

LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN DOÑANA Y SU VALOR ECOLÓGICO

Groundwater in the Doñana area and their ecological value

Marisol Manzano (*) y Emilio Custodio (**)

RESUMEN

Se denomina Doñana a la zona costera situada entre los tramos bajos de los ríos Guadalquivir y Tinto, en el SO de la Península Ibérica, la cual se extiende sobre unos 3400 km². El clima es mediterráneo con influencia atlántica. Una parte de la zona está formada por extensas marismas temporales y el resto son arenales con matorrales y ocasionalmente bosque. El acuífero de Doñana, con hasta 300 m de espesor en su parte costera central y normalmente de menos de 100 m de potencia, ocupa la mayor parte de la zona y es una pieza clave para los importantes valores ecológicos del área y también para las necesidades humanas. Lo inhóspito del área la ha mantenido poco alterada hasta la década de 1950, y en especial la de 1970, con la introducción de bosque maderable, regadío intensivo con aguas subterráneas locales, desarrollos turísticos y crecimiento poblacional, pero también con la creación protectora de la Estación Biológica de Doñana, de los Parques Nacional y Natural y con una progresiva toma de conciencia de las autoridades y de la población de los valores naturales a preservar y de los bienes y servicios que proporcionan. La explotación de agua subterránea, de hasta unos 90 hm³/año, ha supuesto un descenso de los niveles freáticos, la reducción o desaparición de caudales de arroyos, lagunas y áreas de freatofitas, además de cambios químicos, aún en proceso, a causa del uso de agroquímicos y de la infiltración de residuos agrícolas y urbanos. La conservación ha de resolver el conflicto de intereses entre la Naturaleza y la demanda humana de agua, transformando ésta de competencia en complementariedad.

ABSTRACT

Doñana is the coastal area situated between the lower tracts of the Guadalquivir and Tinto rivers, in the SW of Spain, which covers about 3400 km². Climate is Mediterranean with Atlantic influence. A part of the area constitutes extensive temporal marshes, and the remaining part forms sandy areas covered with brush and occasional forest. The underground part constitutes the large Doñana aquifer. The Doñana aquifer, up to 300 m thick in their central position, although commonly less than 100 m thick, is a key element to the important ecological values of the area, and to the human needs as well. The inhospitable environment of the area kept it little disturbed until the 1950's, and especially the 1970's, when timber forest was introduced, and then intensively irrigated fields with local groundwater, touristic developments and population growth, but also with the creation for conservation purposes of the Doñana's Biological Station, the National and Natural Parks, and with a progressive awakening of authorities and population conscience of the natural values to preserve and of the goods and services they provide. Groundwater development, up to about 90 million m³/year, has had as a consequence the water-table drawdown, the reduction or disappearance of ravine flows, lagoons and phreatophyte areas, as well as chemical changes, still going on, due to the use of agrochemicals and the infiltration of agriculture and population wastes. Conservation has to solve the interest's conflict between Nature and human water demand, which has to be changed from concurrence into complementarity.

Palabras clave: Aguas subterráneas, ecología, humedales, Doñana.

Keywords: Groundwater, ecology, wetlands, Doñana.

INTRODUCCIÓN

El topónimo de Doñana se aplica, en sentido extenso, a una amplia zona del sudoeste de la Península Ibérica comprendida entre el río Guadalquivir al NE (ubicado al O de Sevilla), el río Guadalquivir al SE, el río Tinto al NO y O y el mar al S (Fig. 1). Esta su-

perficie pertenece a las provincias de Huelva y Sevilla, y una pequeña porción a la de Cádiz. Originariamente el nombre de Doñana se asociaba a unos cotos de caza de la parte costera del municipio de Almonte, los cuales están hoy dentro de la Estación Biológica de Doñana, del Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Aunque hace unos años se creó adminis-

(*) Departamento Ingeniería Minera, Geológica y Cartográfica. Universidad Politécnica de Cartagena; P^o de Alfonso XIII 52, 30203 Cartagena. E-mail: marisol.manzano@upct.es

(**) Departamento de Ingeniería del Terreno, Cartográfica y Geofísica. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, Campus Nord, Edificio D2, Gran Capità s/n. 08034 Barcelona. E-mail: emilio.custodio@upc.edu. Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea. Real Acad. Ciencias Exac. Fis. Nat. (España)

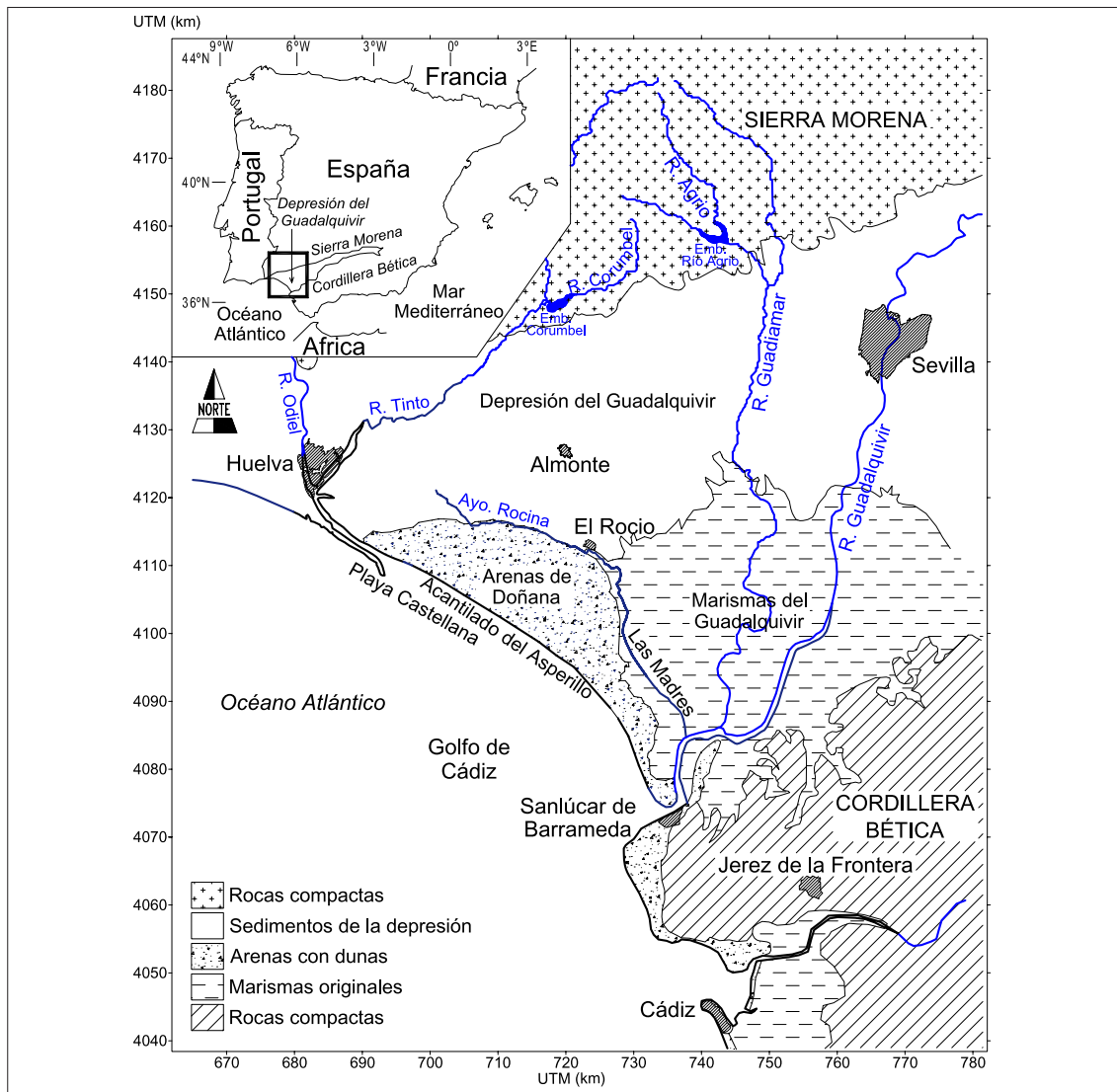


Fig. 1. Depresión del Guadalquivir y su ubicación geográfica.

trativamente la Mancomunidad de municipios de la Comarca de Doñana, esta entidad no ha adquirido personalidad propia entre la población y cada municipio, en el ámbito antes descrito, se encuadra preferentemente en las comarcas tradicionales del área: la Comarca del Condado, al O, y la del Aljarafe, al E.

