

Caracterización de la composición química del río Guadiana y su influencia en el Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel

Characterization of the chemical composition of the Guadiana River and its influence in Las Tablas de Daimiel National Park

Silvino Castaño Castaño¹, Almudena de la Losa Román¹, Pedro Martínez Santos², Rosa Mediavilla López¹ y Juan Ignacio Santisteban Navarro²

¹ Instituto Geológico y Minero de España. Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid, España. s.castano@igme.es, a.delalosa@igme.es, r.medivilla@igme.es

² Facultad de Ciencias Geológicas (U.C.M.). José Antonio Novais, 12. 28040 Madrid, España. pemartin@ucm.es, juancho@ucm.es

ABSTRACT

Since autumn 2012, groundwater has become a water input to Las Tablas de Daimiel National Park through discharge to the river Guadiana. This fact reflects the "quasi-natural" situation that has been achieved so far in the park. The monitoring of the chemical quality of the river water and nearby points has been carried out during the period December 2012 to September 2013 through seasonal sampling. The results obtained from the data of major components have shown that the arrival of water from the Guadiana has significantly changed the composition of water in the National Park inlet. However, although there have been discharges from springs in the Guadiana, the chemical composition of water provided by the Azuer river are more dominant character, being reflected the physico-chemical characteristics of these waters in the waters of the Park. On the other hand, groundwater near Guadiana shows significant heterogeneity in chemical composition and in its temporal evolution.

Key-words: Groundwater, Guadiana, hydrochemistry, Tablas de Daimiel.

RESUMEN

Desde el otoño de 2012, ha quedado en evidencia la entrada de agua de origen subterráneo al Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel a través del río Guadiana. Este hecho reflejaría la situación "cuasinatural" que se ha alcanzado hasta el momento en el Parque. El seguimiento de la calidad química del agua del río, y de otros puntos cercanos al mismo, se ha llevado a cabo durante el periodo comprendido entre diciembre de 2012 y septiembre de 2013 mediante muestreos estacionales. Los resultados obtenidos, a partir de los datos de los componentes mayoritarios, han puesto de manifiesto que la llegada de agua del Guadiana ha modificado sensiblemente la composición del agua de Las Tablas en su zona de entrada al Parque. No obstante, aunque se han observado descargas de manantiales en el curso del Guadiana, la composición química de las aguas aportadas por el río Azuer son de carácter más dominante, quedando reflejadas las características físico-químicas de estas aguas en las aguas del propio Parque. Por otro lado, las aguas subterráneas del entorno del Guadiana muestran heterogeneidades significativas en su composición química y en su evolución temporal.

Palabras clave: Aguas subterráneas, Guadiana, hidroquímica, Tablas de Daimiel.

Geogaceta, 56 (2014), 95-98.
ISSN (versión impresa): 0213-683X
ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 2 de febrero de 2014
Fecha de revisión: 29 de abril de 2014
Fecha de aceptación: 30 de mayo de 2014

Introducción

El Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel es un humedal singular situado en el centro de la Península Ibérica (Fig. 1). Según estudios previos, a las características fisiográficas, geológicas y la acción humana que favorecerían el encharcamiento en determinadas zonas antes de la década de 1970, se unían la peculiaridad de la composición química de las aguas, mezcla de aguas salobres aportadas por el Gígüela por el

noreste, y de aguas dulces procedentes del Guadiana (subterráneas) y de su tributario el Azuer (superficiales) por el sureste (Sáez-Royuela, 1977; Álvarez-Cobelas *et al.*, 1996, 2001; De la Losa *et al.*, 2013; Aguilera *et al.*, 2013).

Debido a la acción humana sobre el humedal, directa o indirecta, ya desde esa década de 1970 es notable la pérdida de caudal de entrada desde el Guadiana (Sáez-Royuela, 1977), hasta desaparecer completamente en 1986 (López-Camacho *et al.*,

1996), produciéndose un incremento de la salinidad del medio hídrico de Las Tablas de Daimiel (Sáez-Royuela, 1977; Berzas *et al.*, 2000; De la Losa *et al.*, 2013).

