

# Estudio de la evolución de un humedal en una región semiárida mediante SIG. El caso de la Cañada de las Norias (Campo de Dalías, SE España)

*Study of wetland evolution in a semiarid region using GIS. Case of Cañada de Las Norias (Campo de Dalías, SE Spain)*

L. Daniele <sup>(1)</sup>, A. Pulido Bosch <sup>(1)</sup>, A. Vallejos <sup>(1)</sup>, K. Murray <sup>(2)</sup> y L. Molina <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Departamento Hidrogeología, CITE II-B Carretera Sacramento s/n Universidad de Almería, 04120 Almería (daniele@ual.es, apulido@ual.es, avallejo@ual.es, lmolina@ual.es)

<sup>(2)</sup> Universidad de Texas en San Antonio, Texas (USA), Kyle.Murray@utsa.edu

## ABSTRACT

The continuous elevation of the water level in the Cañada de Las Norias pools provokes a significant flood hazard on one quarter of Las Norias and the greenhouses in the area. Because of the flood hazard the government created a drainage system that includes a pumping station with a capacity of 135 l/s and a conduction of 7,26 km for the drainage of the pool. While the water level is generally rising, measurements by the agricultural department show that the water level has decreased 12.5 cm since October 2003. This work presents a GIS application to estimate the variation of wetland water volume and the rate of discharge from Balerma-Las Marinas aquifer by means of orthophotos and piezometric measures.

**Key words:** artificial wetland, piezometric level, ArcGIS 9.0™

Geogaceta, 41 (2007), 63-66  
ISSN: 0213683X

## Introducción

El humedal de la Balsa del Sapo se localiza en el acuífero de Balerma-Las Marinas, que pertenece al sistema Sierra de Gádor-Campo de Dalías, en la provincia de Almería. Ocupa un área endorreica, entre El Ejido y La Mojenera, y se origina a partir de una gran excavación de la que se extraen limos y arcillas, que se utilizan como suelos en la construcción de nuevos invernaderos (Fig. 1). De acuerdo con la Convención Ramsar es clasificado como un humedal artificial. La topografía lo delimita con forma cerrada.

En realidad se trata de dos áreas húmedas independientes, separadas por un camino vecinal y consideradas como inundables por las autoridades competentes ya que ocupan un área deprimida. Estas dos áreas se encuentran a distinto nivel, siendo la cota de la zona húmeda oriental un metro más alta con respecto a la zona occidental. Las características fundamentales de este humedal son las siguientes: distancia mínima a invernaderos o construcciones, 3 m; perímetro balsa, 10.014 m; longitud máxima, 2.925 m; anchura máxima, 960 m; superficie máxima del humedal, 1.194.000 m<sup>2</sup>; superficie tratada con vegetación, 170.000 m<sup>2</sup> (B.O.E. n.º 42 del 18/02/2000).

Los humedales que dependen del agua subterránea manifiestan una gran diversidad de formas, circunstancias,

salinidades y fauna. Sin embargo, son escasas las publicaciones dedicadas a estos humedales, así como las que se centran en sus características y funcionamiento.

En este trabajo se pretende estimar los aportes que este humedal recibe de su principal fuente de alimentación, el acuífero de Balerma-Las Marinas y el volumen de agua almacenado. Para lograr estos objetivos se han usado fotos aéreas y datos de piezometría recogidos entre los años 1984 y el 2001. El análisis de los datos ha sido realizado mediante el Sistema de Información Geográfica ArcGIS 9.0™.

## Marco hidrogeológico

El humedal se encuentra en la parte central del Campo de Dalías y es alimentado principalmente por las aguas subterráneas de la unidad hidrogeológica de Balerma-Las Marinas. Esta unidad es la de mayor extensión de todo el Campo de Dalías. Ocupa unos 225 km<sup>2</sup> de superficie y se desarrolla a todo lo largo de la llanura litoral en la parte central del Campo.

