

Variaciones de salinidad en Las Albuferas de Adra (Almería)

Salinity variations in the Adra lagoons (Almería, Spain)

J. Benavente Herrera ⁽¹⁾, N. El Amrani-Paaza ⁽²⁾ y M. Rodríguez Rodríguez ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Instituto del Agua de la Universidad de Granada. Ramón y Cajal, 4 (Edificio "Fray Luis de Granada"). 18071 Granada. E-mail: jbenaven@ugr.es

⁽²⁾ Departamento de Geología Aplicada. Facultad de Ciencias y Técnicas. Universidad Hassan 1^{er}. Settat (Marruecos)

ABSTRACT

Water level and water salinity (expressed as electrical conductivity, EC) of the two Adra lagoons—"Honda" and "Nueva"—have been periodically recorded during the years 1999 and 2000. EC was also measured in a number of open wells and shallow piezometers around the lagoons. Data obtained have been compared with previous EC measures, dating back to 1984. Salinity evolution in the lagoons is mainly conditioned by evaporation and rain-induced dilution effects. Evaporative concentration is comparatively less intense in the Nueva lagoon, due to its higher water storage. Dilution is more effective in the Honda lagoon because of the incidence of sporadic runoff which doesn't affect to the Nueva. Then, the range in EC variations is higher in the Honda than in the Nueva, and the seasonal evolution can show different trends during the normal hydroperiod. As an average, the salinity in both lagoons is fairly similar to that of the shallow groundwater in the sector of the aquifer where the lakes are located (mean values of 3-7 mS/cm of EC). A trend has been identified of increasing salinity with the vicinity of the sea shore. This is in agreement with geophysical data which suggest the existence of brackish connate waters in recent littoral sediments below the lagoons.

Key words: lagoons, water salinity, wetland hydroperiod, concentration and dilution, hydrochemistry, coastal aquifer.

Geogaceta, 33 (2003), 11-14
ISSN:0213683X

Introducción. Rasgos hidrogeológicos del área y objetivos

Las Albuferas de Adra, denominadas "Honda" y "Nueva", están situadas en el extremo oriental del acuífero del delta de Adra, al oeste de la provincia de Almería (Fig. 1A), un área de clima netamente semiárido. El paraje donde se ubican se encuentra en las inmediaciones del núcleo urbano de El Puente del Río, al sur de la carretera N-340 y a poca distancia de la costa (Fig. 1B). La cota de este paraje se sitúa entre 0 y 2 m sobre el nivel del mar. La profundidad máxima identificada en ambas lagunas está entre 3 y 4 m (Rodríguez Rodríguez, 2002). Las superficies aproximadas ocupadas por agua libre en cada laguna son 24 ha en la Albufera Nueva y 7 ha en la Albufera Honda.

Desde Junio de 1989, y en virtud básicamente de su interés ornitológico, estas lagunas y sus estrechas orlas de vegetación hidrófila son objeto de protección medio-ambiental por la legislación de la Comunidad Autónoma de Andalucía bajo la figura de Reserva Natural. A ello hay que añadir la Zona de Protección estable-

cida entre la carretera N-340 y el borde litoral (AMA, 1991), como se representa en la figura 1C.

La génesis de estas albuferas está determinada fundamentalmente por factores relacionados con la dinámica litoral y el régimen del río Adra. Concretamente, con una corriente de deriva paralela a la costa que facilita el movimiento de materiales arrastrados por el río en su desembocadura. Estos factores, a su vez, están influidos por modificaciones antrópicas recientes (Jabaloy, 1984; Martínez Vidal y Castro, 1990).

Las Albuferas de Adra se desarrollan básicamente sobre dos tipos de materiales (Martínez Vidal y Castro, 1990): (1) arenas con niveles de gravas, de origen marino litoral, que forman las barras arenosas que individualizaron las lagunas salinas iniciales, y (2) limos fangosos que constituyen el fondo de las zonas ocupadas por las masas de agua. Esto se ha podido corroborar mediante técnicas geofísicas, que han puesto también de manifiesto la existencia de aguas mayoritariamente salobres entre las lagunas y el borde costero, con una tendencia

de aumento de la salinidad hacia éste (Benavente y Rodríguez Rodríguez, 2000).

Desde el punto de vista hidrológico, la albufera Nueva no se encuentra conectada con ningún curso de agua, aunque en ella desembocan dos canales de riego procedentes del río Adra. Por el contrario, en la albufera Honda desembocan algunas ramblas (la principal es la rambla de la Estanquera), que alcanzan la laguna en su extremo noroeste, y también un canal de riego.