Este estado, sin embargo, se ha invertido desde el otoño de 2009, cuando dio comienzo una etapa muy húmeda en la zona (Santisteban y Mediavilla, 2013). Como respuesta, se han sucedido avenidas en el Azuer y el Gígüela, y los niveles de agua subterránea se han recuperado notablemente tanto en el sistema acuífero ge-

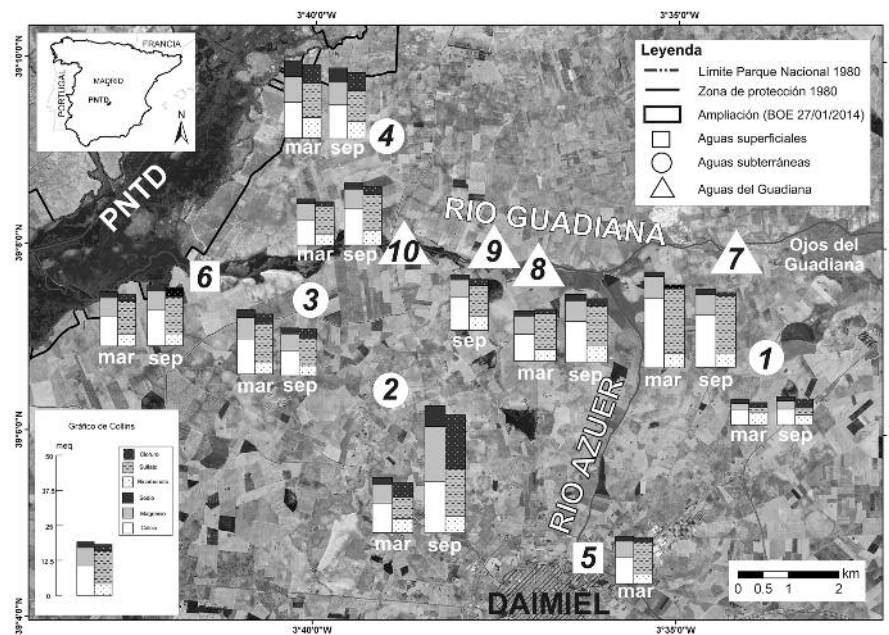


Fig. 1.- Situación del Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel, de los puntos de muestreo y diagrama de Collins para los muestreos de marzo y septiembre de 2013.
Fig. 1.- Situation of Las Tablas de Daimiel National Park and sampling points, and Collins diagram for March and September 2013 sampling.

neral (Mejías y Martínez-Cortina, 2013), como en el entorno del Parque Nacional (Castaño *et al.*, 2013a). Al inicio de esta etapa, las zonas inundadas y los cauces fluviales sirvieron de zonas de recarga, estableciéndose una compleja relación entre las aguas superficiales y las subterráneas, debido a las características geológicas del medio y a su funcionamiento como acuífero multicapa, debido en parte a la existencia de zonas no saturadas aisladas en las formaciones (Castaño *et al.*, 2013c). Se produjeron cambios considerables, por zonas, en las características hidroquímicas de las aguas subterráneas, como variaciones en la conductividad eléctrica y contenido iónico, así como en los isótopos del agua (Aguilera *et al.*, 2013; Castaño *et al.*, 2013b).

Por otro lado, en el valle del Guadiana, las sucesivas avenidas del río Azuer y el desagüe de la laguna de Navaseca hicieron suponer la aparición de salidas subterráneas en las proximidades del Parque Nacional desde fechas tan tempranas como el otoño de 2010. Estudios realizados en esa época (Núñez, 2011), con un modelo de acuífero único y flujo subhorizontal, indicaron que el río Guadiana era perdedor, aunque con conexión hidráulica con el acuífero (según el resultado de sus análisis hidroquímicos). Utilizando los mismos criterios piezométricos (con datos obtenidos en el Sistema Integrado de Información del Agua

del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, y por los propios autores), la aportación de las aguas subterráneas al río podría haberse producido ya desde principios de 2011 (Fig. 2).

En todo este período, la circulación de agua por el Guadiana hacia Las Tablas de Daimiel ha sido vista como un criterio de recuperación del sistema acuífero regional, y la opinión pública local ha realizado un seguimiento, casi a tiempo real, utilizando todos los procedimientos de información actuales. A partir de esta información, se puede seguir la aparición de salidas de agua de posible origen subterráneo en algunos tramos del Guadiana y la llegada del Azuer a Las Tablas por primera vez en 30 años, en otoño de 2011 e invierno de 2012,

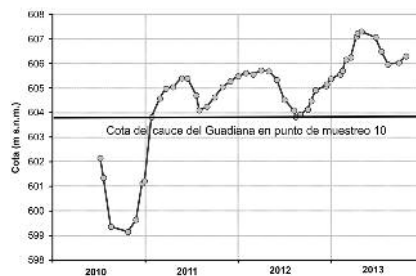


Fig. 2.- Evolución de la cota del agua subterránea entre 2010 y 2013 en el punto de muestreo 2.
Fig. 2.- Evolution of groundwater elevation in the sampling point 2, from 2010 to 2013.

