

Contribución de datos lisimétricos a la evaluación de la Recarga al Acuífero Almonte-Marismas

Contribution of lysimetric data to the evaluation of the Almonte-Marismas aquifer recharge

M. Olías ⁽¹⁾, J.J. Cruz San Julián ⁽²⁾ y J. Benavente ⁽²⁾

⁽¹⁾ Departamento de Geodinámica y Paleontología. Universidad de Huelva. Campus 'El Carmen'. 21071 Huelva. E-mail: manuel.olias@dgyp.uhu.es

⁽²⁾ Instituto del Agua. Universidad de Granada. Ramón y Cajal, 4 (Edificio "Fray Luis de Granada"). 18071 Granada

ABSTRACT

This work presents Almonte-Marismas aquifer recharge data obtained from a pair of lysimeters at a farming site located South El Rocío. Many Doñana National Park ecosystems depend on aquifer supplies. Results of actual evapotranspiration show outstanding differences the two years of control with similar precipitations. It is noted that presence of a piezometric level close to surface increase recharge, although on the other hand losses for evapotranspiration are favoured. The results are compared with those obtained from a daily soil water balance using the potential evapotranspiration calculated from Thornthwaite, Penman and Makkink methods.

Key words: recharge, evapotranspiration, lysimeter, Almonte-Marismas aquifer, Doñana National Park

Geogaceta, 33 (2003), 107-110

ISSN:0213683X

Introducción

El Parque Nacional de Doñana se localiza sobre la parte suroriental del acuífero Almonte-Marismas; muchos de los ecosistemas del Parque se sustentan gracias a las aguas subterráneas de este acuífero. Existen dos posibles afecciones medioambientales al Parque a través de las aguas subterráneas: los regadíos incluidos en el plan de transformación agrícola Almonte-Marismas y la urbanización turística de Matalascañas. En ambos casos se produce una extracción significativa de aguas subterráneas a través de sondeos perforados en las proximidades del Parque. En este contexto se plantea la necesidad de obtener datos de la recarga del acuífero que puedan servir de base a modelos cuantitativos desarrollados para conocer la evolución futura del sistema hidrogeológico.

Marco hidrogeológico

El acuífero Almonte-Marismas está ubicado en la parte más baja de la Depresión del Guadalquivir. Comprende una extensión próxima a 2400 km² que, en su mayor parte, pertenecen a la provincia de Huelva. La base impermeable del acuífero está constituida por margas del