Desde mediados de la pasada década de los ochenta se han efectuado estudios hidroquímicos con distintos enfoques en Las Albuferas y su entorno hidrogeológico (Del Río, 1986; Pulido *et al.*, 1988; Martínez Vidal y Castro, 1990; El Amrani-Paaza, 1997; Rodríguez Rodríguez, 2002). El funcionamiento hidrogeológico del acuífero es aceptablemente conocido y los principales componentes de su balance en condiciones medias han sido cuantificados (ITGE-JA, 1998). Se sabe así que el río Adra constituye su recarga mayoritaria, tanto por infiltración directa en el cauce como a partir de una densa

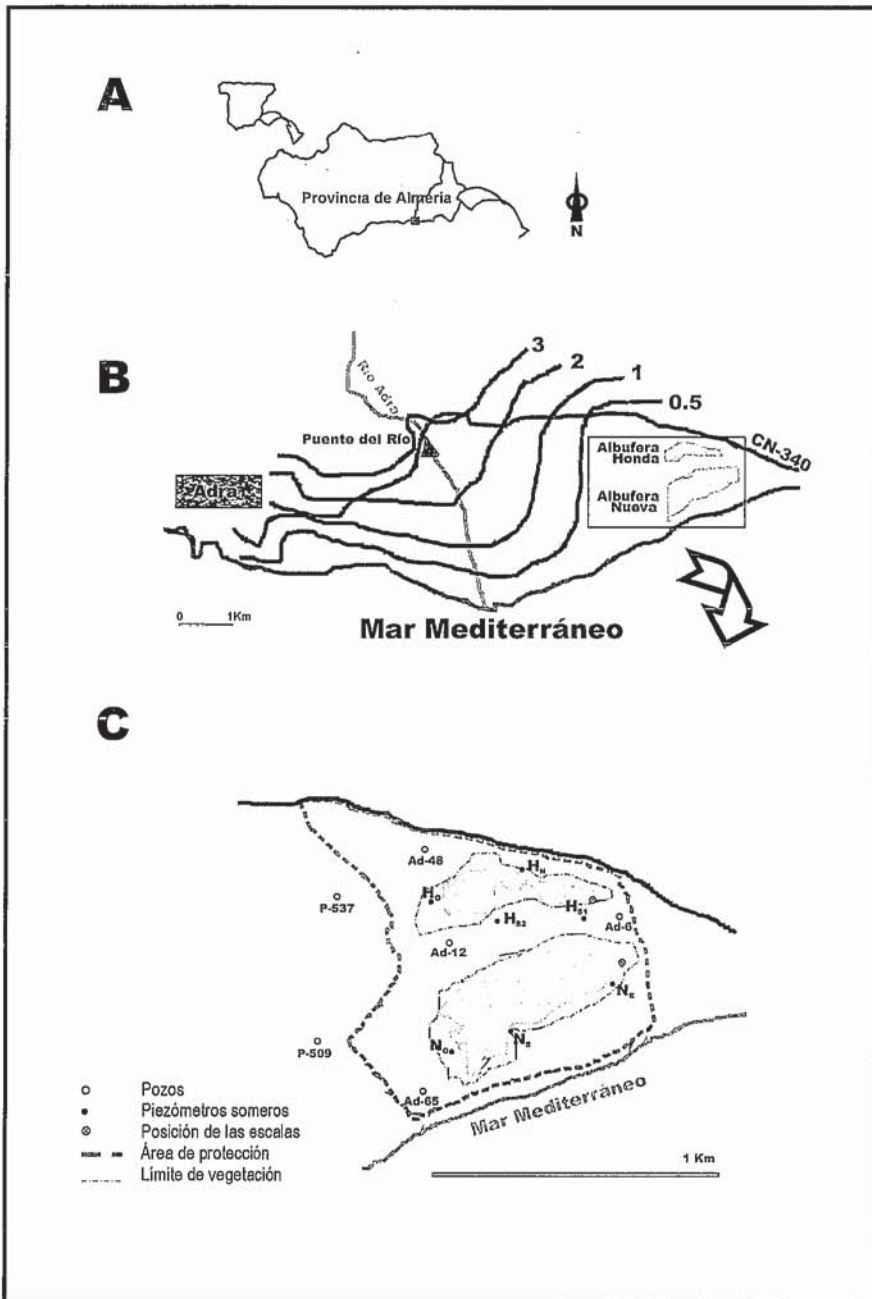


Fig. 1.- Localización general (A) y situación de Las Albuferas (B), con indicación de algunas curvas isopiezas –valores en m s.n.m.- del acuífero del delta de Adra (ITGE-JA, 1998). C: Detalle de la zona de estudio; características y situación de la infraestructura de adquisición de datos.

