

Características hidrogeológicas y evolución piezométrica de la Mancha Occidental. Influencia del periodo húmedo 2009-2011

M. Mejías Moreno, J. López Gutiérrez y L. Martínez Cortina

Instituto Geológico y Minero de España, c/ Ríos Rosas, 23, 28003 Madrid
m.mejias@igme.es, j.lopezgu@igme.es, l.martinez@igme.es

RESUMEN

Se describen las principales características de la unidad hidrogeológica Mancha Occidental, ubicada entre las provincias de Ciudad Real, Cuenca y Albacete. Esta Unidad constituye, tanto por su volumen de recursos hídricos subterráneos como por sus implicaciones medioambientales y socioeconómicas, la pieza clave en la hidrología de la cuenca alta del río Guadiana.

Se hace referencia a la estrecha relación entre las aguas superficiales y las subterráneas, a la situación de sobreexplotación y a sus peculiaridades climatológicas. Se describe la geometría de los acuíferos, su funcionamiento hidrogeológico, tanto en régimen natural como perturbado, el balance hídrico y su relación con las unidades limítrofes.

Se han recopilado y analizado los datos de piezometría desde mediados de los años 70 del pasado siglo hasta el mes de marzo de 2011. Se analiza la evolución piezométrica durante el periodo 1980-2011, la estimación de la variación del almacenamiento de agua subterránea en dicho periodo y la evolución en los Ojos del Guadiana, reflejo del "estado de salud" del sistema hidrológico.

Los resultados ponen de manifiesto la afección producida por el aprovechamiento intensivo de los recursos hídricos subterráneos durante los últimos 40 años y la alteración a la que se ha sometido al sistema. La irrupción del periodo climatológicamente húmedo 2009-2011 ha permitido que, en marzo de 2011, la situación piezométrica en la Unidad sea la mejor de los últimos 25 años. Desde la referencia temporal correspondiente al año 1980 se estima un vaciado ligeramente superior a los 1.000 Mm³.

Palabras clave: hidrogeología, Mancha Occidental, recarga, sobreexplotación, superficie piezométrica

Hydrogeological characteristics and groundwater evolution of the Western La Mancha unit: the influence of the wet period 2009-2011

ABSTRACT

We describe the main characteristics of the Western La Mancha hydrological unit, encompassing the provinces of Ciudad Real, Cuenca and Albacete, in southern-central Spain. Because of its groundwater resources, volume and environmental and socio-economic implications, this unit constitutes the key to the hydrology of the Upper Guadiana River Basin.

We emphasise the close relationship between surface water and ground water in the unit, its over-exploitation and its climatological peculiarities. We also describe the geometry of the aquifers, their working, both under natural and abnormal regimes, the water balance and its relationship with the neighbouring units.

We have compiled and analysed water-level data from the mid-1970s until March 2011, focusing on the piezometric evolution from 1980 to 2011, estimation of changes in ground-water storage during this period and the evolution of the water level in the Ojos del Guadiana, which is taken to reflect the "health" of the whole hydrogeological system.

Our results clearly reveal the hydrological distress brought about by the intensive use of the groundwater resources over the last forty years and the modifications to which the system has been subjected. The wet weather experienced during the period 2009-2011 led in March 2011 to the highest groundwater level for the last 25 years. From the reference year 1980, a drop in the groundwater reserve of slightly over 1.000 Mm³ can be estimated.

Key words: hydrogeology, over-exploitation, piezometric surface, recharge, Western La Mancha unit

Introducción

La cuenca alta del río Guadiana (CAG) se localiza en la submeseta meridional castellana, al noreste de la demarcación hidrográfica del mismo nombre (figu-

ra 1). Ocupa una extensión de 18.901 km², de un total de 55.528 km² que componen la parte española de dicha demarcación. La delimitación actual queda definida por el perímetro de la cuenca drenada por el río Guadiana, hasta la zona ocupada actualmente

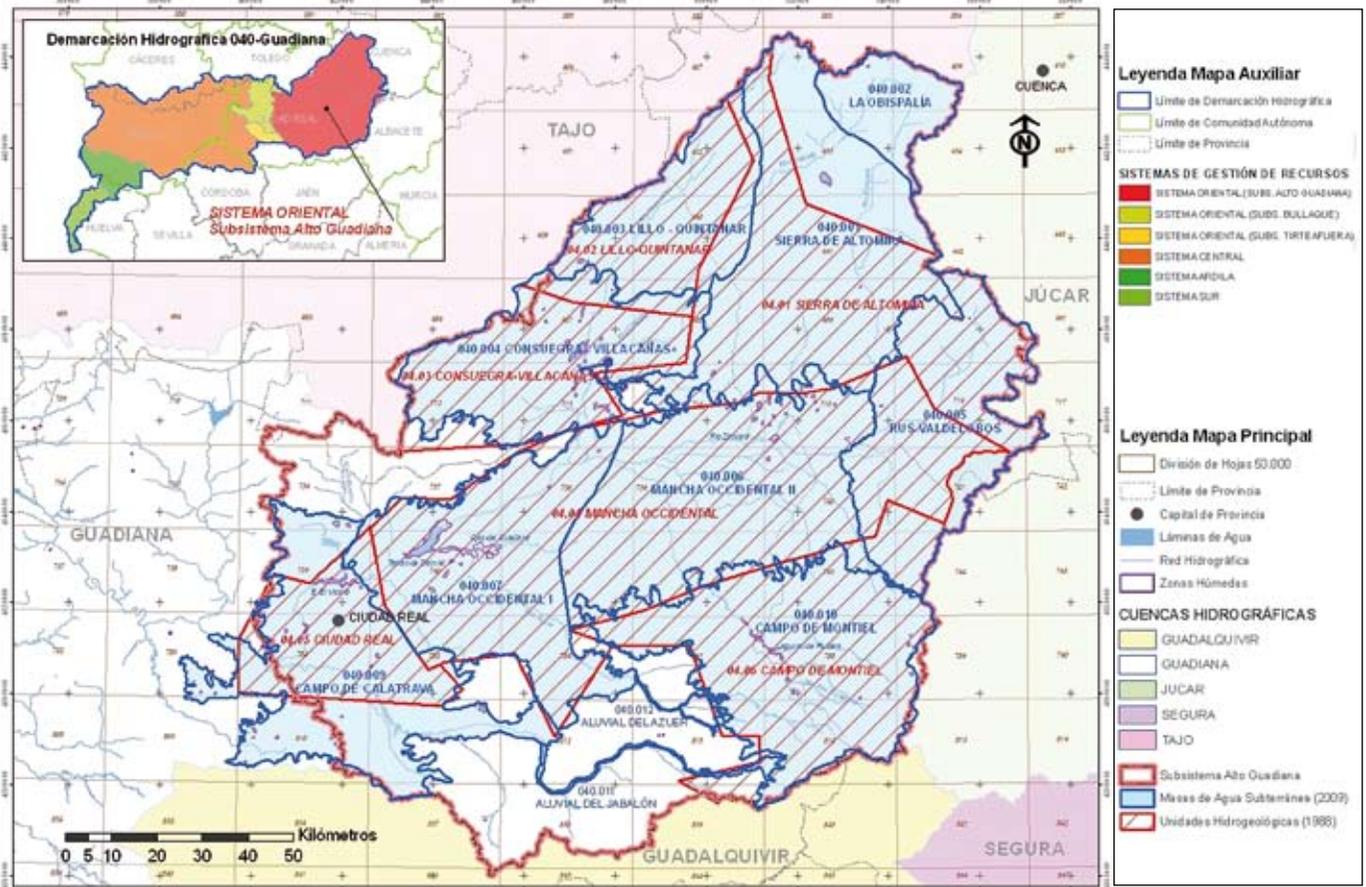


Figura 1. División en unidades hidrogeológicas y masas de agua subterránea de la cuenca alta del río Guadiana (Martínez Cortina *et al.*, 2011).

Figure 1. Division into hydrogeological units and groundwater bodies of the Upper Guadiana River Basin (Martínez Cortina *et al.*, 2011).

por el embalse de El Vicario, en las cercanías de Ciudad Real.

En su ámbito geográfico se definieron en los años setenta, por parte del Instituto Tecnológico Geomineo de España, ITGE (hoy Instituto Geológico y Minero de España, IGME), cuatro sistemas acuíferos (S.A.): S.A. n° 19 (Sierra de Altomira), S.A. n° 20 (Mancha de Toledo), S.A. n° 23 (Mancha Occidental) y S.A. n° 24 (Campo de Montiel) (IGME, 1979). Posteriormente, el Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica (Real Decreto 927/88 de 29 de julio, BOE de 31-8-1988) delimitó en el mismo ámbito 6 unidades hidrogeológicas (DGOH-ITGE, 1988).

Finalmente, con la entrada en vigor de la Directiva Marco del Agua (CE, 2000), y su trasposición a la legislación española, se establece una nueva metodología para lograr la protección de las aguas en los estados miembros de la Unión Europea, y se incorpora una nueva figura de gestión hidrológica, la masa de agua subterránea (MASb).

Las características hidrogeológicas y la evolución piezométrica que se van a describir en este artículo tienen como ámbito geográfico la unidad hidrogeológica 04.04 (Mancha Occidental), división hidrológica en vigor según el Plan Hidrológico de Cuenca vigente, aprobado por R.D. 1664/98 de 24 de julio y complementado por la Ley 10/2001 de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional.

Cabe señalar que en la delimitación geográfica correspondiente a la unidad hidrogeológica 04.04, se definen en el borrador del nuevo Plan Hidrológico, 2009-2015, y con una equivalencia aproximada, tres MASb (figura 1): 040.007 Mancha Occidental I, con una extensión de 2.002 km²; 040.006 Mancha Occidental II, 2.396 km² y 040.005 Rus-Valdelobos, con 1.716 km². Algunos de los datos que se presentan en el texto, especialmente los relativos a climatología, se refieren a la futura división en MASb, de manera que sirvan también de referencia una vez aprobadas éstas.

La CAG se caracteriza hidrológicamente por la significativa interrelación entre las aguas superficiales

y las subterráneas. Sus peculiaridades geológicas, hidrológicas y de relieve otorgan a esta zona semiárida su principal singularidad: la presencia, en régimen prácticamente natural, de más de un centenar de humedales, generalmente en zonas deprimidas del terreno, en un conjunto que bajo el nombre de La Mancha Húmeda, y con una superficie máxima de encharcamiento de unos 250 km², fue declarado por la UNESCO, en 1980, Reserva de la Biosfera. Incluye el Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel, declarado mediante Decreto 1874/73, de 28 de junio, por el que se crea también una zona de reserva integral de aves acuáticas dentro del mismo, y la Ley 25/1980, de 3 de mayo, sobre reclasificación del Parque Nacional de las Tablas de Daimiel. En 1982 el Parque Nacional es incluido en el convenio RAMSAR, clasificándose como humedal de importancia internacional, y en 1988 se designa como zona ZEPA.

