

Marco geográfico, geológico e hidrológico regional de la cuenca del Guadamar

Coordinador: Carlos Mediavilla⁽¹⁾

Autores: F. Borja⁽²⁾, J. A. López Geta⁽³⁾, M. Martín Machuca⁽¹⁾, R. Mantecón⁽⁴⁾, C. Mediavilla⁽¹⁾, P. del Olmo⁽⁵⁾, M. Palancar⁽⁶⁾ y R. Vives⁽⁷⁾

(1) Instituto Geológico y Minero de España. Oficina de Proyectos en Sevilla.

(2) Departamento de Geografía, Universidad de Huelva.

(3) Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.

(4) Compañía General de Sondeos, Sevilla.

(5) Compañía General de Sondeos, Madrid.

(6) Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, Sevilla.

(7) Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía, Sevilla.

RESUMEN

La caracterización del medio natural de esta cuenca presenta rasgos hidroclimáticos de tipo mediterráneo con influencias atlánticas y un sistema fluvial bien desarrollado en el sentido Norte-Sur con una marcada asimetría a favor de la margen derecha. Con todo, su rasgo fundamental es el manejo hidráulico al que se ha visto sometido su tramo final en la zona de marismas (Entremuros) con el objetivo de favorecer el desarrollo agrícola, en detrimento de las aportaciones de avenidas que introducían, a través del Caño Guadamar y Caño Travieso, aguas hacia el interior de Doñana.

La cuenca del Guadamar comprende 22 municipios, de los que 9 se han visto directamente afectados por el vertido de Aznalcóllar, todos ellos en la provincia de Sevilla. Su estructura socioeconómica es de carácter agrícola pues absorbe al 42% de la población ocupacional, excepto en la localidad de Aznalcóllar donde el 40% de la población está vinculada a las actividades mineras.

El modelo geológico de la Cuenca del Guadalquivir diferencia para la cuenca terciaria del Guadamar cinco formaciones, desde el Mioceno superior (Messiniense) hasta la actualidad. La cuenca alta del Guadamar se localiza en la zona Subportuguesa del Macizo Hespérico, en el ámbito de la Faja Pirítica Ibérica que constituye una de las provincias metalogénicas más importantes del mundo. El yacimiento de Aznalcóllar-Los Frailes representa la explotación minera más oriental conocida.

La superficie total de la cuenca asignada al Guadamar es de 1880 km², si bien el encauzamiento del río desde el inicio de Entremuros reduce su cuenca real a 1319 km². La aportación media anual se ha cifrado en 209 hm³ con un valor máximo de 724 hm³ (1962/63) y un mínimo de 20 hm³ (1982/83), lo que muestra su gran irregularidad interanual. La hidrogeología de la zona es bastante conocida. En la cuenca del Guadamar se diferencia: el sistema acuífero Almonte-Marismas, donde se localiza el Parque Nacional de Doñana, el acuífero del Aljarafe, el acuífero Niebla-Posadas y el acuífero aluvial del río Guadamar.

Tras el accidente de Aznalcóllar la Administración ha emprendido dos proyectos relevantes denominados "Doñana 2005" y "Corredor Verde del Guadamar" con la intención de gestionar los recursos hídricos a partir de la recuperación integral de la cuenca del Guadamar.

Palabras clave: Aznalcóllar, cuenca Guadamar, medio natural, hidrología, hidrogeología, minería.

Regional geographical, geological and hydrogeological framework of the Guadamar river basin

ABSTRACT

The natural environment of the Guadamar basin has Mediterranean type hydroclimatic characteristics, with Atlantic type influences. The fluvial system develops in a north-south direction, with an asymmetry in favour of the Right Bank. The Guadamar river basin has the hydraulic system artificially changed in its final tract, in the marsh zone (Entremuros) in order to allow agricultural development. This reduces the water flow into the Doñana marshes through the Caño Guadamar and Caño Travieso.

The Guadiamar river basin has 22 municipalities, 9 of them have been damaged by the toxic spillage of the Aznalcóllar mine. All of them belong to the Sevilla province. They have an agricultural based economy: 42% of the working population are farmers, except in Aznalcóllar, where 40% of the working population depend on mining activities.

Five different geological formations from the upper Miocene (Messinian) to present are distinguished in the Guadiamar tertiary basin. The higher stretch of the Guadiamar basin is located in the Subportuguese Zone of the Hesperic ranges, in the Iberian Pyritic Belt. It is one of the most important metalgenetic provinces in the world, where the Aznalcóllar-Los Frailes deposits are. They are the eastern mines exploitation.

The total surface area of the Guadiamar river basin is 1880 km² although the channelling of the river from the beginning of Entremuros limits its real basin to 1319 km². The average discharge of the Guadiamar River is 209 hm³, with a maximum average value of 724 hm³ (1962/63) and a minimum one of 20 hm³ (1982/83). The water amount received by the basin is very irregular throughout the year. The hydrogeology of this zone is now fairly known. Four aquifer systems are differentiated in the basin: the Almonte-Marismas aquifer system, where the Doñana National Park is located, the Aljarafe aquifer system, the Niebla-Posadas aquifer systems, and the alluvial aquifer of Guadiamar river. After the Aznalcóllar accident, the Public Administration has undertaken two important projects in order to manage water resources after the recovery of the Guadiamar river basin. These projects are "Doñana 2005" and "Corredor Verde del Guadiamar".

Key words: Aznalcóllar, Guadiamar basin, natural environment, hydrology, hydrogeology mining.

1. MARCO GEOGRÁFICO, GEOLÓGICO E HIDROLÓGICO REGIONAL

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se trata desde diversas perspectivas el marco regional donde se localiza la cuenca del río Guadiamar, que tras el accidente del Aznalcóllar ha pasado a tener un destacado protagonismo. Esto fortalece su propia entidad, en la que han de coexistir la actividad minera tradicional -potenciada en los últimos años- con una creciente demanda medioambiental de este entorno, sin olvidar una población e intereses socioeconómicos asentados en un territorio en las inmediaciones de Sevilla.

En el apartado 1.1 se muestran los rasgos más significativos del medio natural que conforma las peculiares características de la Cuenca del Guadiamar, así como su estructuración territorial, profundamente afectada por el vertido de Aznalcóllar.

El apartado 1.2 trata el marco geológico regional a partir de un modelo geológico desarrollado para la Cuenca del Guadalquivir desde el Mioceno superior hasta la actualidad. En él se describen los materiales representados en la cuenca media y baja del Guadiamar ya que la cuenca alta, desarrollada sobre el macizo Hespérico, se considera al tratar los yacimientos mineros de la Faja Pirítica Ibérica.

Por último, en el apartado 1.3 se describe el

marco hidrológico que caracteriza esta cuenca, tanto desde su componente de aguas superficiales, al tratar las cuencas vertientes y regímenes de aportaciones, como cuando se hace referencia al conocimiento hidrogeológico de esta zona, previo al accidente de Aznalcóllar. Actualmente son varios los trabajos de carácter geológico e hidrogeológico que mejoran notablemente el conocimiento del aluvial del río Guadiamar y su conexión con los niveles permeables del sector marismas.

A lo largo de este capítulo también se pretende introducir al lector en la problemática que subyace desde hace años en la cuenca del Guadiamar ante la necesidad de compatibilizar el desarrollo agrícola e industrial, incluida la herencia minera, con la conservación de Doñana y su entorno.

1.1. Marco Geográfico

F. Borja, R. Vives

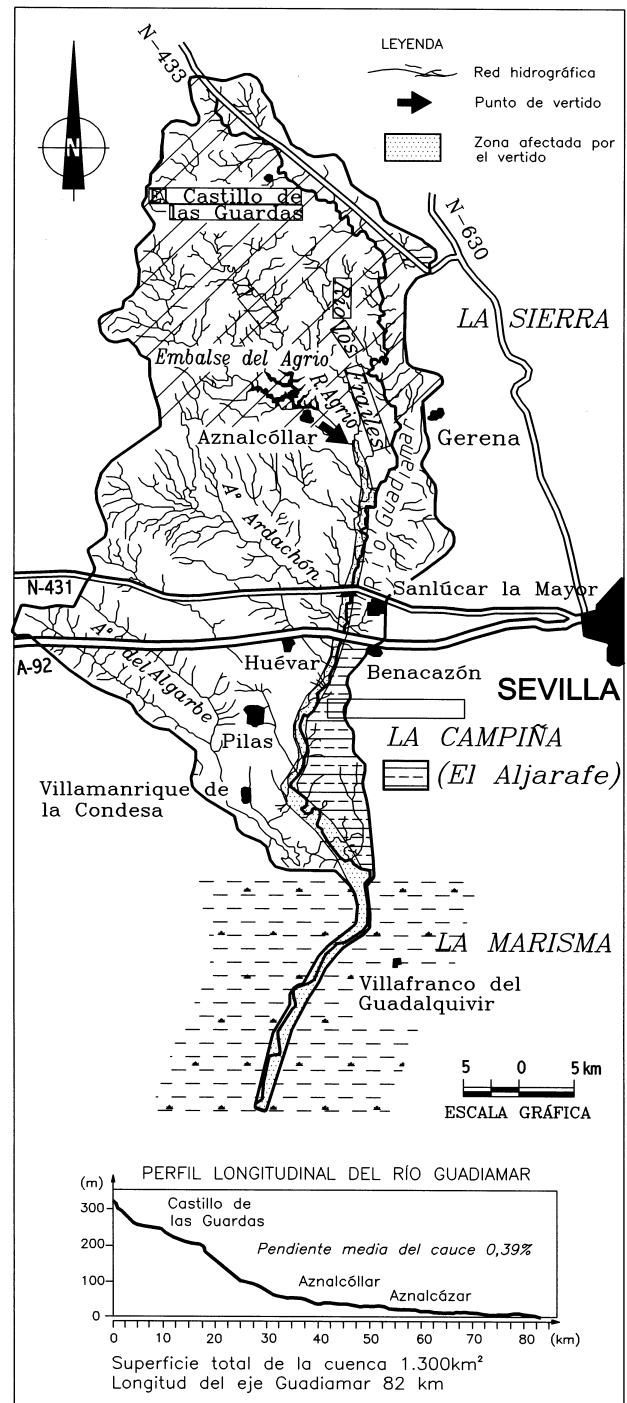
1.1.1. El medio natural de la Cuenca del Guadiamar

El río Guadiamar es el último de los grandes afluentes que recibe el Guadalquivir por su margen derecha, antes de alcanzar el Océano Atlántico frente a Sanlúcar de Barrameda (Cádiz). Desde su nacimiento, cerca del municipio de Castillo de las Guardas (Sevilla) en las estribaciones occidentales de Sierra Morena, hasta su llegada a las marismas del Guadalquivir al sudeste

de Villamanrique de la Condesa (Sevilla), el Guadamar recorre más 80 km y salva un desnivel de unos 320 m. Desde el punto de vista territorial, esta cuenca fluvial drena casi 1300 km² y constituye uno de los más claros nexos de unión entre dos de los grandes conjuntos morfoestructurales y paisajísticos del oeste de Andalucía: la Sierra Morena y el ámbito distal de la Depresión Inferior del Guadalquivir. Este hecho refuerza su vocación de *corredor ecológico* entre los medios naturales de la sierra y el litoral (Montes *et al.*, 1999).

