

LOS MANANTIALES DE LA SIERRA DE HUELVA: FUNCIONAMIENTO, TIPOLOGÍA E INTERÉS SOCIAL

*Ramón Garrido Morillo, Arsenio González Martínez,
Emilio Romero Macías*

Grupo de Hidrogeología y Medio Ambiente (Universidad de Huelva)

RESUMEN

La compleja historia geológica del norte de la provincia facilita la presencia de litologías diversas y de una intensa fracturación. La posibilidad de existencia de acuíferos importantes se reduce a rocas carbonatadas. Las abundantes precipitaciones además de la exuberante vegetación facilitan su disolución generando un modelado característico (cárstico). Gracias a la existencia de estos acuíferos no existen problemas de abastecimiento y las necesidades hídricas quedan cubiertas a partir de manantiales, pozos y sondeos.

La presente ponencia pretende esbozar el funcionamiento de los sistemas naturales y advertir de los focos potenciales de contaminación que puedan alterarlos y/o degradarlos.

INTRODUCCIÓN

La geología del norte de la provincia de Huelva es compleja y se caracteriza por rocas diversas muy fracturadas (figura 1), que controlan la existencia de aguas subterráneas.

La disponibilidad del recurso agua es un factor decisivo para la localización de asentamientos humanos. La figura 2 muestra como, en un sector de la Sierra de Huelva, los núcleos poblacionales se levantan al abrigo de un determinado tipo de soporte físico.

Alguien afirmó, irónicamente, que el agua tendía a manar en el centro de los pueblos. Esta afirmación tiene mucho que ver con lo que aquí se expone y refleja la importancia vital que tuvo, y tiene, el agua en nuestro desarrollo como comunidad.

Hay que considerar en su justa medida el tipo de soporte físico (geología - patrimonio natural), los procesos que van modelando ese soporte y la forma de beneficiarnos tanto del soporte como de los procesos (infraestructura - patrimonio cultural).

Trataremos de simplificar a lo esencial esa complejidad geológica, asumiendo la pérdida de rigor científico que conlleva.

El aprovechamiento integral de un recurso concreto genera la construcción de una infraestructura tal que minimice las pérdidas. En el tiempo el hombre ha perfeccionado la técnica de aprovechamiento del agua. Pasamos de beber las aguas cristalinas de un manantial a perforar sistemáticamente las entrañas del subsuelo como venganza por algún que otro año seco. El progreso demuestra la venialidad de ese pecado.

Los procesos contaminantes tienen un origen antrópico. Un inventario de focos contaminantes debe estar relacionado con las actividades agrícolas, urbanas e industriales que el hombre realice. La Sierra de Huelva, como entidad periférica, parece que encontró su destino como zona agropecuaria (con tejido industrial anexo) y turística (Parque Natural). En este contexto debemos situar la posible problemática medioambiental agregando los problemas comunes a todo colectivo humano (residuos sólidos, aguas residuales, etc.)

GEOLOGÍA

La Zona de Ossa Morena (ZOM) y la Zona Surportuguesa representan los dominios más meridionales del Macizo Ibérico (Lotze, 1945; Julivert et al., 1972) (figura 1). Han sido caracterizados principalmente por sus diferencias petrográficas, litoestratigráficas y estructurales. En el contacto entre esos dominios aflora lo que Bard (1969) llamó la «bande métamorphique d'Aracena», una banda metamórfica de grado medio y alto. La figura 3 muestra un resumen sintético de los autores que han

trabajado en el área y las distintas zonaciones que proponen. Seguiremos la propuesta de Crespo Blanc (1989). Esta autora engloba como Macizo de Aracena las siguientes zonas (figura 2):

- Zona El Cubito: serie monótona de esquistos sericíticos y cloríticos de bajo grado con abundantes lentejones de cuarzo de exudación.
- Zona Navahermosa - Castaño del Robledo: esta zona se presenta plegada formando la macroestructura antiformal Fuenteheridos - La Umbría que marca las crestas de la sierra de Aracena a Alájar. Está constituida por tres series separadas por discordancias que de muro a techo son (Bard, 1969):
 - Serie La Umbría: aflora desde el N de Alájar hasta el NE de Higuera. Consisten en una alternancia monótona de metagrauvas volcanosedimentarias y esquistos grafitosos con intercalaciones de cuarcitas de edad precámbrica.
 - Dolomías de Aracena: nivel potente de 250 a 400 m. de mármoles dolomíticos y calcáreos. Afloran desde Portugal hacia el E cerca de Almadén de la Plata.
 - Serie vulcanosedimentaria: aparecen encima de las Dolomías de Aracena. Son metavolcanitas ácidas y básicas con intercalaciones de niveles carbonatados.
- Zona de Jabugo - Almonaster: rocas de alto grado metamórfico y gran complejidad. Afloran tonalitas, gneises, mármoles y calcosilicatos (equivalentes a las dolomías de Aracena). Esta zona se considera equivalente en alto grado a la anterior.
- Anfibolitas de Beja - Acebuches: el reconocimiento reciente de esta unidad con afinidad oceánica y que define el contacto entre ZOM y ZSP, ha estimulado el interés por la geología de este sector del Macizo Ibérico (remitimos al lector a los trabajos de Castro et al., 1996). Constituyen una faja de rocas de afinidad oceánica, con una anchura media de 1 kilómetro y una longitud aproximada de 150 (Beja - Aracena). Estas rocas son fundamentales para comprender las relaciones temporales entre fases de deformación y metamorfismo ya que juegan un papel de bisagra entre ambas zonas.