Además de por su interés medioambiental, las Tablas de Daimiel representan un área de encuentro y controversia, de opiniones diversas entre la conservación y el desarrollo sostenible, entre el medio ambiente y el progreso económico. Pero lejos de que estas circunstancias hayan supuesto el abandono de las Tablas, por el contrario, han servido para ponerlas en valor y que actualmente representen un punto de acuerdo y consenso entre posiciones en principio contrarias pero no por eso imposibles de conciliar.

La unidad hidrogeológica 04.04, Mancha Occidental, se sitúa en la zona central de la CAG, entre las estribaciones de los Montes de Toledo, Sierra de Altomira, Campo de Montiel y Llanos de Albacete. La recarga se produce a partir de la infiltración de las precipitaciones, por aportación lateral de las unidades hidrogeológicas 04.01 (Sierra de Altomira) y 04.06 (Campo de Montiel) y por infiltración de agua a partir de los cauces superficiales (ITGE, 1989). La poligonal que delimita la Unidad tiene una superficie de 5.021,63 km² correspondiendo, aproximadamente, el 80% de su superficie a la provincia de Ciudad Real y el resto a las provincias de Cuenca y Albacete (ITGE, 2000). Esta Unidad constituye por extensión, recursos, situación socioeconómica e implicaciones medioambientales, la pieza fundamental en el conjunto de recursos hídricos de la cuenca alta del Guadiana.

A partir de la década de los 70 del pasado siglo debido, entre otros factores, a la mejora del conocimiento hidrogeológico del entonces denominado sistema acuífero 23 y a los avances técnicos relacionados con la construcción de captaciones y la extracción de agua, se inicia un intenso aprovechamiento de los recursos hídricos subterráneos. La superficie regada se incrementa de manera muy rápida hasta mediados de los años 90 y en 1995 se alcanza la peor

situación histórica con respecto al vaciado del almacenamiento de la Unidad.

Esto trajo consigo, en el contexto de los años 1970s y 1980s, un notable progreso económico y social en la región, impulsado por la agricultura como ocupación primordial y con una notable actividad industrial y de servicios girando en torno al sector primario. Junto a estos beneficios, se produjeron cambios muy importantes en la hidrología general de la cuenca. La principal consecuencia negativa de estos cambios fue el grave impacto ecológico sufrido por muchas de las zonas húmedas situadas en la Llanura Manchega. Así, hasta marzo de 2009, antes de acaecer el último periodo húmedo 2009-2011, se había producido un descenso piezométrico medio en la unidad de unos 25 m, equivalente a un vaciado de unos 3.000 Mm³ (Mejías *et al.*, 2009). En el desarrollo del presente artículo se pone de manifiesto la importancia hidrológica del último periodo húmedo mencionado con relación a la importante recuperación de reservas en el acuífero.

El aprovechamiento intensivo de las aguas subterráneas se acentuó con enorme rapidez, de manera que a principios de los años 80 del pasado siglo la Administración comienza a ser consciente de la gravedad del problema y toma decisiones en este sentido. Así, la Junta de Gobierno de la Confederación Hidrográfica del Guadiana (CHG), en reunión de 4 de febrero de 1987, acordó, en su punto 5º del orden del día, declarar sobreexplotado con carácter provisional el sistema acuífero 23, de conformidad con el procedimiento establecido en el artículo 171 del Reglamento del Dominio Público Hidráulico (Real Decreto 849/1986 de 11 de abril, BOE de 30-4-1986). El área afectada estaba delimitada por una poligonal con 12 vértices. El mismo órgano, en reunión de 15 de diciembre de 1994, adoptó el acuerdo de aprobar el Plan de Ordenación de las Extracciones del acuífero de la Mancha Occidental y declarar la sobreexplotación provisional como definitiva, sobre la poligonal definida en el Plan Hidrológico I de la cuenca del Guadiana, aprobado por Real Decreto 1664/1998 de 24 de julio (BOE de 11-8-1998), de manera que el régimen anual de extracciones debe ser aprobado por la Junta de Gobierno de la CHG cada año. Así, el régimen de explotación para el año 2010 en la unidad Mancha Occidental establece un volumen máximo de extracción de aguas subterráneas de 200 Mm³ para usos de regadío y 30 Mm³ para abastecimiento a población, usos industriales y ganaderos. El volumen máximo a utilizar para regadío, como norma general, es de 2.000 m³/ha para cultivos herbáceos y 1.500 m³/ha para cultivos leñosos.

No obstante, la aplicación de las medidas derivadas de la declaración de sobreexplotación no logra atajar

el problema. En el periodo 1985-1990 las extracciones superan los 500 Mm³/año y el descenso piezométrico medio se sitúa en torno a 30 m, llegando a producirse un vaciado acumulado del almacenamiento en 1996 de 3.750 Mm³ (Mejías *et al.*, 2009). Esta situación comienza a mejorar a partir de 1996, con la concurrencia de un importante periodo húmedo y los primeros resultados del Programa de Compensación de Rentas (PCR) por reducción del regadío en la Mancha Occidental y Campo de Montiel.

La difícil situación medioambiental y socioeconómica hace que en el Plan Hidrológico Nacional de 2001 se determine una serie de actuaciones bajo la denominación de Plan Especial del Alto Guadiana (PEAG), con el objetivo de conseguir un uso sostenible de los acuíferos del Alto Guadiana. Después de diversos avatares, el Plan es aprobado mediante el Real Decreto 13/2008 de 11 de enero (BOE de 24-1-2008). El PEAG tiene como objetivo la consecución del buen estado de las MASb y superficiales asociadas, corrigiendo el déficit hídrico estructural existente en su ámbito geográfico de aplicación. El órgano administrativo encargado de aplicar las medidas y programas de actuación previstos en el PEAG es el Consorcio del Alto Guadiana, constituido en febrero de 2008 mediante convenio de colaboración entre la Administración General del Estado y la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.

Los acuíferos de la Mancha Occidental han sido objeto de numerosos estudios técnicos y de investigación desde los años setenta hasta la actualidad. Los objetivos de estos trabajos han sido variados, desde los primeros estudios del IGME relativos a la definición de los sistemas acuíferos (IGME, 1979; IGME, 1981), trabajos de índole divulgativa (ITGE, 1989), estudios relacionados con los efectos del aprovechamiento de las aguas subterráneas (Mejías *et al.*, 2004; SGOP, 1988 y 1989), de mejora del conocimiento hidrogeológico (CHG, 2001; IGME, 2010), en el marco de proyectos europeos (Acreman *et al.*, 2000) o, para finalizar y que no resulte una relación exhaustiva, los relacionados con trabajos de definición y caracterización de las MASb (IGME-DGA, 2009; Mejías y Crespo, 2005).

Características del área de estudio

La Mancha Occidental forma parte del Corredor Terciario de la Llanura Manchega, una planicie de aproximadamente 240 km x 50 km, de dirección E-O, entre las cuencas del Guadiana y del Júcar, formada por un relleno detrítico y carbonatado continental, mioceno-plioceno, de más de 200 m de espesor en algunos

sectores (figura 3). La Mancha Occidental ocupa una parte muy importante de este dominio geológico, con un eje máximo en dirección NE-SO de unos 135 km y un eje menor N-S de unos 45 km. Se caracteriza por tener un relieve muy suave, las cotas oscilan entre 600 m s.n.m. en el borde SO y unos 740 m s.n.m. en los afloramientos próximos a Villarrobledo, al este de la Unidad.

El basamento en el sector occidental, desde Ciudad Real hasta aproximadamente una vertical nortesur que pasa por la confluencia de los ríos Záncara y Cigüela, es paleozoico, mientras que hacia el este, hasta los Llanos de Utiel-Cofrentes, está constituido por materiales mesozoicos. La UH 04.04 está situada íntegramente en la cuenca hidrográfica del río Guadiana. Queda limitada al norte por materiales mesozoicos y paleógenos de la Sierra de Altomira (UH 04.01) y al sur por la plataforma tabular jurásica de Campo de Montiel (UH 04.06), con las que se produce transferencia subterránea (López-Gutiérrez *et al.*, 2010). En el límite occidental de ambas unidades afloran también lutitas rojas con yesos y areniscas del Keuper. En el tercio occidental de los límites de la poligonal afloran o subafloran materiales de baja permeabilidad del Paleozoico, constituyendo un borde impermeable. Este zócalo cierra prácticamente el paso en sentido occidental al flujo subterráneo, dando lugar a su descarga, en régimen poco alterado, a través de manantiales y zonas húmedas localizadas generalmente en las zonas topográficamente más bajas, cuyo principal exponente serían los Ojos del Guadiana.

Las características climatológicas del área dan lugar a que los recursos hídricos superficiales sean muy reducidos en comparación a su superficie, por lo que el volumen de agua almacenada en los acuíferos de la Unidad adquiere una especial relevancia. Los ríos de la CAG tienen siempre una importante interrelación con los acuíferos, siendo efluentes o influentes en distintos tramos del mismo río y modificando su comportamiento según la secuencia climatológica y, en régimen influenciado, según el grado de aprovechamiento de las aguas subterráneas (Esnaola y Martínez Alfaro, 1992; Martínez Cortina, 2003).

El río Guadiana nace en las surgencias denominadas Ojos del Guadiana, un conjunto de manantiales (ojos en la toponimia local) que constituían un rebozadero natural del acuífero y en las que dejó de manar agua en 1984. Las Tablas de Daimiel se forman en la confluencia de los ríos Guadiana y Cigüela, a unos 15 km de los Ojos del Guadiana, con aportación de aguas de diferente composición química, lo que confería a las Tablas su biodiversidad característica.

Los principales ríos que discurren por la Unidad son: Záncara, Cigüela, Azuer, Guadiana y Guadiana Alto. Los dos primeros son afluentes del Guadiana por su margen derecha, tienen cuencas poco permeables, excepto a su paso por la Mancha Occidental, caudales irregulares, responden con rapidez a la precipitación y tienen acusados estiajes. El Guadiana Alto nace en el Campo de Montiel y drena este acuífero kárstico. Tiene importantes caudales durante las secuencias climáticas húmedas, hasta llegar a la Llanura Manchega donde se infiltra. El Azuer desemboca en la margen izquierda del Guadiana aguas abajo de los Ojos del Guadiana y antes de Las Tablas de Daimiel. Sólo aporta agua durante los esporádicos periodos húmedos. Actualmente podría considerarse que el río Guadiana comienza aguas abajo de Las Tablas de Daimiel.

Climatología

La CAG tiene un clima de tipo mediterráneo-continental, marcado por su lejanía al mar y el relativo aislamiento que producen las cadenas montañosas que la circundan. Los registros de temperatura se caracterizan por marcadas oscilaciones térmicas, con valores que pueden alcanzar hasta -10°C en invierno y 40°C en verano. Las temperaturas medias de los meses de enero y julio están en torno a los 5°C y 25°C respectivamente. La temperatura media de la región es del orden de 14°C . El reparto de la precipitación se caracteriza por su desigualdad, tanto interanualmente como estacionalmente (Martínez Cortina, 2003).