En Doñana hay dos ambientes morfológicos y litológicos principales, por un lado el de las marismas y las áreas de marisma transformadas en arrozales, al E y SE, y por otro el de las arenas al N y O. La extensa zona occidental de arenas, con centro en el antiguo poblado de El Abalarío, tiene origen eólico, morfología dunar y altitudes de hasta 60 m (excepcionalmente hasta 90 m en la costa). Este manto eólico se continúa al SE en una barra arenosa que separa la marisma del océano Atlántico. Los dos ambientes, el de marisma y el arenoso, están separados por una franja de tránsito de escasa altitud que desde el punto de vista ecológico constituye un ecotono: ecotono N, ecotono de La Vera, al NO de la marisma, y ecotono de La Retuerta, al S y SE.

La extensa marisma, inundada en invierno y que se convierte en una gran llanura seca en verano, y la gran cantidad de aves migratorias que alberga, es lo más espectacular y visible. Pero las aguas subterráneas juegan un papel esencial en la ecología y valores naturales a lo largo de todo el año y se manifiestan en multitud de lagunas, un arroyo permanente (La Rocina), manantiales costeros, áreas de freatofitas y agua circulante por una serie de arroyitos en los ecotonos. Todo esto es esencial para la vegetación y la fauna residente y conforma un variado paisaje que pasa de matorral a bosque denso, y de dunas a depresiones húmedas.

El área de Doñana ha estado ocupada por el hombre desde hace más de 5000 años, en su periferia, ya que el resto del territorio es inhóspito por ser marisma o arenales de matorral, y su uso se limitaba a cotos de caza y a recolección de subsistencia, como el carboneo y pequeños ganados, sobre todo después de haber extraído los árboles maderables.

Este era el estado hasta mediados del siglo XX, cuando acontecieron cambios importantes en las áreas de arena. En primer lugar se introdujeron pinares, que en unos sitios fueron explotables y en otros quedaron poco desarrollados. Después se introdujeron eucaliptos maderables en áreas de nivel freático poco profundo, que modificaron extensas zonas del paisaje. A finales de la década de 1970 se implantó el Plan Almonte–Marismas de regadío de extensas áreas con agua subterránea local, una transformación muy importante y que ha afectado significativamente a las aguas subterráneas. Al mismo tiempo se inició la explotación turística y residencial de fin de semana de la costa, creándose las urbanizaciones de Matalascañas y Mazagón, con otros grandes proyectos que después fueron paralizados. Al mismo tiempo se creó la Estación Biológica de Doñana, parte en la marisma y parte en las arenas, y luego el Parque Nacional de Doñana, seguido de un Pre-parque y un Parque Natural que ha ido creciendo en extensión. Administrativamente, ambos parques están unidos hoy en día en el llamado Espacio Natural Doñana, gestionado por la Junta de Andalucía. La aldea de El Rocío ha sufrido un extraordinario crecimiento. Más recientemente se han erradicado los eucaliptos de las zonas protegidas, se han reforzado las medidas de protección y se ha intentado ir controlando las extracciones de aguas subterráneas por la Administración del agua.

Los primeros estudios en relación con las aguas subterráneas datan de finales de la década de 1960 (FAO–Gobierno Español), que fueron seguidos por investigaciones hidrogeológicas de la Universidad Complutense de Madrid, los cuales fueron continuados hasta hoy en día por la Universidad Politécnica de Cataluña, a la que se ha unido más recientemente la Universidad Politécnica de Cartagena. En 1992 se emitió un dictamen encargado por la Junta de Andalucía por un conjunto de expertos internacionales sobre el desarrollo de la zona, que ha sido el arranque de muchas de las actuales actividades.

CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES

El área de Doñana tiene un clima mediterráneo con influencia atlántica, lo que se traduce en inviernos húmedos y moderadamente fríos y veranos secos y cálidos, aunque suavizados por la influencia marina. El área es relativamente homogénea, aunque de ambiente más litoral en el SO y más continental en el NE.

La temperatura media anual es de unos 19°C y la pluviometría media varía entre 550 y 600 mm/año. Sin embargo, las variaciones interanuales de la precipitación –como lluvia, sin nieve y con épocas de rocío– son importantes, con secuencias de años húmedos y secuencias de años secos, aceptablemente conocidos ya que hay una estación meteorológica desde mediados del siglo XIX cerca de Sevilla. Cuando se iniciaron buena parte de los estudios hidrogeológicos se estaba en una época húmeda.

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA ACUÍFERO DE DOÑANA

En Doñana se encuentra un sistema acuífero detrítico de grandes dimensiones, unos 2900 km², conocido por Acuífero 27 (según antigua nomenclatura del Instituto Geológico y Minero de España) o simplemente Acuífero de Doñana. Se trata de un conjunto de unidades con distinto origen y capacidad para almacenar y transmitir el agua, pero conectadas espacialmente e hidráulicamente entre sí.

Los sedimentos que forman el sistema acuífero, de edad pliocena a cuaternaria, fueron depositados en el arco Guadiana–Guadalquivir sobre un substrato de margas azules y limos arenosos de edad Mioceno superior–Plioceno inferior y ambiente sedimentario marino y litoral, cuyo espesor conjunto supera los 2000 m. Estos materiales finos actúan de base impermeable y afloran en el borde norte del acuífero, siguiendo aproximadamente el trazado de la autopista Huelva–Sevilla.

El techo de las margas y limos se hunde hacia la costa, alcanzando profundidades de unos 150 m al oeste de Matalascañas y de más de 250 m entre esta población y la desembocadura del Guadalquivir (Fig. 2). Esta inclinación diferencial entre el sector este y el oeste es debida a una confluencia de procesos tectónicos, que aún perduran, y a los cambios eustáticos globales recientes. Además, la costa desde el Algarve portugués hasta el Guadalquivir se ha fracturado en bloques delimitados por fallas de dirección NO–SE y NE–SO. Estos bloques han basculado hacia el SE, dando lugar a elevaciones topográficas de orientación NE–SO, a las cuales se ha adaptado la red hídrica superficial, y zonas deprimidas al SE de las mismas, sobre las cuales se han instalado zonas inundables y marismas. Este basculamiento es responsable de la morfología del frente costero actual, con sucesivos frentes acantilados que disminuyen de altura de O a E. Puede que existan una o varias fallas de dirección aproximada Guadamar–El Rocío–Matalascañas, lo que sería coherente con la neotectónica regional mencionada, pero la pendiente del paleorelieve mio–plioceno puede también explicarse sin la existencia de fallas. Se trata de un aspecto aún por aclarar.

Los sedimentos que forman el sistema acuífero están en su mayor parte no consolidados, son de grano fino y fueron depositados en ambientes sedimentarios fluvio–marinos (litoral, aluvial, eólico, estuárico, mareal). Según Salvany y Custodio (1995) el conjunto tiene un espesor variable entre más de 300 m bajo la marisma, cerca de la costa, hasta 100 m hacia El Asperillo–El Abalarío, y entre 10 y 50 m hacia el N (Fig. 2). La principal procedencia de todos estos sedimentos es la denudación del borde sur del Macizo Ibérico, situado al norte. Como este macizo está formado por rocas metamórficas paleozóicas de composición mayoritariamente silíceas, los sedimentos resultantes son también de composición silícea, dominando, en orden de abundancia decreciente, el cuarzo, las arcillas y los feldespatos sódico y potásico. La Cordillera Bé-