Fig. 1.- General location (A), and situation of Las Albuferas (B); some isopotentiometric lines – values in m a.s.l.- of the Adra deltaic aquifer are indicated (ITGE-JA, 1998). C: Detailed sketch of the study area, showing characteristics and situation of the data acquisition framework.

red de acequias de riego. Las extracciones del acuífero, fundamentalmente para regadío, representan el 65 % de los recursos medios.

La morfología de la superficie piezométrica del acuífero aguas abajo de El Puente del Río no ha experimentado modificaciones significativas desde principios de los noventa (ITGE-JA, 1998) y se esquematiza en la figura 1B. La amplitud de las variaciones del nivel freático en

el entorno de Las Albuferas es del orden del metro. Se comprueba en la figura 1B que el flujo subterráneo en el acuífero del delta se produce preferentemente hacia el mar, lo que también corroboran los datos de balances hídricos. También hay flujo hacia el extremo oriental, donde se localizan Las Albuferas, aunque probablemente representa una fracción minoritaria del que se produce a lo largo del borde costero restante (0,3

hm³/año frente a unos 5 hm³/año, según valores medios aproximados tomados de Benavente, 2002).

En el presente trabajo se presentan datos de salinidad de las albuferas de Adra y del río Adra obtenidos en una investigación reciente (años 1999 y 2000) y se comparan con otros obtenidos en trabajos previos, entre los que se incluyen también los datos de una serie de pozos del entorno de las lagunas. Asimismo, se considera la información procedente de las medidas del nivel de agua en las albuferas a lo largo del citado periodo. En la fase de investigación reciente se han realizado una serie de piezómetros someros, de menos de 3 m de profundidad en su mayoría, en la orla perimetral de las albuferas y en ellos también se han efectuado medidas de salinidad en los años 2000 y 2001. En la figura 1C se esquematiza la infraestructura de control considerada en este trabajo. Todos los valores se han medido por los autores de este trabajo, o bajo su supervisión, en distintas campañas entre los años 1984 y 2001. Existen más datos de conductividad de aguas del área en otros trabajos, aunque no se han incluido en el presente análisis al no haber garantía de que los instrumentos, procedimientos o emplazamientos de medida sean semejantes.

Resultados y discusión

En la tabla 1 se presentan los principales estadísticos correspondientes a valores seleccionados de conductividad eléctrica del agua del río Adra, de las dos albuferas y de una serie de pozos abiertos del entorno, cuya situación se indica en la figura 1C. Las aguas del río Adra son, según dicha tabla, las de menor salinidad de las estudiadas. Su conductividad varía aproximadamente entre 1,7 y 2,5 mS/cm. La infiltración de estas aguas en el acuífero y su flujo a través de él inducen un incremento en la mineralización, básicamente debido a la interacción agua-roca y a la concentración por evapotranspiración que afecta al retorno de riegos, efecto que se manifiesta más intensamente en la mitad oriental del acuífero (El Amrani-Paaza *et al.*, 1994; El Amrani-Paaza, 1997).

Las aguas del acuífero en el entorno de Las Albuferas presentan, según las medidas en pozos (tabla 1), valores medios de conductividad entre aproximadamente 2,5 y 4,5 mS/cm. En los piezómetros someros de los bordes de las lagunas el número de medidas por punto varía de 6 a 9, según los casos. En los situados al norte y oeste de la albufera Honda (H_N y H_O) se han obtenido valores me-

