

Relación entre el humedal y el acuífero de Smir (Tetuán, Marruecos)

Relation between the wetland and the Smir aquifer (Tetouan, Morocco)

J. Stiton el Messari, A. Pulido Bosch y Y. Ben Sbih

Departamento de Geodinámica, Facultad de Ciencias, Fuentenueva s/n. 18071 Granada

ABSTRACT

The recent construction of a dam on the Smir river, and a yachting harbour have induced some changes in the wetland existing in the small aquifer Smir. The size of the wetland has decreased sensibly and the chemistry of its waters has varied due to sea water encroachment through the marina. Some of the processes generated by human activities are identified by hydrogeochemical methods.

Key words: detrital aquifer, hydrogeochemistry, environment, pollution.

Geogaceta, 17 (1995), 72-75
ISSN:0213683X

Introducción

El acuífero aluvial litoral de Smir está situado en el norte de Marruecos - en el Rif septentrional- en la región de Tetuán, inmediatamente al norte de M'diq. El sector estudiado (figura 1) está limitado por el mar Mediterráneo (límite oriental), las colinas paleozoicas y la dorsal calcárea (límite occidental), Sierra de Zem-Zem (límite septentrional), y Koudiat Taifour (límite meridional). El acuífero tiene una superficie aproximada de 12 km² y su cuenca vertiente alrededor de 74 km²; su cuenca baja se termina en una laguna *merja* de 2 a 3 km² de superficie; esta última presenta un gran interés ecológico en el contexto mediterráneo, al ser lugar de tránsito y nidación de aves migratorias. Este sector litoral ha sido sometido durante los últimos años a una presión antrópica progresiva e inquietante; se han construido unos complejos turísticos y un embalse en el río Smir. Un puerto deportivo ha abierto una comunicación continua entre la *merja* y el mar que antes era sólo esporádica. El embalse de Smir ha reducido la alimentación al humedal, modificando su régimen natural. Los complejos turísticos han producido un notable aumento en la demanda de agua, al tiempo que han generado residuos líquidos y sólidos susceptibles de contaminar.

El clima del área es de tipo mediterráneo sub-húmedo; la precipitación media anual para el período 1963/1991 es del orden de 600 mm, la temperatura media es de 16.3 °C. Los valores anua-

les de la evapotranspiración real (ERT) y de la lluvia útil (LLU), calculados según el método de Thornthwaite y considerando una capacidad de campo de 50 mm, son 465 mm y 128 mm, respectivamente.

Los materiales preorogénicos que constituyen gran parte de los relieves circundantes de la llanura de Smir pertenecen al complejo Gomáride (esquistos y pelitas). Al Sur afloran las micascistitas del complejo Séptide. Los materiales postorogénicos que forman el

relleno de la llanura están formados por margas, arcillas, arcillas arenosas, limos, arenas y gravas (Choubert, 1963; Komprobst, 1974).

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 20 m y su litología, de acuerdo con los resultados de una campaña de geofísica y los datos de sondeos mecánicos, corresponden fundamentalmente a gravas más o me-

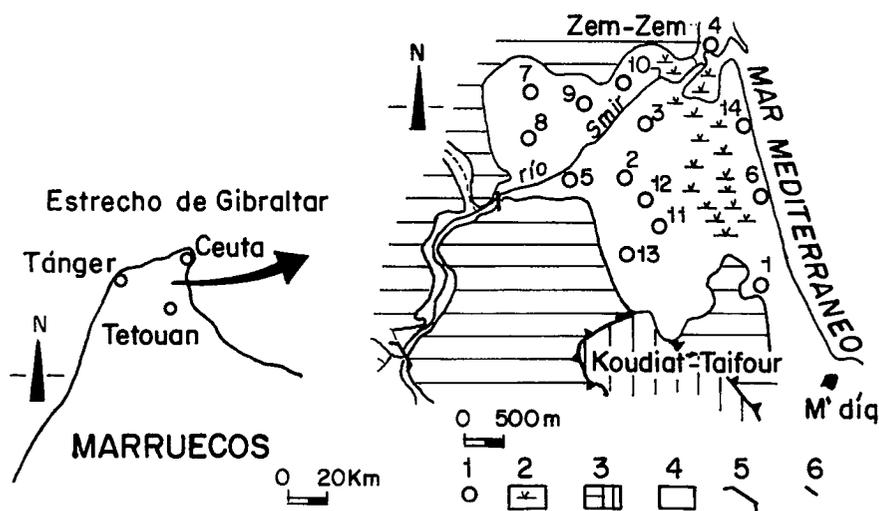


Fig. 1.- Localización geográfica y esquema hidrogeológico del área de estudio. 1: pozo; 2: "merja"; 3: material del borde (horizontal: complejo Gomáride; vertical: complejo Séptide); 4: cuaternario; 5: Embalse de Smir; 6: Estación hidrométrica.