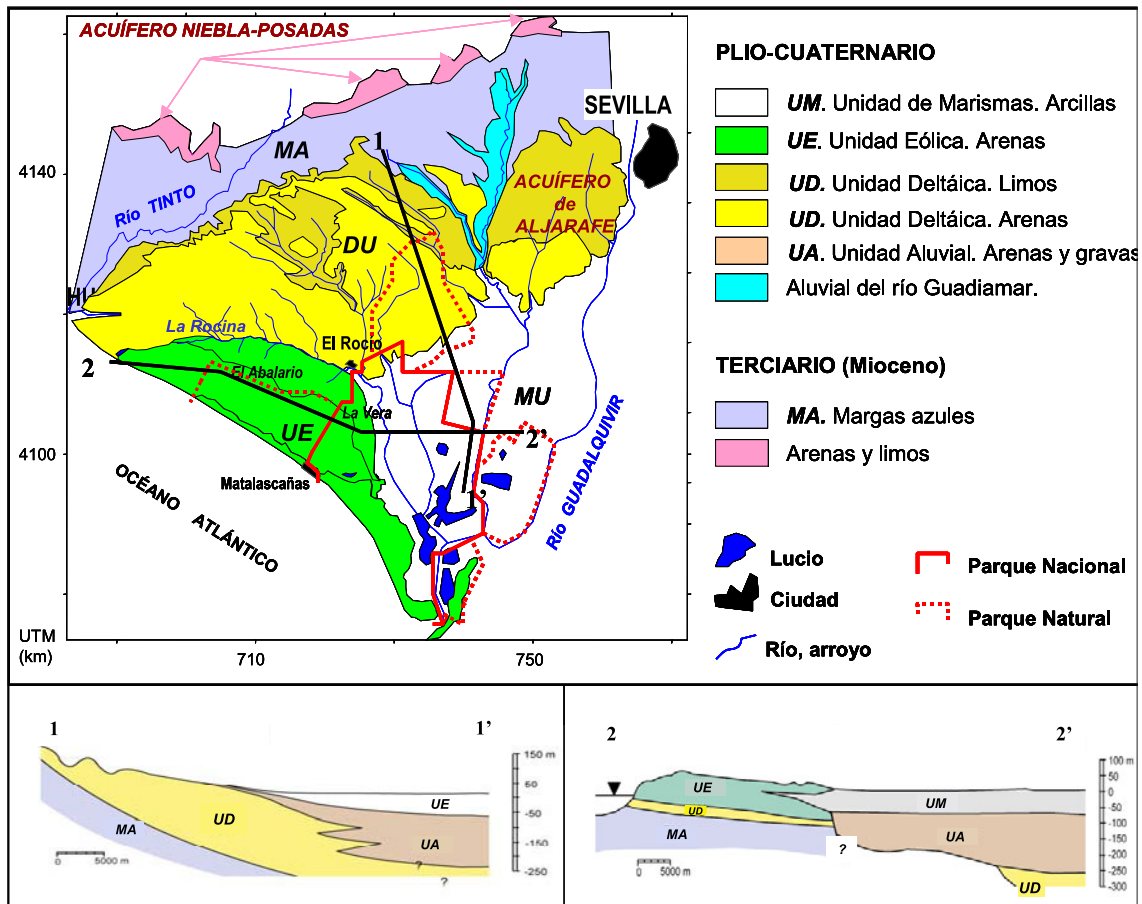


Fig. 2. Geología regional y geometría del acuífero de Doñana en dos secciones verticales.

tica, situada al sureste, también ha aportado sedimentos, pero los cuerpos resultantes se encuentran bajo la marisma formando parte de los depósitos aluviales del antiguo Guadalquivir.

Durante el Plioceno medio y superior el mar fue alejándose de la zona y durante esa época se depositaron arenas finas de ambiente litoral, cada vez menos profundo. Hacia el final del Plioceno las arenas emergieron y quedaron expuestas a procesos de meteorización y alteración edáfica en un clima más húmedo que el actual. El resultado fue la formación de una costra pisolítica (nodulosa) de óxidos de hierro, que aflora extensamente en la zona de Bonares.

Sobre estas arenas, o directamente sobre los limos arenosos del Plioceno inferior, se depositaron arenas con niveles de gravas de ambiente deltaico y de llanura aluvial. Estos materiales son del Plioceno superior y/o del Pleistoceno, y resultan del desarrollo y jerarquización de la red fluvial al imponerse un ambiente plenamente continental. En el área suroccidental de la Comarca, entre el borde oeste de la marisma y El Abalarío, se encuentran a profundidades crecientes hacia la costa, hasta unos 80–100 m, y tienen pequeña potencia, de hasta una decena de metros. Hacia el norte y noroeste de la marisma no están cubiertos por sedimentos posteriores, abundan más los tamaños de grano finos (arenas limosas) que los gruesos (gravas) y presentan espeso-

res variables pero en general no superiores a 30 m. Estos sedimentos forman la Unidad Deltaica y la Unidad Aluvial de la figura 2.

Durante el Cuaternario ocurrieron varios episodios generalizados de ascenso y descenso del nivel del mar vinculados a las glaciaciones. Durante la última glaciación (Würm) el nivel del mar estuvo unos 120 m más bajo que el actual en el Golfo de Cádiz, y en esas condiciones la red fluvial se encajó erosionando y arrastrando grandes volúmenes de sedimento. El depósito de estos sedimentos dio lugar a los niveles de arena de ambiente aluvial, lagunar y eólico que hoy afloran en el acantilado de El Asperillo–El Arenosillo, los cuales están elevados debido al basculamiento de bloques por la tectónica regional reciente. Entre estas arenas abundan los horizontes de costras de óxido de hierro que indican la ocurrencia de procesos edáficos bajo clima húmedo y templado. También abundan las capas de turba, con escasa extensión lateral (unas decenas de metros) y pequeño espesor (menos de 2 m), que corresponden al relleno de lagunas en depresiones interdunares. Las edades de carbono 14 van desde el último mínimo glacial, hace unos 18000 años, hasta el final de la glaciación, hace unos 11000 años.

En el sector comprendido aproximadamente entre Mazagón, El Rocío y la desembocadura del Guadalquivir, sobre las formaciones arenosas alu-

viales se ha acumulado durante el Cuaternario un extenso depósito de arenas eólicas, originadas en parte por la abrasión marina de los acantilados ubicados al oeste de la zona. Estos depósitos, formados en varias etapas, forman el Manto Eólico Litoral de Doñana, con una extensión de 400 km². El manto, hoy estabilizado, recubre buena parte de la zona más próxima a la costa de El Abalarío, de El Rocío y del Ecotono Norte, con espesores variables desde cero a varios metros, y tiene una gran relevancia para la recarga a los acuíferos y para la vegetación. Hacia el sudeste las arenas eólicas forman un largo cordón litoral de dunas móviles que se aprecian claramente desde Matalascañas hacia la desembocadura del Guadalquivir. El conjunto de estos sedimentos arenosos de origen aluvial, lagunar y eólico forma la llamada Unidad Eólica de la figura 2.

Respecto al sector suroriental, lo que hoy es aproximadamente la marisma fue una depresión abierta al mar durante la mayor parte del Cuaternario. En esta zona, sobre los limos arenosos del Plioceno inferior y las arenas litorales del Plioceno superior aparecen ya depósitos de gravas, arenas y conglomerados originados por el río Guadalquivir, cuyo trazado era similar al actual aunque desplazado hacia el SE, al pie de la Cordillera Bética, y por otros ríos y arroyos menores que desembocaban en el mismo estuario desde la orilla norte. Los sedimentos aluviales forman cuerpos lenticulares muy elongados y con espesores inferiores a 20 m, intercalados con niveles de limos y arcillas. Se han identificado varias secuencias de gravas, arenas y limos superpuestas, formando cuerpos progradantes desde el borde norte de la marisma y hacia en interior de esta. No obstante, hacia la zona costera los depósitos de gravas y arenas disminuyen y dominan los cuerpos de arenas finas, limos arenosos y arcillas de ambiente estuárico.

Tras la última glaciación el nivel del mar comenzó a ascender y alcanzó su posición máxima, cercana a la actual, hace unos 6000 años. El ascenso no fue continuo sino que hubo estabilizaciones y pequeñas regresiones durante las cuales se formaron distintos cuerpos progradantes de arenas, la mayor parte de ellos hoy sumergidos. Tras la estabilización del nivel del mar la línea de costa empezó a linearizarse mediante erosión de los acantilados y formación de playas, cordones y flechas litorales frente a los entrantes. A espaldas de estos cordones de arena, en lo que hasta entonces había sido un estuario abierto, se desarrollaron marismas mareales y fluviales que han llegado hasta nuestros días, ya en fase avanzada de colmatación, tanto natural como antrópica. Al conjunto de materiales arcillosos de origen estuárico y mareal se denomina Unidad de Marismas (Fig. 2).