El análisis hidrometeorológico que se resume a continuación (Mejías *et al.*, 2010) está basado en el tratamiento mensual de los datos de precipitación y temperatura de 32 estaciones termopluviométricas ubicadas dentro de los límites geográficos de las tres MASb que se circunscriben en el ámbito de la unidad hidrogeológica. Con el objetivo de completar las series mensuales se ha realizado un estudio de las correlaciones entre los datos de precipitación y temperatura de cada estación, a partir de la cercanía geográfica y teniendo en cuenta la topografía, verificando cuál es la estación completa, o más completa, que mejor se correlaciona con cada estación incompleta, elaborando para cada punto una serie temporal. Así, los coeficientes de correlación lineal calculados permiten ir rellenando los huecos de cada serie incompleta, a partir de los datos de la serie seleccionada. Se pone de manifiesto una cierta diferencia entre las correlaciones de datos de precipitación y de temperatura. En los primeros, el coeficiente de correlación (r) suele alcanzar valores entre 0,85 y 0,94, disminuyendo en

alguna ocasión hasta 0,7; mientras que en los datos de temperatura nunca resulta menor de 0,98.

La precipitación media anual de la serie histórica presenta valores entre 350,1 mm y 514,4 mm. Los correspondientes al año hidrológico 2009/2010 son notablemente superiores, con valores que oscilan generalmente entre el 150% y el 170% de la precipitación media, a la que llega a doblar en algunos casos.

Para cada una de las estaciones estudiadas se han calculado los valores de precipitación anual, la desviación acumulada respecto a la media de la estación y la clasificación climatológica del año según resulte de tipo húmedo, medio o seco. Se ha considerado como año "seco" aquel con una pluviometría al menos un 15% inferior a la media aritmética de la serie; año "húmedo" aquel en que las precipitaciones superan al menos en un 15% a la media y año "medio" al comprendido entre ambos valores. Esta información se ha representado para cada estación en un gráfico del tipo recogido en la figura 2. Como ejemplo, se incluye el de la estación de Socuéllamos (4097), centrada en el tercio oriental de la unidad hidrogeológica y con una serie de datos muy completa, ya que sólo 12 valores de los 600 han sido completados. El gráfico incluye los valores de precipitación anual, el valor medio de la serie y la curva de desviaciones acumuladas.

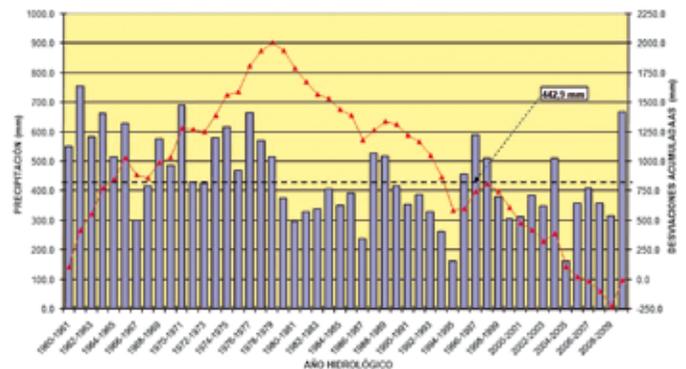


Figura 2. Precipitación anual, valor medio de la serie y desviaciones acumuladas para la estación de Socuéllamos (4097) (datos AEMET, elaboración propia).

Figure 2. Yearly rainfall, mean value of the series and accumulated deviations for the Socuéllamos (4097) rain-gauge station (AEMET data).

En esta estación, la precipitación media anual para la serie histórica es de 441,8 mm. Los valores de precipitación anual a lo largo de este periodo de 50 años varían entre un valor mínimo de 160,9 mm (año hidrológico 2004/05) y un máximo de 753,1 mm (año hidrológico 1961/62). Desde el inicio de la serie histórica hasta 1977/78 se puede identificar un periodo húmedo, al que le sigue un largo período seco hasta

1994/95, que da paso a un nuevo y breve período húmedo de 1995/96 a 1997/98. Continúa un largo periodo seco desde este último año hasta 2008/09, con algún año húmedo intercalado poco significativo.

Asimismo se han calculado los valores medios de precipitación anual en mm para cada una de las tres MASb que cubren aproximadamente la poligonal de la unidad hidrogeológica Mancha Occidental (figura 1) en función de la clasificación en año tipo climatológico, tabla 1.

Posteriormente se estima la evapotranspiración potencial (ETP), mediante el método de Thornthwaite, a partir de la cual se derivan los valores de evapotranspiración real (ETR) y lluvia útil en cada estación y para cada año hidrológico, tabla 2. La capacidad de campo utilizada ha sido de 75 mm, valor obtenido a partir de referencias bibliográficas (CHG, 2001).

Como se puede observar en la tabla 1, la precipitación anual media varía notablemente según el tipo de año. La precipitación media del año tipo húmedo es aproximadamente el doble que la de año seco y 1,4 veces superior a la del año medio. A escala mensual, las precipitaciones más importantes suelen tener lugar en los meses de noviembre a enero, con otro máximo relativo en abril y mayo.

De las 32 estaciones termopluviométricas estudiadas, se han seleccionado las 16 en las que ha sido necesario un menor completado de datos. En todas ellas el periodo de datos comprende los años hidrológicos 1960/61 a 2009/10. Es decir, una serie histórica de 50 años, con 600 valores de precipitación mensual.

De estas 16 estaciones, el número de datos mensuales de precipitación completados ha oscilado entre un mínimo de 2 y un máximo de 20. En las estaciones

de Arenales de San Gregorio (4104), Socuéllamos-Las Rejas (4099I), Tomelloso (4103) y Argamasilla de Alba (4107) ha sido necesario completar los primeros años, en general de 1961 a 1967, porque la toma de datos en estas estaciones se inició más tarde. Un caso especial es la estación Las Tablas de Daimiel (4112U) en la que se han completado datos entre 1960 y 1982, año en que se inició la toma sistemática.

En la tabla 3 se muestran algunos de los datos de estas estaciones: la MASb en que está ubicada, el nombre de la estación, el código de identificación, la media de precipitación anual de la serie histórica y la precipitación anual en el año hidrológico 2009/10.

En diciembre de 2009, año hidrológico 2009/10, se inicia en la Mancha Occidental un episodio de intensas precipitaciones que hace que este año hidrológico se convierta en bastantes estaciones en el más húmedo o uno de los más húmedos de la serie. Las intensas lluvias tienen continuidad durante la primera mitad del siguiente año hidrológico, 2010/11, en lo que parece ser un nuevo y corto periodo húmedo similar al de los años 1995/96 a 1997/98. La aparición de esta secuencia húmeda, como se verá más adelante, ha influido de manera determinante en la evolución piezométrica de la Unidad.

En un análisis global de las estaciones seleccionadas cabe resaltar que las series húmedas son de corta duración y aparición delimitada en el tiempo, mientras que las secuencias climáticas secas son períodos más largos, dentro del cual puede darse algún año húmedo. Se observan, además, importantes variaciones entre las precipitaciones en año seco y húmedo, que pueden presentar diferencias superiores a 450 mm/año.

Código	MASb	Superficie (km ²)	P año seco (mm)	P año medio (mm)	P año húmedo (mm)
040.005	Rus - Valdelobos	1.565,7	336	473	630
040.006	Mancha Occidental II	2.393,5	272	393	536
040.007	Mancha Occidental I	2.004,0	256	396	550

Tabla 1. Datos de precipitación media anual, en mm, por masas de agua subterránea y año tipo climatológico.

Table 1. Average rainfall data (mm) for groundwater bodies and climatological type year.

Código	MASb	Año seco		Año medio		Año húmedo	
		Precipitación (Mm ³)	Lluvia útil (Mm ³)	Precipitación (Mm ³)	Lluvia útil (Mm ³)	Precipitación (Mm ³)	Lluvia útil (Mm ³)
040.005	Rus - Valdelobos	526,0	45,9	739,9	181,3	986,6	319,7
040.006	Mancha Occidental II	651,5	28,7	939,5	158,1	1282,0	397,2
040.007	Mancha Occidental I	512,6	22,1	793,7	132,2	1102,0	369,9

Tabla 2. Datos de precipitación y lluvia útil, en Mm³, por masas de agua subterránea.

Table 2. Rainfall and surplus-water data (Mm³) for groundwater bodies.

MASb	Nombre de la estación	Código de identificación	Valor medio de precipitación anual (mm) del período 1960/61-2009/10	Precipitación anual (mm) año hidrológico 2009/10
Mancha Occidental I	Membrilla	4034	396,1	699,4
	Puerto Lápice	4108	454,0	599,2
	Villarta de San Juan	4109	389,8	633,2
	Las Tablas de Daimiel	4112 U	420,4	567,9
	Carrión de Calatrava	4120	411,1	697,2
	Malagón	4124	442,8	676,1
Mancha Occidental II	Argamasilla de Alba	4016	391,9	797,0
	Argamasilla de Alba-Pacheco	4017	471,3	780,9
	Socuéllamos	4097	442,9	667,2
	Socuéllamos-Las Rejas	4099 I	389,8	670,0
	Tomelloso	4103	416,5	720,7
	Arenales de San Gregorio	4104	407,3	731,0
	Alameda de Cervera	4106	350,1	533,0
Rus-Valdelobos	Castillo de Garcimuñoz	4083	514,4	720,7
	Honrubia	4084	485,1	662,9
	San Clemente	4090	460,0	658,4

Tabla 3. Datos de precipitación media anual, en mm, de la serie histórica y precipitación anual en el año hidrológico 2009/10 en 16 estaciones de la Mancha Occidental.

Table 3. Yearly average rainfall data (mm) for the historical series and yearly rainfall in the hydrological year 2009/10 in 16 gauge stations of the Western La Mancha unit.

Marco hidrogeológico

La Mancha Occidental constituye la unidad central de la cuenca alta del Guadiana y resulta clave en el funcionamiento hidrológico de todo el sistema. Tiene conexión hidráulica con las unidades de Sierra de Altomira al norte, y Campo de Montiel al sur. En el extremo oriental de la Unidad existe un borde hidrogeológico abierto con la cuenca del Júcar. Las características físicas de la zona hacen que la identificación de la divisoria de aguas superficiales resulte compleja, debido a la suave topografía y a la indefinición del sentido de flujo superficial en determinadas partes de dicha divisoria. Pero si la definición de la divisoria de aguas superficiales tiene cierta incertidumbre, la divisoria hidrogeológica resulta aún más complicada debido a las características geológicas del subsuelo y al intenso aprovechamiento de que son objeto las aguas subterráneas en ese entorno (CHG, 2005; Llamas y Rodríguez, 1995).

A escala regional, la Unidad puede considerarse un embalse subterráneo aislado por materiales paleozoicos de baja permeabilidad al sudoeste y noroeste, en la zona donde se sitúa el embalse de El Vicario;

de manera que la descarga subterránea se realizaba a través de manantiales y humedales situados en las zonas topográficamente más bajas.