La hidrografía de los tramos alto y medio del Guadamar presenta un dispositivo marcadamente asimétrico. Así, mientras que los afluentes de la margen derecha son abundantes y alcanzan un importante desarrollo (arroyos Cañaveroso, Crispinejo, de los Frailes, Agrio, Ardachón, Alcarayón, etc.), los de la margen izquierda, y a excepción del Majaberraque –que drena una buena parte de la planicie elevada de El Aljarafe– son escasos y de corto recorrido, debido principalmente a la presencia por esta margen de la cuenca del tajo occidental de la citada plataforma sevillana. En el sector sur, el sistema de cauces se ajusta al típico ejemplo de los tributarios asociados a desembocaduras de grandes sistemas fluviales, con marismas intensamente canalizadas: hace tan sólo unas décadas, antes de las profundas transformaciones hidráulicas acometidas en la zona, su canal principal no enlazaba directamente con el cauce central del Guadalquivir, al que en última instancia tributa sus caudales antes de que juntos ganen el mar, sino que su desagüe se producía bien a través del Brazo de la Torre, o bien directamente a las marismas por el Caño Guadamar o el Caño Travieso (Fig. 1.1.).

Desde el punto de vista climático, la cuenca del Guadamar queda encuadrada en su totalidad dentro del ámbito *mediterráneo subhúmedo* de rasgos oceánicos, caracterizado por la presencia de inviernos suaves y relativamente lluviosos, en contraste con unos períodos estivales secos muy marcados. El régimen térmico es moderado a lo largo de todo el año, con temperaturas medias que fluctúan entre los 9°C de enero y los 27°C de julio, aunque pueden llegar a registrarse oscilaciones térmicas diarias cercanas a los 26°C. Los valores extremos por debajo de 0°C, o sea, los momentos con riesgos de helada, son bastante



1.1. Red hidrográfica de la cuenca del río Guadamar, ámbitos geográficos y principales vías de comunicación.

raros; lo contrario de lo que ocurre con las marcas por encima de 40°C, que se alcanzan con facilidad en verano. La distribución espacial de las

precipitaciones presenta asimismo una escasa variabilidad a lo largo de la cuenca. No obstante pueden apreciarse ciertas anomalías, como las que introducen la presencia del farallón de El Aljarafe, o la existencia de un cierto gradiente altitudinal norte-sur. En ambos casos, la existencia de obstáculos orográficos que dificultan el paso de las masas de aire de procedencia oceánica, obligándolas a elevarse, conlleva un sensible aumento de las precipitaciones de sur a norte y de oeste a este. Se pasa así, por ejemplo, de los 555 mm en la estación de Sanlúcar la Mayor a los 663 mm de la de Castillo de las Guardas. Por el contrario, el régimen pluviométrico se caracteriza por una acusada irregularidad, tanto inter como intranualmente, en concordancia con el marcado carácter torrencial de las precipitaciones. Es frecuente que el grueso de las lluvias se concentre en un escaso número de días al año y que a los ciclos plurianuales de sequía les sigan picos con varios años bastante húmedos.

Por otro lado, en lo que a la caracterización general del resto de los componentes del medio natural se refiere, y al igual que ocurre con los rasgos hidrográficos y climáticos anteriormente comentados, la cuenca del Guadiamar presenta una clara división en tres ámbitos bien diferenciados: la sierra, la campiña y la marisma, ámbitos que coinciden con los tres clásicos tramos de las cuencas fluviales: alto, medio y bajo.

- **El Tramo Alto** se asocia a la Unidad Occidental o Surportuguesa-Onubense de la Sierra Morena, donde abundan las pizarras del Paleozoico. Su modelado se caracteriza por la presencia de extensas superficies de aplanamiento, rotas sólo por crestas de cuarcitas devónicas y carboníferas, o de jaspes y riolitas del Complejo Volcano-Sedimentario (ver Cap. 1.2), así como de valles de pendientes ciertamente acusadas. Bajo estas condiciones litológicas y orográficas los suelos de la cuenca alta del Guadiamar se presentan escasamente evolucionados, perteneciendo por regla general al tipo de los inceptisoles.

Aún a pesar del alto grado de transformación forestal al que ha sido sometido por el hombre, este rincón de la cuenca del Guadiamar ofrece bellos ejemplos de bosque mediterráneo de montaña media andaluza no caliza. Las dehesas

de encinas y alcornoques y los pinares de sus alrededores acogen diversas colonias de águilas, buitres y cigüeñas negras, al tiempo que sustentan una importante industria corchera y alimentan una lustrosa montanera de cerdo ibérico. Por su espectacularidad destacan los enclaves fluviales, con sus frondosos bosques-galería, sus adelfares y tamujares, refugios de importantes colonias de nutrias, así como, de modo general, los extensos madroñales, lentiscales y jarales.

- **El Tramo Medio** se emplaza tanto sobre los materiales constituyentes de la margen sur o depresión periférica del Macizo Hespérico, donde predominan calizas de borde, margas y arenas del Neógeno, como sobre los materiales del Cuaternario asociados directamente a la evolución fluvial. Estos últimos están representados por las facies detríticas gruesas de las terrazas fluviales y las finas de la llanura aluvial del Guadiamar. En el conjunto destacan las formas alomadas típicas de las campiñas andaluzas que, surcadas por grandes arroyos, sólo se ven interrumpidas por los suaves escalones de las terrazas fluviales de la margen derecha del canal principal y, por el este, por el farallón de El Aljarafe. A nivel de detalle, este sector medio de la cuenca Guadiamar es el ámbito en el que queda mejor representado el medio natural de llanura aluvial; en él se da cita un complejo y variado cortejo de micro y mesoformas, tanto activas como residuales y heredadas, que confieren a la unidad una ecodinámica muy singular (Montes et al., 2000). En cuanto a las formaciones edáficas, aquí el predominio corresponde a los vertisuelos de campiña, así como a alfisoles y entisoles, cuya presencia aparece más estrechamente vinculada a las márgenes de los principales colectores fluviales.

Desde el punto de vista del paisaje, este tramo medio de la cuenca se caracteriza por la práctica ausencia de vegetación natural, en particular debido a la fuerte presión agrícola ejercida tradicionalmente sobre el área. Mención especial merece la existencia de algunos tramos de bosque-galería donde se acantona una rica vegetación riparia de olmos, fresnos y sauces. Fuera de estos enclaves, y dependiendo de si el substrato es más arcilloso o más arenoso, aparecen algunos encinares aclarados de *Quercus rotundifolia* o alcornoques de *Quercus suber* o, asimismo,

pinares como los de Aznalcázar, Puebla y Villamanrique de la Condesa.

- **El Tramo Bajo** está referido exclusivamente al sector de Entremuros, donde predominan los típicos materiales finos de ambientes marismenños compuestos por arcillas y limos del Holoceno reciente. Aquí la pendiente es prácticamente nula y el relieve absolutamente plano, desarrollándose principalmente formaciones edáficas del tipo entisoles, con tendencia a la saturación permanente por agua. Este ambiente de marisma constituye el feudo de la vegetación acuática, la cual, dependiendo del grado de inundación, puede presentarse bien como una marisma alta, con una vegetación compuesta casi exclusivamente de almajos (*Salicornia sp.*); como una zona de frontera aún más alta, no sometida a las inundaciones periódicas y dominada por pastizales de *Silybus marianum*, *Hordeum murinum* y/o *Plantago coronopus*; o bien como un área deprimida con humedad más o menos permanente donde abundan *Typha*, *Phragmites* y *Scirpus*.

En resumen, la cuenca del Guadiamar constituye un espacio de rasgos hidroclimáticos de tipo mediterráneo con influencias atlánticas, estructurado por un sistema fluvial bien desarrollado, mínimamente regulado en cabecera y altamente manejado desde el punto de vista hidráulico en su tramo bajo, donde el uso agrícola y forestal ha dejado escasamente representada la vegetación natural. Ésta se concentra en las áreas serrana y de marismas, a las que también se asocian los principales valores medioambientales y patrimoniales de la cuenca en Sierra Morena y el Litoral de Doñana (Borja *et al.*, 1999).

1.1.2. El territorio de la Cuenca del Guadiamar afectado por el vertido de Aznalcóllar

La Cuenca del Guadiamar abarca un conjunto de veintidós términos municipales que se integran en diversas comarcas (Sierra, Aljarafe, Campiña y Marisma) pertenecientes a las provincias de Sevilla y Huelva. En su conjunto, estos municipios alcanzan una población de 96 000 habitantes, con una densidad de población de 37,9 hab/km².

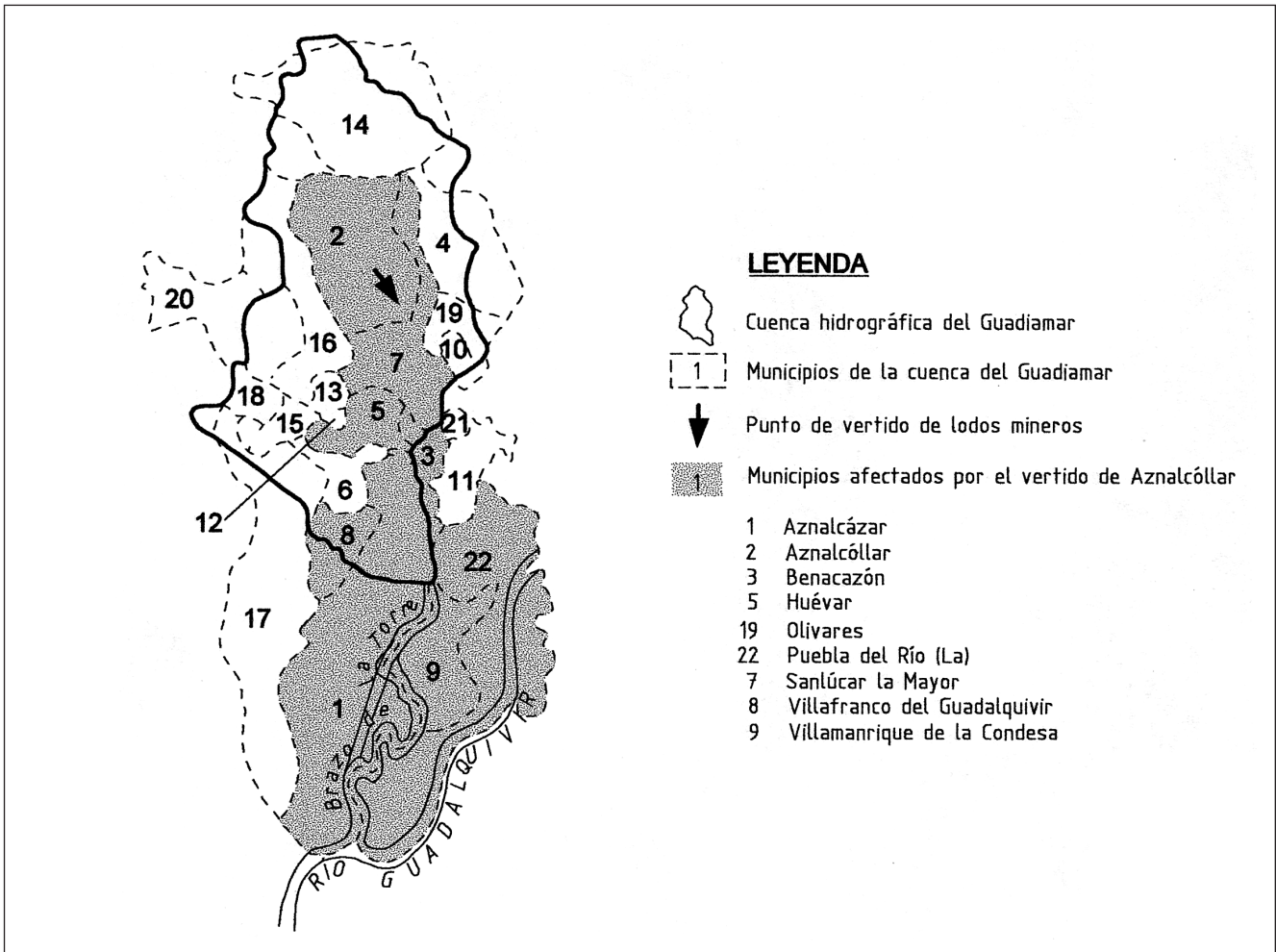
Sin embargo, la rotura de la balsa de Aznalcóllar

y consiguiente inundación de buena parte del entorno del valle del Guadiamar ha afectado de forma directa a 9 municipios de la Cuenca del Guadiamar: Aznalcázar, Aznalcóllar, Benacazón, Huévar, Olivares, Puebla del Río, Sanlúcar la Mayor, Villafranco del Guadalquivir y Villamanrique de la Condesa, todos ellos en la provincia de Sevilla (Fig. 1.2), lo que ha incidido de una forma directa, en mayor o menor medida, sobre una población de 55 000 habitantes. Otros municipios de este entorno, como Pilas, aunque no han sido afectados directamente en su superficie, si han sufrido los problemas derivados de las labores de limpieza, pérdida de jornadas, etc.