A escala regional todo el conjunto de sedimentos plio-cuaternarios da lugar a dos regiones bien diferenciadas hidrogeológicamente: las arenas y la marisma, que están, no obstante, en continuidad lateral. Las arenas ocupan todo el sector occidental desde el río Tinto hasta las marismas del Guadalquivir y se prolongan por el norte hacia Villamanri-

que de la Condesa y hasta el río Guadamar. Constituyen el afloramiento de los materiales permeables del sistema acuífero y actúan de impluvio a la recarga de la lluvia. La construcción de una red de observación piezométrica puntual por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir ha permitido conocer que si bien la parte superior de las arenas y limos contiene el nivel freático (acuífero libre), a mayor profundidad aparecen capas semiconfinadas con distintos niveles piezométricos. A este confinamiento contribuye la presencia de una capa de arcillas que se extiende y acuña desde la marisma hacia el O, desapareciendo aproximadamente a la altura del poblado de El Abalarío (Lozano, 2004). El confinamiento de las capas inferiores origina flujos verticales descendentes y ascendentes en distintos lugares del acuífero, los cuales juegan un papel muy relevante en la generación y el mantenimiento del medio natural mediante descargas permanentes de agua dulce muy poco mineralizada en el borde O de la marisma y mediante el mantenimiento de la densa vegetación freatófítica que aún queda en algunas zonas.

Bajo los sedimentos arcillosos de la marisma se encuentran las gravas y arenas que constituyen la parte confinada de sector permeable del acuífero. Las arcillas y limos de la Unidad de Marisma contienen agua salada en sus poros, que desde el momento de su formación hasta la actualidad se ha ido desplazando muy lentamente hacia la superficie de la marisma (Konikow y Rodríguez-Arévalo, 1993). La parte confinada supone unos 1800 km² de los 2900 km² de acuífero.

FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA ACUÍFERO

La única fuente de *recarga* al acuífero es la infiltración de la lluvia que cae sobre las arenas. Los excedentes de riego proceden de las aguas extraídas del propio acuífero y pueden modificar la calidad del agua. En la figura 3 se relaciona la recarga anual con la precipitación anual. La superficie freática regional (Fig. 4) reproduce fielmente la topo-

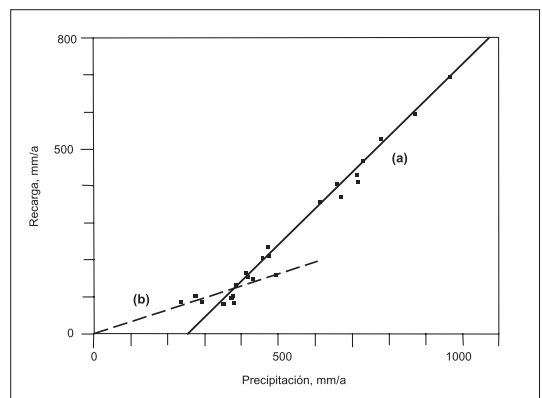


Fig. 3. Relación recarga anual-pluviometría anual para el área de El Abalarío, Doñana. Modificado de resultados de Trick (1998), que comprende las diferentes evaluaciones realizadas anteriormente.

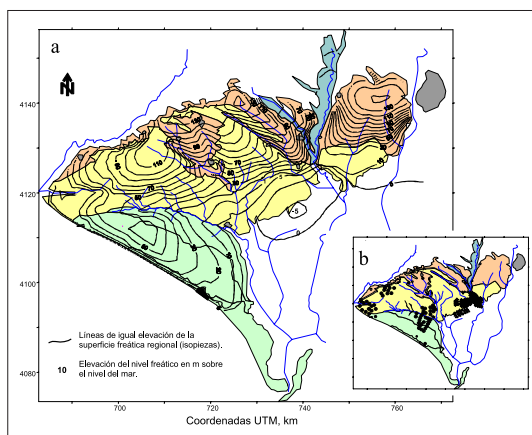


Fig. 4. Piezometría regional representativa de los acuíferos de Doñana y Aljarafe ajustada por modelación (a) y ubicación de los principales centros de bombeo en el acuífero (b). La forma se mantiene antes y después de la explotación intensiva de agua subterránea excepto en el entorno de las concentraciones de pozos.

grafía del terreno, con algunas modificaciones locales debidas a la actual extracción intensiva de agua subterránea. Los ríos y arroyos son zonas lineales de descarga de agua subterránea, unos permanentes y otros estacionales. En el sector occidental de arenas la topografía favorece la formación de un domo piezométrico cuyas cotas máximas (unos 60 metros) coinciden con la zona topográficamente más elevada, en el entorno del poblado de El Abalarío. A escala regional buena parte del agua subterránea se mueve desde las arenas y limos hacia el S y hacia el E, es decir, hacia donde el acuífero se transforma en confinado bajo la marisma; a escala local parte del agua sigue

otras trayectorias de recorrido más corto, hacia los arroyos, ríos y lagunas, y en especial hacia el arroyo de La Rocina, que actúa a modo de dren central que circula de O a E (Fig. 5).

El sector SE del acuífero confinado contiene agua casi estancada, con varios miles de años de tiempo de permanencia y con salinidad inicialmente marina, a veces evaporada en lagunas o lucios, modificada posteriormente por distintos procesos físicos y químicos (Manzano *et al.*, 2007a). Esta masa de agua salina no ha podido ser desplazada hacia el mar por el agua dulce recargada en los últimos miles de años en las arenas debido a la pequeña cota topográfica existente en la zona desde la estabilización del nivel del mar hace unos 6000 años.

La **descarga** natural del sistema acuífero tiene lugar de varias formas: 1) al mar, a lo largo de toda la franja costera, principalmente de forma difusa, pero también a través de numerosos manantiales y rezumes del acantilado de El Asperillo (Custodio, 1993); 2) a los arroyos (el más importante La Rocina) y tramos bajos de los ríos Guadimar y Tinto; 3) a lo largo del contacto arenas-arcillas en los contornos N y O de la marisma; 4) por evaporación directa desde el nivel freático donde éste es poco profundo; 5) mediante transpiración de la vegetación freatofítica (especialmente en el área entre El Abalarío y La Rocina y entre Los Cotos y la marisma); 6) en forma de descargas lineales o difusas a caños y arroyos, alimentadas por flujos verticales ascendentes desde tramos relativamente profundos; 7) mediante descarga, en época de niveles altos, a los centenares de humedales (lagunas, algaidas y pequeñas depresiones topográficas) de distinto origen geomorfológico que se hallan en la superficie de las arenas cuaternarias y pliocenas (Manzano, 2001; Manzano *et al.*, 2002a; PAH, 2002). El agua subte-

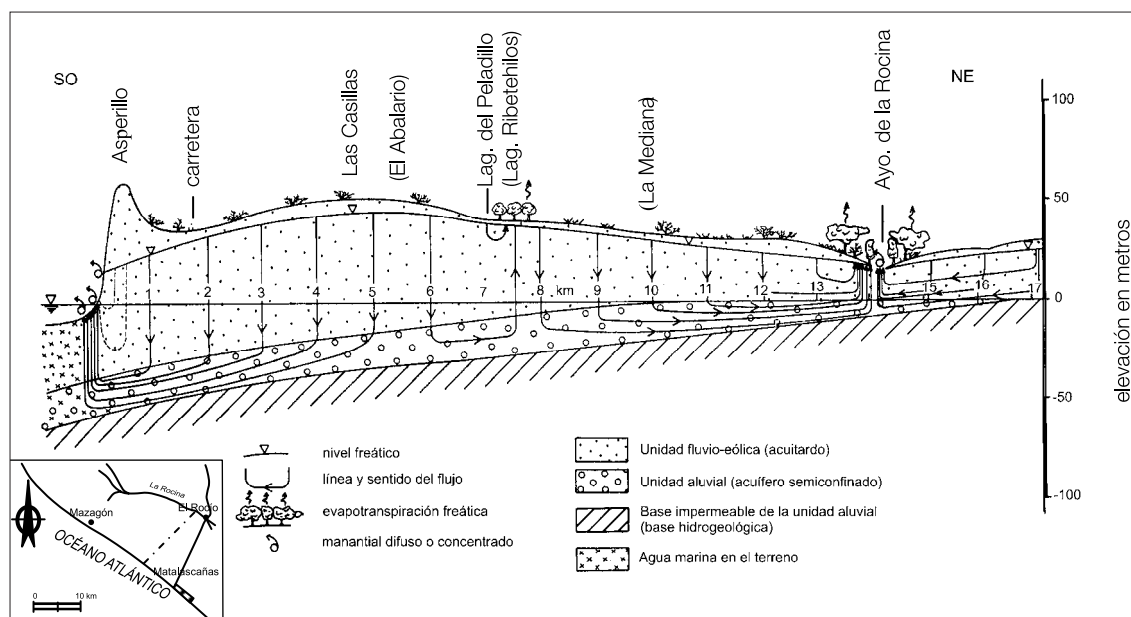


Fig. 5. Esquema simplificado idealizado de la configuración de flujo de agua subterránea entre el mar y Arroyo de la Rocina (según Custodio, 1998).

