**

En la región de Tetuán existe una gran concentración de actividades antrópicas susceptibles de contaminar. Como fuentes puntuales, se encuentran los residuos líquidos urbanos de Tetuán, Martil y los complejos turísticos (alrededor de 31 hm<sup>3</sup>/año) vertidos sin ningún tratamiento previo en el río Martil o directamente en el acuífero. Por otra parte, los residuos sólidos urbanos (alrededor 7000 tn/año) son acumulados al borde del río Martil, o de la carretera P28 que une Tetuán a Chauen. Por último, cabe reseñar el riesgo de intrusión marina (que ya existe en el sector de Martil) si no se toman las medidas adecuadas.

**Características fisicoquímicas de las aguas**

El resumen de los parámetros fisicoquímicos, determinados en la campaña de muestreo de Abril 1994, se incluye en la tabla 1. La facies dominante de las aguas es clorurada sódica (50% de las muestras), seguida de la facies bicarbonatada cálcica.

La distribución de la conductividad en la superficie del acuífero se observa en la figura 2. En esta se destaca que la mineralización de las aguas crece, generalmente, desde el interior hacia la costa en el sentido del flujo. Los valores de la conductividad son máximos al norte de la población de Martil y en el mismo núcleo. Se identifica también otra área salinizada en el centro del llano de Martil. Este último sector corresponde al área de infiltración de aguas residuales contaminadas que circulan por el río Martil.

En relación con la contaminación agrícola, la figura 3 muestra la distribución espacial de la concentración de nitratos en el acuífero, caracterizando el carácter puntual y difuso de la misma. Los máximos valores corresponden a concentraciones superiores a 100 mg/l, en las franjas costera, meridional y Norte del acuífero.

La distribución espacial de las líneas que representan la concentración del Litio en las aguas (fig. 4), permite identificar los altos valores registrados en el sector noroccidental. El litio se caracteriza principalmente por su elevada movilidad geotérmica y su relación con la actividad hidrotermal. La interacción entre fluidos calientes y rocas ricas en Litio es uno de los principales procesos que puede justificar las elevadas concentraciones en las aguas (Appelo y Postma, 1993). El estudio de la distribución de la temperatura de las aguas del acuífero revela la existencia de anomalías térmicas en el sector noroccidental (Fig. 5). Todo ello conduce a considerar que posiblemente exista relación entre ambos parámetros y se puede pensar que las elevadas concentraciones en las aguas del sector noroccidental pueden relacionarse con la posible existencia de flujos regionales calientes. Estas anomalías térmicas pueden deberse a las fallas que configuran la base sobre la que descansan los materiales pliocuaternarios del llano de Martil-Alila, cuyo espesor es mínimo en el sector noroccidental.

En el dendrograma, obtenido mediante análisis cluster, realizado con el programa QUIMSTD (Padilla *et al.*, 1986), se pueden identificar claramente tres grupos (Fig. 6a). El primer grupo, G<sub>1</sub>, lo forman NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub> y NH<sub>4</sub>, parámetros claramente relacionados con los procesos de contaminación por actividades agrícolas y domésticas. El segundo grupo, G<sub>2</sub>, agrupa los iones SiO<sub>2</sub>, Li, Sr, HCO<sub>3</sub>; el tercer grupo sería el responsable de la mineralización de las aguas. El origen de los iones de G<sub>2</sub> y G<sub>3</sub> está presuntamente relacionado con la evaporación, la influencia del mar y con los aportes por disolución de las rocas acuíferas y del borde.

En el dendrograma de observaciones (Fig. 6b) se pueden diferenciar dos familias principales; la primera, F<sub>1</sub>, formada por los puntos de alta salinidad (conductividad superior a 3000 µS/cm) y elevado contenido en HCO<sub>3</sub>; la segunda agrupa el resto de las observaciones que, a su vez, se divide en dos subfamilias: SF<sub>1</sub>, que reuniría los puntos 9 hasta 29; y