La densidad de población de los municipios afectados por el vertido es de 124 hab/km², muy por encima de la media en Andalucía (82 hab/km²) y nacional (78 hab/km²). La dinámica poblacional del conjunto de estos municipios es de carácter positivo, con un incremento relativo de la población del 6,3% en el período 1991-1998. La tasa de paro está comprendida entre el 29% de Aznalcázar y el 15% de Villamanrique de la Condesa, con una media para los municipios considerados del 25% (Tabla 1.1).

El rasgo más destacable de la estructura socioeconómica del conjunto de estos municipios es su carácter agrícola. Así el porcentaje de la población ocupada en el sector primario alcanza como media el 42%, superando incluso el 50% los municipios de Villamanrique de la Condesa, Benacazón y Villafranco del Guadalquivir.

El sector agrario ha basado su actividad en el monocultivo del olivo, excepto en los municipios de La Puebla del Río y Villafranco del Guadalquivir, en los que el cultivo con mayor arraigo corresponde al arroz. Junto al olivar y el arrozal, la modalidad más extendida como práctica agrícola es el regadío tradicional. Éste se organiza en explotaciones familiares dedicadas fundamentalmente a cultivos herbáceos y forrajeros de cereales, girasol, maíz, algodón, etc. Sin embargo, en los últimos años esta agricultura tradicional está siendo sustituida por prácticas de carácter intensivo, fomentadas no ya por los núcleos familiares tradicionales, sino por grandes empresas basadas en el cultivo de especies tempranas y extratempranas, destinadas en gran parte al mercado europeo. Su alta rentabilidad,



1.2. Municipios de la Cuenca del Guadiamar.

así como la garantía en el suministro de agua para riego, generalmente de origen subterráneo, ha propiciado su implantación en buena parte de la Vega media y baja del Guadiamar.

Del total de la superficie agraria de estos municipios, el 47% está dedicada a regadío, con una productividad media de 375 000 ptas/ha, lo que genera más de 15 000 millones de pesetas al año y el empleo de unas 2800 unidad de trabajo año (Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía, 1999).

La actividad industrial tiene un escaso desarrollo, lo que viene a reforzar el ya mencionado carácter agrícola de este territorio vinculado al río Guadiamar. La excepción es Aznalcóllar donde

aproximadamente un 40% de la población ocupada está vinculada a las actividades mineras.

Las infraestructuras viarias con mayor significación presentan una disposición transversal a la cuenca como resultado de la conexión entre las dos capitales de las provincias de Sevilla y Huelva a través de la autopista A-92, carretera nacional 431 y línea férrea interprovincial.

El vertido de aguas ácidas y lodos tras la rotura de la balsa de Aznalcóllar afectó a más de 4000 ha de terreno en ambas márgenes del río, a lo largo de 60 km, y supuso importantes daños a cosechas, cultivos y obras de infraestructuras agrarias y ganaderas, algunos de carácter irreversible. Del total de terrenos afectados unas

Termino Municipal	Población de derecho	Densidad de población (hab/km ²)	Incremento relativo de la población (1991-1998)	Ocupados agrarios (%)	Ocupados industriales (%)	Tasa de Paro (%)
Aznalcázar	3 431	8	7,35	40	17	29
Aznalcóllar	5 756	26	3,32	21	39	20
Benacazón	4 937	154	3,38	54	12	20
Huévar del Aljarafe	2 283	39	7,64	33	11	40
Olivares	7 687	167	15,65	23	13	21
Puebla del Río (La)	10 660	28	-2,09	43	12	30
Sanlúcar la Mayor	10 655	79	12,94	13	16	21
Villafranco del Guadalquivir (*)	6 053	550	0,35	-	-	-
villamanrique de la Condesa	3 777	65	8,07	77	3	15
Zona de estudio	55 239	124	6,29	42	14	25
Andalucía		82	4,26	13	13	29
España		78		8	20	17

Fuente: Instituto de Estadística de Andalucía. Datos de 1998. Incremento relativo de la población: crecimiento poblacional en porcentaje en el período 1991-1998.

(*) Sin datos. Pertenecía a Puebla del Río

Tabla 1.1 Población, población ocupada por sectores y tasa de paro en los municipios afectados por el vertido de Aznalcóllar

3400 ha correspondían a diferentes usos de carácter agrícola, por lo que los agricultores de la zona han presentado reclamaciones por daños por valor de 2866 millones de pesetas. El término municipal más afectado ha sido Aznalcázar ya que concentra el 60% del total de la superficie invadida por los lodos (Consejería de Agricultura y Pesca, 1999).

Así pues, el vertido de los lodos de la mina de Aznalcóllar y la consiguiente contaminación de los suelos y aguas por metales pesados ha tenido una repercusión económica muy negativa sobre las fincas afectadas. La futura producción agrícola ha quedado supeditada a un rígido control sanitario, por lo que no será fácil señalar el límite técnico razonable para poder reiniciar la producción agrícola en términos económicos. Este hecho, unido al impacto medioambiental que ha sufrido gran parte de la cuenca media y baja del río Guadamar, ha propiciado por parte de la Junta de Andalucía la creación de un *Corredor Verde* (ver Cap. 2) que conecte ecológicamente los grandes sistemas de Sierra Morena (Parque Natural de la Sierra de Aracena y Picos de Aroche) y la Marisma (Parque Natural y Parque Nacional de Doñana). Para ello se ha estimado como prioritario la adquisición de la totalidad de los terrenos afectados, que pasarán a ser de titu-

laridad pública, lo que marcará profundamente el futuro de este territorio.

1.2. Marco Geológico

1.2.1. Materiales, edades y configuración en el entorno del Guadamar

P. del Olmo, R. Mantecón.

De acuerdo con el modelo de Riaza y Martínez del Olmo (1996) el registro sedimentario de la zona que ocupa la Cuenca del río Guadamar y su entorno, está representado por dos ciclos: el primero del Mioceno-Plioceno se asocia a la secuencia Marismas, y el segundo del Plio-Pleistoceno se asocia a la secuencia Odiel. El Cuaternario está constituido por depósitos fluviales (terrazas y aluvial del río Guadamar), depósitos coluviales de ladera y depósitos de marisma.

a) Grupo Marismas

Las facies de cuenca están representadas por depósitos mayoritariamente margosos, las facies turbidíticas por materiales mixtos terrígeno-margosos y las de abanico deltaico por conglomerados

dos, areniscas y calcarenitas. Las direcciones de aportes de los materiales terrígenos a la cuenca tienen dos procedencias: por una parte, la principal, es del Noreste (S^a de Cazorra), y por otra, la secundaria, tiene procedencia del Norte (S^a Morena).

Unidad de las Calcarenitas ferruginosas, conglomerados, arenas y areniscas (Messiniense)

Aflora en el contacto con la Meseta y recubre transgresiva y discordantemente los materiales paleozoicos, tiene una potencia de 25 a 30 m y está constituida por un conjunto de brechas calcáreas a conglomerados que engloban cantos de pizarras, rocas volcánicas y cuarzo; lateralmente pasan a calizas brechoides y calizas arenosas (biomicritas). Son frecuentes las intercalaciones de arenas y areniscas calcáreas microconglomeráticas, de tonos blanquecinos, con pasadas más margosas. Se trata de depósitos litorales pertenecientes al Messiniense. Desde el punto de vista hidrogeológico esta unidad cartográfica constituye el denominado acuífero Niebla-Posadas (ver Cap. 11).

Unidad de las Margas grises y azuladas (Messiniense)

Esta unidad aflora extensamente en la Cuenca media del río Guadiamar. Se trata de margas masivas de notable dureza y fractura concoidea. En ocasiones son fétidas y poseen impregnaciones de hidróxidos de Fe o inclusiones de pirita. En las zonas donde afloran con claridad se observa que su coloración es gris con tonos azulados, y de acuerdo con su mayor o menor contenido en materia orgánica pueden presentar niveles de aspecto bituminoso, tacto graso y colores más oscuros. Los estudios de la microfauna que contiene la formación margosa le asignan una edad Messiniense, y los materiales se interpretan como depósitos de plataforma abierta.

Unidad de los Limos amarillentos con tramos carbonatados (Messiniense-Plioceno)

Aflora ampliamente en ambas laderas del valle del Guadiamar, constituyendo la cornisa de El