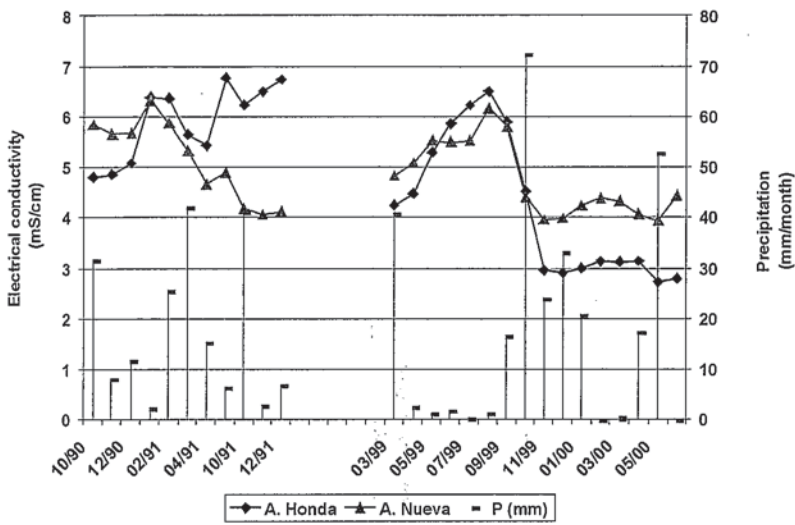


Fig. 2.- Evolución en un periodo largo de valores seccionados de la CE de las dos albuferas

Fig. 2.- Long-term evolution of selected EC values of the two lagoons

dios en el rango entre 6 y 8 mS/cm. Estos valores, sin embargo, se consideran anómalos, pues en el primero de estos puntos el agua mostraba evidencias de color y olor que sugieren procesos de descomposición de materia orgánica; en el segundo punto se acusa con toda probabilidad la influencia de una charca adyacente producida a partir de una avenida de la rambla de La Estanquera. Es por ello que muestran una salinidad sensiblemente distinta a la del punto Ad-48, situado en su proximidad (2,7 mS/cm de media, tabla 1). En los dos piezómetros situados al sur de la albufera Honda (H_{S1} y H_{S2}), se registran valores medios entre 3 y 4 mS/cm, similares a los medidos en los pozos de ese sector: Ad-6 y Ad-12. En los tres piezómetros restantes, situados a lo largo del borde meridional de la albufera Nueva, se obtienen valores medios entre 4,5 y 6,5 mS/cm, congruentes con las medidas en el cercano pozo Ad-65 (tabla 1 y Fig. 1C).

De lo anterior se desprende que (exceptuando las anomalías apuntadas) las aguas subterráneas someras en el entorno de las albuferas presentan conductividades que, como media, están en el rango entre 2,5 y 6,5 mS/cm. La tendencia general es de aumento en esta variable a medida que se consideran puntos más cercanos al borde litoral, lo que está en concordancia con los resultados geofísicos antes mencionados (Benavente y Rodríguez Rodríguez, 2000). Esto puede reflejar el lavado poco efectivo de aguas congénitas de sedimentos litorales recientes por parte del escaso flujo subterráneo hacia esta sección del borde costero.

En la figura 2 se representa la evolución de valores de conductividad en las dos albuferas durante los periodos en los que las medidas se realizaron con mayor frecuencia: años 1990-1991 y 1999-2000. Se incluyen también las precipitaciones mensuales, de las que cabe destacar las sucedidas en el mes de octubre de 1999, asociadas a las cuales se constató la generación de escorrentía en las ramblas. Se aprecia que los periodos relativamente prolongados sin apenas precipitaciones (como fue el caso entre mayo y septiembre de 1999) llevan asociados incrementos significativos en la conductividad de las aguas de las lagunas debido al efecto de la evaporación. Después de precipitaciones concentradas, como las de finales de 1999, se advierte un descenso rápido de conductividad. Este descenso es más intenso en la albufera Honda, debido al efecto de la escorrentía de las ramblas que no afecta a la albufera Nueva.