En el sector oriental de la Unidad existe un acuífero superior mio-plioceno, de naturaleza detrítica y carbonatada, superpuesto a un acuífero mesozoico regional carbonatado. El primero comprende principalmente la formación acuífera Calizas del río Júcar (calizas, calizas margosas y margas de edad Vallesiense superior-Rusciense). El segundo las formaciones: Cortes de Tajuña (dolomías cristalinas y brechas carbonatadas oquerosas, de edad Hettangiense-Sinemuriense inferior), Cuevas Labradas (calizas oolíticas, calizas mudstone-wackestone, y carbonatos con porosidad fenestral, de edad Sinemuriense-Pliensbachiense superior), Barahona y Turmiel (calizas bioclásticas, margas y calizas del Pliensbachiense superior-Toarciense), Chelva (calizas nodulosas, calizas oolíticas, que abarcan desde el Toarciense superior hasta el Calloviense), facies Weald (lutitas, margas, calizas, areniscas que abarcan el periodo Berriasense-Barremiense), facies Utrillas (arenas y arcillas de edad Albiense superior-Cenomaniense inferior), Alatoz (dolomías y margas del Cenomaniense), Chera

(margas y arcillas verdes de edad Cenomaniense inferior-medio), Villa de Ves (dolomías del Cenomaniense superior), Casa Medina (calizas y margas nodulosas del Turoniense inferior), Ciudad Encantada (dolomías de edad Turoniense), Alarcón (margas del Turoniense superior-Santoniense), Tranquera (calizas dolomíticas de edad Turoniense-Coniaciense), y Cuenca (brechas dolomíticas de edad Coniaciense-Santoniense). La disposición superficial de los materiales y los últimos estudios llevados a cabo por el IGME (López-Gutiérrez *et al.*, 2010) confirman la continuidad del Jurásico de la cobertera tabular de Campo de Montiel y del Paleógeno-Jurásico de Altomira, afectado por discontinuidades, bajo la Llanura Manchega. Se distinguen, por tanto, dos niveles acuíferos, aunque el inferior, asociado a materiales carbonatados jurásicos y cretácicos, se desarrolla sólo en la mitad oriental de la Unidad. Ambos acuíferos están separados por un nivel intermedio que funciona como acuitardo, formado por materiales detríticos terciarios y materiales poco permeables del Cretácico, formaciones Garum y Villalba de la Sierra básicamente. El comportamiento como acuitardo de

este nivel queda muy desvirtuado principalmente por el elevado número de captaciones existentes que ponen en contacto los niveles piezométricos de las dos formaciones acuíferas. Sólo esporádicamente y de forma local es posible diferenciar los niveles de los dos acuíferos principales.

El conjunto mesozoico se extiende desde el Este hasta el centro de la Unidad, donde se acuña y desaparece, siguiendo una línea aproximada Alcázar de San Juan-Llanos-Manzanares. Esta característica geológica sirve como base para la definición de las MASb Mancha Occidental I y Mancha Occidental II, de manera que en la primera sólo se encuentra el acuífero superior y en la segunda ambos.

Los niveles inferiores pueden funcionar como acuífero semiconfinado, libre o confinado, y su equilibrio viene determinado por las relaciones con el nivel superior, con los sistemas acuíferos laterales y con el grado de aprovechamiento de las aguas subterráneas. La figura 3 muestra un perfil sintético este-oeste de la Unidad, donde se observa la disposición en la vertical de uno o dos niveles acuíferos y el acuñamiento del inferior hacia la zona occidental.

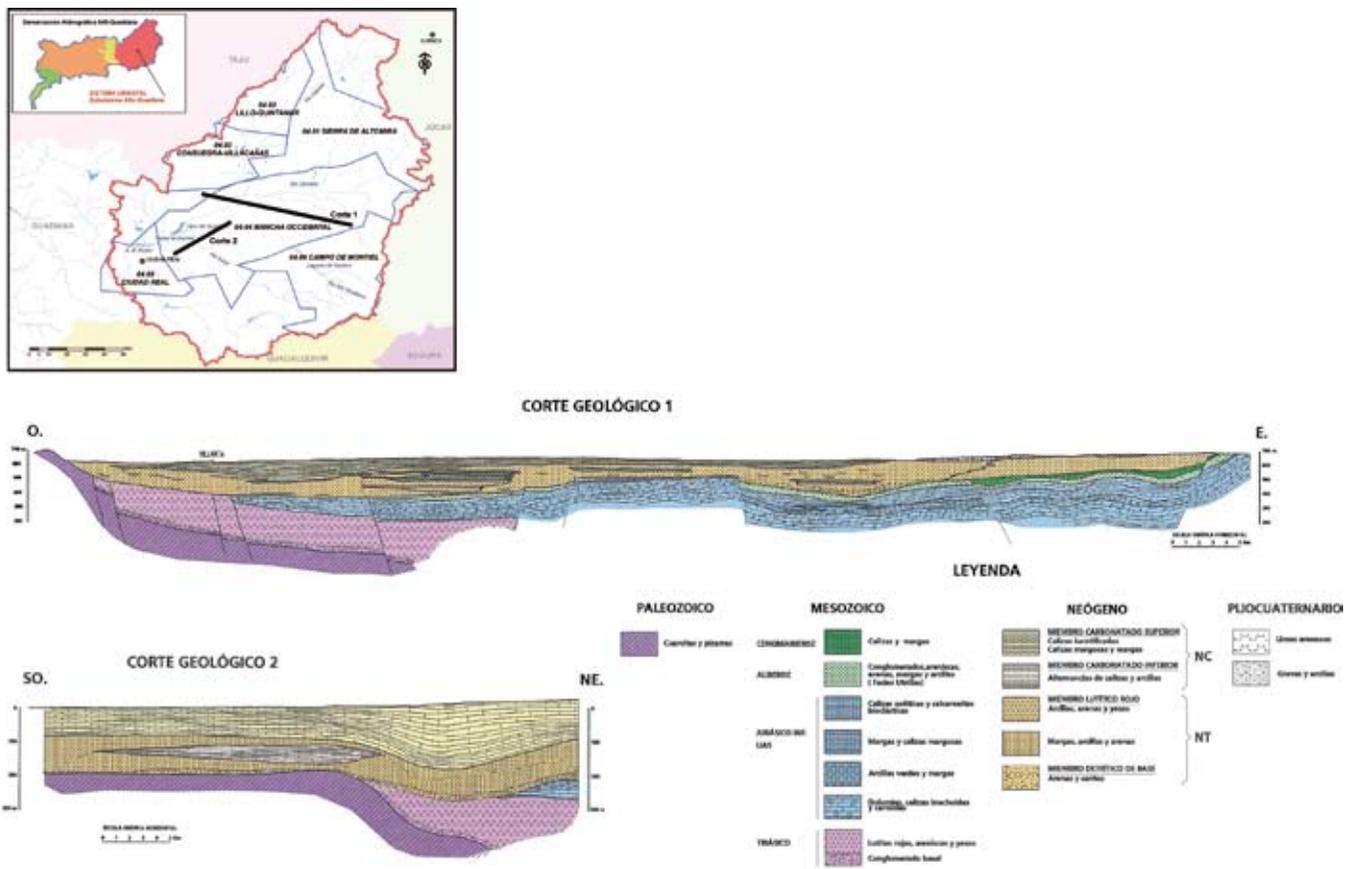


Figura 3. Corte geológico sintético de la Mancha Occidental. Modificado de Mejías *et al.* (2009).

Figure 3. Synthetic geological profile of the Western La Mancha unit; from Mejías *et al.* (2009) with modifications.

El nivel superior se extiende por unos 3.000 km² de la superficie total de la Unidad. Los materiales que lo componen son calizas y margas del Mioceno superior, niveles detríticos superiores del Terciario y Cuaternario, y/o materiales volcánicos relacionados con éstos. Geográficamente se extiende por los alrededores de Daimiel, Arenas de San Juan, Villarta de San Juan, Sur de Puerto Lápice y de Alcázar de San Juan y Norte de Tomelloso. Funciona como un acuífero libre que se recarga por infiltración del agua de lluvia y por transferencia subterránea. A techo se distinguen un nivel detrítico pliocuaternario y un tramo calcáreo mioceno. En este último la transmisividad depende de la proporción de margas y calizas existentes. La zona más calcárea se sitúa en la zona central del acuífero, siendo también la de mayor espesor, con una potencia máxima de 200 metros, obteniéndose valores de transmisividad de hasta 20.000 m²/día (IGME, 1979).

Infrayacentes al anterior se pueden distinguir otros dos tramos diferentes. El tramo superior, de espesor muy variable, es arcillo-arenoso con yesos y se extiende por debajo del nivel superior, cubriendo la casi totalidad del sistema. Por último, el tramo inferior es de naturaleza conglomerática.

El acuífero inferior, de edad cretácico-jurásico, está constituido por tres niveles calcáreos separados por materiales más o menos permeables que actúan parcialmente como acuitardos. De estos niveles, el superior está formado por calizas del Cretácico y su potencia está comprendida entre 10 y 30 metros. El nivel intermedio lo constituyen las calizas oolíticas del Jurásico medio, con un espesor del orden de 50-60 metros. El nivel inferior está formado por materiales calizo-dolomíticos del Jurásico Inferior, con un espesor de 60-90 metros. En general, el tramo calizo oolítico del Jurásico medio es el que tiene mayor transmisividad, del orden de 6.000 m²/día, alcanzándose puntualmente valores superiores. La transmisividad de los otros tramos calcáreos puede oscilar entre 200 y 5.000 m²/día (IGME, 1979).

La existencia de una divisoria hidrogeológica no coincidente con la hidrológica y desplazada al oeste con respecto a aquélla implica la presencia de un flujo de agua subterránea hacia el Júcar, dentro de los límites hidrológicos de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana. Trabajos llevados a cabo por el IGME (IGME, 2010; López-Gutiérrez *et al.*, en prensa) concluyen que, en todo caso, se trata de un flujo condicionado por el potencial hidráulico relativo a ambos lados de la divisoria subterránea, marcado por la recarga y las extracciones de agua, ya que no existen evidencias estructurales que justifiquen la existencia de una divisoria hidrogeológica a nivel del acuífe-

ro inferior, el cual se considera continuo a efectos hidráulicos. Así, el modelo conceptual de este sector de la Llanura Manchega consiste en un acuífero mesozoico carbonatado, con continuidad estructural con la plataforma tabular de Campo de Montiel al sur y con la Sierra de Altomira por el norte, áreas de las que recibe la recarga. Las divisorias piezométricas trazadas en estudios anteriores (CHG, 2005; Llamas y Rodríguez, 1995) corresponden a un umbral provocado por diferencias del potencial hidráulico, sin descartar que, en cierta medida, la compleja geometría del basamento pueda influir, aunque en ningún caso desconectar hidráulicamente. Este es el motivo por el que la posición de la divisoria varía en el tiempo, siendo las extracciones y la recarga sus principales condicionantes. Así, los descensos piezométricos en el sector oriental, más próximo a la cuenca del Júcar, acentuarían el desplazamiento de la divisoria hacia el oeste.

Funcionamiento hidrogeológico en régimen natural y perturbado

El funcionamiento hidrológico de la Mancha Occidental en régimen natural se caracteriza por la gran interrelación existente entre las aguas superficiales y las subterráneas, por la relación de transferencia subterránea con las unidades de Sierra de Altomira al norte, y de Campo de Montiel al sur, y por la descarga de aguas subterráneas en los puntos topográficamente más bajos.