El material acuífero que define esta unidad está esencialmente constituido por calcarenitas pliocenas, con espesores que

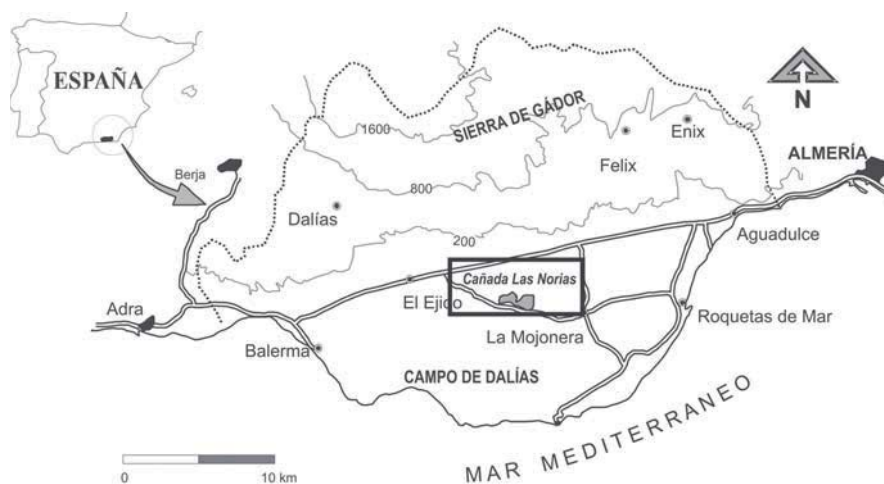


Fig. 1.- Localización del área de estudio

Fig. 1.- Location of the study area

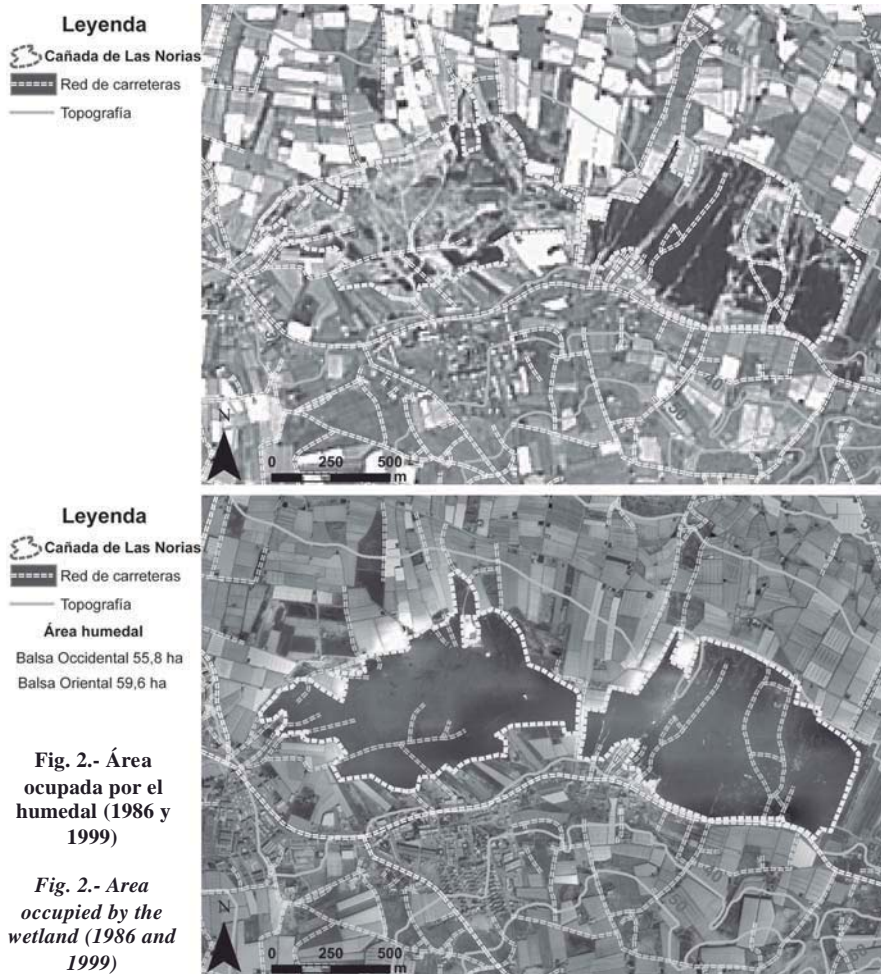


Fig. 2.- Área ocupada por el humedal (1986 y 1999)