a pesar de tratarse de un período excepcionalmente seco. Del mismo modo, a finales de 2012, y sin contribución del Azuer, se observan manaderos y un flujo de agua por el Guadiana, prueba de la existencia de salidas subterráneas, quizá de flujo profundo, aguas abajo de la desembocadura del Azuer. Al contrario que en años anteriores, durante 2013, cuya primavera ha sido especialmente húmeda, la entrada de agua a Las Tablas ha sido continua, aunque durante una gran parte del tiempo, el Azuer ha estado circulando. La descarga subterránea en un pequeño tramo del Guadiana, donde se sitúan los puntos 8 y 9 de la figura 1 se ha medido en 200 l/s, en octubre de 2013, y en 380 l/s, en diciembre de ese mismo año (<http://www.daimiel.es/ptr/vista/vptr002/post.html?D.k=2902783>).

El objetivo de este trabajo ha sido caracterizar los componentes mayoritarios del agua del río Guadiana y de sus cambios espaciales y temporales, de gran importancia para los ecosistemas acuáticos del Parque, en este contexto de estado *cuasinatural* de aportes hídricos, similar al que ocurría antes de la década de 1970.

Muestreos y análisis

Para el control y la caracterización de la calidad química del río Guadiana, se han tomado muestras de agua en el propio río, así como en sus posibles orígenes (río Azuer y piezómetros del entorno) y destinos (entrada del Guadiana al Parque Nacional y manaderos).

Se han tomado muestras en 10 puntos (Fig. 1): 4 en el Guadiana (3 aguas abajo de la confluencia con el Azuer y 1 entre este punto y los Ojos del Guadiana), 1 en el río Azuer en Daimiel, 1 en Las Tablas de Daimiel, en el entorno del Molino de Molemoch, y 4 en piezómetros representativos del acuífero terciario. Una de las muestras (número 9 de la figura 1, se tomó directamente en la salida de un manantial al cauce del Guadiana).

Los muestreos se han realizado en 5 fechas. Cuatro de ellas (diciembre de 2012 y marzo, junio y septiembre de 2013), corresponden a muestreos estacionales, y en otra (febrero de 2013) sólo se tomaron muestras de aguas superficiales. En diciembre de 2012 y septiembre de 2013, el río Azuer no circulaba entre Daimiel y su confluencia con el Guadiana, mientras que en el resto de los muestreos sí lo hacía.

Punto	n	C.E. (µS/cm)				Cl ⁻ (mg/l)				SO ₄ ²⁻ (mg/l)				HCO ₃ ⁻ (mg/l)				NO ₃ ⁻ (mg/l)								
		Max	Min	Media	CV	n	Max	Min	Media	CV	n	Max	Min	Media	CV	n	Max	Min	Media	CV	n	Max	Min	Media	CV	
1	S	4	805	671	729	0,09	4	108	59	83	0,32	4	104	80	88	0,13	4	257	196	224	0,14	4	70	27	48	0,48
2	S	4	3480	1226	1914	0,55	4	590	151	282	0,74	4	692	292	415	0,45	4	348	255	297	0,15	4	72	41	49	0,31
3	S	4	1631	1201	1460	0,14	4	187	123	147	0,20	4	632	412	490	0,20	4	267	197	224	0,14	4	130	38	79	0,52
4	S	4	1896	1638	1760	0,07	4	232	197	220	0,07	4	552	458	512	0,08	4	426	318	373	0,13	4	37	28	32	0,12
5	A	3	1298	1056	1137	0,12	3	90	55	72	0,24	3	480	384	441	0,11	3	196	136	166	0,26	3	16	11	14	0,20
6	T	4	1815	1301	1544	0,15	4	126	78	105	0,20	4	972	556	717	0,25	4	266	199	246	0,13	4	16	4	11	0,53
7	G	4	3610	3100	3470	0,07	4	78	63	71	0,10	4	1840	1080	1398	0,23	4	404	330	376	0,09	4	320	4	116	1,22
8	G	5	1551	1066	1294	0,14	5	89	56	73	0,16	5	696	456	552	0,16	5	374	183	263	0,31	5	40	12	22	0,50
9	G	1	1177	1177	1177		1	72	72	72		1	494	494	494		1	280	280	280		1	44	44	44	
10	G	5	1487	1123	1351	0,10	5	94	59	83	0,17	5	704	456	575	0,17	5	322	215	269	0,17	5	32	17	24	0,27

S = Aguas subterráneas, A = Azuer en Daimiel, T = Tablas de Daimiel en Molemocho, G = Cauce del Guadiana

Tabla I.- Valores de referencia de aniones y conductividad eléctrica en los puntos muestreados en el Guadiana y sus proximidades entre diciembre de 2012 y septiembre de 2013 (n = número de muestras; Máx = Valor máximo; Min = Valor mínimo; CV = Coeficiente de Variación).