Fig. 1.- Geographic location and hydrogeological scheme of the study area. 1: well; 2: wetland; 3: border materials (horizontal: Gomaride complex; vertical: Septide complex); 4: Quaternary; 5: Dam of Smir; 6: Gauging station.

nos arcillosas. La recarga del acuífero se produce por infiltración de la precipitación, a partir de la escorrentía superficial de las ramblas que viertan hacia la llanura, de los aportes subterráneos del río Smir, y de las aguas residuales.

En esta llanura, como hemos avanzado, hay una laguna en conexión con el acuífero, sometida a una intensa evaporación; otras salidas se producen por bombeo para satisfacer necesidades agrícolas y domésticas; finalmente, existen salidas directas al mar. Antes de la construcción del embalse, el río Smir alimentaba al acuífero desde la estación hidrométrica (figura 1) hasta la *merja* del orden del 5 % de su caudal. Este

valor ha sido obtenido mediante una serie de aforos directos diferenciales efectuados por la DRH. Teniendo en cuenta los aportes medios calculados en la estación hidrométrica -26 hm³/año-, se obtienen unos 40 l/s que pueden ser considerados como media de la recarga del río al acuífero en régimen natural.

Relación acuífero-merja

La superficie de la *merja* varía entre 2 y 3 km² según las épocas, dependiendo de la importancia de las crecidas; es alimentada esencialmente a partir del río, así como por las aguas de escorrentía de las cuencas limítrofes y por las aguas del acuífero, y en menor cuantía

por el mar (mareas altas). Su actual conexión directa con el mar a través del puerto deportivo permite un intercambio hídrico continuado. En la *tabla 1* se muestran las entradas estimadas a la *merja* en régimen natural antes de la construcción del embalse. Las salidas se hacen por evaporación directa (del orden de 4 hm³/año) y por descarga al mar.

Se puede apreciar que la alimentación natural estimada varía notablemente entre el año seco y el año húmedo, y que los aportes del río constituyen como media, casi el 88 % del total de las entradas. Con la puesta en funcionamiento del embalse (1991) los aportes del río han disminuido a 1 hm³ /año -según los datos de la DRH-; esto ha ocasionado un descenso brusco de las entradas con el consiguiente desequilibrio, provocando una reducción de su superficie de aproximadamente el 50 %, según se ha podido comprobar mediante el estudio fotogramétrico del área antes y después del embalse (figura 2).

Contaminación

En la región de M'diq existe una gran concentración de actividades antrópicas susceptibles de contaminar. Como fuentes puntuales, se encuentran los residuos líquidos urbanos de M'diq y de los complejos turísticos (0.5 hm³/año)

Tipo de entradas	Año seco	Año húmedo	Año medio
Alimentación directa del río	2,2	46	25
Aportes por precipitación	0,7	2,2	1,5
Aportes de cuencas limítrofes	0,8	6	1,8
Descarga del acuífero	0,3	0,9	0,6
Aportes de aguas residuales	0,5	0,5	0,5
TOTAL	4,5	55,6	29,5

Tabla 1.- Entradas estimadas a la merja (en hm³/año).

Table 1. - Estimated influxes into the merja (hm³/year).