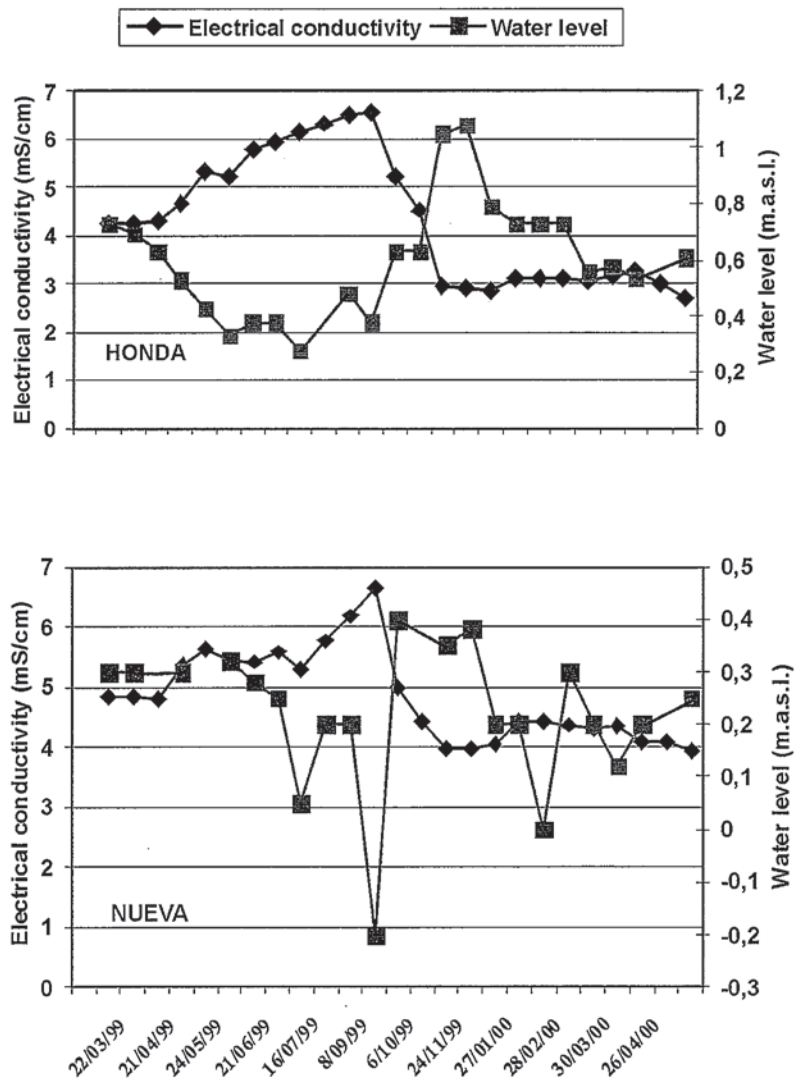


Fig. 3.- Variaciones estacionales de la CE y del nivel de agua en cada albufera

Fig. 3.- Seasonal variations of EC and of water level in each lagoon

	Río Adra	A. Honda	A. Nueva	Ad6	Ad12	Ad48	Ad65
N	10	39	39	5	5	5	5
MEAN	2232	4688	4938	3220	3380	2720	4480
MIN	1750	2720	3940	2600	3000	2300	4000
MAX	2490	6770	6650	4100	3900	2900	4900
STD	219	1388	740	492	319	214	331
C.VAR(%)	10	28	17	15	9	8	7

Tabla I.- Resumen estadístico de valores de CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en el río Adra, las dos albuferas y una serie de pozos en su entorno (Martínez Vidal y Castro, 1990; El Amrani-Paaza, 1997; Rodríguez-Rodríguez, 2002)

Table I.- Statistical summary of EC values ($\mu\text{S}/\text{cm}$) of the Adra River, the two lagoons and a number of nearby open wells (Martínez Vidal y Castro, 1990; El Amrani-Paaza, 1997; Rodríguez-Rodríguez, 2002)

En ciertos lapsos de tiempo representados en la figura 2 (como es buena parte de 1991 y el verano de 1999) se advierte una inversión respecto a la tendencia general, de manera que la conductividad en la albufera Honda es mayor que en la Nueva. Este hecho ya fue puesto de manifiesto por Del Río (1986), entre abril y septiembre de 1985, período del año en el que los procesos de evaporación se hacen más intensos. La concentración por este efecto debe afectar en mayor grado a la albufera Honda, que almacena un volumen de agua significativamente inferior a la Nueva. Esta circunstancia ha sido también comprobada mediante modelización hidroquímica (El Amrani-Paaza *et al.*, 1996).

Se aprecia, tanto en la figura 2 como en la tabla 1, que el rango de variación de la conductividad es mayor en la albufera Honda (aproximadamente entre 3 y 7 mS/cm) que en la Nueva (entre 4 y 6,5 mS/cm). El valor medio es, sin embargo, ligeramente más alto en la laguna más próxima al mar (tabla 1). Son cifras, en todo caso, del mismo rango que las de las aguas subterráneas en el sector del acuífero en que se ubican las dos lagunas.