Fig. 2.- Area occupied by the wetland (1986 and 1999)

pueden alcanzar 120 m. A éstas se asocian algunos depósitos cuaternarios también con comportamiento acuífero. El espesor de estas calcarenitas decrece, en general, de norte a sur, aumentando a la vez la proporción en elementos terrígenos. El muro impermeable del acuífero lo forman margas grises pliocenas cuyo espesor puede alcanzar 700 m. Dado que existe un paso gradual desde las calcarenitas a las margas, el cambio de permeabilidad es

igualmente progresivo. Si bien el borde meridional está representado por el mar Mediterráneo, en ningún punto las calcarenitas están en contacto con el mar. Pulido Bosch *et al.* (2000) afirman que en las condiciones hidrodinámicas actuales, el potencial hidráulico es mayor en esta unidad que en las confinantes y se produce una descarga hacia ellas.

En relación con la piezometría, en la década de los 80 la mayor parte de la uni-

dad presentaba valores superiores a los 5 m s.n.m (IGME, 1982). Hacia el norte se registraban los valores más altos; más de 40 m al oeste de La Mojonera y 30 m en los alrededores de El Ejido. En este informe, los autores delinean un gran conoide en la zona más occidental, Onáyar, con valores de hasta -20 m s.n.m. Posteriormente este conoide, aunque mucho menos profundo, sigue detectándose (Pulido-Bosch *et al.*, 1989) hasta que en septiembre de 1991 se registra una recuperación de los niveles que alcanza los 5 m s.n.m. (Molina, 1998). Tal recuperación está asociada con el abandono de los bombeos y el retorno de agua de regadío procedente de los sondeos que captaban materiales carbonatados alpujárrides. En definitiva se puede decir que esta unidad presenta un aumento, más o menos continuado, de los niveles o una estabilización de los mismos.

González *et al.* (2003) estiman una disminución en los bombeos, de 18 a 9 hm<sup>3</sup>/año entre 1981 y 1993, estabilizándose este valor de bombeo en menos de 10 hm<sup>3</sup>/año hasta el año 1998/1999. Esta disminución está asociada a un empeoramiento de la calidad del agua y al consecuente abandono de las extracciones. Datos del mismo organismo, relativos al periodo 1986/1987 (ITGE, 1989) estiman el total de las entradas en 27.5 hm<sup>3</sup> y el total de las salidas en 26 hm<sup>3</sup>. La unidad hidrogeológica, en la cual se encuentra el humedal estudiado, muestra en definitiva un balance positivo y próximo al equilibrio.

**Resultados y discusión**

La primera etapa de este trabajo ha sido la comparación entre ortofotografías de diferentes años. Hemos trabajado con ortofotos del vuelo del Olivo (MAPA, 1999) y con las imágenes SPOT de 1986