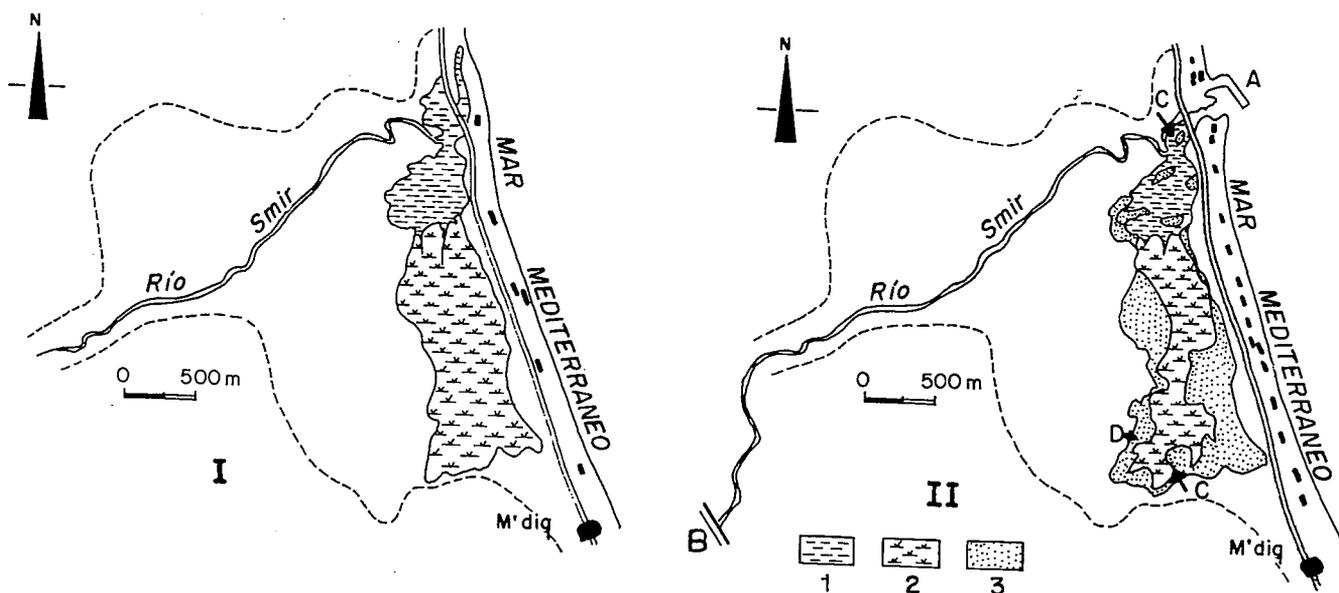


Fig. 2.- Evolución reciente de la merja. I: antes de la acción antrópica (1987, según las fotos aéreas, mapas geológicos, e imagen de satélite); II: después de la acción antrópica (1994). 1: Zona a flujo permanente; 2: Zona casi estancada; 3: zona desecada; A: puerto deportivo; B: Embalse de Smir; C: Aguas residuales; D: vertedero.

Fig. 2.- Recent evolution of the merja. I: Before human activities (1987, from aerial photos, geological maps and satellite images). II: After human activities (1994); 1: perennial flow zone; 2: Almost stagnant waters; 3: Dry areas; A: Marina; B: Smir Dam; C: Waste waters; D: Rubbish dump.

Parámetr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
T°	15	16	14	16,8	16,5	15	15	18	18	15	16	17	17	13
pH	6,91	7,11	6,85	6,34	7,03	7,33	7,01	7,8	7,06	6,23	7,9	7,9	5,55	4,65
Cond	990	1280	2580	1220	705	12520	2100	2400	660	924	340	670	2340	2480
Cl	144	209	548	210	56	7019	451	190	274	211	56	105	631	499
SO ₄	59	98	174	37	10	715	74	199	45	52	23	92	161	188
CO ₃ H	212	355	300	305	293	744	198	337	183	189	148	293	281	500
C°	34	125	104	136	77	336	55	97	71	27	30	86	67	92
Mg	32	62	67	21	20	251	42	35	34	22	11	38	71	65
Na	92	118	324	96	28	3900	253	273	114	137	47	48	358	360
K	10,8	6,8	1	8	3	215	0,4	3	3	2	5,5	15,5	2,4	30
NO ₃	39	0,3	51	12	5	2	17	1,1	46,8	16,3	26,3	0	6,4	2,4
SiO ₂	20	35	17	7	14	10	41	27	12	11	5	3	37	13
Fa	0,08	4	0,2	0,25	2	6	0,06	0,7	0,05	0,55	3	0,12	0,07	0,11
NO ₂	0	8	147	0,8	0	0	66	3,3	1	9	2,9	0	0	0
NH ₄	54	0	380	120	2	0	47	2		149	25	10	56	141
Li	378	143	79	747	92	171	127	112	104	100	280	320	110	417
B	121	453	175	96	22	900	769	123	20	12	31	187	33	643
Cu	79	116	77	343	57	251	54	549	56	48	13	49	54	64
Ni	94	131	79	747	92	171	127	112	104	100	320	280	110	417
Zn	144	113	27	178	47	586	104	121	27	21	60	34	188	186
Mn	0		557	10	0	290	0	0	0	1	0	0	1	0
Pb	28	569	0	397	97	296	115	110	101	96	0	80	116	308
Sr	560	90	1390	1802	449	4600	701	804	461	196	311	1090	574	1920
Al	520	2261	489	580	642	681	286	286	295	286	0	250	283	0
Ba	240	90	42	236	60	0	744	28	49	30	240	296	66	1
Cd	9	27	3	49	343	5	341	344	340	343	0	0	343	1
Cr	60	150	32	96	44	56	90	77	11	15	24	50	31	64
Co	63	117	52	150	32	57	33	33	34	29	18	39	37	65