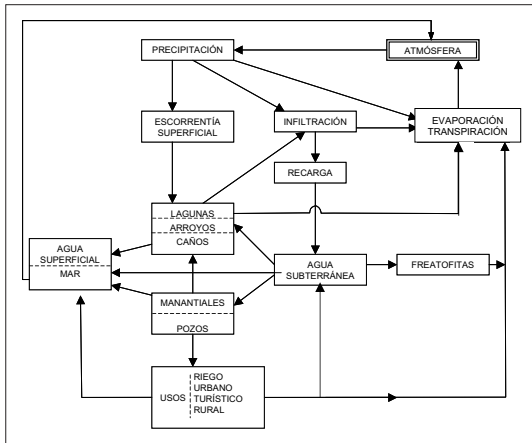


Fig. 6. Diagrama esquemático de los elementos del balance de agua en Doñana.

rránea del cordón dunar descarga por un lado hacia el mar y por el otro hacia los distintos tipos de humedales presentes en los corrales interdunares (Coletto, 2003).

La conexión hidráulica entre las arenas y las gravas confinadas bajo la marisma hace que las arenas pueden ser niveles acuíferos surgentes, con nivel piezométrico por encima de la superficie del terreno, en condiciones naturales.

Este funcionamiento, esquematizado en la figura 6, ha debido ser operativo hasta hace unos 30 años, cuando se modificó localmente debido a los bombeos intensivos y concentrados en zonas próximas a las de descarga natural del acuífero (Fig. 4). La concentración espacial de las explotaciones ha producido tres efectos: 1) descenso local, entre decimétrico y métrico, del nivel freático y aún mayor de los niveles piezométricos profundos; 2) disminución de la descarga natural y su sustitución parcial por descargas artificiales a través de pozos (Suso y Llamas, 1990 y 1993; Llamas, 1990; Custodio y Palancar, 1995; Trick, 1998; Manzano *et al.*, 2002b; Trick y Custodio, 2004) y 3) inversión local del gradiente hidráulico y del sentido de los flujos de agua, desplazando muy lentamente las aguas salinas confinadas bajo la marisma hacia las captaciones agrícolas en el sector NE de la misma, algunas de las cuales se están salinizando.

La explotación intensiva y localizada de agua subterránea ha tenido distinta incidencia en todo el acuífero y se traduce en descensos progresivos de niveles y mayores oscilaciones (Fig. 7). Localmente ha ocasionado modificaciones muy relevantes para el medio natural (Manzano *et al.*, 2002b), tales como: 1) reducción del agua disponible para la vegetación freatófítica y para los caños de agua dulce que sustentan buena parte de la fauna herbívora en verano; 2) modificación del hidropereodo (patrón

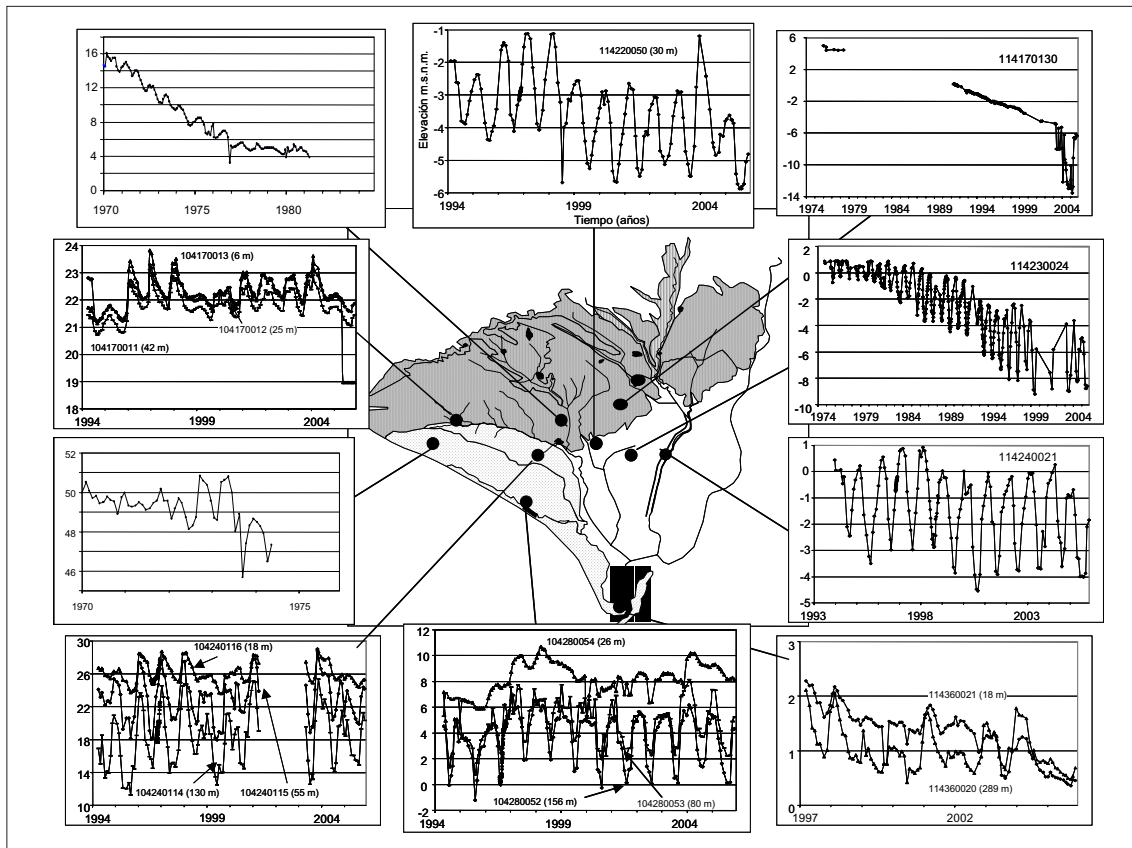


Fig. 7. Ejemplos de descensos freáticos y piezométricos acumulados en distintos lugares del acuífero en los primeros años tras el inicio de las extracciones intensivas de agua subterránea. Se observa el efecto sobre el acuífero confinado bajo la marisma. Actualizado de Manzano *et al.* (2002a).

temporal de inundación) de muchos pequeños humedales del manto eólico, transformándose de permanentes en temporales y de estacionales en interanuales, o incluso desapareciendo (Manzano, 2001; Manzano et al., 2002a). Las extracciones localizadas e intensas de agua subterránea para abastecimiento a ciudades y urbanizaciones turísticas (Matalascañas, Mazagón) y las destinadas a usos medioambientales (Acebuche) también tienen un claro efecto negativo –aunque menor– sobre la cota del nivel freático y, por tanto, para las necesidades hídricas de la vegetación y humedales del medio natural (Lozano, 2004).

Otra actuación humana que ha contribuido significativamente a un descenso apreciable (decimétrico) y alcance espacial kilométrico del nivel freático, y la consiguiente modificación del funcionamiento hidrológico de muchos humedales, ha sido la introducción de especies vegetales alóctonas con mayores necesidades hídricas y mayor accesibilidad al agua subterránea que la vegetación autóctona. En el área El Abalarío–La Mediana–La Rocina buena parte de las antiguas descargas de agua freática al conjunto de lagunas de la zona desaparecieron casi por completo a causa de la introducción de eucalipto hace unos 50 años. La erradicación casi total de estos árboles en esa zona hace unos 15 años, dentro de las actuaciones de conservación del Parque Natural de Doñana, favorece la recuperación de buena parte del funcionamiento hídrico original de esas lagunas, aunque la vegetación autóctona aún está reestableciéndose.