Table I.- Reference values for anions and electrical conductivity in the sampled points in the Guadiana and its vicinity between December 2012 and September 2013 (n = number of samples, Max = maximum value, Min = minimum value, CV = Coefficient of Variation).

Todas las muestras se analizaron en el Laboratorio de Aguas del Instituto Geológico y Minero de España, y para su recogida y conservación se siguieron las recomendaciones de dicho laboratorio.

La caracterización de la composición química de las muestras se ha realizado con la ayuda de diferentes representaciones gráficas de los resultados analíticos, realizadas con la herramienta INAQUAS (Moreno y De la Losa, 2008).

Resultados

El análisis del conjunto de muestras indica que se trata de aguas de mineralización moderada, con conductividades eléctricas (Tabla I) en el mismo rango que las encontradas por Núñez (2011) cerca del punto 10 para las 4 muestras que analiza. Los mayores valores los proporcionan los piezómetros (a excepción del punto 1, el más oriental). Menores son los valores correspondientes a las aguas superficiales del tramo que transcurre por el Azuer y el Guadiana, existiendo un ligero incremento desde Daimiel a Las Tablas. El punto de mayor conductividad (punto 7) corresponde al encharcamiento muestreado aguas arriba de la desembocadura del Azuer, que no ha presentado conexión con las aguas superficiales, pese a encontrarse en el cauce del Guadiana, y sí un largo tiempo de contacto con los sedimentos aluviales, que en esa zona están muy alterados por la acción humana por intentos de desecación y explotación y quema de turbas, así como por la mayor exposición a la evaporación.

En cuanto a la composición general, analizada para las dos fechas más representativas, marzo y septiembre de 2013, mediante diagramas de Collins (Fig. 1), Piper, Schoeller-Berkaloff y Stiff, las aguas son sulfatadas cálcicas, excepto las aguas subterráneas, que son mixtas o, en el caso

del punto 1, bicarbonatadas cálcicas.

El catión predominante es el Ca²⁺ en todos los puntos, del que no se aprecian cambios considerables, salvo para el punto 7 (encharcamiento del Guadiana en Zua-corta), cuyas aguas son progresivamente más magnésicas.

En cuanto a los aniones, sí presentan cambios diferenciadores de los distintos tipos de agua (Tabla I), sobre todo en lo referente a sus valores relativos (Fig. 1). Así, representando las muestras en un diagrama Cl-SO₄-HCO₃ (Fig. 3) la mayor parte forman un grupo bastante homogéneo centrado en las muestras del Azuer en Daimiel (punto 5). Ese grupo lo forman las aguas del Guadiana situadas aguas abajo de la desembocadura del Azuer, y se incluyen también las aguas de entrada al Parque Nacional (punto 6).

La primera muestra de este punto 6 (Tablas de Daimiel aguas abajo del molino de Molemocho, en diciembre de 2012) es más sulfatada que el resto. Con el aporte continuo del Guadiana, gracias al Azuer, en este punto las aguas se vuelven ligeramente más bicarbonatadas y menos salinas, e iguales que el agua de entrada al Parque por ese

sector. Esta situación sería similar a la que ocurría cuando Las Tablas se encontraban en régimen *natural* (Sáez-Royuela, 1977).

Como se ha comentado, las aguas del Guadiana tienen una composición similar a la del Azuer aguas abajo de su confluencia, aunque son ligeramente más salinas.