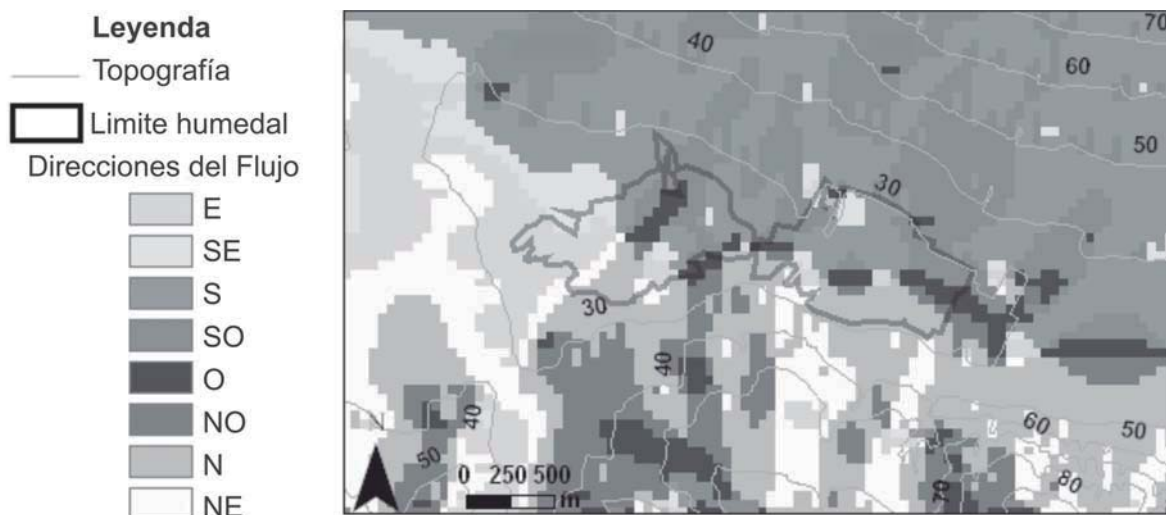


Fig. 3.- Mapa de dirección del flujo

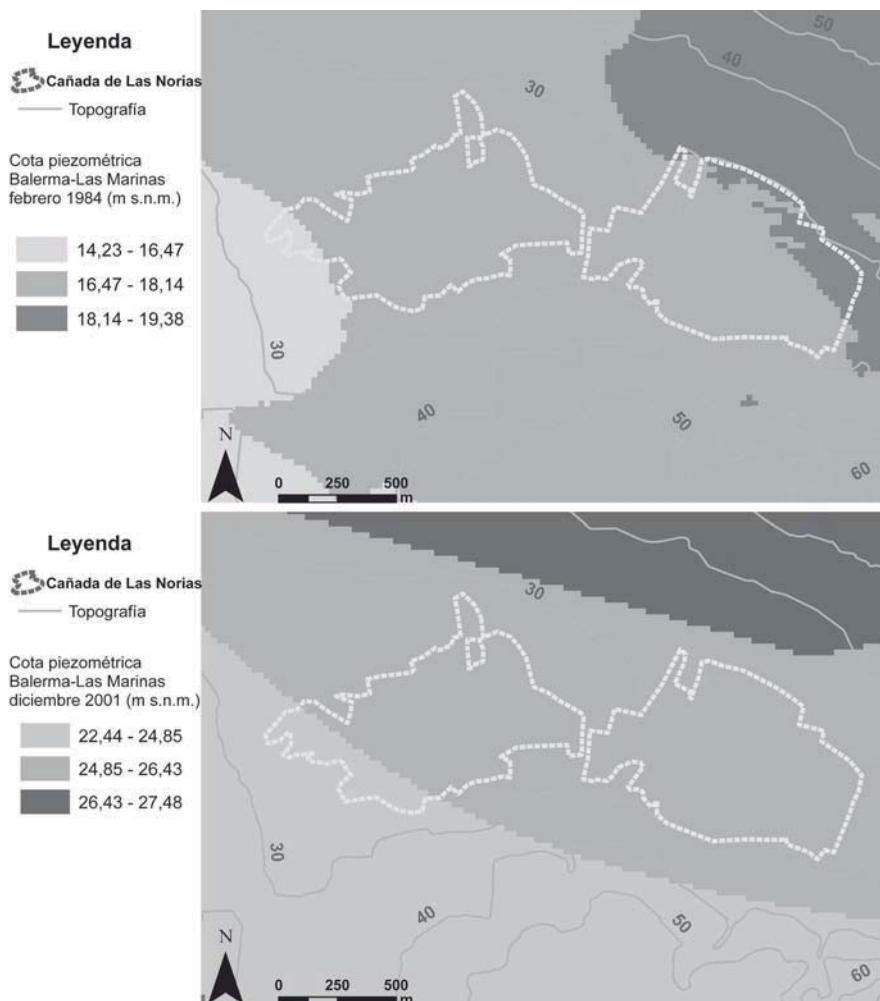
Fig. 3.- Map of the flow direction

de la Junta de Andalucía. Todos los tratamientos, variográficos y geoestadísticos, han sido realizados mediante el módulo Geostatistical Analysis (ArcGIS 9.0, ESRI).

Comparando las imágenes se observa de inmediato que la balsa occidental está prácticamente vacía con respecto a la imagen de 1999 (Fig. 2). Se dibuja el perfil sobre la foto más reciente y se observa que encajan con el área de extracción de áridos de los años 80-90, que se puede observar en la imagen más antigua. Se procede al cálculo de las dimensiones de las balsas y se obtienen valores de 55,8 ha y de 59,6 ha y perímetros de 4951 m y 4062 m, para la balsa occidental y oriental, respectivamente. Desde el punto de vista topográfico ambas están rodeadas por una curva de nivel cerrada de cota igual a 30 m s.n.m. y en el mapa de dirección de flujo se observa como la orientación de las celdas corroboran la presencia de un área de acumulación (Fig. 3).

Se han seleccionado puntos acuíferos pertenecientes a la Unidad de Balerna-Las Marinas y se han calculado las superficies piezométricas de estimación mediante el algoritmo de cálculo del Krigeage Ordinario para Febrero de 1984 y Diciembre de 2001 (Fig. 4). Por el intervalo temporal elegido las superficies piezométricas elaboradas se superponen entre ellas y cubren el área de interés. Una vez adoptado el formato adecuado (*raster*), hemos podido aplicar cálculos de álgebra para obtener información derivada, como la diferencia de cota piezométrica entre los años considerados (Fig. 5) y el probable gradiente hidráulico característico del humedal. Este último valor se ha obtenido a partir de la superficie piezométrica del año 2001 (Fig. 4).