En la figura 8 se esquematiza el balance en estado natural y al que se tiende si no se modifican las extracciones. Cesan los aportes subterráneos al ecotono N y se reducen los que se producían a La Rocina y ecotono de La Vera. Aunque no está indicado, también disminuyen las descargas al Río Tinto, en el lado Oeste.

Los tiempos medios de permanencia del agua subterránea en el terreno son muy variables, según las condiciones de cada lugar. Mediante el estudio de los radioisótopos ambientales tritio y ^{14}C en el agua se deduce que la transferencia del agua de recarga hasta el nivel freático oscila entre menos de un año y pocos años; que el agua de los manantiales costeros de El Asperillo tiene pocos años de permanencia en el terreno; que el agua de los pozos profundos (menos de 40 metros) del sector de arenas y las descargas de flujos regionales tiene varias decenas de años de permanencia y que los pozos profundos bajo la marisma tienen aguas con edades entre 1000 y >15000 años (Baonza et al., 1982; Iglesias, 1999; Manzano y Custodio, 2004 y 2006).

COMPOSICIÓN QUÍMICA Y CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA

La composición química y la calidad natural del agua subterránea es el resultado de un conjunto de factores interrelacionados tales como geología, clima, topografía, procesos biológicos y uso del suelo,

los cuales proporcionan al agua el denominado *fondo químico natural*. El primer factor que contribuye al fondo natural del agua de un acuífero es la composición química de la lluvia que produce la recarga, la cual aporta solutos de origen marino y continental y gases en distintas proporciones. Una vez en el suelo, se produce una concentración de las sales disueltas en el agua por evapotranspiración, que es variable de un lugar a otro. A este proceso se suma el conjunto de interacciones agua–terreno que tienen lugar desde el momento de la infiltración de la lluvia y durante el tránsito del agua subterránea por el medio, en especial por el no saturado: se produce disolución de CO_2 en el agua durante el paso por la zona edáfica; precipitación y disolución de minerales; adsorción en arcillas, materia orgánica y oxihidróxidos de hierro de sustancias disueltas en el agua, intercambio iónico de unos solutos por otros, fenómenos de oxidación–reducción; biodegradación; etc.

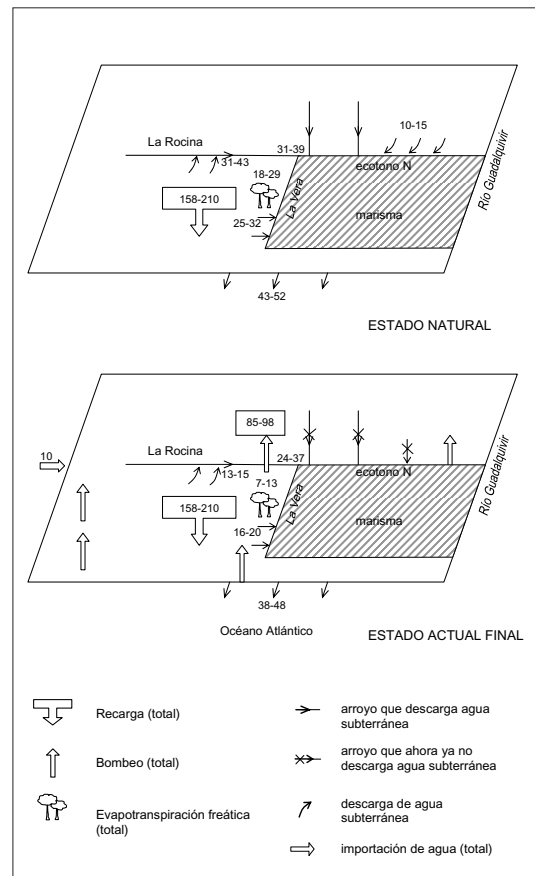


Fig. 8. Resultados sintéticos estimativos de los balances hídricos medios del sistema acuífero de Doñana, en $\text{hm}^3/\text{año}$, en estado natural (figura superior) y con el actual estado de bombeos (figura inferior) cuando se alcance el nuevo estado de equilibrio. En el año 2007 aún se está en la evolución transitoria en que se toma agua del almacenamiento subterráneo para mantener parte de las descargas. Se supone una importación de agua que podría llegar hasta $10 \text{ hm}^3/\text{año}$ de áreas externas del oeste, ahora en inicio y en trámite de concesión (datos elaborados por los autores).

El fondo químico natural del acuífero de Doñana, y los procesos que lo originan, se conocen razonablemente bien por haber sido estudiados con cierto detalle mediante el estudio conjunto de la composición química del agua y de la composición mineral del terreno a distintas profundidades (Iglesias, 1999; Lozano *et al.*, 2005; Manzano y Custodio, 2004).

En las zonas no confinadas del acuífero el fondo químico natural del agua está controlado por: 1) la composición del agua de lluvia, que es de origen atlántico y composición clorurada-sódica; 2) la concentración salina por evapotranspiración; 3) la disolución de CO₂ edáfico; 4) el equilibrio químico con calcita (CaCO₃) allí donde haya carbonatos (sector de arenas al N de la marisma y cordón litoral de dunas móviles); 5) el equilibrio químico con sílice y feldespatos allí donde no hay carbonatos (sector E de arenas). En el sector occidental de arenas el agua subterránea es de tipo clorurado-sódico, tiene mineralización muy baja y pH ácido (entre 4,5 y 6), debido todo ello a la impronta del aerosol marino y a la práctica ausencia de minerales solubles y fácilmente hidrolizables en el terreno. En el sector de arenas al N de la marisma las aguas tienen mayor mineralización, son de tipo carbonatado-clorurado-cálcico-sódico y tienen valores de pH claramente básicos (7–8,5) debido a la ubicua presencia de carbonatos.

En el tránsito acuífero libre-acuífero confinado el fondo químico natural del agua cambia principalmente debido a la mezcla con el agua marina antigua presente bajo la marisma. Además de aumentar progresivamente la salinidad del agua hacia el SE, esta mezcla va acompañada de procesos geoquímicos tales como intercambio iónico de Na con Ca y Mg en el frente de mezcla, reducción de sulfatos al hacerse anóxico el medio y precipitación/disolución de calcita (en función de los cambios locales de saturación mineral del agua). Las aguas resultantes tienen mineralizaciones que oscilan entre moderadas y muy elevadas (sólidos disueltos totales entre 0,5 y más de 50 g/L).

Las arcillas de la Unidad de Marismas también contienen agua que puede ser más salina que la del mar, como resultado de la evaporación de agua del mar en superficie cuando la marisma era mareal y el posterior transporte vertical descendente de estas sales a través de las arcillas (Konikow y Rodríguez-Arévalo, 1993) debido a la mayor densidad de esa agua concentrada.

La composición química del agua subterránea es muy estable a escala regional y en la mayor parte del acuífero también a escala local. No obstante, en algunos lugares del manto eólico, y de forma localizada, flujos poco profundos de agua subterránea muestran cambios químicos temporales de salinidad, pH y composición iónica considerables, debido generalmente a efectos locales de evaporación y transpiración. Otro proceso frecuente es la puesta en solución del abundante hierro retenido en las pántinas de las arenas al disminuir el potencial redox y aumentar la acidez del agua en el entorno de los fre-

cuentes niveles turbosos de fondos lagunares antiguos y recientes. Estas aguas freáticas descargan a las depresiones locales de la superficie del terreno tras recorridos cortos, poniendo así de manifiesto los cambios ocurridos en o cerca de las lagunas.

La vegetación natural, tanto la que depende de la humedad del suelo como la que depende del agua freática, está adaptada a la química del agua. Así, en el sector O de arenas hay especies adaptadas a aguas ácidas, poco mineralizadas y pobres en nutrientes, y en el sector N de arenas las pocas especies naturales que quedan están adaptadas a aguas alcalinas, también escasas en nutrientes. En el entorno de las lagunas con alta tasa de evaporación y en sectores costeros del manto eólico la vegetación está adaptada a aguas salinas.