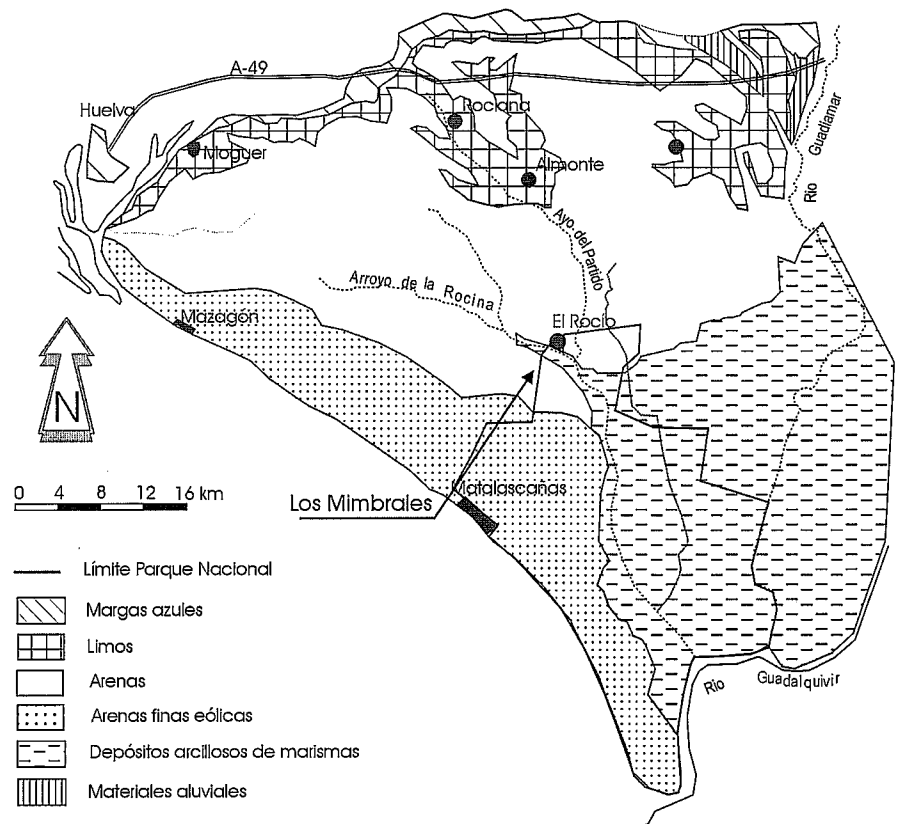


Fig. 1.- Mapa geológico y de localización.

Fig. 1.- Geological and location map

	AÑO 1991/92					AÑO 1992/93				
	Lluvia	Drenaje		ETR		Lluvia	Drenaje		ETR	
		Lis. A	Lis. B	Lis. A	Lis. B		Lis. A	Lis. B	Lis. A	Lis. B
sep	28.1	2.1	2.1	12.5	14.9	36.7	0.0	0.0	9.2	10.0
oct	106.9	0.1	2.5	14.0	10.4	73.5	0.0	0.0	33.5	27.6
nov	20.4	72.5	76.5	8.3	7.9	7.4	0.0	0.0	20.7	18.0
dic	56.8	56.2	54.5	6.7	2.5	36.1	0.0	0.0	19.7	17.6
ene	7.0	21.9	26.8	3.5	0.5	29.1	0.0	8.6	21.8	17.0
feb	56.6	7.1	11.0	17.7	12.9	11.5	0.0	29.0	21.3	11.0
mar	21.5	21.6	24.2	36.9	20.0	36.5	0.0	7.8	72.8	62.8
abr	47.6	13.2	35.0	64.9	37.0	76.5	0.0	0.8	76.8	90.8
may	20.3	1.1	1.3	50.8	62.4	95.0	0.0	0.0	84.1	100.0
jun	24.2	0.0	0.0	22.7	44.0	4.5	0.0	0.0	30.3	31.0
jul	0.0	0.0	0.0	18.9	23.1	0.0	0.0	0.0	2.2	3.4
ago	3.0	0.0	0.0	6.1	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Total	392.4	195.8	233.9	263.0	243.6	406.8	0.0	46.2	392.4	389.2

Tabla I.- Valores mensuales de la precipitación, drenaje y ETR en los lisímetros (en mm)

Table I.- Monthly values of precipitation, drainage and AET in the lysimeters (in mm)