Tabla 2.- Variables fisicoquímicas analizadas. Conductividad en $\mu\text{S/cm}$ a 25 °C; Temperatura en °C; los iones Cl, SO₄, HCO₃, Ca, Mg, NO₃, Fe, SiO₂, en ppm; el resto en $\mu\text{g/l}$.

Table 2.- Analyzed physico-chemical variables . Conductivity in $\mu\text{S/cm}$; Temperature in °C; ions Cl, SO₄, HCO₃, Ca, Mg, NO₃, Fe, SiO₂, in ppm; the rest in $\mu\text{g/l}$.

vertidos sin ningún tratamiento previo en la *merja*; además los residuos sólidos urbanos de los mismos núcleos (alrededor de 2200 Tn/año) son acumulados al borde de la *merja*. Existe además la ganadería estabulada que genera residuos contaminantes líquidos y sólidos.

El puerto deportivo ha puesto en contacto la *merja* con el mar afectando a su fauna y su flora. Como fuente extensiva de contaminación se tienen las

actividades agrícolas, en las que se utiliza una gama variada de fertilizantes y pesticidas. Por último, cabe reseñar el riesgo de invasión marina que existe si no se toman las medidas adecuadas.

Características fisicoquímicas de las aguas

Los parámetros fisicoquímicos determinados en las muestras recogidas en Abril de 1993 se incluyen en la tabla

2. La facies dominante de la aguas es clorurada sódica (50 % de las muestras), seguida de la facies bicarbonatada cálcica y/o magnésica.

En el dendrograma, obtenido por el análisis estadístico jerarquizado de las variables, realizado mediante el programa QUIMSTD (Padilla *et al.*, 1986), se pueden identificar claramente dos grupos (figura 3 a); en el primer grupo (G1) toman parte (NO₂, NO₃, NH₄), parámetros claramente relacionados