Finalmente, el caudal que el acuífero de Balerna-Las Marinas proporciona al humedal ha sido calculado aplicando la Ley de Darcy. En este caso se ha considerado el agua que pasa por la sección proporcionada por el perímetro del humedal y una altura igual a la altura media de la lámina de agua obtenida como diferencia entre las cotas piezométricas de 1984 y 2001 ya que no se dispone de información batimétrica de estos humedales. La variación obtenida oscila entre 6,8 m y 8,8 m (Fig. 5) y su valor medio ha sido considerado como profundidad media del humedal. Se ha considerado el fondo como límite impermeable y se han utilizado valores de transmisividad comprendidos entre 200-800 m<sup>2</sup>/día que se corresponden a valores medidos en sondeos que cortan las calcarenitas pliocenas al Este de Santa María del Águila (IGME, 1982). Todos los datos empleados en este cálculo se resu-



men en la Tabla 1. Para valores de  $T = 200$  m<sup>2</sup>/día y espesor de acuífero de 50 m, por ejemplo, se obtiene un valor de conductividad hidráulica ( $K$ ) de 4 m/día y un caudal de 465 m<sup>3</sup>/día para la balsa occidental y 127 m<sup>3</sup>/día para la balsa oriental. Por lo que respecta los volúmenes de agua almacenados se consiguen a partir de la altura de la lámina de agua y del área ocupada por los humedales. Pues así se obtienen volúmenes estimados de 4,3 hm<sup>3</sup> para la balsa occidental y de 4,6 hm<sup>3</sup> para aquella oriental, respectivamente.