El fondo químico natural del agua subterránea está siendo localmente modificado por la actividad humana. Así, en los niveles menos profundos de las zonas no confinadas en arenas (menos de 40 metros) aparecen componentes de agroquímicos, principalmente nitratos. Algunos pozos agrícolas que explotan capas confinadas a 40–50 metros de profundidad en el NE de la marisma tienen nitratos agrícolas que han alcanzado la zona de captación por flujo descendente a través del terreno, o por entrada por el espacio entre la entubación y el terreno. Lo observado es coherente con los tiempos de residencia calculados mediante tritio, que son de pocos años para las aguas más someras y de más de 40 años para las líneas de flujo más profundas de 35–40 metros (Custodio, 1994). En las zonas confinadas propiamente dichas la composición del agua es principalmente la del fondo natural.

Aunque la información relativa a la contaminación del agua de ríos y arroyos es bastante escasa, los datos existentes indican que ciertas sustancias procedentes de la actividad humana han alcanzado también las áreas protegidas. Así, los arroyos y ríos que fluyen hacia la marisma desde el N llevan metales y compuestos orgánicos derivados de la industria alimentaria y agrícola local. Algunas sustancias no deseables se originan muy cerca de las zonas protegidas: en el sector de arenas al SO de El Rocío buena parte de los excedentes de riego, con elevados contenidos en sulfato, nitrato, plaguicidas y otros productos agroquímicos, descargan a los pequeños arroyos cuyas cabeceras cruzan la zona en cultivo. Estas aguas terminan en La Rocina o en La Vera, zonas ambas muy vegetadas y de relevante valor ecológico debido, en gran medida, a ser áreas de descarga de aguas subterráneas de largo recorrido y excelente calidad.

LOS HUMEDALES DE DOÑANA Y SU RELACIÓN CON EL ACUÍFERO

Doñana se caracteriza por la extraordinaria abundancia de humedales. Estos humedales tienen diferentes orígenes geomorfológicos y funcionamiento hidrológico, pero la mayor parte de ellos depende directamente del agua subterránea (Custodio, 2000; Manzano, 2001; Manzano *et al.*, 2002a y

2007b). Existe una buena aproximación a su clasificación genético-hidroológica, paso imprescindible para la gestión de estos humedales (PAH, 2002).

El principal factor de control del funcionamiento y, por tanto, de la ecología de estos humedales, es la hidrología. Este término se refiere al origen del agua del humedal, el modo de vaciado de mismo, su hidoperíodo, la mineralización del agua y el tipo iónico (Fig. 9). Debido a la dependencia del agua subterránea de buena parte de los humedales de Doñana, es determinante la ubicación de estos respecto al flujo regional en el acuífero. En función de otros factores más locales la variedad de tipos genético-hidroológicos es grande; no obstante es posible establecer unos pocos tipos hidroológicos principales (Manzano et al., 2002a):

– En el **área de recarga** regional al acuífero, sobre las arenas, abundan los humedales permanentes y temporales originados por descargas locales de aguas freáticas en época húmeda a pequeñas depresiones eólicas, erosivas o simplemente morfológicas (como los corrales) entre las dunas antiguas y actuales. Esto se debe a que, salvo en las áreas donde se explota el acuífero, en general el nivel freático es poco profundo e intercepta con facilidad la topografía del terreno. En época seca la evaporación freática directa y la transpiración vegetal hacen descender el nivel freático lo suficiente como para que éste quede bajo la superficie del terreno. En estas condiciones, lluvias esporádicas pueden acumular pequeñas láminas de agua en esos humedales, que se mantienen colgadas durante un tiempo, antes de evaporarse, gracias a la relativa impermeabilidad del vaso lagunar debido a los restos orgánicos y material fino acumulados. Hoy en día quedan pocos humedales sobre arenas que sean permanentes de forma natural y la mayoría lo son de forma artificial bien por alimentación externa mediante pozos, bien por excavación del vaso mediante zacallones.

Los humedales ubicados en la zona de recarga tienen aguas de mineralización muy variable espacial y temporalmente. En general son de tipo clorurado-sódico o intermedio entre éste y el bicarbonatado-cálcico.

Sea cual sea el origen del agua y su permanencia, todos los humedales que hay sobre las arenas mantienen especies acuáticas y freatofíticas que durante centenares o miles de años han contribuido a retener las arenas eólicas, colaborando así a crear el extenso y vegetado manto eólico litoral de Doñana.

– Los humedales ubicados en las **zonas de descarga** del acuífero son en su mayoría suelos húmedos densamente vegetados, con o sin lámina libre de agua, ubicados en las partes bajas de los arroyos (algaidas). En condiciones naturales suponen una descarga permanente de agua freática que permite mantener todo el año vegetación acuática y freatofítica. Es el caso de los pequeños arroyos, caños y cañadas que descargan a La Rocina y a la marisma por La Vera y La Retuerta, y también el de algunos arroyos permanentes, barrancos y manantiales que descargan al mar por el acantilado occidental de El

Asperillo. También el arroyo de La Rocina es un drenaje lineal de agua subterránea, tanto freática como profunda, que mantiene un bosque de ribera relativamente bien conservado. Los arroyos que descargan a la marisma por el N tenían una densa vegetación de ribera alimentada por agua freática, pero su vegetación fue eliminada hace tiempo para utilizar el terreno en cultivos y vías de comunicación. Su caudal, sobre todo en el tramo bajo, es de origen freático la mayor parte del año, ya que la esorrentía de la lluvia sólo es importante con lluvias intensas. En general tienen aguas de mineralización media a alta, variable a lo largo del año debido a procesos locales de evaporación y reacciones químicas, ya que los aportes de agua subterránea son de composición muy estable.

– También en la **zona de acuífero confinado** hay diversos tipos de humedales. Algunos son de alimentación subterránea en origen, ya que la marisma, antes mareal y hoy fluvial, recibe agua de los ríos y arroyos que a su vez drenan el acuífero de las arenas al N y NO.

Buena parte de la extraordinaria biodiversidad por la cual es conocida Doñana es el resultado de combinar los distintos tipos hidroológicos de humedales con su ubicación, la salinidad y tipo químico del agua.

Los humedales situados cerca de las zonas de descarga regional del acuífero (alrededor de la marisma y en el borde O) son los más vulnerables al efecto sobre los niveles freáticos y piezométricos de las extracciones de agua subterránea intensivas y concentradas en esas zonas, pero no son los únicos. La vegetación freatofítica de los Cotos, La Vera y el contorno N de la marisma también ha experimentado las dificultades para alimentarse del nivel freático, que ahora es más profundo, secándose muchos ejemplares arbóreos. Como consecuencia de ello, muchos pequeños humedales situados cerca de las áreas cultivadas que hace 20–30 años eran permanentes, son hoy estacionales o incluso esporádicos, inundándose sólo en años muy húmedos.

Un efecto adicional del descenso freático localizado en los bordes de la marisma es la disminución de la descarga de agua a los múltiples arroyos, caños, etc. cuyos aportes, ya sea directos o a través de La Rocina, son relevantes para la marisma en época seca. Muchos que antes eran permanentes son ahora estacionales y, además, llevan agua procedente de los excedentes de riego, lo que significa que introducen nutrientes, materia orgánica, plaguicidas, etc. en zonas de alto valor ecológico. Adicionalmente cambia la distribución de la duración de épocas secas y épocas húmedas, en cuanto a la accesibilidad de la vegetación al agua freática (Custodio, 2000; Trick y Custodio, 2004).

La extracción intensiva de agua subterránea durante más de dos décadas, localizada en zonas de descarga natural del acuífero, ha ocasionado descensos locales acumulados de los niveles piezométricos profundos que a su vez han supuesto un descenso del nivel freático. Estos descensos no están

aún estabilizados, y lo que se observa es una situación transitoria hasta que los niveles alcancen una nueva posición de equilibrio de acuerdo con la actual relación entre la recarga y la descarga del acuífero. Estos descensos suponen una disminución de la descarga por rezumes en el contacto arenas-arcillas, la desaparición de las condiciones de surgencia en pozos y sondeos de La Vera, la disminución del goteo ascendente a través de las arcillas de marisma y la formación de un cono de depresión piezométrica de grandes dimensiones en el sector NE de la marisma. La modelación numérica permite concluir que el tiempo para que el efecto de una acción sobre el sistema acuífero se sitúe en el punto medio entre la posición inicial y la posición final, de no producirse otras modificaciones, es de unos 30 años. Eso quiere decir que el sistema está aún evolucionando, y que aunque no se efectúen nuevas acciones las descargas continuarán mermando.