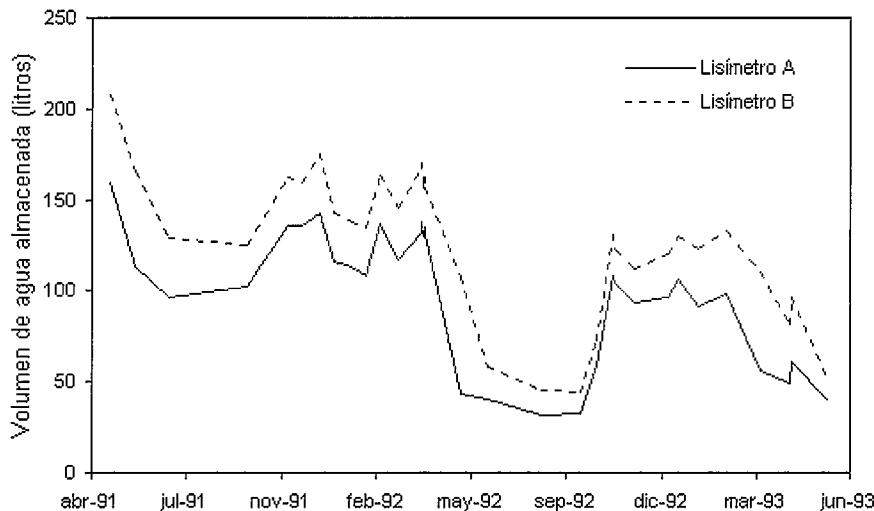


Fig. 2.- Variación del contenido en agua en los lisímetros

Fig. 2.- Water content variation in the lysimeters

Tortoniense superior-Plioceno inferior que afloran al norte del sistema y se van hundiendo progresivamente hacia el SE, por lo que la potencia del acuífero aumenta en esta dirección. De acuerdo con Salvany y Custodio (1995), sobre estas margas se disponen cuatro unidades pliocuaternarias (Fig. 1):

- unidad deltaica, compuesta por arenas, limos y gravas.
- unidad eólica, desarrollada principalmente sobre la franja litoral y constituida por arenas finas muy homogéneas.
- unidad aluvial, formada por gravas, arenas, limos y arcillas que se encuentran, en su mayor parte, bajo las actuales marismas.
- unidad de marismas, integrada predominantemente por arcillas y

limos; se dispone sobre la unidad aluvial, por lo que en esta zona el acuífero es confinado.

El nivel piezométrico se encuentra a muy poca profundidad, adaptándose a la topografía. El flujo natural del agua subterránea se dirige hacia el mar en la zona costera, hacia el río Tinto en el sector oriental, a la marisma en el SE y hacia los principales arroyos del sector.

Metodología

La construcción de una pareja de lisímetros se proyectó como un medio adicional para tratar de acotar con precisión los términos del balance hídrico del sistema. Es obvio que las conclusiones obtenidas en este punto no son extrapolables a toda la superficie del acuífero, pero al me-

nos se dispone de unos datos fiables de recarga para unas condiciones determinadas.

Los lisímetros se ubicaron en la finca Los Mimbrales, situada al sur de El Rocío (Fig. 1), ya que en este punto se disponía de los datos de una estación meteorológica automatizada, con datos diarios de la precipitación, temperatura, humedad relativa y velocidad y dirección del viento a 2 m sobre la superficie del suelo. Además, se controló en continuo el nivel en un piezómetro somero perforado junto a los lisímetros.

Se instalaron dos cajas de 1 m³ de capacidad (1 m² de superficie y 1 m de profundidad) que funcionaron en régimen natural, esto es, alimentadas por las precipitaciones y con desarrollo de vegetación espontánea. Esta vegetación consiste principalmente en un pastizal compuesto por plantas nitrófilas, destacando especies de los géneros: *Amaranthus*, *Malva* y *Geranium*. El suelo experimental utilizado fue el mismo que se extrajo durante la excavación para la construcción de los lisímetros. Este suelo consta de dos horizontes bien definidos: horizonte superior de arenas finas sueltas (hasta los 40 cm de profundidad), con una capa superficial más rica en materia orgánica y abundantes raíces, y horizonte inferior arcillo-arenoso (con un espesor de 60 cm).

El control del volumen de agua almacenada en el suelo dentro de los lisímetros se realizó mediante perfiles de humedad realizados mediante una sonda de neutrones, marca Troxler, con una periodicidad aproximadamente mensual.

Cálculo de la ETR y de la recarga a partir de los lisímetros

Se dispone de los datos lisimétricos correspondientes a los años 1991/92 y 1992/93. El año 1991/92 se caracterizó por una baja pluviometría (392 mm). El volumen drenado por ambos lisímetros fue de 196 y 234 litros para los lisímetros A y B, respectivamente. Durante el año 1992/93 las precipitaciones fueron del mismo orden que en el año anterior (406 mm). Además, en el B se añadieron 20 mm en enero de 1993. En el lisímetro A no se produjo drenaje y en el lisímetro B alcanzó un valor de 46 mm.