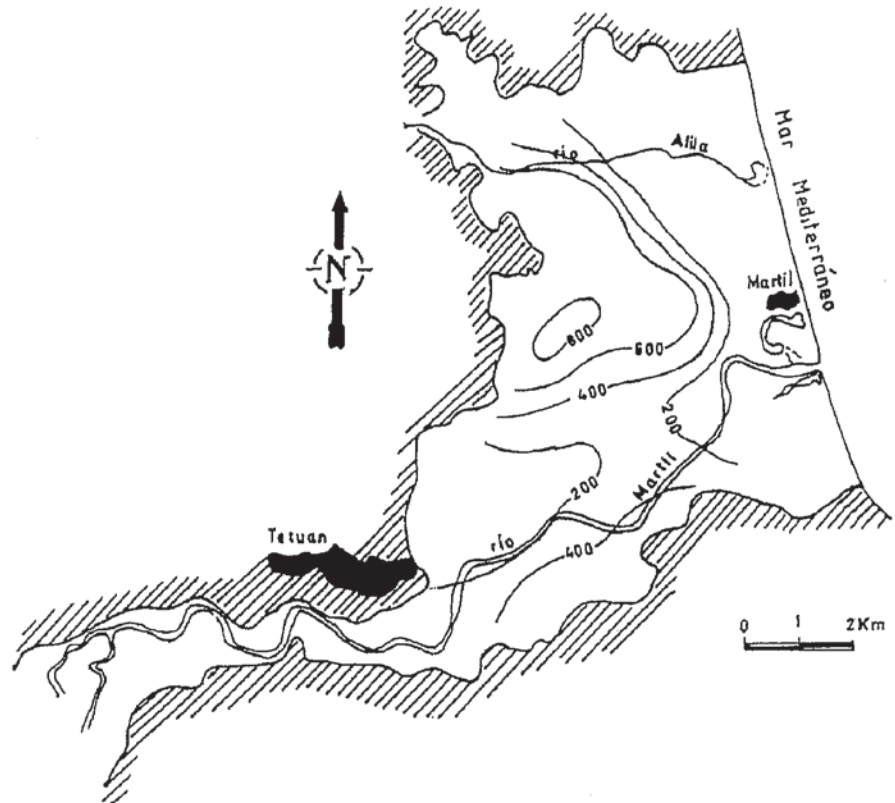


Fig. 4.- Distribución espacial del Litio en las aguas del acuífero detrítico.

Fig. 4.- Spatial distribution of the Lithium in the detrital aquifer water.

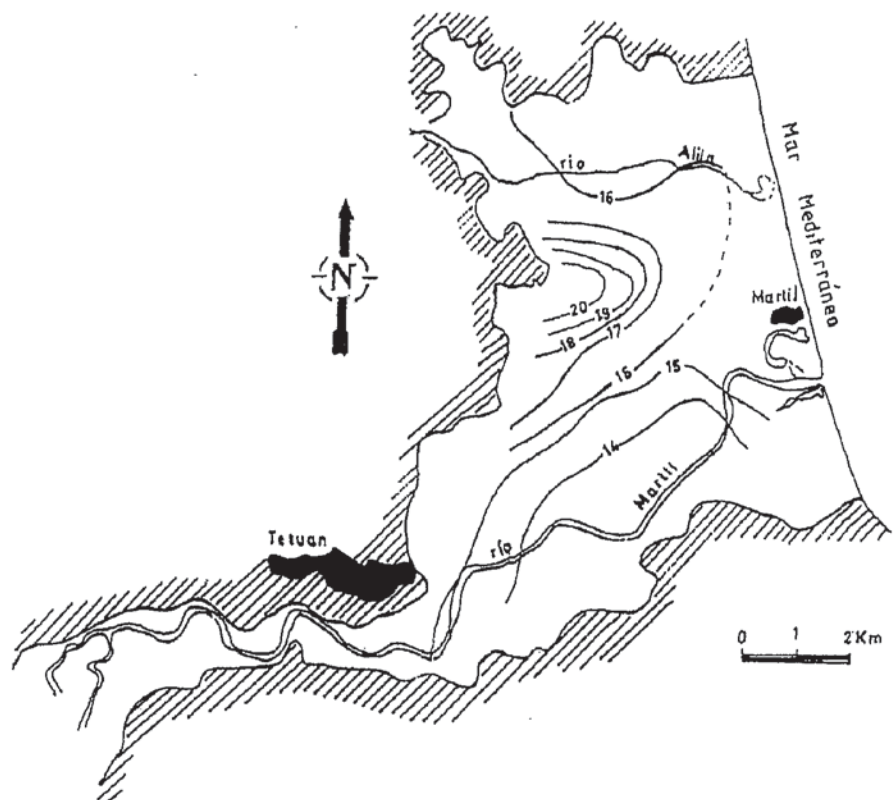


Fig. 5.- Distribución espacial de la temperatura en las aguas del acuífero detrítico.

Fig. 5.- Spatial distribution of the temperature in the detrital aquifer water.