Las entradas al acuífero proceden de la infiltración directa de la lluvia, de las transferencias subterráneas recibidas desde el norte y el sur en la mitad oriental de la Unidad y de la infiltración de los ríos, cuando estos actúan como influentes. Las salidas en régimen natural se producían por drenaje del acuífero en las zonas de descarga (particularmente importantes en los Ojos del Guadiana y en el entorno de Las Tablas de Daimiel) y por evapotranspiración desde las zonas húmedas y cauces superficiales. En esta situación no influenciada, el flujo subterráneo circulaba de este a oeste. De manera general, se puede considerar la situación piezométrica poco alterada hasta 1975, aunque el esquema de flujo natural consigue mantenerse hasta principios de los años 80, con notables descensos en los caudales de las salidas naturales de los acuíferos (Mejías *et al.*, 2004).

Las interacciones con las unidades mencionadas, Sierra de Altomira al norte y Campo de Montiel al sur, son complejas, especialmente en el caso de Altomira, debido a la complicación estructural del contacto geológico entre ambas unidades, figura 4.

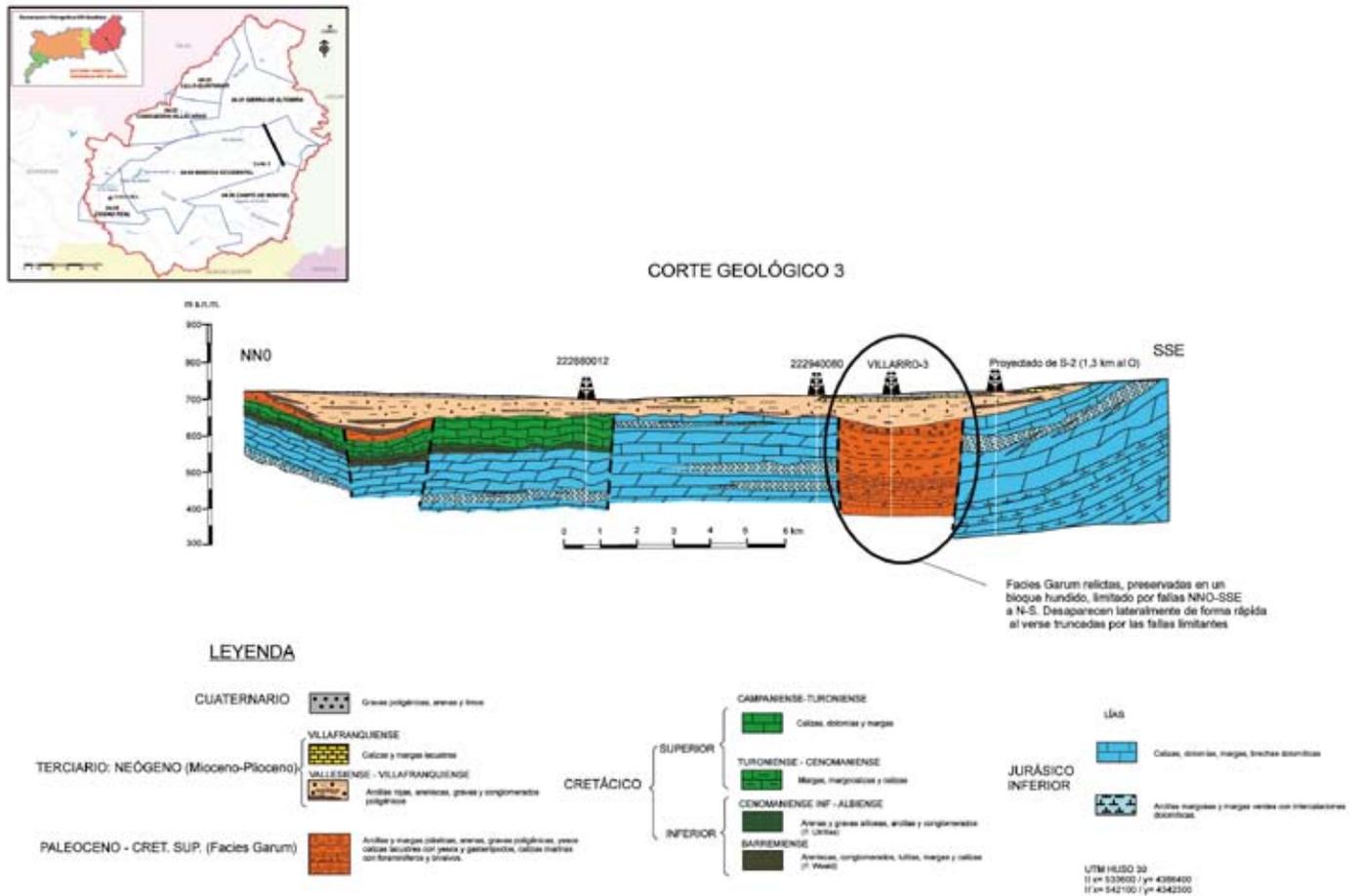


Figura 4. Corte geológico desde el límite sur de sierra de Altomira hasta el límite norte de Campo de Montiel. Modificado de López-Gutiérrez *et al.* (2010).

Figure 4. Geological profile from the southern edge of the Sierra de Altomira to the northern edge of Campo de Montiel; from López-Gutiérrez *et al.* (2010) with modifications.

La conexión hidráulica con el Campo de Montiel es menos compleja estructuralmente. La transferencia subterránea hacia la Llanura Manchega es importante, del orden de 45-50 Mm³/año (Martínez Cortina *et al.*, 2011), El Guadiana Alto, a su salida del Campo de Montiel mantiene siempre un cierto caudal, gracias a la escorrentía subterránea generada incluso en los periodos de sequía más prolongada. En periodos húmedos la aportación superficial tiene puntas muy notables, cercanas a los 40 Mm³/mes (Martínez Cortina, 2001). Por tanto, la mayor parte de los recursos hídricos generados en el Campo de Montiel se transfieren hacia la Llanura Manchega, bien de manera superficial o subterránea (Martínez Cortina *et al.*, 2011).

Por lo que respecta a la Sierra de Altomira, se recarga principalmente por la infiltración del agua de lluvia y de la escorrentía superficial, mientras que la descarga natural se produce por drenaje hacia los ríos, a tra-

vés de manantiales y, en menor medida, por transferencia subterránea hacia la Llanura Manchega y hacia las masas de Lillo-Quintanar y Consuegra-Villacañas. En su parte más septentrional el drenaje tiene lugar hacia el río Cigüela, mientras que en su zona meridional el agua circula hacia los ríos Záncara, Saona y Rus, y hacia las comentadas masas adyacentes.

Ante el grave deterioro medioambiental al que da lugar esta situación se toman las primeras medidas de ordenación, ya referidas en la introducción, derivadas, en parte, de las declaraciones provisional y definitiva de sobreexplotación. Este aprovechamiento intensivo produce importantes modificaciones en el funcionamiento del sistema hidrológico. El descenso de los niveles piezométricos hace que el sistema quede desconectado de los cauces fluviales, y por tanto desaparece la aportación subterránea del acuífero al caudal de los ríos. Las áreas húmedas se reducen drásticamente y las zonas que antes recibían la des-

carga del acuífero pasan a producir infiltración hacia éste.

En la tabla 4 se presenta el balance hídrico sintético de la Unidad Hidrogeológica Mancha Occidental, en régimen natural e influenciado (Martínez Cortina *et al.*, 2011). Otro interesante ejemplo de balance de esta Unidad, que puede contrastarse con el anterior, puede verse en Martínez Santos *et al.* (2008).

Los valores medios de los diferentes términos del balance hídrico indican que, sin tener en cuenta la posible reducción de la recarga procedente de la precipitación por efectos del cambio climático, en régimen influenciado los descensos del nivel piezométrico producen un incremento medio de las transferencias subterráneas desde las unidades ubicadas al norte y al sur de la Mancha Occidental, más importante en el caso de Campo de Montiel debido a su mejor conexión hidráulica con la Mancha Occidental. La infiltración a partir de la escorrentía superficial disminuye drásticamente y queda reducida a situaciones favorecidas por las cortas secuencias climatológicas húmedas.

La desconexión hidráulica de las zonas húmedas ubicadas en la Unidad con respecto a los acuíferos hace que las salidas por evapotranspiración y los aportes de los acuíferos a aquéllas queden casi anulados y las salidas de agua subterránea se reducen a las extracciones.

Esta situación da lugar a un funcionamiento hidrológico muy alterado que podría describirse de forma simplificada como un gran embalse subterráneo del que sale agua por extracción y cuyo nivel piezométrico fluctúa en función de los valores de recarga-extracciones, pero sin que éste llegue nunca a una situación capaz de recuperar las salidas naturales de las formaciones acuíferas.

EVOLUCIÓN PIEZOMÉTRICA EN EL PERIODO 1980-2011

Red de observación piezométrica del IGME

Desde el año 1973 el IGME controla sistemáticamente los niveles piezométricos en la Mancha Occidental. El número de puntos de la red de observación ha ido sufriendo ligeras variaciones, pero se ha priorizado en el mantenimiento de los puntos con serie histórica desde la fecha señalada. La red correspondiente al año 2011 consta de 74 piezómetros, de los que unos 50 puntos tienen serie histórica con datos anteriores a 1980. Estos piezómetros, desde el año 2011, se encuentran integrados en la red oficial de la Confederación Hidrográfica del Guadiana y se miden con una periodicidad mensual.

La evolución piezométrica se analiza mediante la comparación con la situación existente en el año 1980, en el que si bien ya se producía una extracción notable de agua subterránea, todavía se mantenía el esquema natural de flujo y se producían descargas en las principales surgencias. El análisis de la evolución se lleva a cabo a partir de los puntos de observación que constituían la red del IGME, por ser los que cuentan con una serie histórica suficientemente larga para evaluar los cambios en función del tiempo.

Del total de puntos señalados, y de acuerdo a su evolución y su registro histórico, se han seleccionado 18 como más representativos del comportamiento hidrogeológico regional. Sus hidrogramas no presentan efectos locales reseñables, y se encuentran distribuidos por toda la superficie de la Unidad, figura 5. Los piezómetros con número de registro: 203040001, 203070002, 212910019, 222830001, 222880011, 222940080 y 222960021 controlan el acuífero inferior,

Términos del balance hídrico	Régimen natural	Régimen influenciado
ENTRADAS Mm³/año		
Recarga lluvia	210	210
Transferencia subterránea desde Sierra Altomira	10	15
Transferencia subterránea desde Campo de Montiel	40	55
Infiltración a partir de cauces	110	65
Total entradas	370	345
SALIDAS Mm³/año		
Evapotranspiración	125	0
Descargas acuífero a ríos y zonas húmedas	245	0
Extracciones	0	345
Total salidas	370	345

Tabla 4. Balance hídrico en régimen natural e influenciado de la Unidad Hidrogeológica Mancha Occidental.