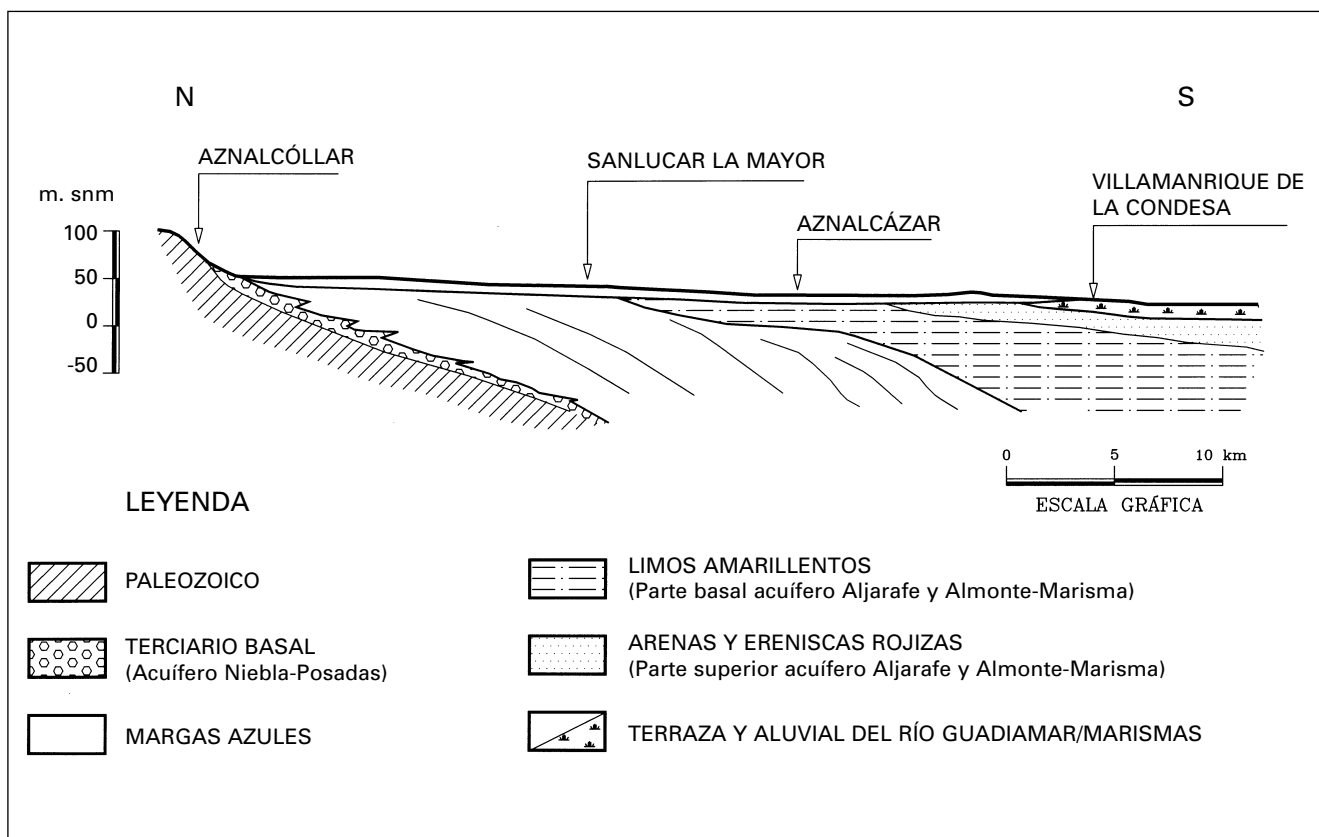
Aljarafe. Tiene una potencia media de 80 m y está constituida por limos más o menos arenosos, con delgadas intercalaciones de niveles de arenas finas y pasadas de margas. El contenido en carbonatos aumenta hacia el techo de la formación. Presenta estratificación masiva y muy difusa, aunque localmente sea más neta y en bancos de potencia entre 0,3 m y 1,5 m. El tránsito con el tramo inferior de margas es muy neto y normalmente está marcado por un banco de arena de grano medio a fino y color gris amarillento. El contenido en microfauna es abundante y su estudio, le asigna una edad, comprendida entre el Messiniense superior y el Plioceno. Estos depósitos se pueden considerar como pertenecientes a un medio sublitoral e infralitoral muy somero, en los que predominan los bivalvos de aguas poco profundas. Estos materiales corresponden a la formación de Limos Basales (ver Cap. 3) y constituyen el tramo inferior del acuífero Aljarafe y Almonte (Fig. 1.3).

b) Grupo Odiel

Los últimos episodios del relleno sedimentario en el sector suroccidental de la Depresión del Guadalquivir demuestran una actividad regresiva en los bordes de la cuenca, que se desplazan preferentemente de Este a Oeste y en menor medida de Norte a Sur. Así, la geometría de la cuenca mantiene la misma forma que la original, pero con un tamaño más reducido. La paulatina emersión y progradación de la línea de costa expuso en el borde continental un conjunto de formaciones detríticas marinas (secuencia Odiel, de Riaza y Martínez del Olmo, 1996), que con posterioridad fueron sometidas a la actividad físico-química de los procesos de meteorización subaéreos.

Unidad de los Limos rojos, arenas versicolores, micro conglomerados y conglomerados (Plioceno-Pleistoceno)

Suprayacente y discordantes sobre la formación Limos amarillentos, anteriormente descrita, se encuentra esta formación constituida esencialmente por arenas, limos rojos, microconglomerados y locales intercalaciones de arcillas limosas, que en conjunto tienen una potencia



1.3. Corte geológico esquemático a lo largo del cauce del río Guadamar.

creciente de Norte a Sur. Su coloración es rojiza, aunque puntualmente las arenas pueden ser blancas. La discordancia de esta formación con el infrayacente presenta características variables según los sectores, desde erosiva muy suave, con presencia de macrofauna inclasificable en los tramos inferiores de arenas blancas, a costas ferralíticas con paso lateral a conglomerados de cantos cuarcíticos, tamaño grava y fuerte cemento ferruginoso. La estratificación es de masiva a difusa, aunque localmente quedan diferenciados bancos de espesor variable por la presencia de capas o láminas de arenisca ferruginosa con rizaduras de oleaje. Atendiendo a las características regionales de esta formación se le atribuye un origen fluvio-marino (holomarinero). Este medio se instauró en la zona con posterioridad a la regresión marina generalizada, quedando todo el ámbito de depósito de las arenas basales como medio ensenada a la que confluyen las canalizaciones de aportes terrígenos. A

esta formación se le puede atribuir una edad plio-cuaternaria dado que es discordante sobre la anterior de edad pliocena. Estos materiales corresponden a la formación de Arenas Basales (ver Cap. 3) y constituyen el tramo superior del acuífero Aljarafe y Almonte-Marismas.

Cuaternario

Comprende el sistema de terrazas del río Guadamar, el aluvial actual y los depósitos de marisma, además de los suelos coluviales y sedimentos antrópicos que abundan en el entorno de la explotación minera de Aznalcóllar:

Sistema de terrazas del Río Guadamar (Pleistoceno-Holoceno). Incluye tres unidades cartográficas claramente diferenciadas a lo largo del río Guadamar: la T₃ está formada por arcillas rojas y marrones, con arenas y acumula-

ciones de gravas y cantos cuarcíticos, mientras que las T_2 y T_1 están constituidas esencialmente por arenas y fracción limo arcilla con lentejones de gravas.

Aluvial actual T_0 (Holoceno). Se incluyen aquí los aluviones recientes y los meandros abandonados. Esencialmente están constituidos por arenas, limos y gravas cuarcíticas.

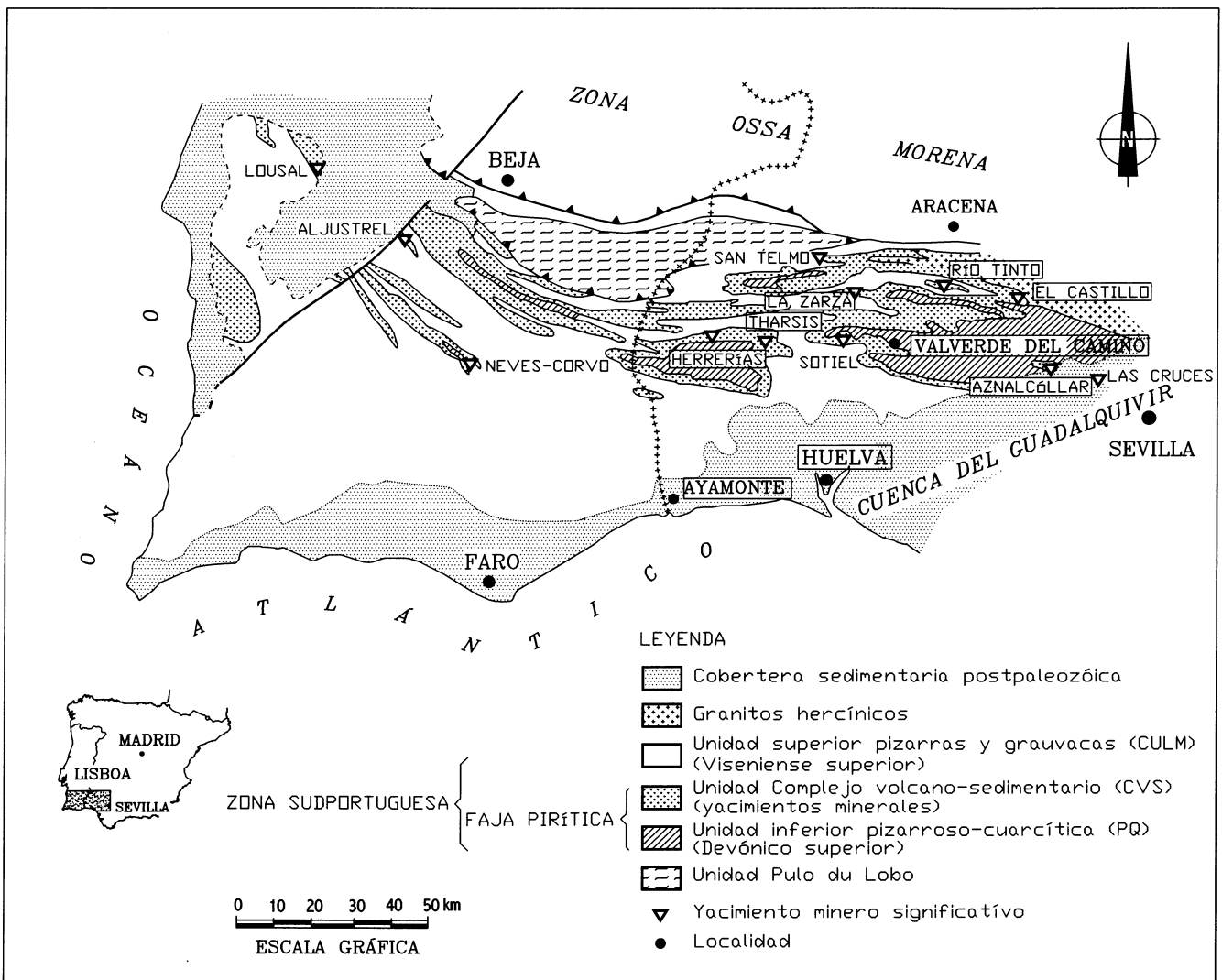
Sedimentos de marisma (Holoceno-actual). Esta formación está representada en superficie fundamentalmente por arcillas y limos arcillosos mientras que en profundidad, a par-

tir del Vado del Quema, el sistema de terrazas del río Guadiamar está recubierto por arcillas de marisma (ver Cap. 3).

1.2.2. Yacimientos mineros

M. Martín Machuca, C. Mediavilla

El yacimiento minero de Aznalcóllar-Los Frailes se localiza en el extremo Suroriental de la zona Subportuguesa del Macizo Hespérico Ibérico (Lotze, 1945). Esta zona está limitada al Norte por los materiales de la Unidad Pulo del Lobo y al Sur por los materiales de cobertera que hacia el



1.4. Esquema Geológico de la Faja Pirítica Ibérica.

Sureste se identifican como terciarios de la Cuenca del Guadalquivir. (Fig. 1.4). Litoestratigráficamente está constituida por una serie de unidades que, de muro a techo, son las siguientes (ITGE, 1993):

Unidad inferior pizarrosa-cuarcítica (PQ) del Devónico superior (Fannenense).

Unidad intermedia o Complejo volcano-sedimentario (CVS), donde se localizan todos los yacimientos minerales.

Unidad superior turbidítica de pizarras y grauvacas (facies Culm) del Carbonífero inferior (Viseniense superior).

Dentro de la zona Subportuguesa se manifiesta una de las provincias metalogenéticas más importantes del mundo, conocida como "Faja Pirítica del Suroeste Ibérico", con unas reservas del orden de 750 millones de toneladas de sulfuros. Se extiende desde el Suroeste de la provincia de Sevilla hasta el Océano Atlántico en la costa portuguesa, ocupando una franja de 250 km de largo por 40 a 60 km de ancho. La Faja Pirítica se caracteriza por la presencia de numerosos e importantes yacimientos ligados al volcanismo del Carbonífero inferior, dando lugar fundamentalmente a yacimientos de sulfuros masivos (pirita, pirita cobriza y sulfuros polimetálicos) tan importantes como los de Neves Corvo, Lousal y Aljustrel en Portugal, y en España: Río Tinto (masa San Dionisio y San Antonio), Grupo Tharsis (Filón Norte, Sierra Bullones, Filón Centro y Sur, Almagrera, Lagurazo, etc.), Aznalcóllar (Caridad, Silillos-Higuereta, Cuchichón y Los Frailes), La Zarza, San Telmo, Castillo de Las Guardas, Concepción, y las nuevas masas recientemente descubiertas de Valverde, Aguas Teñidas y Las Cruces. Éste último yacimiento, aún sin explotar, se localiza entre las localidades de Gerena y Guillena a unos 15 km al Este del yacimiento de Aznalcóllar-Los Frailes, que hasta ahora representaba la mineralización más oriental conocida de la Faja Pirítica.