Destaca el hecho de que las muestras tomadas en el Guadiana tienen valores aniónicos muy diferentes a las tomadas en los piezómetros, que se suponen típicas del sistema acuífero regional. En conjunto, las aguas de los piezómetros son muy diferentes entre sí y, las situadas al sur del Guadiana, variables en el tiempo. Los piezómetros más orientales (puntos 1 y 2), con composiciones y salinidades muy distintas, muestran, sin embargo, tendencia hacia el incremento relativo de cloruros (Fig. 3) en los últimos muestreos. Por otro lado, el punto más cercano al cauce del Guadiana (punto 3) presenta en algún muestreo (marzo 2013) una composición cercana a la de los puntos del Guadiana y, por lo tanto, semejante a la del Azuer, por lo que se puede suponer la entrada de aguas superficiales hacia el acuífero en esa época. El

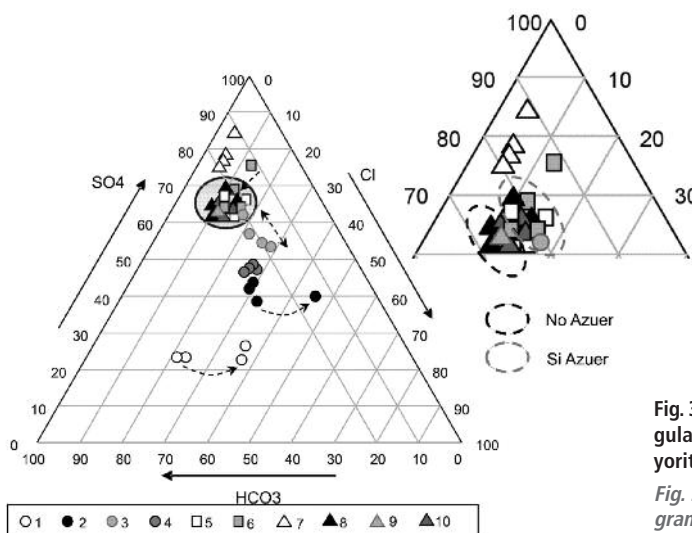


Fig. 3.-Diagrama triangular de aniones mayoritarios y detalle.

Fig. 3.- Triangular diagram of major anions and a detail.

punto más septentrional (punto 4) muestra, por el contrario, escasa variación en la conductividad eléctrica y en la composición química. Así pues, los resultados presentan unas aguas subterráneas de composición bastante heterogénea en el espacio y en el tiempo, que puede ser explicada por su situación en diferentes líneas de flujo en el acuífero, proximidad a zonas de recarga local o por variaciones locales de los materiales del sistema acuífero.

En cualquier caso, la composición de las aguas subterráneas de los piezómetros es muy diferente a la que se puede suponer que descarga en el Guadiana entre la desembocadura del Azuer y Molemocho, cuyas características aparentemente son muy similares a las del Azuer. Como explicación, se puede pensar en que el volumen aportado por el Azuer, en el espacio y en el tiempo, ha sido muy grande, recargando completamente los aluviales y el acuífero terciario en las proximidades del río y que, cuando no ha circulado, las aguas del Guadiana procederían fundamentalmente de las descargas de los aluviales y del terciario inmediato, en una especie de almacenamiento en ribera. También podría explicarse porque las aguas subterráneas descargadas al Guadiana procedan de líneas de flujo del acuífero terciario que atraviesen materiales muy distintos de aquellas que pasan por los piezómetros.

La mayor similitud entre las aguas de los piezómetros y las del Guadiana es su contenido relativamente elevado (aunque variable) en nitratos (Tabla I), mostrando la afección indirecta de las actividades humanas, seguramente las agrícolas. En este sentido, son de destacar los bajos contenidos encontrados en el Azuer en Daimiel, antes de su llegada al Guadiana, y en Las Tablas en Molemocho.

Conclusiones

Los resultados obtenidos, a partir de los datos de los componentes mayoritarios de las aguas del Guadiana y su entorno entre diciembre de 2012 y septiembre de 2013, han puesto de manifiesto que:

1. La llegada de agua del Guadiana ha modificado sensiblemente la composición del agua de Las Tablas en su zona de entrada al Parque

2. La composición química del agua del Guadiana está dominada por el agua del río Azuer, aguas abajo de su confluencia. Los

cambios que se aprecian en la composición del agua del cauce del Guadiana cuando no fluye el Azuer, son poco significativos.

3. Las aguas subterráneas del entorno del Guadiana muestran heterogeneidades significativas en su composición química, espacial y temporalmente. Estas variaciones pueden ser consecuencia de la posición de los puntos de muestreo en líneas de flujo de longitud distinta o que atraviesen materiales diferentes.