Table 4. Water balance in the Western La Mancha hydrogeological unit under a natural and an exploited regime.

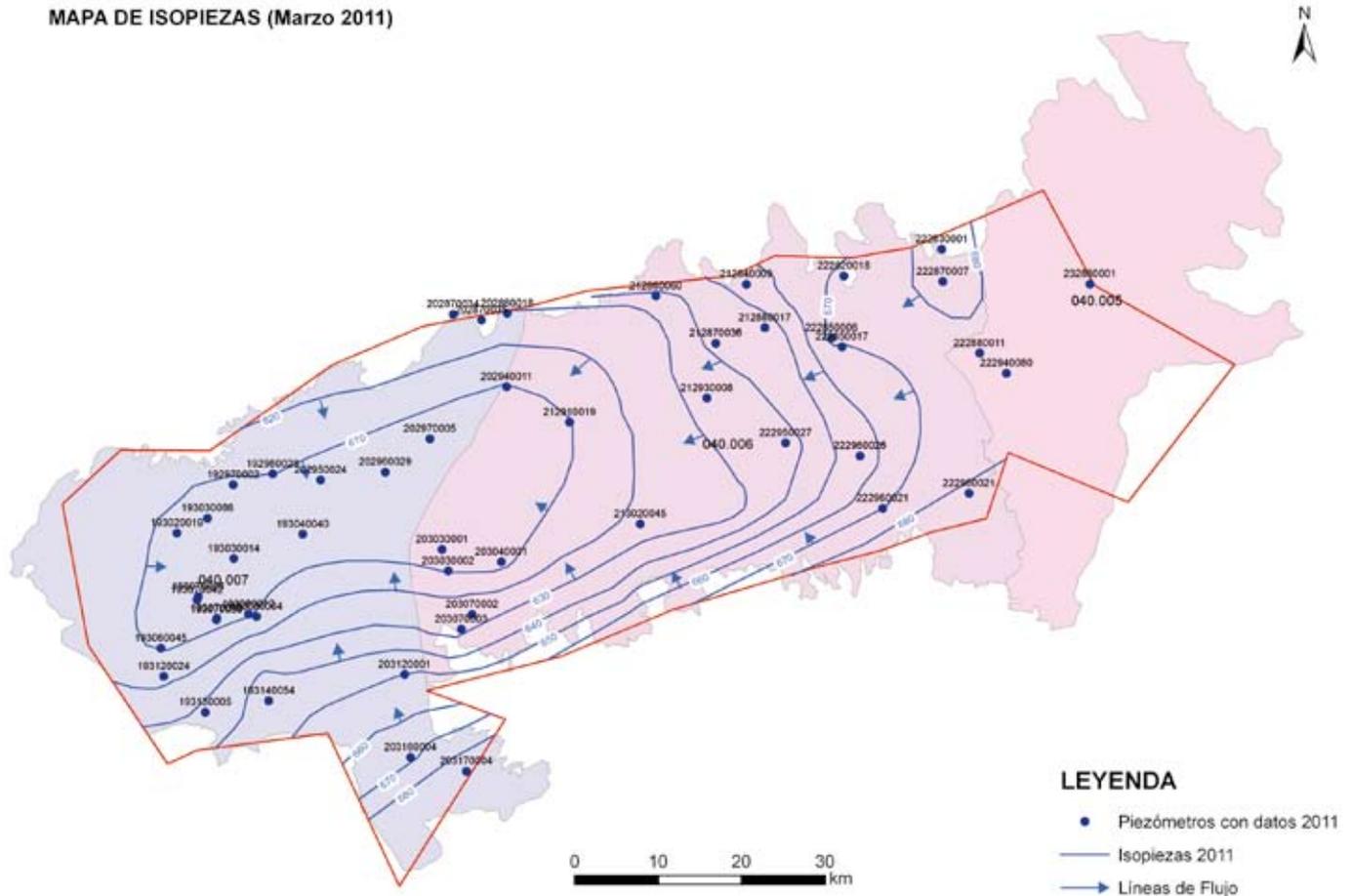


Figura 5. Mapa de isopiezas correspondiente a marzo de 2011.

Figure 5. Groundwater map corresponding to March 2011.

de edad mesozoica; los restantes sólo el acuífero superior.

Evolución piezométrica

La evolución piezométrica en la Unidad, durante el periodo 1980-2011, podría sintetizarse como una sucesión de periodos de descenso de los niveles, más o menos pronunciados, intercalados esporádicamente con notables recuperaciones parciales asociadas a periodos húmedos. Esta evolución piezométrica se puede resumir en los siguientes lapsos temporales:

1980–1988: se produce un descenso generalizado de niveles, con un valor medio de 1,8 m/año.

1988–1995: los descensos se acentúan llegando a un valor medio de 2,3 m/año, atribuible a la sequía que se produce en este periodo junto con valores elevados de las extracciones (en torno a 600 Mm³/año) (Mejías *et al.*, 2004).

1995–2000: se produce una recuperación media de 2,5 m/año, como consecuencia del periodo húmedo 1995/96-1997/98 y de un cierto descenso en las extracciones, en parte como resultado del Plan de Compensación de Rentas.

2000–2004: se registran nuevamente descensos continuados del nivel, de aproximadamente 1,3 m/año.

2004–2005: se invierte la tendencia, registrándose una recuperación media del nivel de 2,5 m, asociada al año húmedo 2003/04.

2005–2007: vuelven a producirse descensos, con un valor medio en torno a 2,4 m/año.

2007–2009: podría considerarse como un periodo de estabilización, sin una tendencia clara en uno u otro sentido.

2009–2011: coincidiendo con el periodo húmedo que se inicia en diciembre de 2009, y que se mantiene hasta el momento de elaborar este artículo en junio de 2011, se produce la recuperación de nivel más importante de la serie histórica. Entre los periodos de

aguas altas de 2009 y 2011 el ascenso medio de nivel en la Unidad se sitúa en torno a 12 m, es decir un valor medio de 6 m/año.

Además de los climatológicos, existen otros factores socioeconómicos, administrativos, legales, etc. que han influido en esta evolución. En su tesis doctoral, Martínez Santos (2007) describe e ilustra gráficamente dichos factores a través de la evolución de un piezómetro en el periodo 1975-2005.

En la tabla 5 se recoge la profundidad de nivel piezométrico medida en los 18 piezómetros representativos de la Mancha Occidental, correspondiente al período de aguas altas en los años 1980, 2010 y 2011. Se incluyen los cálculos de las variaciones de nivel y los valores promedio.

El análisis del periodo húmedo 2009/11 refleja una variación media positiva de niveles de casi 4 m en el intervalo 2009/10 y de unos 8 m en el periodo 2010/11. Cabe destacar los importantes ascensos que se observan en algunos puntos, superiores a 10 m, entre aguas altas de 2010 y de 2011. El análisis de las diferencias entre el año 1980, que aunque en régimen modificado, como ya se ha mencionado, todavía mantenía el

esquema natural de flujo, y 2011 pone de manifiesto un descenso global medio para el periodo de 31 años de unos 8,5 m, si bien algunos puntos presentan un nivel incluso más alto que el tomado como referencia y que está relacionado con una intensa recarga puntual, al estar situados en las proximidades de masas de agua superficiales que han experimentado un importante incremento en su escorrentía durante este último periodo húmedo.

Con las medidas efectuadas en la campaña de aguas altas del año 2011 se ha elaborado el mapa de isopiezas de la figura 5. En este mapa se puede observar que la isopieza de menor valor corresponde a la de 610 m s.n.m., mientras que en los mapas de isopiezas anteriores a 2011 la de menor valor era la de 600 m s.n.m., sin que esto suponga que se haya recuperado el esquema natural de flujo subterráneo.

Aun con este considerable cambio de tendencia, se mantiene todavía una pronunciada depresión que se extiende por la mitad occidental de la Unidad y que no posibilita la descarga natural del acuífero en la zona de los Ojos del Guadiana. El área de máxima depresión se encuentra delimitada por las poblaciones

Piezómetros representativos						
Nº Registro	P.N.P. 80	P.N.P. 10	P.N.P. 11	Dif. 10-11	Dif. 80-11	m/año
193030014	7,60	14,34	11,17	3,17	-3,57	-0,12
193040040	10,46	32,01	20,16	11,85	-9,70	-0,31
193070030	16,71	30,84	21,73	9,11	-5,02	-0,16
193080012	17,37	27,14	20,22	6,92	-2,85	-0,09
193120024	8,83	3,37	3,77	-0,40	5,06	-0,16
193130005	13,87	17,81	8,63	9,18	5,24	-0,17
202940011	3,08	33,70	20,88	12,82	-17,80	-0,57
202970005	16,15	46,64	33,81	12,83	-17,66	-0,57
203030001	28,00	55,20	40,49	14,71	-12,49	-0,40
203030002	34,37	56,30	40,05	16,25	-5,68	-0,18
203040001	27,33	60,45	48,97	11,48	-21,64	-0,70
203070002	36,55	29,16	32,28	-3,12	4,27	-0,14
212910019	21,21	54,67	41,65	13,02	-20,44	-0,66
212930008	3,38	15,80	12,90	2,90	-9,52	-0,31
222830001	26,97	41,86	36,88	4,98	-9,91	-0,32
222880011	13,92	24,67	26,45	-1,78	-12,53	-0,40
222940080	10,22	31,93	22,84	9,09	-12,62	-0,41
222960021	56,24	79,88	63,65	16,23	-7,41	-0,24
Media				8,29	-8,57	-0,28

Tabla 5. Medidas de profundidad de nivel piezométrico (P.N.P.), en m, en piezómetros representativos de la unidad hidrogeológica Mancha Occidental. Se indican los valores en marzo de los años 1980, 2010 y 2011, así como la diferencia entre estos niveles. En la columna de la derecha se calcula la variación anual promedio del periodo 1980-2011.

Table 5. Depth of water table (m) as measured by representative piezometers of the Western La Mancha hydrogeological unit. Values are indicated for March 1980, 2010 and 2011 together with the differences in levels. The mean annual variation for the period 1980-2011 is given in the right-hand column.

de Villarta de San Juan, Alameda de Cervera, Llanos del Caudillo y Daimiel. El sentido del flujo subterráneo es básicamente nordeste-sudoeste en la parte oriental de la Mancha Occidental, mientras que en la mitad occidental las líneas de flujo adoptan una disposición radial, desde los bordes hacia el interior de la depresión central.

A escala regional la comparación entre las situaciones de aguas altas de 2010 y 2011 presenta una tendencia predominante de ascenso generalizado de los niveles, excepto algunos puntos situados en las proximidades de las Tablas de Daimiel que experimentan ligeros descensos con respecto a 2010, relacionados con las variaciones de la superficie encharcada de Las Tablas. También queda patente que el valor absoluto de los ascensos es, en general, mayor en los puntos situados en la mitad sur de la Unidad, con valores superiores a 10 m. Esta zonificación es reflejo del notable incremento del aporte de agua mediante transferencia subterránea desde el Campo de Montiel y a partir de los cauces superficiales que drenan dicha Unidad. Los ascensos son menores en los puntos de control situados en la zona septentrional, de 2 a 5 m, que indican una menor recarga comparativa procedente de la unidad de Sierra de Altomira.