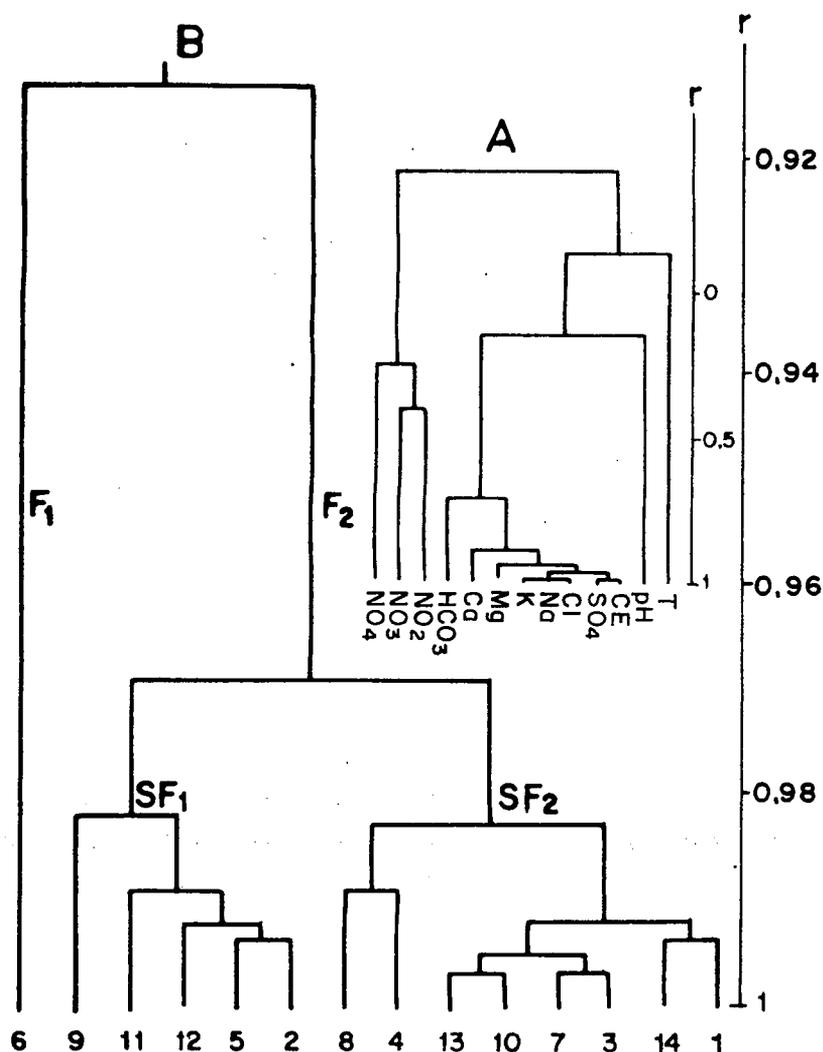


Fig. 3.- a) Dendrograma de las variables. b) Dendrograma de las observaciones.

Fig.3.- a) Variables dendrogram. b) Observations dendrogram.

con los procesos de contaminación por actividad agrícola y doméstica; el segundo grupo (G2) sería el responsable de la mineralización de las aguas y puede ser dividido en dos: el SG1 que agrupa T, pH, HCO_3 ; y el SG2 reúne el resto de las variables. El origen de todos estos últimos iones está presuntamente relacionado con la evaporación, la influencia de la *merja* y del mar, y con los aportes por disolución de las rocas acuíferas y del borde.

En el dendrograma de observaciones (figura 3 b) se pueden diferenciar claramente dos familias principales: la primera F1 formada por tan sólo el punto 6 dada su alta salinidad y elevado contenido en bicarbonatos; la segunda agrupa el resto de las observaciones que a su vez se puede dividir en dos subfamilias: SF1 que reuniría los puntos 2, 5, 9, 12, y 11; y la SF2 que integra los puntos 1, 14, 3, 10, 13, 4, 3 y 8. Desde el punto de vista geográfico, las aguas

del grupo SF1 corresponden a la parte central de la llanura de Smir; las aguas del SF2 corresponden a puntos próximos a los bordes, cerca de los afloramientos de esquistos y micasquistos (NNW, SSE), además de otros cercanos a la *merja* y al sector costero.

Consideraciones finales

Las acciones antrópicas sobre el río, con la construcción del embalse, y la construcción del puerto deportivo, han afectado notablemente a la zona húmeda; con la puesta en marcha del embalse y el uso de sus aguas fuera de la cuenca, se ha producido una drástica disminución de la alimentación de la *merja* menguando su superficie. La construcción del puerto deportivo ha permitido el contacto directo del agua del mar con el humedal, con el consiguiente cambio hidroquímico y su afcción al ecosistema original.

El análisis hidroquímico ha permitido determinar que el contenido de sales en las aguas del acuífero de Smir está condicionado por causas antrópicas y naturales. Los procesos naturales están controlados por el clima y por la concentración por evaporación en la *merja* y fuera de ella; los procesos antrópicos son la invasión marina y la incorrecta utilización del medio por parte del hombre (vertidos, construcción del puerto deportivo, etc...).

Agradecimientos

A la CICYT, proyecto AMB92-0211 y a la Junta de Andalucía, Grupo de Investigación 4074, por contribuir a la financiación de la investigación.

Referencias

- Choubert, G. (1963). *Notes et Mém. Serv. Géol. Rabat*, 922 p.
 Kormprobst, J. (1974). *Notes Mém. Serv. Géol. Maroc*, 251-256.
 Padilla, A., Pulido Bosch, A. y Benavente, J. (1986). *El Agua en Andalucía*. I: 437-448. Granada.