Las mineralizaciones de sulfuros masivos se localizan exclusivamente en la Unidad CVS, que presenta la típica morfología de cuerpos lenticulares con potencias medias del orden de los 50 m y corridas de varios cientos de metros dispuestos

según la dirección tectónica predominante Este-Oeste. El aporte de azufre en las mineralizaciones está ligado con la actividad fumarólica e hidrotermal póstuma del volcanismo que la genera, por lo que las masas de sulfuros resultantes se localizan, bien en materiales piroclásticos si los depósitos tienen lugar cerca de los focos de emisión, o bien entre materiales sedimentarios si se produce en zonas más alejadas. Aunque contienen otros minerales accesorios, las mineralizaciones fundamentales de los sulfuros complejos son la pirita (hasta 90%), calcopirita, galena y esfalerita.

En este tipo de yacimiento es relativamente frecuente la presencia de monteras oxidadas (gossan) que tienen su origen en los procesos de oxidación-lixivación que sufrieron las masas de sulfuros aflorantes en el Mioceno. El proceso de lixiviación favorece la migración de los cationes más móviles dando lugar a un enriquecimiento secundario de los elementos más inertes, particularmente Ag, Au y Cu, lo que representa un alto valor económico añadido.

La actividad minera en la Faja se sucede desde el Neolítico hasta la actualidad. Tartessos, Fenicios y Romanos, atraídos por las monteras de gossan, explotaron estos yacimientos para el beneficio de metales preciosos y Cu. Posteriormente la actividad minera ha sufrido diversos altibajos con épocas de escasa o nula actividad hasta llegar a mediados del siglo pasado en que, gracias a la gran demanda de Cu y S para la industria europea, hubo un fuerte resurgimiento dirigido por empresas británicas, francesas y belgas, que pusieron en explotación la mayoría de las minas conocidas: Río Tinto, Tharsis, Sotiel, Aznalcóllar, etc.

En la Cuenca del río Guadamar se tiene constancia de dos explotaciones mineras: la de El Castillo de las Guardas (mina Admirable), que dejó de funcionar en la década de los años sesenta, y la de Aznalcóllar-Los Frailes. Algunos estudios arqueológicos muestran que la actividad metalúrgica en esta zona comenzó alrededor del año 3000 a.C.. Los Romanos ya extraían Cu y Ag del estrato superior en el área de Aznalcóllar. En 1853 fueron otorgadas las concesiones Silillos y Cuchichón, que a partir de 1870 pasaron a la empresa The Seville Sulphur & Copper, en 1954 a

la Sociedad Peñarroya, en 1960 a Andaluza de Piritas, S.A. (APIRSA), y en 1987 fueron adquiridos por Boliden los derechos de explotación, constituyendo la empresa Boliden Apirsa, S.L. (ver Cap. 11).

En el momento de la adquisición por Boliden Ltd. la clausura de la Corta Aznalcóllar estaba prevista para el año 1992. Sin embargo, el descubrimiento del yacimiento de Los Frailes en el año 1990 propició la decisión de prolongar la actividad minera de la Corta Aznalcóllar hasta 1996, momento en el que se puso en marcha el nuevo proyecto minero de Los Frailes.

El yacimiento mineral de Las Cruces, aunque está fuera de la cuenca del Guadiamar, se localiza en su entorno inmediato, a tan sólo 15 km al Este de Aznalcóllar. Fue descubierto por Riomin Exploraciones, S.A. en mayo de 1994 tras detectarse una anomalía geofísica que se localiza bajo más de 130 m de margas arcillosas carbonatadas (margas azules) y areniscas y conglomerados del Mioceno superior. El yacimiento, que tiene una extensión aproximada de 1000 m y llega a alcanzar espesores de hasta 100 m, se encuentra encajado en la serie de rocas volcánico-sedimentarias que yacen bajo unos 20 m de areniscas y conglomerados del acuífero Niebla-Posadas (Cobre Las Cruces, 2000). Las reservas mineras extraíbles se estiman en 15,9 millones de toneladas, con una ley del 5,9% en cobre, y una zona de gossan aurífero todavía no evaluado.

El Proyecto de Las Cruces, cuyo titular y promotor es la compañía mercantil Cobre Las Cruces, S.A., se encuentra actualmente en fase de estudio de viabilidad y estudio de impacto ambiental, donde la protección del acuífero Niebla-Posadas debe ser un objetivo prioritario ya que será preciso deprimir el nivel piezométrico de la zona por debajo de la corta, que se situará a 240 m de profundidad.

1.3. Marco Hidrológico

1.3.1. Cuenca Vertientes

M. Palancar

La cuenca actual asignada al río Guadiamar es de 1880 km² (CHG, 1998) de los que 1319 km² se sitúan aguas arriba de su confluencia con el

Brazo de la Torre, en el inicio de Entremuros, y el resto en la zona de Marismas, por donde discurre el actual encauzamiento. La orientación general del río principal es Norte-Sur, presentando un significativo desarrollo la red fluvial de drenaje de su margen derecha, en detrimento de su vertiente izquierda.

En el tramo alto su principal afluente es el río Agrio, así llamado porque al atravesar zonas de alto valor mineralógico (Faja Pirítica) toma color rojo y sabor agrio. Las instalaciones mineras de Aznalcóllar se localizan en el entorno del sector formado por tres arroyos principales: el arroyo Crispinejo y el Cañaveroso, en cuya confluencia se sitúa el embalse de El Agrio, que es la única obra de regulación de cierta entidad en toda la cuenca, y el arroyo de Los Frailes, en donde está previsto ubicar el embalse de El Cuervo.

El embalse de El Agrio o de Aznalcóllar fue construido por APIRSA en la década de 1970 para abastecer las necesidades de la explotación minera. El sistema consta de presa, con una capacidad real de embalse de 20 hm³, y contra-presa-contraembalse del que deriva un tunel-canal de 3700 m de longitud, construido para desviar el cauce del río Agrio a su paso por la corta de Aznalcóllar. La explotación de la corta de Los Frailes prevé también el desvío del arroyo de Los Frailes mediante un canal similar.

En el tramo medio las pendientes se suavizan. Los terrenos de este sector de la cuenca están generalmente labrados por lo que las escorrentías son más laminadas. El principal afluente por la margen derecha es el arroyo Aldachón. La ausencia de afluentes en la margen izquierda está justificada por la existencia de la meseta del Aljarafe, a una cota sensiblemente superior y de la cual el río Guadiamar es su límite.

En el tramo premarismeño el río recoge las aportaciones de varios afluentes de muy baja escorren-tía, como son los arroyos de Alcarayón y La Cigüeña, hasta penetrar en los terrenos de marisma con pendiente prácticamente nula, donde el río ha sido tremendamente modificado con respecto a su estado natural. Originariamente el Brazo de la Torre era el cauce receptor de las aportaciones normales del Guadiamar, mientras que en situaciones de ave-

nida el río se desbordaba y sus aguas circulaban también a través del Caño del Guadamar y del Caño Travieso hacia el interior del Parque Nacional de Doñana.

El proceso de desecación de buena parte de las Marismas del Guadalquivir para uso agrícola propició el encauzamiento del arroyo de La Cigüeña, el río Guadamar y el Brazo de la Torre con el fin de evitar las inundaciones de las Marismas de la margen derecha. Para ello se construyó (año 1950) un canal de derivación del río Guadamar y dos muros o diques paralelos separados entre sí 1 km (Entremuros). De este modo se acotaba la zona de posibles inundaciones encauzando el agua directamente hacia el tramo final del Brazo de la Torre, hasta poco antes de su confluencia con el río Guadalquivir, con lo que se perdió la inundación de antiguos recintos marismeños como la Marisma Gallega, Cantarita, Caracoles e Isla Mayor. Así, las marismas del río Guadalquivir quedaron reducidas a menos de una tercera parte de su primitiva extensión. La marisma de Doñana perdió la principal aportación hacia el Parque Nacional, pasando el régimen hidrológico de la marisma de ser fluvial, mareal y pluvial hace 50 años, a ser casi exclusivamente pluvial en la actualidad, con lo que los períodos y magnitud de las inundaciones de la marisma son ahora mucho menores. Sin embargo, precisamente esta configuración fue la que permitió la construcción de un dique de cierre transversal en la zona de encauzamiento de Entremuros, justo antes de la desembocadura en el tramo meridional del Brazo de la Torre, donde se almacenaron varios millones de m³ de aguas ácidas para, tras su depuración, ser vertidas al río Guadalquivir en unas condiciones admisibles (ver Cap. 6).

Los primeros intentos de regeneración de la marisma de Doñana partieron del propio Patronato del Parque Nacional cuando presentó en 1981 el Plan de Regeneración Hídrica de Doñana. El Plan, que entre otras actuaciones pretendía recuperar una parte de las aportaciones tradicionales procedentes del río Guadamar mediante derivación y bombeo desde el sector central de Entremuros, resultó ineficaz en términos generales ya que no podía garantizar la calidad de las aguas en régimen natural, dado su alto contenido en aguas residuales (urbanas e industriales de aderezo de aceituna) procedentes de

las poblaciones y actividades mineras del entorno, ni tampoco aprovechar los episodios de avenidas del río Guadamar para restaurar la funcionalidad hidrológica del Caño Guadamar.

En esta línea son dos las principales actuaciones que la Administración ha emprendido a consecuencia del accidente de Aznalcóllar: por un lado la elaboración del "Proyecto Doñana 2005" por parte del Ministerio de Medio Ambiente, Real Decreto-Ley 7/1999, de 23 de Abril, por el que se aprueban y declaran de interés general las obras de regeneración hídrica incluidas en el conjunto de actuaciones denominadas "Doñana 2005" (Ficha 5: Restauración del río Guadamar y Caño Travieso, valorado en 4000 millones de ptas), y por otro lado el desarrollo del Proyecto "Corredor Verde del Guadamar", liderado por la Junta de Andalucía, que conlleva la regeneración integral de la cuenca y terrenos aledaños y la construcción de una zona de tránsito entre Doñana y la Sierra Norte (Ver Cap. 2).

1.3.2. Aportaciones y regímenes del río Guadamar

Existen tres estaciones de aforos en el río Guadamar:

- Guadamar en Gerena (AF0056)
- Guadamar en el Guijo (AF0090)
- Guadamar en Aznalcázar (AF0076)

Sin embargo el volumen de datos útiles de estas estaciones no puede considerarse representativo para poder establecer el régimen de aportaciones o avenidas del río Guadamar dado que se corresponde a pocos años y no son consecutivos, y en los casos en los que lo son no abarcan períodos que engloben la variedad necesaria de periodos secos, húmedos y normales.

Los datos que aquí se exponen son los resultados del Estudio de Recursos Hidráulicos del Plan Hidrológico de Cuenca (CHG, 1995), referidos al periodo 1942/43 a 1987/88, actualizados posteriormente hasta el 1994/95. Las series del citado Estudio están obtenidas en régimen natural, es decir sin considerar los embalses ni las demandas.

En la tabla 1.2 se recogen las principales características de la Unidad Hidrológica del Guadamar. La aportación media es de 209 hm³/a para una superficie de cuenca de 1319 km² (Fig. 1.5).