Los datos obtenidos permiten esbozar los rasgos que diferencian las dos balsas. La balsa occidental, con menor área y mayor perímetro presenta un gradiente hidráulico mayor y un caudal que es cuatro veces mayor que el de la balsa oriental. Las dimensiones obtenidas mediante el SIG son ligeramente inferiores a las publicadas en el B.O.E. n° 42 (B.O.E., 18/02/2002) ya que las ortofotos usadas para el cálculo son de un año anterior al 2002.

## Conclusiones

Los métodos empleados han permitido calcular el volumen de agua que la unidad de Balerna-Las Marinas proporciona a este humedal antrópico. La tecnología SIG se revela de gran utilidad en estudios de recursos hídricos y permite obtener información importante sin el uso de muchos datos de partida. La comparación de las imágenes permite observar claramente el cambio que se ha producido en el área de estudio. El área de extracción de áridos corresponde con el humedal. Además, el mapa de dirección del flujo define el área como zona de acumulación, corroborando su naturaleza endorreica.

Los datos piezométricos han permitido estimar las superficies piezométricas del acuífero de Balerna-Las Marinas, principal fuente de alimentación de la Balsa del Sapo. Comparando los datos piezométricos de 1984 y de 2001 se observa que a lo largo de casi dos décadas los niveles piezométricos han subido entre 6,8