Variables	Mínimo	Máximo	Media	C.V. (%)
Conductividad	500	17000	2126	119
Temperatura	12	21	15,3	9,8
pH	6	8,8	7,5	7,1
Ca	7,4	316	104	65
Mg	9,04	374	63	64
Na	24	2420	265	741
K	0,2	55	12	174
Cl	36	5400	520	165
HCO <sub>3</sub>	95	445	280	40
SO <sub>4</sub>	4,5	694	135	102
NO <sub>3</sub>	0	135	25	134
NO <sub>2</sub>	0	0,9	0,09	135
NH <sub>4</sub>	0,0006	0,34	0,1	145
SiO <sub>2</sub>	5	23	97	66
B	24	937	228	102
Cu	0	124	345	134
Li	0	1160	210	173
Zn	95	230	150	145
Mn	50	260	550	261
Al	20	700	250	69
Fe	0,01	8,4	0,5	261
Cd	0	60	10	135
Sr	0	7,1	2	92
Pb	0	600	200	75

Tabla 1.- Resumen estadístico de las variables fisicoquímicas analizadas. Conductividad en  $\mu\text{S/cm}$  a  $25^\circ\text{C}$ ; temperatura en  $^\circ\text{C}$ ; los iones Cl, SO<sub>4</sub>, Ca, Mg, NO<sub>3</sub>, en ppm; el resto en  $\mu\text{g/l}$ .

Table 1.- Statistical values of analyzed physico-chemical parameters. Conductivity in  $\mu\text{S/cm}$  25  $^\circ\text{C}$ ; temperature in  $^\circ\text{C}$ ; ions Cl, SO<sub>4</sub>, Ca, Mg, NO<sub>3</sub>, in ppm; the rest in  $\mu\text{g/l}$ .

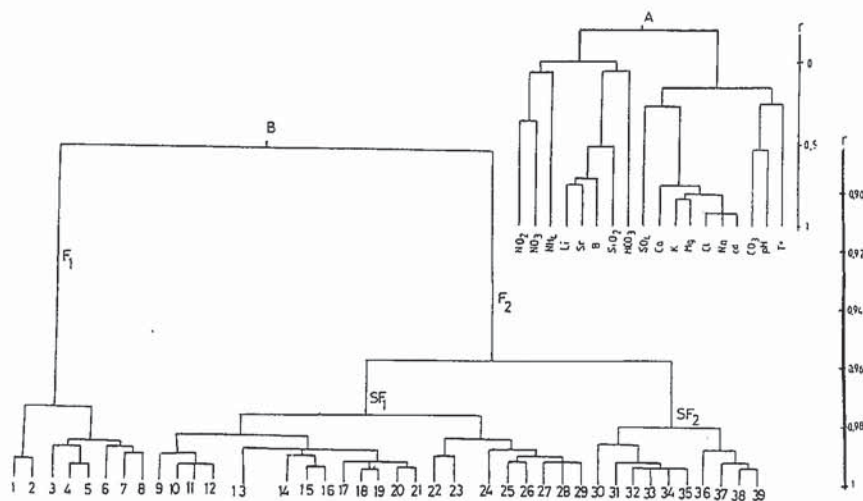


Fig. 6.- a) Dendrograma de las variables. b) Dendrograma de las observaciones.

Fig. 6.- a) Variables dendrogram. b) observations dendrogram.

la SF<sub>2</sub> que integra los puntos 30 hasta 39.

Desde el punto de vista geográfico, las aguas del SF<sub>1</sub> corresponden a puntos próximos a los bordes, cerca de los afloramientos de esquistos y micasquistos, además de otros menos profundos y cercanos al sector costero. Las aguas del grupo SF<sub>2</sub> corresponden a las de la parte central y noroccidental de la llanura de Martil-Alila.

**Consideraciones finales**

El análisis hidroquímico ha permitido determinar que el contenido en sales del acuífero de Martil-Alila está condicionado por causas antrópicas y naturales. Los procesos naturales están controlados por el clima, por la concentración, por la evaporación, y por una actividad hidrotermal. Los procesos antrópicos son la intrusión marina y la incorrecta utilización del medio por parte del hombre (vertidos, aguas residuales, utilización abusiva de fertilizantes, etc...).

**Agradecimientos**

A la CICYT, proyectos AMB92-0211 y AMB95-0493; a la Junta de Andalucía, Grupo de Investigación RNM189 y a la ICMA del Ministerio de Asuntos Exteriores de España (J.S.) por contribuir a la financiación de la investigación.

**Referencias**

Appelo, C. y Postma, D. (1993): *Geochemistry, groundwater and pollution*. Edit. Balkema. Rotterdam, 536 p.  
 Choubert, G. (1969): *Notes et Mémoires du Serv. Géol. Rabat. Maroc*, 251, pp: 9-22.  
 Kornprobst, J. (1974): *Notes et Mémoires du Serv. Géol. Rabat. Maroc*, pp: 251-256.  
 Padilla, A., Pulido Bosch, A. y Benavente, J. (1986) . *El Agua en Andalucía*, I: 437-448.  
 El Morabiti, K. (1993): *Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle*. Univ. Tétouan, Maroc.  
 El Morabiti, K. y Pulido Bosch, A. (1994): *Hydrogéologie*, 1: 21-33. .  
 Stitou El Messari, J. (1995): *Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle*. Univ. Tétouan, Maroc.  
 Stitou El Messari, J. y Pulido Bosch, A. (1995): *Hydrogéologie*, 3: 39-46.