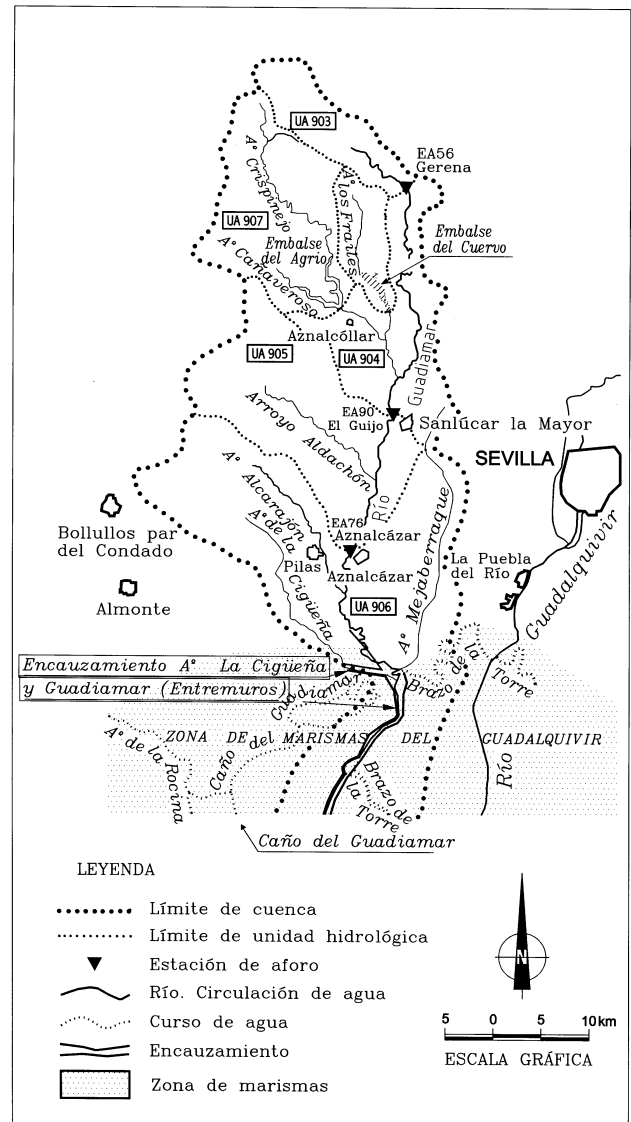
Unidad Hidrológica	Superficie (km ²)	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)	Aportación (hm ³)
903- Guadamar en EA56-Gerena	93	747	844	13,0
907- Agrio embalse Agrio	228	789	859	44,7
908- A.Frailes en embalse Cuervo	62	665	857	6,1
909- Guadamar en EA90- Guijo	192	705	852	20,4
905- Guadamar en EA76-Aznalcázar	302	632	861	50,9
906- Guadamar en inicio Entremuros	442	616	875	73,9
Guadamar completo	1319	659	849	209

Fuente: C.H. del Guadalquivir

Tabla 1.2. Principales características de las Unidades Hidrológicas del Guadamar. Valores medios.

Un análisis de los valores anuales de las aportaciones nos indica la existencia de una tremenda irregularidad interanual (desviación típica 167 hm³) con valores máximos de 724 hm³ correspondiente al año 1962/63 y valor mínimo de 20 hm³ correspondiente al año 1982/83. Además, la aportación máxima es casi 3,5 veces superior a la media y 36 veces el valor mínimo, y la aportación mínima alcanza únicamente la décima parte de la media (Fig. 1.6).

Generalizando se puede significar que aportaciones superiores a 300 hm³/a corresponden a períodos húmedos, entre 100 y 300 hm³/a a períodos medios, y períodos secos son aquellos que no superan los 100 hm³/a.

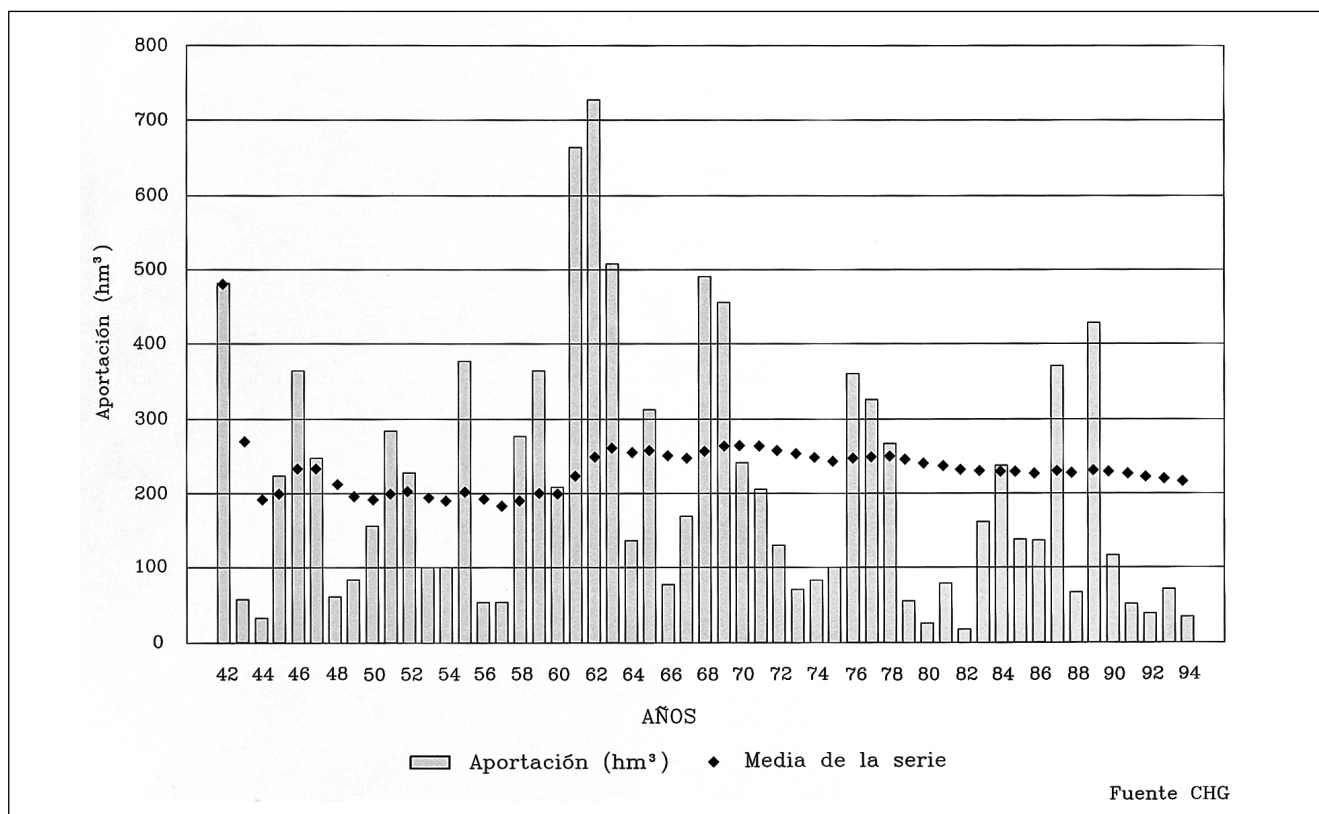


1.5. Hidrología de la Cuenca alta y media del Guadamar hasta el encauzamiento de Entremuros.

La tremenda irregularidad convierte en poco significativo el análisis de las medias mensuales (Tabla 1.3). Resulta más interesante realizar el análisis a partir de los caudales medios diarios, donde se puede concluir que la mayor parte del

Mes	oct	nov	dic	ene	febr	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
Q (m ³ /s)	2,1	5,2	8,9	12,9	13,3	13,9	9,5	5,6	2,8	2,0	1,6	1,4

Tabla 1.3. Caudales medios mensuales del Guadamar en la Estación de aforos de Aznalcázar (1942-1994).



1.6. Aportaciones anuales del Guadamar en la estación de aforos E.A. 76 Aznalcázar.

año los caudales son inferiores a un metro cúbico por segundo, y solamente durante unos pocos días al año se pueden alcanzar caudales elevados.

Los registros de las estaciones de aforos de la cuenca no ofrecen los suficientes datos de avenidas que permitan la realización de un estudio detallado en base a ellos. Se presentan pues los resultados del estudio realizado en 1991 por la Oficina del Plan Hidrológico del Guadalquivir denominado "Estudio de caracterización de Regímenes Extremos en la Cuenca del Guadalquivir: Avenidas y Sequías". En este estudio se establecieron los caudales máximos de

crecida en función de diferentes periodos de recurrencia para diversos puntos de la Cuenca del Guadalquivir. El método fundamental de trabajo ha sido la aplicación del modelo de simulación del proceso de precipitación-escorrentía, basado en el programa HEC-1. La calibración del modelo tuvo en cuenta todas las avenidas registradas que contaban con documentación suficiente. Los resultados de la simulación para la cuenca del río Guadamar, al inicio de Entremuros, son los siguientes (tabla 1.4)

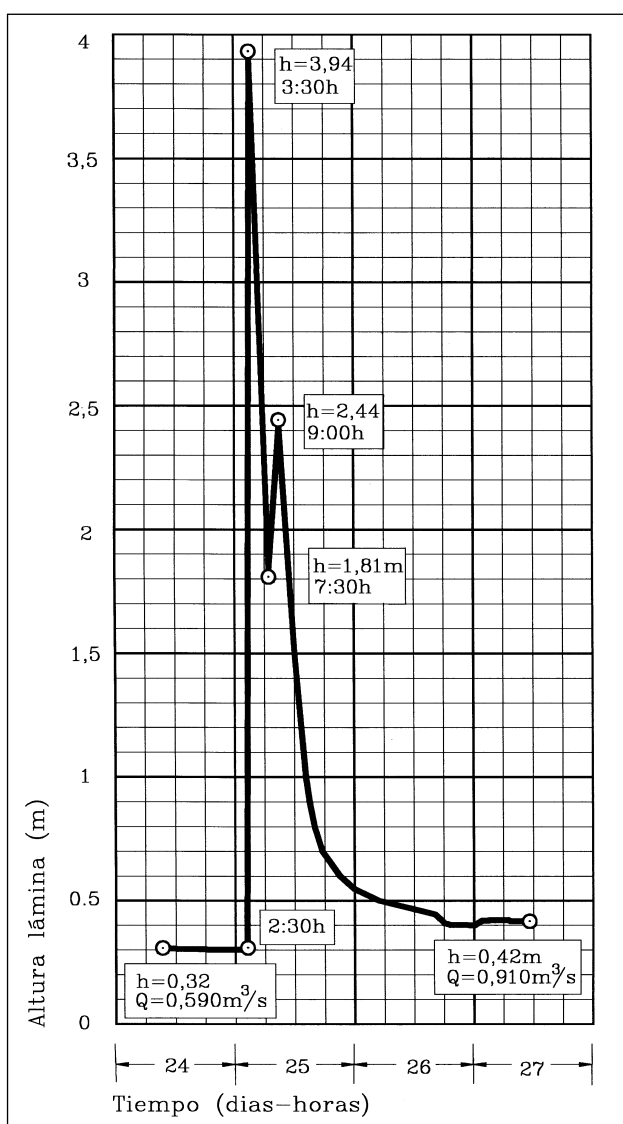
La rotura de la balsa de lodos de Aznalcóllar en la madrugada del 25 de abril de 1998 ocasionó el vertido de unos 4 hm³ de agua y 2 hm³ de lodo, y

Período de retorno (años)	10	25	50	100	500	1000	2000	10 000
Caudales máximos (m³/s)	721	937	1103	1270	1662	1833	2005	2407

Tabla 1.4. Caudales máximos instantáneos de avenidas (m³/s) para una duración del hietograma característico de 72 h, suelo inicial semisaturado y cálculo en régimen real (incluyendo embalse del Agrio).

provocó una avenida y el desbordamiento de ambos márgenes del río Agrio-Guadiamar. Este hecho quedó registrado en el limnógrafo de la estación de aforos EA-90 de El Guijo (en el término municipal de Sanlúcar la Mayor) que la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir tiene instalada en el curso medio del río Guadiamar, unos 11 km al Sur de la balsa accidentada. En él se aprecian dos puntas de avenida, que se interpretan como correspondientes a dos fases en la rotura de las balsas de piritas y proclastos.