Uno de los indicadores del "estado de salud" hidrológico en la Mancha Occidental es la evolución del caudal o del nivel piezométrico en los Ojos del Guadiana. Esta evolución se mide sistemáticamente desde el año 1979 en el punto de control 193040040. En la figura 6 se presenta el hidrograma correspondiente a dicho punto. La zona de surgencia de agua funcionó como tal hasta 1984, si bien en los últimos años tuvo un pronunciado comportamiento estacional. Hasta aproximadamente la cota de 613 m s.n.m. se producía descarga de agua subterránea. Como se puede ver en la figura, en el periodo de aguas altas de 2011 el nivel

piezométrico se situaba a 607,28 m s.n.m., de manera que todavía existe un vaciado de unos 6 metros para que vuelva a producirse dicha surgencia.

Estimación de la variación del almacenamiento de agua subterránea

Un cálculo aproximado, mediante el método de oscilación del nivel freático (Scanlon *et al.*, 2002), de la magnitud de las reservas de agua movilizadas en el ámbito territorial de la unidad hidrogeológica 04.04 permite estimar que en el periodo 1980-2011 podría haberse producido un vaciado global de almacenamiento equivalente a unos 1.070 Mm³. Si se toma como referencia la situación de aguas bajas del año 2011 el vaciado se estima en unos 1.000 Mm³. Para dicha estimación se han utilizado las siguientes hipótesis simplificadoras:

Se supone un descenso global para la Unidad en el periodo 1980-2011 de unos 8,5 m. El volumen medio de almacenamiento por cada metro de acuífero se estima en 125 Mm³/m, valor deducido de considerar una superficie permeable de 5.000 km² y un coeficiente de almacenamiento del 2,5%. Sin olvidar que la complejidad del sistema hace que la incertidumbre asociada a este valor del coeficiente de almacenamiento sea notable, los trabajos de caracterización del sistema (IGME, 1979), y diversos modelos con el correspondiente análisis de sensibilidad para este parámetro (Martínez Cortina, 2001), estiman dicha cifra como valor medio aproximado para la Unidad en su conjunto. Martínez Santos (2007), analiza las incertidumbres del cálculo de las reservas en la Mancha Occidental, realizando también un análisis de sensibilidad a los valores del coeficiente de almacenamiento de acuífero libre.

En la figura 7 se presenta la evolución de la variación del almacenamiento tomando como referencia

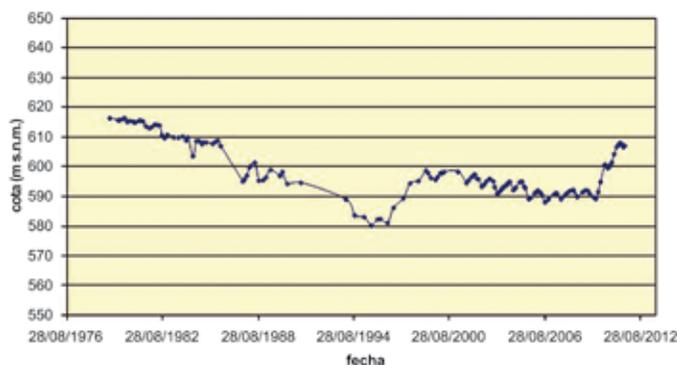


Figura 6. Hidrograma correspondiente al punto de control 193040040, situado en las proximidades de Los Ojos del Guadiana.
Figure 6. Hydrograph corresponding to piezometer 193040040, located close to Los Ojos del Guadiana.

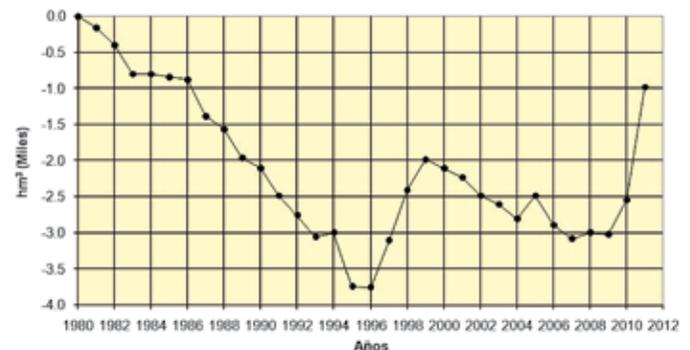


Figura 7. Evolución de la variación del almacenamiento en el ámbito de la U.H. 04.04. Mancha Occidental.
Figure 7. Evolution of the variation in water storage in the Western La Mancha hydrogeological unit.

el estado del acuífero en el año 1980. Pueden distinguirse esencialmente cuatro periodos:

1980–1995: vaciado de 3.750 Mm³

1995–1999: recuperación de 1.750 Mm³

1999–2009: vaciado de 1.000 Mm³

2009–2011: una recuperación de 1.930 Mm³

El último periodo húmedo ha supuesto una recuperación similar a la de 1995/99, si bien en la mitad de tiempo que aquélla. Además, dada la inercia del acuífero y la continuación de las lluvias durante el primer semestre de 2011, cabe considerar que la tendencia ascendente de los niveles piezométricos se mantendrá en los próximos meses, dando lugar a una situación que puede suponer un punto de inflexión con respecto a la consecución de los objetivos previstos en el PEAG.

Discusión y conclusiones

La unidad hidrogeológica Mancha Occidental constituye un enclave emblemático desde muchos puntos de vista. Hidrogeológicamente destaca la estrecha relación existente entre las aguas subterráneas y las superficiales, el comportamiento de éstas como influentes o efluentes dependiendo de la zona, la estación climatológica, la secuencia climática o el grado de aprovechamiento de las aguas subterráneas.

La desaparición de las surgencias de aguas subterráneas en el entorno de los Ojos del Guadiana, a partir de 1984, como consecuencia del descenso del nivel piezométrico, dejó a las Tablas de Daimiel sin su principal aporte natural de agua, quedando a expensas de los aportes procedentes de la escorrentía superficial en los escasos periodos húmedos. Para intentar paliar estas situaciones extremas se puso en marcha la derivación de aguas a través del Acueducto Tajo-Segura, que ha permitido la supervivencia, en gran parte artificial, del humedal hasta el momento actual, conservando, también con diversos matices, su biodiversidad.

El trasvase de agua a las Tablas de Daimiel fue aprobado por primera vez mediante la Ley 13/1987, de 17 de julio, “de derivación de volúmenes de agua de la cuenca alta del Tajo, a través del acueducto Tajo-Segura, con carácter experimental, con destino al Parque Nacional de las Tablas de Daimiel”. Posteriormente, en 1990, se aprueba el Real Decreto-Ley 6/1990, de 28 de diciembre, por el que se dispone un nuevo periodo de tres años del régimen de derivación de aguas con destino al Parque. En 1993, el Real Decreto-Ley 5/1993, de 16 de abril, autoriza determinadas actuaciones en relación con las cuencas del Tajo y del Segura, y se incluye el trasvase de un volumen de 10 Mm³ desde la

cabecera del Tajo. En 1995, ante la crítica situación hídrica que sufre el Parque, se promulga el Real Decreto-Ley 8/1995, de 4 de agosto, por el que se adoptan medidas urgentes de mejora del aprovechamiento del trasvase Tajo-Segura.

En los últimos años cabe mencionar los trasvases de 2007, mediante acuerdo del Consejo de Ministros de 8 de junio de 2007, en el que se autoriza el trasvase de 10 Mm³ de la cabecera del Tajo a las Tablas de Daimiel; y el de 2009, mediante acuerdo del Consejo de Ministros de 6 de noviembre, en el que se toman medidas para paliar la situación de extrema gravedad en que se halla el Parque debido a la combustión de turba. El Gobierno aprueba un trasvase de 20 Mm³ y una batería de medidas urgentes para intentar extinguir la combustión de turba y restituir en lo posible la superficie encharcada del Parque.

Otro aspecto destacable y peculiar de la Mancha Occidental es el relacionado con su entorno socioeconómico. La agricultura de regadío, basada en el aprovechamiento de las aguas subterráneas, prácticamente en su totalidad a iniciativa particular, supuso un notable desarrollo económico y un discreto incremento de la población asentada en la Llanura Manchega.

Esta forma de desarrollo ha dado lugar también a una particular interacción entre las administraciones y los usuarios de aguas subterráneas. Así, han sido muchos los intentos de consenso, autorregulación, imposición, aplicación de medidas coercitivas, etc., que han llevado a veces a situaciones encontradas y en otras ocasiones al establecimiento de acuerdos, pero, en opinión de los autores, en un marco en el que ha primado el interés de todas las partes por mantener siempre abiertas las vías de contacto. Así, se llegó a la aprobación del PEAG, mencionado en la introducción, como una apuesta novedosa de encarar el problema, y cuyo desarrollo y resultados tendrán que valorarse en el futuro.

Estos factores propios y peculiares de la Mancha Occidental han hecho de esta unidad hidrogeológica un lugar de estudio de especial interés para especialistas de diversas ramas del conocimiento. Así ha sido objeto de numerosas tesis doctorales, estudios técnicos, sociológicos, económicos, medioambientales, etc. Cada uno aportando su visión y mejora del conocimiento sobre la problemática en cuestión.

Es evidente que la recuperación futura de la unidad de la Mancha Occidental, desde un punto de vista hidrológico y medioambiental, pasa por un ascenso de los niveles piezométricos que permita que vuelvan a producirse surgencias en antiguas zonas de descarga del acuífero, como los Ojos del Guadiana o las Tablas de Daimiel.

A su vez, la recuperación de los niveles piezométricos del acuífero está condicionada a una limitación en el volumen de extracciones de agua subterránea. De forma simplificada, pero ilustrativa, puede decirse que a un determinado volumen de extracción de agua subterránea mantenido en el tiempo, le corresponde una situación media de equilibrio del sistema (prescindiendo de la variabilidad meteorológica), caracterizada por una cota del nivel piezométrico y un determinado valor del volumen descargado por los acuíferos a ríos y zonas húmedas (en el caso de que el nivel piezométrico alcanzado lo haga posible).

A partir de estudios previos y de herramientas empíricas desarrolladas por el IGME (Martínez Cortina y Mejías, en prensa) se han definido una serie de posibles escenarios futuros que nos permiten tener una idea de las posibilidades y condiciones cuantitativas de recuperación del acuífero.

Así, y a modo de referencia aproximada, puede decirse que si a largo plazo se mantiene por debajo de 200 Mm³/año la extracción en toda la unidad de Mancha Occidental (o en el conjunto de las tres masas de agua subterránea que se van a definir en la Unidad), podrían comenzar a recuperarse en algunas zonas las descargas del acuífero, aunque asociadas a secuencias bastante húmedas. A partir de un volumen inferior a los 150 Mm³/año mantenido en el tiempo, puede ya hablarse de recuperaciones hidrológico-medioambientales importantes. Una extracción de 50 Mm³/año correspondería de forma aproximada a la situación que existía a mediados del siglo XX.