Los valores de drenaje tan diferentes en los dos años controlados se deben atribuir a que existió una gran diferencia de humedad al inicio de cada año, debido a que los años 1989/90 y 1990/91 fueron húmedos y el nivel piezométrico se situó excepcionalmente próximo a la superficie, hasta el punto que provocó la inunda-

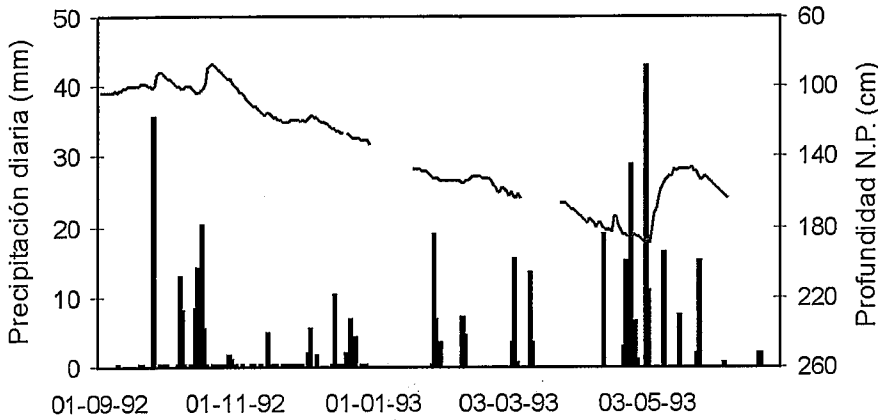


Fig. 3.- Evolución del nivel piezométrico en el año 1992/93

Fig. 3.- Piezometric level evolution in the year 1992/93

ción de los lisímetros. En la figura 2 se muestra la variación del volumen de agua almacenado en los lisímetros desde mayo de 1991 hasta julio de 1993, calculado a partir de los perfiles de humedad realizados mediante la sonda de neutrones. Se observa una gran diferencia entre los valores correspondientes al inicio de los años hidrológicos controlados. La infiltración en los lisímetros parece estar condicionada por el contenido en humedad al inicio del año hidrológico; en septiembre de 1991 el volumen almacenado se situaba entre 105 y 121 litros (aunque estos valores fueron obtenidos después de unas precipitaciones de 28 mm); por el contrario, el volumen almacenado en septiembre de 1992 estaba comprendido entre 33 y 44 litros.

El valor de la ETR estuvo comprendido entre 242 y 263 mm en el año 1991/92 y en torno a 390 mm en el año 1992/93. Las diferencias entre los dos años (con una cantidad de lluvia similar) pueden atribuirse a que en el año 1992/93 las precipitaciones entre abril y junio (176 mm), meses de una alta ETP, fueron muy superiores a las registradas durante la misma época en 1991/92 (92 mm) y a que la mayor humedad favorece la infiltración al aumentar la conductividad hidráulica del terreno. La mayor parte de la ETR se produce en los meses de primavera; el periodo de marzo a junio suponen el 67% de la ETR total del año 1991/92 y el 70% en el año 1992/93.

El mayor porcentaje de drenaje y menor ETR observados en el lisímetro B durante los dos años de control puede relacionarse con un desarrollo de la vegetación ligeramente menor que el observado en el lisímetro A.

A partir del registro piezométrico en continuo en el año 1992/93 (Fig. 3) en un piezómetro somero contiguo a los

lisímetros, se observa que se produce un ascenso apreciable de nivel como respuesta a las precipitaciones más fuertes, aunque en ese año no se produjo drenaje en los lisímetros. Ello puede ocurrir debido a que, por la escasa profundidad del nivel piezométrico, existe una franja capilar que mantiene una mayor humedad en el suelo en condiciones naturales con respecto a los lisímetros a la misma profundidad (ya que en éstos el fondo está impermeabilizado), como se aprecia en la figura 4. Este mayor contenido en humedad hace que la conductividad hidráulica del suelo sea mayor de modo que el agua de infiltración pueda alcanzar la zona saturada. Es decir, el nivel piezométrico próximo a la superficie produciría un incremento de la recarga. No obstante, también se favorece, por otro lado, la descarga por evaporación y consumo de la vegetación.