Como muestra el limnograma de la Fig. 1.7, la primera avenida se inició sobre las 2:30 h. de la madrugada del 25 de abril de 1998 con un máximo registrado hacia las 3:30 h. La segunda avenida, de menor envergadura, quedó registrada en torno a las 9:00 h de la mañana, con un máximo de 2,44 m, tras el que se inicia la curva de descenso hasta alcanzar un caudal base estabilizado a lo largo del día 27 de abril. El tiempo transcurrido entre ambos máximos de las sucesivas avenidas superó las 5 horas.



1.7. Limnograma en la estación E.A-90 (El Guijo) de la C.H. del Guadalquivir. Registra dos avenidas en la madrugada del 25 de abril de 1998, tras la rotura de la balsa de Aznalcóllar.

1.3.3. Hidrogeología

J.A. López Geta, M. Martín Machuca, C. Mediavilla

La hidrogeología de la cuenca del Guadiamar está supeditada a su configuración geológica, presentando dos dominios netamente diferenciados. El sector Norte de Sierra Morena constituye la cabecera de la cuenca sobre materiales mayoritariamente pizarrosos y volcanosedimentarios que en conjunto confieren a este sector de la cuenca un marcado carácter impermeable. Hacia el Sur, a partir de Aznalcóllar, la cuenca se desarrolla sobre materiales detríticos del Mioceno superior (Tortonense-Messiniense) que constituyen el relleno de la cuenca miocena, progresivamente más recientes y permeables, hasta imbricar los materiales que arrastra el río Guadiamar bajo los sedimentos arcillosos de colmatación de la Marisma del Bajo Guadalquivir.

Los primeros trabajos para el reconocimiento hidrogeológico de la cuenca del Guadiamar se realizaron durante el desarrollo del "Proyecto de Investigaciones Hidrogeológicas de la Cuenca del Guadalquivir 1965-1969", ejecutado por FAO y el IGME como Organismo colaborador por parte del Gobierno Español, que contó con la cooperación del Instituto Nacional de Colonización (hoy IRYDA) y la Dirección General de Obras Hidráulicas. El proyecto tenía por objetivo identificar los recursos de agua subterránea económicamente explotables para el riego de zonas no susceptibles de ser regadas con aguas superficiales reguladas, así como determinar los procedimientos más efectivos para obtener y distribuir el agua subterránea, formular recomendaciones para el control de la explotación de acuíferos y

prestar ayuda a la capacitación de especialistas en tecnología hidrogeológica.

Como resultado de estos primeros trabajos se identificaron tres acuíferos de ámbito regional parcialmente representados en la Cuenca del Guadamar, con las siguientes denominaciones (FAO, 1970):

Manto acuífero del mioceno transgresivo de base: constituye el acuífero hoy reconocido como Niebla-Posadas.

Manto acuífero de Almonte: corresponde al acuífero libre del sistema acuífero Almonte-Marismas, que se extiende a ambos márgenes del río Guadamar. En la margen derecha está constituido por el acuífero de Almonte (1540 km²) y en la margen izquierda por el acuífero de Espartinas (350 km²), hoy reconocido como acuífero del Aljarafe, así como por los depósitos aluviales del río Guadamar depositados sobre esta formación. En los trabajos de FAO, aún admitiendo un contacto hidrogeológico abierto de estos materiales hacia los sedimentos permeables depositados bajo la marisma, se decidió individualizarlos ya que su caracterización técnica y valoración económica aconsejó su separación en aquellos momentos.

Mantos acuíferos de las marismas de la margen derecha del Guadalquivir: comprende todos los materiales permeables sedimentados en la zona que actualmente domina la marisma. Constituyen los diferentes acuíferos cautivos del sector marismas del sistema acuífero Almonte-Marismas.

En una segunda fase, los trabajos del Proyecto FAO se centraron en aquellas zonas que tenían mayores recursos de agua subterránea y susceptibles de poder contribuir al desarrollo agrícola y socioeconómico de la zona. En esta línea, los trabajos continuaron con la redacción y realización del "Proyecto piloto de utilización de las aguas subterráneas para el desarrollo agrícola de la cuenca del Guadalquivir: anteproyecto de transformación en regadío de la zona de Almonte-Marismas 1969-1971". Como resultado de estas investigaciones se estimaron unos recursos explotables de aguas subterráneas de 190 hm³/a

(FAO, 1972); 150 hm³/a en la zona de Almonte y 40 hm³/a en la zona de Marismas.

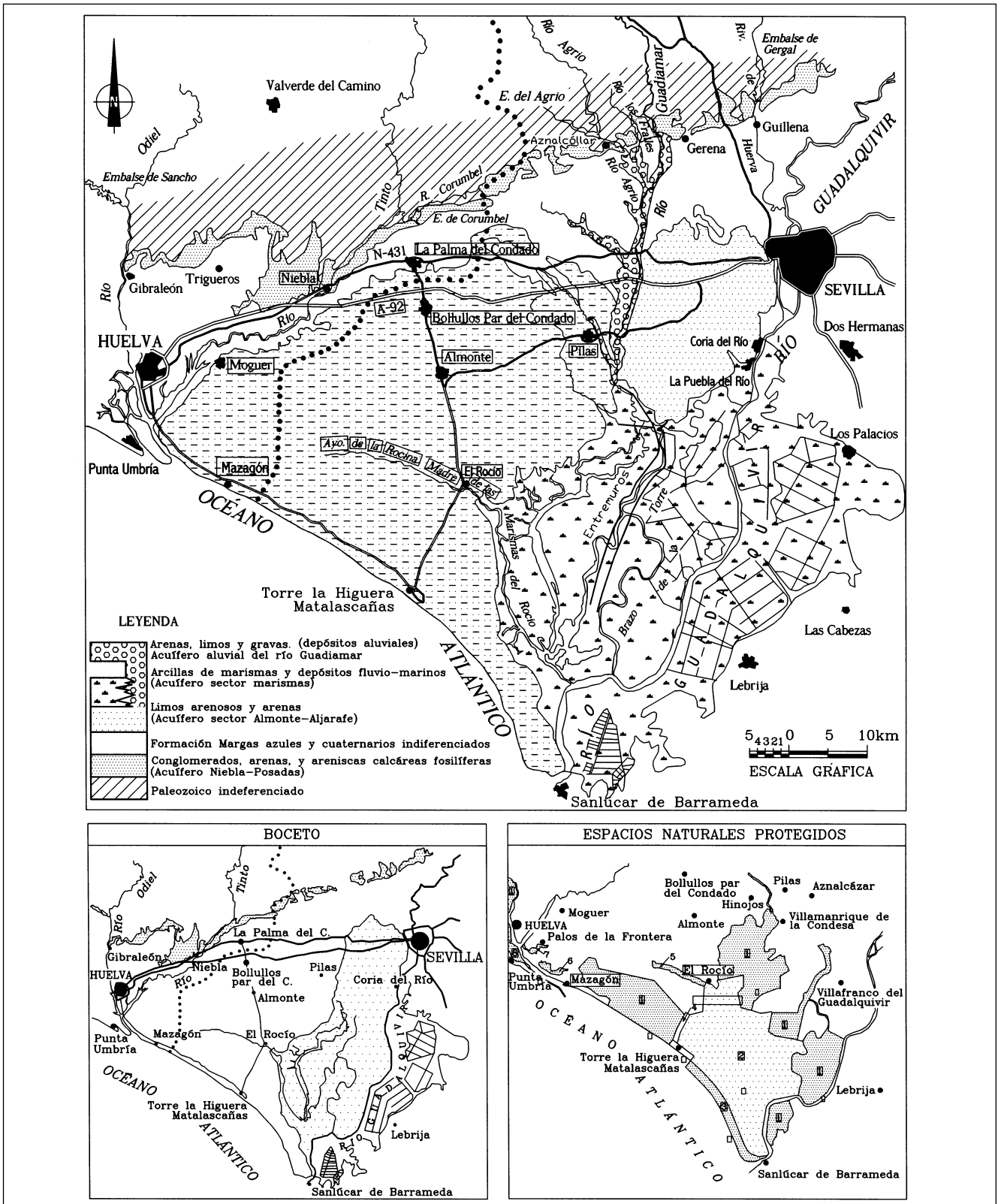
En una tercera fase netamente desarrollista -no hay que olvidar que los hechos se refieren a mediados de la década de 1960- se perforaron 460 sondeos de explotación como infraestructura de bombeo para la puesta en riego de unas 24 000 ha dentro del Plan General de Transformación Almonte-Marismas (FAO, 1975), a lo largo de un sector a caballo entre las arenas y la marisma al Norte del Parque Nacional de Doñana.

La presencia de Doñana en este entorno, su constitución como Parque Nacional en el año 1969, así como una creciente valoración ecológica de la zona, planteó a partir de la década de 1980 la necesidad de compatibilizar el desarrollo con la conservación. En estos momentos el Parque Nacional de Doñana es uno de los humedales más emblemáticos de Europa, integrado por el Gobierno Español en el Convenio de Ramsar para la protección de los humedales, en el Programa de Reservas de la Biosfera patrocinado por la UNESCO y está reconocido con el carácter de Patrimonio Mundial de la Humanidad.

En la cuenca del Guadamar, y su entorno inmediato, se diferencian cuatro acuíferos, cuyas principales características hidrogeológicas son las siguientes (Fig. 1.8).

Acuífero Niebla-Posadas. Unidad Hidrogeológica 05.49 y 04.13

Este acuífero aflora a lo largo de una franja de unos 2 km de anchura media y 150 km de longitud entre las localidades que le dan nombre. Sin embargo los materiales que constituyen esta formación de borde aparecen desde Ayamonte (Huelva) hasta Beas de Segura (Jaén), a lo largo de 400 km en el contacto de la Meseta con la Depresión del Guadalquivir. Está constituido por los conglomerados de base, arenas, gravas y areniscas calcáreas fosilíferas, con frecuentes cambios de laterales de facies, depositados sobre materiales del zócalo paleozoico (Sistema Acuífero nº 26 del IGME). Administrativamente el acuífero Niebla-Posadas se ha catalogado en la



1.8. Esquema hidrogeológico en el entorno de la Cuenca del Guadalquivir.

cuenca hidrográfica del Guadiana como unidad hidrogeológica UH 04.13 y en la cuenca del Guadalquivir como UH 05.49, (SGOP, 1990).

El acuífero tiene carácter libre en los sectores donde aflora y confinado bajo las margas azules tortonienses que constituyen el techo del acuífero y límite Sur de sus afloramientos. Su potencia media varía entre 10 y 20 m, hasta acunarse o desaparecer lateralmente y/o en profundidad hacia el Sur, con pendientes suaves del 2 al 6%. La disposición estructural de la zona está condicionada por un conjunto de pliegues y fallas que dan lugar a una cierta compartimentación hidrogeológica del acuífero en 5 subunidades independientes (IGME, 1983 a).