GESTIÓN DE LOS ACUÍFEROS DE DOÑANA

Buena parte de la explotación de aguas subterráneas en Doñana se inició y evolucionó siendo aguas de dominio privado según la Ley de Aguas de 1886, con lo que la Administración del agua, en este caso las Confederaciones Hidrográficas del Guadalquivir (mayor parte del territorio) y del Guadiana no intervinieron. La gran promoción de la extracción de aguas subterráneas para regadío es de esa época y se hizo por el propio Gobierno Español con el apoyo de FAO. La gestión se depositó en los colonos. No eran del todo desconocidos los impactos que tendría la explotación intensiva y la desecación de arroyos, áreas de freatofitas, y lagunas se veía como positivo para el regadío ya que se recuperaban aguas que de otro modo se consideraba que se evaporarían sin provecho. Esa era la visión desarrollista de la época, que no consideraba el alto valor ecológico y humano del territorio. Con la promulgación de la Ley de Aguas de 1985, y sus reglamentos y modificaciones posteriores, las aguas subterráneas pasaron al dominio público, pero en la práctica buena parte de los usuarios han continuado en el dominio privado, se han seguido haciendo pozos –muchos de ellos ilegales– y la situación hídrica de los acuíferos se ha ido estresando. La Administración del agua no ha sabido ni ha podido –por falta de medios y de apoyo– controlar la situación y tampoco ha podido establecer un catálogo de derechos existentes y legalizar las captaciones, aunque recientemente se ha avanzado bastante hacia ese objetivo.

La Directiva Marco del Agua (año 2000) y la Directiva del Agua Subterránea (año 2006), ambas de la Comunidad Europea y con objetivos medioambientales, son de obligado cumplimiento e imponen controles en los impactos ambientales y en la calidad de las aguas subterráneas. Estos controles se están empezando a abordar actualmente en un nuevo marco administrativo en el que la parte de territorio que antes era de la Cuenca del Guadiana y parte de las competencias del resto dependen ahora

de la Junta de Andalucía, la cual además es depositaria de los espacios protegidos y su conservación.

Sin embargo, la tarea es monumental y es difícil evitar presiones políticas generales y locales. A partir del Dictamen de la Comisión Internacional de Expertos de Doñana de 1992 se ha ido creando la conciencia de que el agua subterránea es esencial para Doñana, no sólo para la Naturaleza sino para el conjunto social y económico. Aún no ha cristalizado ninguna institución eficaz para la gestión del agua subterránea por los usuarios, ya que hay muchos intereses contrapuestos, insuficiente divulgación de conocimientos y mucho personalismo, con un gran número de implicados. No obstante, se está trabajando para resolver los obstáculos, convergiendo hacia una Institución aún no definida, que ha de ser diferente de las existentes para gestión agraria, las cuales tienen otros objetivos.

BIBLIOGRAFÍA

- Baonza, E., Plata, A. y Silgado, A. (1982). Hidrología isotópica de las aguas subterráneas del Parque Nacional de Doñana y zona de influencia. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), Madrid, Cuadernos de Investigación C7: 1–139.
- Coleto, I. (2003). Funciones hidrológicas y biogeoquímicas de las formaciones palustres hipogénicas de los mantos eólicos de El Abalarío-Doñana (Huelva). Tesis doctoral, FB, Universidad Autónoma de Madrid.
- Custodio, E. (1993). Preliminary outlook of saltwater intrusion conditions in the Doñana National Park (Southern Spain). Study and Modelling of Salt Water Intrusion. CIMNE-UPC. Barcelona: 295–315.
- Custodio, E. (1994). Posibles procesos de contaminación agrícola de aguas subterráneas en el área de Doñana (Huelva). Congreso Nacional Análisis y Evolución de la Contaminación de las Aguas Subterráneas en España, Alcalá de Henares. AIH-GE, II: 283-308.
- Custodio, E. (2000). Groundwater-dependent wetlands. *Acta Geologica Hungarica*, 43(2): 173–202.
- Custodio, E. y Palancar, M. (1995). Las aguas subterráneas en Doñana. *Revista de Obras Públicas*, Madrid, 142 (3340): 31–53.
- Iglesias, M. (1999). Caracterización hidrogeoquímica del flujo del agua subterránea en El Abalarío, Doñana, Huelva. Tesis Doctoral, ETSICCPB, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- Konikov, L.F. y Rodríguez-Arévalo, J. (1993). Advection and diffusion in a variable-salinity confining layer. *Water Resources Research*, 29 (8): 2747–2761.
- Lozano, E. (2004). Las aguas subterráneas en los Cotos de Doñana y su relación con las lagunas. Tesis doctoral, ETSICCPB, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- Lozano, E.; Delgado, F.; Manzano, M.; Coleto, C y Custodio, E. (2005). Hydrochemical characterization of ground and surface waters in “The Cotos” area. Doñana National Park. Southwestern Spain. Groundwater and Human Development (Bocanegra, Hernandez and Veronoff, eds.) Intern. Assoc. Hydrogeologists. Selected Papers, 6. Taylor and Francis. Leiden: 217-232.
- Manzano, M. (2001). Clasificación de los humedales de Doñana atendiendo a su funcionamiento hidrológico. *Hidrogeología y Recursos Hidráulicos*, Madrid, XXIV: 57–75.

- Manzano, M.; Borja, F. y Montes, C. (2002a). Metodología de tipificación hidrológica de los humedales españoles con vistas a su valoración funcional y a su gestión. Aplicación a los humedales de Doñana. *Boletín Geológico y Minero*, 113: 313–330.
- Manzano, M.; Custodio, E. (2004). Groundwater baseline chemistry in the Doñana aquifer (SW Spain) and geochemical controls. *Actas de la 4º Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica*, Figueira de Foz, 729–730.
- Manzano, M. y Custodio, E. (2006). Pleistocene saline groundwater in the Doñana aquifer system (SW Spain). *Proceedings del 1st Joint SWIM and SWICA Meeting*. Chia Laguna, Cerdeña, Septiembre de 2006.
- Manzano, M.; Custodio, E.; Mediavilla, C. y Montes, C. (2002b). Effects of localised intensive aquifer exploitation on the Doñana wetlands (SW Spain). *Intensive Use of Groundwater: Challenges and Opportunities*. Instituto Geológico y Minero de España, Generalitat Valenciana y Fundación Marcelino Botín. Abstracts.
- Manzano, M.; Custodio, E.; Iglesias, M.; Lozano, E. (2007a). Groundwater baseline composition and geochemical controls in the Doñana aquifer system (SW Spain). *The Natural Baseline Quality of Groundwater* (eds. W.M. Edmunds, P. Shand). Blackwell Publ., Oxford: 216–232.
- Manzano, M.; Custodio, E.; Lozano, E.; Higuera, H. (2007b). Relationships between wetlands and the Doñana coastal aquifer (SE Spain). *Groundwater and Ecosystems*. Proc. XXXV IAH Congress, Lisbon (eds. L. Ribeiro, A. Chambel, M.T. Condesso de Melo). CD printing: 1–10.
- PAH, (2002). Plan Andaluz de Humedales. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. Sevilla.
- Salvany, J.M. y Custodio, E. (1995). Características litológicas de los depósitos pliocuaternarios del Bajo Guadalquivir en el área de Doñana: implicaciones hidrogeológicas. *Rev. Soc. Geol. de España* 8 (1–2): 21–31.
- Suso, J.M. y Llamas, M. (1990). El impacto de la extracción de aguas subterráneas en el Parque Nacional de Doñana. *Estudios Geológicos*, 46: 317–345.
- Suso, J.M. y Llamas, M. (1993). Influence of groundwater development on the Doñana National Park ecosystems (Spain). *Journal of Hydrology*, 141: 239–269.
- Trick, Th. (1998). Impacto de las extracciones de agua subterránea en Doñana: aplicación de un modelo numérico con consideración de la variabilidad de la recarga. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- Trick, Th. y Custodio, E. (2004). Hydrodynamic characteristics of the western Doñana Region (area of El Abalarío), Huelva, Spain. *Hydrogeology Journal*, 12: 321–335. ■

Este artículo fue solicitado desde E.C.T. el día 8 de noviembre de 2007 y aceptado definitivamente para su publicación el 5 de junio de 2008.