Balance diario de agua en el suelo

Se han comparado estos valores experimentales con los calculados mediante un balance hídrico convencional del agua en el suelo utilizando los datos diarios de la evapotranspiración potencial y precipitación. Se calculó la evapotranspiración real utilizando tres valores distintos de capacidad de campo (50, 100 y 150 mm).

La ETP se ha calculado siguiendo los métodos de Thornthwaite, Makkink y Penman (Martín Arnáiz, 1983; Sánchez Toribio, 1992). En todos los casos los cálculos se han realizado con datos diarios de los años 1989/90 a 1992/93 (aunque en el año 1993 no se dispone de los datos de humedad relativa y velocidad del viento). Los datos de la radiación global se han tomado en la estación de Huelva.

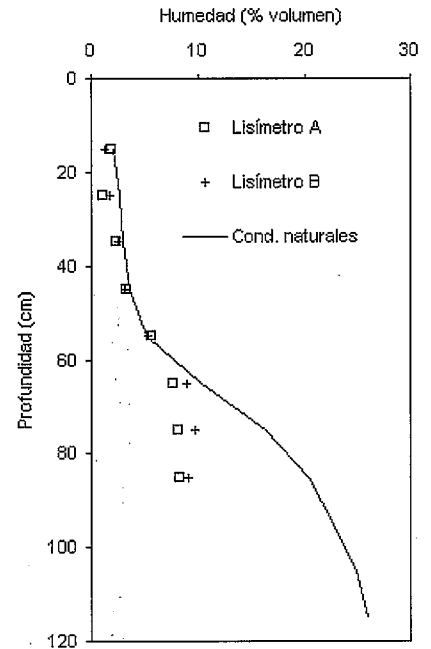


Fig. 4.- Perfiles de humedad en los lisímetros y en un punto adyacente en condiciones naturales (septiembre de 1992)

Fig. 4.- Moisture profiles in lysimeters and in an adjacent point under natural conditions (september 1992)

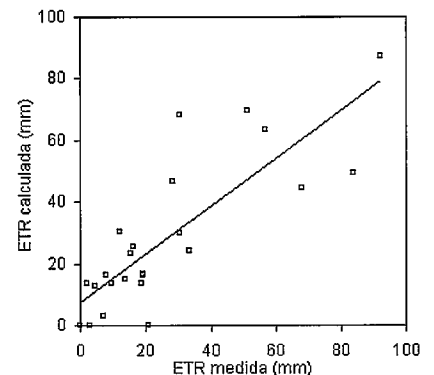


Fig. 5.- Valores mensuales experimentales de la ETR frente a los calculados

Fig. 5.- Experimental versus calculated monthly values of AET

Los valores anuales de la ETP calculada por el método de Thornthwaite se sitúan entre 915 y 980 mm, son similares a los obtenidos con el método de Makkink, mientras que con la fórmula de Penman se obtienen los valores más bajos (entre 890 y 940 mm). En cuanto a su distribución a lo largo del año, los métodos de Thornthwaite y Penman muestran resultados similares; el método de Makkink proporcionala, respecto a los otros dos, valores más elevados durante el invierno y menores durante el verano.

Los resultados del balance diario de agua en el suelo aportan valores anuales de la ETR del mismo orden de magnitud utilizando la ETP obtenida con los métodos de Thornthwaite y Penman (aunque algo más bajos con este último); con el método de Makkink se obtienen estimaciones de la ETR muy superiores. Los mayores desajustes se producen porque los valores de la ETR calculados en el otoño y primeros meses de invierno son muy superiores a los registrados. Por ello, se realizó una nueva estimación de la ETR reduciendo a la mitad los valores diarios de la ETP durante los meses de octubre a diciembre. Esta reducción de la ETP durante los meses de invierno también fue necesaria para conseguir un buen ajuste de un modelo numérico del flujo de agua en la zona no saturada realizado en un perfil situado en el interior del Parque Nacional de Doñana (Oliás, 1995).