Por otra parte, la recuperación del sistema no se puede confiar sólo a la aparición de esporádicos períodos húmedos, como los acaecidos en 1995-1997 y 2009-2011, ya que si bien producen ascensos de nivel muy importantes, su escasa duración temporal no permite la recuperación del esquema natural de flujo. Este tipo de eventos ponen de manifiesto que en climas semiáridos, como el existente en la Mancha Occidental, la recarga natural del sistema se produce básicamente durante esos esporádicos y cortos períodos húmedos después de las cuales, y continuando las extracciones en los valores habituales, da lugar a una nueva etapa de descenso durante varios años, más o menos pronunciada en función del volumen de las extracciones.

Este comportamiento debe tenerse en especial consideración en la planificación hidrológica, de manera que cuando se habla de valores medios hay que tener presente esta distribución irregular de la precipitación, así como aprovechar especialmente los esporádicos períodos húmedos para favorecer la recarga del acuífero y gestionar adecuadamente su

utilización durante las secuencias climáticas secas o medias.

Por último, cabe destacar que la situación actual de la Unidad es la mejor en cuanto a variación del almacenamiento de agua subterránea de los últimos 25 años. El momento actual podría considerarse un punto de inflexión en cuanto a una posible recuperación del sistema natural de flujo. Sólo mediante una gestión hídrica adecuada y el compromiso de los usuarios y las administraciones se puede establecer un equilibrio entre el uso del territorio, el aprovechamiento de los recursos hídricos y el mantenimiento del medio ambiente.

Referencias

- Acreman, M., Almagro, J., Álvarez Rodríguez, J., Bouraqui, F., Bradford, R., Bromley, J., Croke, B., Crooks, S., Cruces, J., Dolz, J., Dunbar, M., Estrela, T., Fernández-Carrasco, P., Fornés, J., Gustard, A., Haverkamp, R., Hera, A. de la, Hernández-Mora, N., Llamas, M.R., Martínez Cortina, L., Papamastorakis, J., Ragab, R., Sánchez Juny, M., Vardavas, I. y Webb, T. 2000. *Technical Report to the European Union ENV4-CT95-0186. Groundwater and River Resources Action Programme on a European Scale (GRAPES)*. Institute of Hydrology, Wallingford, Reino Unido: 248 pp.
- BOE 1986. Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los Títulos Preliminar, I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas. *Boletín Oficial del Estado* n° 103, 30 de abril de 1986: 15500-15537.
- BOE 1998. Real Decreto 1664/1998, de 24 de julio, por el que se aprueban los Planes Hidrológicos de cuenca. *Boletín Oficial del Estado* n° 191, 11 de agosto de 1998: 27296-27298.
- BOE 2008. Real Decreto 13/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el Plan Especial del Alto Guadiana. *Boletín Oficial del Estado* n° 21, 24 de enero de 2008: 4608-4612.
- CE 2000. *Directiva 2000/60/EC del Parlamento Europeo y del Consejo por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas*. Comisión Europea, Luxemburgo.
- CHG 2001. *Mejora del conocimiento hidrogeológico de la cuenca alta hasta UUHH 04.02 y 04.04*. Clave 00/1.1.14. Memoria y anejos.
- CHG 2005. *Instalación piezométrica en el extremo oriental de la UH 04.04*. Clave 02/1.1.09. Memoria y anejos.
- DGOH-ITGE. 1988. *Delimitación de las unidades hidrogeológicas del territorio peninsular e Islas Baleares y síntesis de sus características*. Centro de documentación del IGME, Madrid.
(http://www.igme.es/INTERNET/SIDIMAGENES/005000/815/5815_0000004.PDF, 31/10/11), 165 pp.
Un resumen de este trabajo aparece en la publicación: Dirección General de Obras Hidráulicas e Instituto Tecno-

- lógico Geominero de España, 1990. Unidades hidrogeológicas de la España Peninsular e Islas Baleares. Síntesis de sus características y mapa a escala 1:1.000.000. *Informaciones y Estudios*, 52, 1-32.
- Esnaola, J.M^a y Martínez Alfaro, P.E. 1992. Análisis de las aportaciones superficiales al Parque Nacional de las Tablas de Daimiel y su influencia en la evolución hidrogeológica del ecosistema. *V Simposio de Hidrogeología. Hidrogeología y Recursos Hidráulicos*, 16: 411-423.
- IGME 2010. *Estimación de los recursos disponibles para cada masa de agua subterránea de la cuenca alta del Guadiana, basada en el análisis de los informes y referencias bibliográficas precedentes y en los datos de infraestructura hidrogeológica y conocimiento experto del IGME*. Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas. Estudio complementario. Instituto Geológico y Minero de España y Dirección General del Agua. 69 pp.
- IGME 1979. *Investigación hidrogeológica de la cuenca alta y media del Guadiana. Informe final (Sistema 19: Sierra de Altomira, Sistema 20: Mancha de Toledo, Sistema 22: Cuenca del río Bullaque, Sistema 23: Llanura Manchega, Sistema 24: Campo de Montiel)*. Plan Nacional de Investigación en Aguas Subterráneas (PNIAS). Instituto Tecnológico GeoMinero de España.
- IGME-DGA 2009. *Apoyo a la caracterización adicional de las masas de agua subterránea en riesgo de no cumplir los objetivos medioambientales en 2015. Cuenca del Guadiana*. Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas. Centro de documentación del IGME, Madrid.
(Memoria: http://www.igme.es/INTERNET/SIDIMAGENES/139000/862/139862_0000001.PDF; Masa Rus-Valdelobos: http://www.igme.es/INTERNET/SIDIMAGENES/139000/862/139862_0000006.PDF; Masa Mancha Occidental II: http://www.igme.es/INTERNET/SIDIMAGENES/139000/862/139862_0000006.PDF; Masa Mancha Occidental I: http://www.igme.es/INTERNET/SIDIMAGENES/139000/862/139862_0000008.PDF; 31/10/11).
- IGME 1981. *Estudio de los recursos subterráneos de la cuenca alta del Guadiana. Sistemas acuíferos n° 19-20-21-22-23-24-25*. Avance 1.981. Instituto Tecnológico GeoMinero de España. Centro de Documentación del IGME, Madrid.
- ITGE 1989. *Sistema acuífero número 23*. Mancha Occidental. Serie: Manuales de utilidades de acuíferos.
- ITGE 2000. *Unidades Hidrogeológicas de España*. Mapa y Datos Básicos. ITGE, Madrid, 2000.
- Llamas, M. R. y Rodríguez, M. 1995. *Estudio Hidrogeológico para la Delimitación Oriental del acuífero de la Llanura Manchega*. Informe inédito.
- López-Gutiérrez, J., Plata, J.L. y Mejías, M. 2010. *Informe sobre la estructura geológica e hidrogeológica en el límite oriental de la unidad hidrogeológica 04.04, Mancha Occidental, Demarcación Hidrográfica del Guadiana (parte española)*. Centro de documentación IGME.
- López-Gutiérrez, J., Plata, J.L. y Mejías, M. en prensa. *Implicaciones hidrogeológicas de la estructura geológica del subsuelo de la Llanura Manchega. Divisoria Guadiana-Júcar. Congreso Ibérico sobre las aguas subterráneas: desafíos de la gestión para el Siglo XXI*. AIH Grupo Español. Zaragoza.
- Martínez Cortina, L. 2001. *Estimación de la recarga en grandes cuencas sedimentarias mediante modelos numéricos de flujo subterráneo. Aplicación a la cuenca alta del Guadiana*. Tesis Doctoral. Universidad de Cantabria. 418 pp.
- Martínez Cortina, L. 2003. Marco hidrológico de la cuenca alta del Guadiana. En: Coletto, C., Martínez Cortina, L. y Llamas, M.R., (eds.), *Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la conservación de los humedales: la cuenca alta del Guadiana*. Fundación Marcelino Botín. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 3-68.
- Martínez Cortina, L. y Mejías, M. en prensa. *Perspectivas de recuperación del sistema hidrológico de la cuenca alta del Guadiana ante diferentes escenarios meteorológicos y de explotación. Congreso Ibérico sobre las aguas subterráneas: desafíos de la gestión para el Siglo XXI*. AIH Grupo Español. Zaragoza.
- Martínez Cortina, L., Mejías, M., Díaz-Muñoz J.A., Morales-García, R. y Ruiz-Hernández, J.M. 2011. *Cuantificación de recursos hídricos subterráneos en la cuenca alta del Guadiana. Consideraciones respecto a las definiciones de recursos renovables y disponibles*. *Boletín Geológico y Minero*, 122(1), 17-36.
- Martínez Santos, P. 2007. *Hacia la gestión adaptable del acuífero de la Mancha Occidental. Desarrollo de un modelo digital de flujo y elaboración participativa de escenarios futuros de gestión del agua*. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. 375 pp.
- Martínez Santos, P., Llamas, M.R. y Martínez-Alfaro, P.E. 2008. Vulnerability assessment of groundwater resources: A modelling-based approach to the Mancha Occidental aquifer, Spain. *Environmental Modelling & Software*, 23, 1145-1162.
- Mejías, M. y Crespo, A. 2005. *Trabajos técnicos para la aplicación de la Directiva Marco del Agua en materia de aguas subterráneas*. Caracterización adicional: Mancha Occidental I y II. Centro de documentación del IGME.
- Mejías, M., Roncero, F.J. y Rodríguez, R. 2004. Evolución piezométrica y variación de reservas en la Unidad Hidrogeológica 04.04 (Mancha Occidental), 1980-2004. *Hidrogeología y Recursos Hidráulicos*, XXVII: 463-472.
- Mejías, M., Losa, A. de la y Jiménez, E. 2009. *Informe sobre evolución piezométrica de la Unidad Hidrogeológica 04.04 (Mancha Occidental)*. Informe inédito, Instituto Geológico y Minero de España, Centro de Documentación del IGME, Madrid, 29 pp.
- Mejías, M., Martínez Cortina L., Galindo, M.E. 2010. *Estudio hidrometeorológico y análisis del efecto del periodo húmedo 2009/10 en los acuíferos de la cuenca alta del río Guadiana*. Informe inédito, Instituto Geológico y Minero de España, Centro de Documentación del IGME, Madrid, 49 pp.
- Scanlon, B.R., Healy, R.W. y Cook, P.G. 2002. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. *Hydrogeology Journal*, 10, 18-39.

SGOP 1988. *Evolución de las extracciones y niveles piezométricos en el acuífero de la Llanura Manchega en el periodo 1984-87*. Referencia 06/88. DGOH, MOPU. 135 pp y anejos. 02489 Centro de Documentación de la Dirección General del Agua, MMARM.

SGOP 1989. *Estudio para la ordenación de extracciones del acuífero de la Mancha Occidental*. Referencia 12/89. DGOH, MOPU. 116 pp y anejos. 02629 Centro de Documentación de la Dirección General del Agua, MMARM.

Recibido: octubre 2011
Revisado: noviembre 2011
Aceptado: diciembre 2011
Publicado: abril 2012