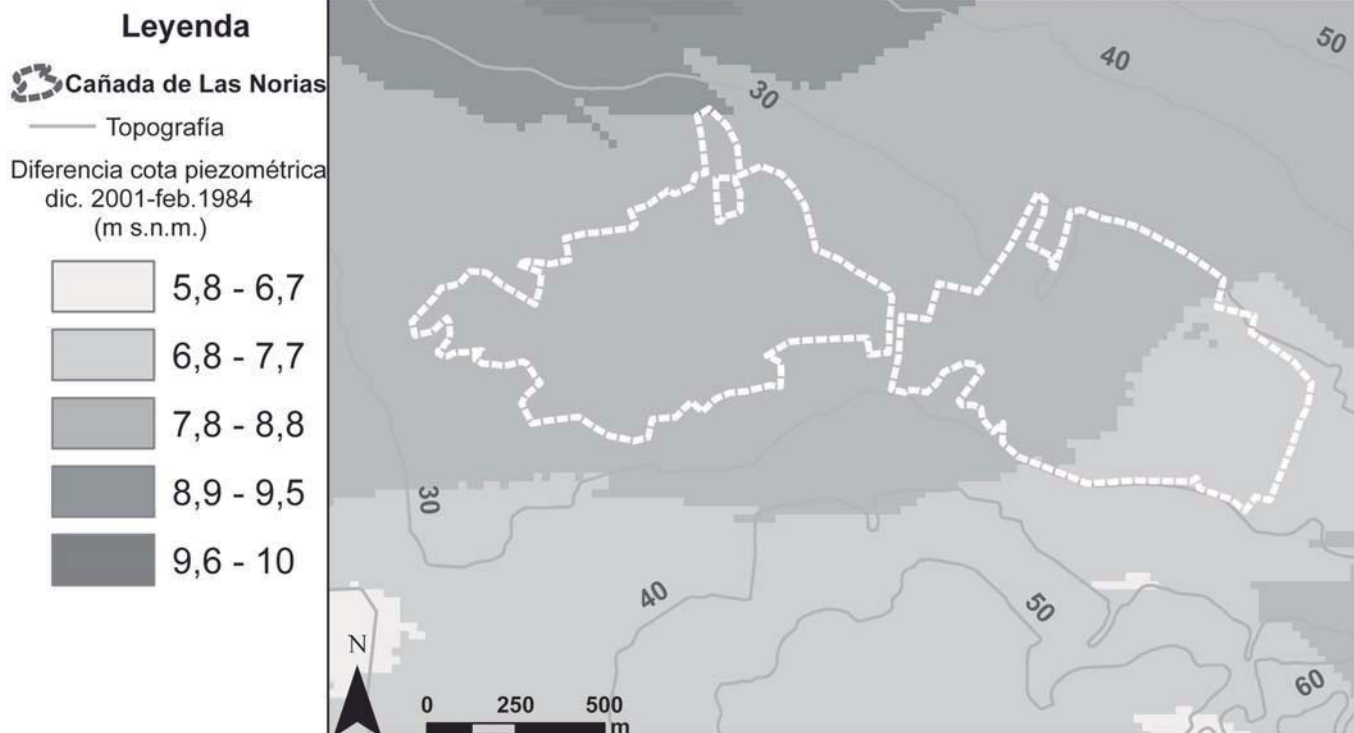


Fig. 5.- Variación piezométrica entre los años 1984 y 2001 (m s.n.m.)

Fig. 5.- Variation of water table level between the years 1984 and 2001 (m a.s.l.)

m y 8,8 m. Este ascenso es debido tanto a la disminución de bombeos en esta unidad hidrológica así como al retorno por riegos. El valor medio de este ascenso, tomado como altura media de la lámina de agua del humedal junto a otros datos, ha permitido estimar la capacidad de las dos balsas. Para el futuro, si se dispusiera de información

adicional, los resultados obtenidos podrían representar la base de partida para llevar a cabo estudios más complejos y completos.

**Referencias**

Boletín Oficial del Estado (B.O.E.) nº 42 del 18/02/2000.

ESRI (2004). Software ArcGIS 9.0.  
 IGME (1982). *Estudio hidrogeológico del Campo de Dalías (Almería)*. 13 tomos. 13 Tomos. Madrid. IGME. (Informe interno).  
 ITGE (1989). *Síntesis hidrogeológica del Campo de Dalías (Almería). Propuesta de primeras actuaciones de investigación y gestión*. Ministerio de Industria y Energía. Madrid.  
 Gonzalez. A., Dominguez. P. y Franqueza. P.A. (2003). En: *Simposio Internacional sobre Tecnología de la Intrusión de Agua de mar en Acuíferos Costeros 2003*, I: 423-435.  
 M.A.P.A. (1999). SIG Oleícola Español. <http://www.mapya.es/es/sig/sig1.htm>  
 Molina, L. (1998). *Hidroquímica e intrusión marina en el Campo de Dalías (Almería)*. Tesis Doctoral Univ. Granada. 340 p.  
 Pulido Bosch, A., Martínez Vidal, J.L., Navarrete, F., Benavente, J., Molina, L., González, V., Macías, A. y Padilla, A. (1989). *Caracterización hidrogeoquímica del Campo de Dalías (Almería)*. Instituto Andaluz de Reforma Agraria, Consejería de Agricultura y Pesca-Junta Andalucía. Sevilla. 265 p.  
 Pulido Bosch, A., Pulido Leboeuf, P., Molina, L., Vallejos, A. y Martín Rosales, W. (2000). *Environmental Geology*, 40 (1-2): 163-168.

**Balsa Occidental**

Profundidad media	T (m <sup>2</sup> /día)	b (m)	K (m/día)	S (m <sup>2</sup> )	i	Q (m <sup>3</sup> /día)
7,8	200	50	4	38727	0,003	465
7,8	500	50	10	38727	0,003	1162
7,8	800	50	16	38727	0,003	1859

**Balsa Oriental**

Profundidad media	T (m <sup>2</sup> /día)	b (m)	K (m/día)	S (m <sup>2</sup> )	i	Q (m <sup>3</sup> /día)
7,8	200	50	4	31684	0,001	127
7,8	500	50	10	31684	0,001	317
7,8	800	50	16	31684	0,001	507

Tabla I.- Parámetros usados en el cálculo del caudal que proporciona el acuífero al humedal. T) transmisividad, b) espesor del acuífero, K) conductividad hidráulica, S) superficie, i) gradiente hidráulico, Q) caudal.

Table I.- Parameters used in the calculation of the volume that provides the aquifer to wetland. T) transmissivity, b) thickness of the aquifer, K) hydraulic conductivity, S) surface, i) hydraulic gradient, Q) discharge.