Con esta corrección, se comprobó un mejor ajuste a los datos experimentales cuando se utiliza el método de Thornthwaite. En la figura 5 se comparan los valores mensuales de la ETR, calculada a partir de la ETP por el método de Thornthwaite y reduciendo a la mitad los valores diarios entre octubre y diciembre, con la media de los valores mensuales experimentales en ambos lisímetros. Se observa una buena relación lineal, con un coeficiente de correlación de 0.82. Sin realizar la reducción de los valores de ETP esta correlación era de 0.69.

Los valores anuales de la ETR calculados de este modo son: 328, 290, 318 y 365 mm para los años 1989/90 a 1992/93, respectivamente. Al representar los valores de la lluvia útil calculada frente a la pluviometría anual, se observa una relación lineal $LLU = 1,015P - 330$ ($r=0.99$), con ambos valores expresados en mm,

aunque se pueden producir diferencias según la distribución pluviométrica durante el año, como se ha expuesto anteriormente.

Comparación con otras estimaciones de la recarga

A partir de la expresión anterior, con una precipitación media sobre la zona de 560 mm/año, se obtendría un valor de la recarga (suponiendo que toda la lluvia útil se infiltra y no existe escorrentía superficial) de 238 mm/año (el 42% de la precipitación). Samper (1997), mediante la utilización de un programa que realiza de forma simultánea un balance hidrológico diario del suelo, la zona no saturada y el acuífero obtiene valores de recarga en torno a 250 mm/año (el 44% de la precipitación). De Haro *et al.* (2000) obtuvieron la expresión $R = P - 260$, donde R y P son la recarga y precipitación en mm/año respectivamente, que aporta mayores valores de recarga, aunque estos valores se refieren a la zona de El Abalarío, con unos suelos de textura más arenosa.

Otros estudios proponen valores más bajos para la recarga; así, Trick (1998), a partir de un modelo matemático bidimensional entre la costa y el arroyo de la Rocina, obtiene una recarga en los alrededores de La Rocina de sólo el 13%. Iglesias *et al.* (1996), utilizando un balance de cloruros entre las precipitaciones y el acuífero, estiman para las arenas eólicas estabilizadas un valor medio de la recarga de 140 ± 70 mm/año (que supone el $30\% \pm 15\%$ de la precipitación); estos mismos autores, a partir de perfiles de cloruros en el suelo, obtienen valores medios de recarga del 32% de la precipitación.

Las diferencias en las estimaciones de la recarga pueden deberse, al menos en parte, a que los métodos basados en el balance hídrico proporcionan estimaciones de la recarga total al acuífero, pero parte de esa recarga es posteriormente evapotranspirada en las zonas de nivel piezométrico cercano a la superficie. Por el contrario los resultados de los modelos matemáticos de flujo y del balance de cloruros a partir del quimismo del agua del acuífero proporcionan valores de la recarga neta, una vez deducidas las pérdidas por evapotranspiración directa a partir del acuífero.

Referencias

- De Haro, J.M., Giráldez, J.V., Ordóñez, R., Custodio, E., Manzano, M. y López Rodríguez, J.J. (2000): *Boletín Geológico y Minero*, 111(1), 77-88.
- Iglesias, M., Custodio, E., Giráldez, J.V., Manzano, M. y Ordoñez, R. (1996): *IV Simposio sobre el Agua en Andalucía*, II, 99-121.
- Martín Arnáiz, M. (1983): *Hidrología subterránea* (Custodio, E. y Llamas, M.R, eds), 314-341. Ed. Omega. Barcelona.
- Oliás, M. (1995): *Tesis Doctoral*. Universidad de Granada, 242 p.
- Salvany, J.M. y Custodio, E. (1995): *Revista de la Sociedad Geológica de España* 8(1-2), 21-31.
- Samper, J. (1997): *La evaluación de la recarga a los acuíferos en la planificación hidrológica*. AIH-Grupo Español-ITGE. Madrid, 41-81.
- Sánchez Toribio, M.I. (1992): *Cuadernos Técnicos de la Sociedad Española de Geomorfología*, 3, 36 p.
- Trick, T. (1998): *Tesis Doctoral*. Universidad Politécnica de Cataluña.