La recarga se produce por infiltración del agua de lluvia, bien directamente o bien a partir de las escorrentías que atraviesan los afloramientos. El flujo de las aguas subterráneas es en sentido Norte-Sur, con gradientes hidráulicos en torno al 1%. Las salidas se producen ocasionalmente por drenaje hacia los cauces de los ríos que atraviesan los afloramientos y de forma regular por los bombeos para regadío y abastecimiento público. El nivel piezométrico que hace algunos años era surgente en muchos puntos, ahora se localiza entre 5 y 40 m de profundidad. El acuífero Niebla-Posadas dispone de una red de observación establecida por el ITGE de 12 puntos de control piezométrico y 7 puntos de control de la calidad.

La cuenca del Guadiamar se localiza en la subunidad Niebla-Gerena, donde se concentran los mayores bombeos. Las transmisividades medias están comprendidas entre 100 y 1000 m² d⁻¹ (IGME, 1983 b) y los coeficientes de almacenamiento son del orden de 10⁻³ cuando actúa como acuífero confinado y 10-20% de porosidad eficaz cuando actúa como libre. Los recursos medios para este sector se han estimado entre 8 y 10 hm³/a (ver Cap. 11).

Acuífero Almonte-Marismas. Unidad Hidrogeológica 00.05

Constituye el sistema acuífero más representativo de la Cuenca Baja del Guadalquivir. Ocupa una superficie en torno a los 2400 km² en las provincias de Huelva y Sevilla (Sistema Acuífero n^o

27 del IGME). Su mayor parte se localiza dentro de la cuenca hidrográfica del Guadalquivir (UH 05.51, con 2140 km²), a excepción de su extremo occidental que pertenece a la cuenca del río Tinto-Guadiana (UH 04.14, con 260 km²). Administrativamente (DGOH-ITGE, 1993) está considerada como una unidad hidrogeológica intercuenca (UH 00.05).

Las principales formaciones geológicas que constituyen el sistema acuífero Almonte-Marismas son las siguientes:

Arenas Basales del Pliocuatnario: su espesor aumenta de Norte a Sur pues varía entre 20 m a la altura de Almonte, 80-100 m en el borde de la Marisma, y del orden de 200 m en el extremo más meridional.

Barra costera y depósitos eólicos dunares: constituido principalmente por antiguos trenes de dunas degradados (manto eólico) y depósitos dunares actuales.

Depósitos cuaternarios de las Marismas: se trata de una serie de sedimentos groseros (gravas y cantos rodados) que presentan una cierta continuidad lateral entre los sedimentos finos típicos de marisma. Se distinguen dos niveles: uno profundo en la base de la marisma, que se localiza entre los 90 y 150 m de profundidad, con potencias entre 10 y 30 m, y otro nivel más superficial, entre los 50 y 80 m, con potencias variables entre 5 y 30 m (ver Cap. 3).

A grandes rasgos, el sistema acuífero Almonte-Marismas está formado por el acuífero detrítico libre de Almonte y el confinado del sector Marismas, aunque ambos acuíferos están en continuidad lateral. El substrato impermeable de todo el sistema está formado por las margas azules del Mioceno superior (Messiniense), cuyo techo desciende desde unos 50 m.s.n.m. en el límite septentrional hasta unos 220 m.b.n.m. en la zona Sur (ver Cap. 9).

La recarga natural del acuífero se ha evaluado en 200 hm³ de media al año (ITGE, 1992). Sus reservas se estiman del orden de 5000 hm³, mientras que la explotación media anual es de unos 75 hm³ para riego y 6 hm³ para abastecimiento. La

transmisividad del acuífero aumenta de Norte a Sur, con valores medios entre 100 y 3000 m² d⁻¹. En la zona de acuífero libre la porosidad eficaz varía entre el 2 y 5%, mientras que en el sector de acuífero confinado el coeficiente de almacenamiento está comprendido entre 10⁻³ y 10⁻⁴. En los últimos años se vienen observando descensos continuados de los niveles piezométricos al Sur de Villamanrique de la Condesa, donde se están alcanzando cotas inferiores a 20 m.b.n.m. (ver Cap. 4).

La presencia de Doñana en el extremo suroriental de este sistema acuífero está propiciando el desarrollo de un buen número de proyectos e infraestructuras de investigación a cargo de universidades y Organismos Públicos de Investigación, entre los que se encuentra el ITGE, además de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir.

Acuífero del Aljarafe. Unidad Hidrogeológica 05.50

Constituye la prolongación oriental del sistema acuífero Almonte-Marismas en la margen izquierda del Guadiamar, hasta alcanzar el río Guadalquivir, por lo que su diferenciación responde exclusivamente a cuestiones de índole administrativo (UH 05.50).

Se trata de un acuífero detrítico de carácter libre cuando aflora y confinado bajo la marisma en el sector Sur. La superficie total de afloramiento, que coincide prácticamente con el resalte topográfico de la comarca sevillana del Aljarafe, es de unos 350 km². Está constituido fundamentalmente por las arenas y limos arenosos basales del Mioceno superior (Messiniense-Pleistoceno) que, en conjunto, presentan espesores que no suelen superar los 80 m. Estos materiales descansan sobre la formación de Margas Azules que constituye su límite Norte y substrato impermeable, que desciende progresivamente hacia el Sur.

El acuífero se recarga fundamentalmente por infiltración directa del agua de lluvia caída sobre su afloramiento y, en menor medida, por el retorno de riegos. Las salidas se producen por drenaje difuso hacia las cotas más bajas en el entorno de los ríos Guadiamar y Guadalquivir, y

también hacia la marisma, y por bombeos para riegos y abastecimientos a numerosas urbanizaciones que han proliferado en este entorno de Sevilla. La circulación del agua subterránea predominante es de Norte a Sur, con gradiente hidráulico entre el 1 y 5%. Los recursos medios se estiman entre 25 y 30 hm³/a (IGME, 1983 c).

Hacia el Sur de Aznalcázar este acuífero se encuentra hidráulicamente conectado con el sistema acuífero Almonte-Marismas y el aluvial del río Guadiamar (ver Cap. 3 y 4). La red piezométrica de observación controlada por el ITGE es de 38 puntos.

Acuífero aluvial del río Guadiamar

El acuífero aluvial del río Guadiamar no está específicamente reconocido como tal en el Catálogo de Unidades Hidrogeológicas (SGOP, 1995), excepto el tramo en el que se localiza sobre el sistema acuífero Almonte-Marismas-Aljarafe, formando parte del mismo.

Está constituido por los depósitos aluviales del río Guadiamar y sus afluentes, con potencias medias entre 5 y 20 m, extendiéndose de forma continuada desde Aznalcóllar hasta imbricarse en la zona de marismas. Al Norte de Aznalcázar el acuífero aluvial se desarrolla sobre la formación Margas Azules, que constituye el substrato impermeable regional.

La información hidrogeológica disponible sobre el acuífero aluvial, previa al vertido de lodos de Aznalcóllar, antes de su incorporación al sistema acuífero Almonte-Marismas-Aljarafe, puede calificarse como escasa y de carácter muy puntual (ver Cap. 3 y 4).

REFERENCIAS

Borja, F.; Montes, C.; Arenas, J.M. y Borja, C.(1999). *Marco geográfico de la cuenca del Guadiamar*. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía: 1-42.

Cobre Las Cruces (2000). Proyecto Minero Las Cruces. Memoria Resumen para Evaluación de Impacto Ambiental. Junio 2000, (interno).

CHG (1995). Estudio de recursos hidráulicos del Plan Hidrológico de Cuenca, periodo 1942/43 a 1987/88 actualiza-

dos hasta 1994/95. Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (interno).

CHG (1998). Estudio hidrológico del río Guadamar. Proyecto Doñana 2005. Actuación nº 8. Proyecto de control y permeabilización de la marisma de Doñana frente al río Guadalquivir, al Brazo de la Torre y a Entremuros (Ref. 06/98). Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. Anejo 1: 1-9.

Consejería de Agricultura y Pesca (Junta de Andalucía, 1999). Síntesis de actuaciones a consecuencia de los vertidos producidos por la rotura de la balsa de las Minas de Aznalcóllar. (Sevilla). Enero 1999: 1-194, planos.

DGOH-ITGE (1993). Delimitación y síntesis de características de las unidades hidrogeológicas intercuenas (Ref. 05/93). Dirección General de Obras Hidráulicas-Instituto Tecnológico Geominero de España. Ministerio de Obras Públicas y Transportes: 1-9, anejo fichas.

FAO (1970). Estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalquivir: informe técnico 1. AGL: SF/SPA 9. Food and Agricultural Organization. Naciones Unidas, Roma 1-115 (Informe inédito).

FAO (1972). Proyecto piloto de utilización de aguas subterráneas para el desarrollo agrícola de la cuenca del Guadalquivir. Anteproyecto de transformación de la zona de Almonte-Marismas (margen derecha): informe técnico 1. AGL: SF/SPA 16. Food and Agricultural Organization. Naciones Unidas, Madrid: 1-534 (informe inédito).

FAO (1975). Proyecto piloto de utilización de aguas subterráneas para el desarrollo agrícola de la cuenca del Guadalquivir. Proyecto de transformación de la zona regable Almonte-Marismas: informe técnico 7 AGL: SF/SPA 16. Food and Agricultural Organization. Naciones Unidas, Roma: 1-157 (Informe inédito).

IGME (1983a). Hidrogeología del Parque Nacional de Doñana y su entorno. Instituto Geológico y Minero de España. Serv. Publi. Min. Industria y Energía. Colección Informe, Madrid: 1-120, 1 mapa.

IGME (1983b). Estudio hidrogeológico actualizado del sistema

acuífero 26 "Mioceno de Base". Tramo Niebla-Posadas. Instituto Geológico y Minero de España. Ministerio de Industria y Energía, Madrid: 1-283, 17 planos (informe interno).

IGME (1983c). Estudio hidrogeológico del Aljarafe. Instituto Geológico y Minero de España. Ministerio de Industria y Energía, Madrid: 1-31, 8 planos (informe interno). Documento interno.

ITGE (1992). Hidrogeología del Parque Nacional de Doñana y su entorno. Instituto Tecnológico Geominero de España. Colección Informes Aguas Subterráneas y Geotecnia. Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, Madrid: 1-64, 1 mapa.

ITGE (1993). Mapa metalogénico de España 1/200.000. Hoja 75 Sevilla. Instituto Tecnológico Geominero de España. Ministerio de Industria y Energía, Madrid: 1-62, 1 mapa.

Lotze, F. (1945): Zur gliederung der Varisciden der Iberischen Meseta. Geotek. Forrsch; 6: 78-92.

Montes, C. Borja, F. Delibes, M.; Molina, F. y Moreira, J.M. (1999). *La estrategia del Corredor Verde del Guadamar. Fundamentos de la estrategia y conclusiones del seminario internacional sobre corredores ecológicos*. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía: 1-63.

Montes, C. Borja, F.; Arenas, J.M. y Fraile, P. (2000). *Programa de investigación del Corredor Verde del Guadamar 1999-2002*. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía: 1-192 .

Riaza, C. Martínez del Olmo, W., (1996). Depositional model of the Guadalquivir-Gulf of Cadiz Tertiary basin. Tertiary basins of Spain. The stratigraphic record of crustal Kinematic. World and Regional Geology VI; Cambridge University Press: 323-329.

SGOP (1990). Unidades hidrogeológicas de la España peninsular e Islas Baleares. Servicio Geológico. Informes y Estudios nº 52. Centro de Publicaciones del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo: 1-32, 1 mapa.

F. BORJA, J. A. LÓPEZ GETA, M. MARTÍN MACHUCA, R. MANTECÓN, C. MEDIAVILLA, P. DEL OLMO, M. PALANCAR Y R. VIVES