En los dos gráficos de la figura 3 se incluyen las evoluciones del nivel de agua libre en cada laguna junto a los valores de conductividad. Se aprecia en ambos la evolución general opuesta entre conductividad y cota del agua de las lagunas, que traduce los efectos de concentración y dilución antes apuntados. Las irregularidades en la gráfica del nivel en la albufera Nueva deben ser imputables, además de a posibles errores en las medidas, a la mayor incidencia del viento en las lecturas limnimétricas. En la Honda la evolución refleja más netamente el efecto

del descenso estival y el ascenso relacionado con las precipitaciones de noviembre de 1999. La amplitud de las oscilaciones de nivel registradas es de aproximadamente 0,8 m en la albufera Honda y algo menos en la Nueva.

Conclusiones

La salinidad del agua de Las Albuferas de Adra no difiere significativamente de la del agua subterránea somera del sector del acuífero en que se ubican, caracterizada por valores de conductividad eléctrica entre aproximadamente 3 y 7 mS/cm. La salinidad del acuífero en el sector donde se localizan las albuferas aumenta hacia el borde costero. Esto puede ser debido a la existencia de aguas salobres o salinas congénitas de sedimentos litorales recientes y al relativamente escaso flujo subterráneo del acuífero hacia el mar en ese sector.

La evolución de la salinidad en cada albufera es opuesta a la de la cantidad de agua almacenada en las mismas, lo que refleja los efectos de la concentración por evaporación y de la dilución por precipitaciones. Estos efectos no actúan de forma similar en las dos lagunas, pues la dilución tras precipitaciones es mayor en la albufera Honda, debido a que recibe aportaciones de flujo superficial esporádico (ramblas) que no alcanzan a la otra laguna. La concentración evaporativa también afecta en mayor grado a la albufera Honda, debido a la menor cantidad de agua que almacena. Es por ello que, aunque su salinidad media no difiere apenas (entre 4,5 y 5 mS/cm), el rango de las variaciones de salinidad es mayor en la albufera Honda que en la Nueva. Otra consecuencia es que durante los estiajes la albufera Hon-

da tiende a superar la salinidad de la Nueva, mientras que en periodos de mayor pluviosidad la tendencia sería opuesta.

Agradecimientos

Trabajo realizado en el marco del Proyecto UE-LIFE B4-3200/98/458. Se agradece a la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía la colaboración prestada, así como al resto del personal del Instituto del Agua participante en el Proyecto, con una especial mención para Anke Hermans, becaria "Erasmus" de la Universidad de Gante (Bélgica). La participación de uno de los autores (N. EA-P.) ha sido posible merced a las ayudas concedidas por la Agencia Española de Cooperación Internacional (Programa Interuniversitario Hispano-Marroquí).

Referencias

- AMA (1991): *Guía de Espacios Naturales de Andalucía*. Ed. Incafo, Madrid. 192 p.
- Benavente, J. (2002): En: *Agricultura y medio ambiente en el entorno de Albuferas de de Adra* (Nevado, J.C. y Paracuellos, M. coords.), 65-75. Ed. Consejería Medio Ambiente. J.A. Almería.
- Benavente, J. y Rodríguez Rodríguez, M. (2000). *Geogaceta*, 29, 23-26.
- Del Río, M.T. (1986): *Tesis Doctoral Universidad de Granada*, 340 p.
- El Amrani-Paaza, N. (1997): *Tesis Doctoral Universidad de Granada*, 292 p.
- El Amrani-Paaza, N.; Benavente J. y Cruz-Sanjulián, J.J. (1994), *Boletín Geológico y Minero*. 105-3, 478-484.
- El Amrani-Paaza, N.; Benavente J. y Cruz-Sanjulián, J.J. (1996): *Wetlands: a multiapproach perspective* (J. Cruz-Sanjulián y J. Benavente, eds.): 69-79. Univ. de Granada.
- ITGE-Junta de Andalucía (1998): *Atlas hidrogeológico de Andalucía*. 216 p.
- Jabaloy, A. (1984): *Actas I Congreso Español de Geología*, t. 1, 523-534. Segovia.
- Martínez-Vidal, J.L. y Castro, H. (coords.) (1990): *Las Albuferas de Adra (estudio integral)*. Col. Investigación, 9 (Instituto de Estudios Almerienses). 315 p.
- Pulido, A.; Benavente, J. y Morales, G. (1988): *Estudios Geológicos*, 44, 429-443.
- Rodríguez Rodríguez, M. (2002): *Tesis Doctoral Universidad de Granada*. 205 p.