4. La composición química del agua subterránea de los piezómetros, menos sulfatada y ligeramente más salina, no parece influir en la del río Guadiana, ni tan siquiera como una mezcla con el agua del Azuer. En algún punto, es apreciable la entrada de aguas superficiales al acuífero más que una descarga de aguas subterráneas al río. La diferencia en los caminos recorridos por el agua cortada en los piezómetros y la que descarga en el Guadiana o un posible almacenamiento en ribera del agua del Azuer podrían explicar ese hecho. Este es un aspecto relevante del funcionamiento hidrogeológico del sistema acuífero y la interacción aguas superficiales-aguas subterráneas en el entorno del Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel que merece ser investigado con mayor profundidad en el futuro.

5. El agua muestreada en los encharcamientos del Guadiana aguas arriba de la desembocadura del Azuer es más salina y sulfatada que el resto de las muestras analizadas. El largo tiempo de residencia en un aluvial con materiales muy afectados por la actividad antrópica y que favorece la evaporación podría encontrarse entre sus posibles explicaciones.

Agradecimientos

Los resultados presentados han sido obtenidos durante la realización de los proyectos CGL2011-30302-C02-01 e IGCP 618. Covadonga Abascal Alonso, Emiliya Stoykova y Silvia Díaz Alcaide han participado en alguno de los muestreos presentados en este trabajo. Queremos mencionar también las facilidades dadas por el personal y la dirección del Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel durante el desarrollo de los trabajos realizados. Finalmente, los autores quieren agradecer los cambios propuestos por los revisores Javier Rodríguez Arévalo y Luis Martínez Cortina que han mejorado notablemente el trabajo.

Referencias

- Aguilera, H., Castaño, S., Moreno, L., Jiménez-Hernández, M.E. y De la Losa, A. (2013). *Hydrogeology Journal* 21, 623-641.
- Álvarez-Cobelas, M., Verdugo, M y Cirujano, S. (1996). En: *Las Tablas de Daimiel. Ecología acuática y sociedad* (M. Álvarez-Cobelas y S. Cirujano, Eds.). Organismo Autónomo de Parques Nacionales, Madrid, 23-29.
- Álvarez-Cobelas, M., Cirujano, S. y Sánchez-Carrillo, S. (2001). *Biological Conservation* 97, 89-98.
- Berzas, J.J., García, L.F., Rodríguez, R.C. y Martín-Álvarez, P.J. (2000). *Water Resources* 34(12), 3161-3170.
- Castaño, S., De la Losa, A., Aguilera, H., Moreno, L. y Jiménez-Hernández, M.E. (2013a). En: *Las Tablas de Daimiel: Agua y sedimentos* (R. Mediavilla, Ed.). Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Serie Medio Ambiente, 14. Madrid. 59-86.
- Castaño, S., De la Losa, A., Díaz-Teijeiro, M.F., Rodríguez-Arévalo, J., Aguilera, H. y Martínez-Santos, P. (2013b). *Central European Geology* 56 (2-3), 251-258.
- Castaño, S., Mediavilla, R., Santisteban, J.I., De la Losa, A. y Martínez-Santos, P. (2013c). *Geogaceta* 54, 111-114.
- De la Losa, A., Aguilera, H., Jiménez-Hernández, E., Castaño, S. y Moreno, L. (2013). En: *Las Tablas de Daimiel: Agua y sedimentos* (R. Mediavilla, Ed.). Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Serie Medio Ambiente, 14. Madrid. 87-124.
- López-Camacho, B., de Bustamante, I., Dorado, M. y Arauzo, M. (1996). En: *Las Tablas de Daimiel. Ecología acuática y sociedad* (M. Álvarez-Cobelas y S. Cirujano, Eds.). Organismo Autónomo de Parques Nacionales, Madrid, 57-63.
- Mejías, M. y Martínez-Cortina, L. (2013). En: *Las Tablas de Daimiel: Agua y sedimentos* (R. Mediavilla, Ed.). Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Serie Medio Ambiente, 14. Madrid. 39-58.
- Moreno, L. y De la Losa, A. (2008). *INAQUAS: Utilidad para la interpretación de análisis químicos de aguas subterráneas*. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Madrid. 16 p.
- Núñez, J.L. (2011). *Análisis de la aparición de cuerpos de agua en el cauce del río Guadiana en la zona del Molino de Griñón y denominados "Nuevos Ojos"*. CHG, Madrid, 14 p.
- Sáez-Royuela, R. (1977). *Anales INIA Serie Recursos Naturales* 3, 101-149.
- Santisteban, J.I. y Mediavilla, R. (2013). En: *Las Tablas de Daimiel: Agua y sedimentos* (R. Mediavilla, Ed.). Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, Serie Medio Ambiente 14, 16-36.