Todo el macizo se encuentra fracturado y desmembrado en fragmentos por fracturas en dirección (NW a EW) y fracturas N60E que cortan a las fallas anteriores. Existen otros grupos de fracturas de menor importancia. El límite norte lo constituye el sinclinorio de Barranco - Hinojales y el

sur está marcado por el contacto con el cuerpo de acreción Pulo do Lobo (Pfefferkorn,1968).

Aparecen también cuerpos intrusivos graníticos (Aroche, Gil Márquez, Escalada, Aracena) y dioríticos (La Nava y Aroche).

HIDROGEOLOGÍA

Introducción

Es la rama de la geología que estudia las aguas subterráneas siendo los Sistemas Acuíferos los grandes reservorios de este tipo de recursos. La provincia de Huelva está caracterizada por dos grandes acuíferos de carácter detrítico situados en la zona costera ocupando sedimentos recientes de relleno de la depresión del Guadalquivir (4.12 Ayamonte - Huelva y 5.5 Almonte - Marismas). Están bien estudiado sus funcionamientos y la problemática contaminante que soportan (intrusión salina y contaminación por nitratos).

No ocurre lo mismo con los acuíferos cársticos del norte de la provincia (5.45 Sierra Morena). En la bibliografía sólo se encuentran pinceladas de la hidroquímica de esas aguas. Así, el Atlas Hidrogeológico de la provincia de Huelva (Diputación Provincial,1993) comenta superficialmente algunos aspectos; existen también informes del ITGE sobre problemas concretos. Ordóñez et al. (1998) caracterizan química e hidrogeológicamente aguas de abastecimiento a poblaciones. Martín Rosales et al. (1996) estudian los principales impactos antrópicos en la Gruta de las Maravillas. En resumen, no se han realizado estudios hidrogeológicos profundos en este Macizo.

Las rocas carbonatadas de la Sierra de Huelva cubren un amplio rango composicional y litológico, pues afloran desde calizas y dolomías (rocas sedimentarias) hasta mármoles calizos y dolomíticos (rocas metamórficas) resultado del intenso metamorfismo al que han estado sometidas. La figura 4 muestra el rango composicional de estas rocas.

Aspectos generales

Los acuíferos cársticos se desarrollan sobre litologías carbonatadas y

evaporíticas existiendo también en zonas glaciares. En este tipo de acuíferos predomina la escorrentía subterránea sobre la superficial, siendo el proceso fundamental la disolución de la roca por el agua con CO_2 disuelto. Bayó et al. (1986) en base a indicadores como litología, deformación, morfología, estructura interna, piezometría, etc., establecen tres grupos básicos de acuíferos carbonatados: de flujo difuso, cárstico «sensu stricto» e intermedios. La figura 5 presenta esquemáticamente esta variedad y la influencia que tiene sobre el drenaje y la dureza.

El estudio de este tipo de acuíferos se realiza en base a modelos de «caja negra». Este tipo de modelo pretende conocer el funcionamiento del sistema partiendo de las entradas (en zonas de recarga) y de las salidas (en zonas de descarga). La heterogeneidad del medio cárstico requiere un estudio intenso de identificación de zonas de recarga ya que toda la roca puede, potencialmente, serlo.

Procesos de disolución

La mayoría de las aguas subterráneas son de procedencia meteórica, es decir se originan a partir de la lluvia o del agua de fusión nival, las cuales tienen cantidades variables de sólidos disueltos y una pequeña cantidad de CO_2 derivado de la atmósfera. Frente a este tipo de agua la caliza es prácticamente insoluble, sin embargo la roca se disuelve. Debemos considerar el extraordinario aporte de CO_2 del suelo (actividad de microorganismos y descomposición de materia orgánica) que supone según autores entre 300 y 700 veces el aporte atmosférico (Roques, 1962; Trombe, 1952; Bögli, 1969). Este agua ya está en disposición de atacar a la roca a partir de discontinuidades (fallas, diaclasas, superficies de estratificación, etc.) generando sumideros, modelados superficiales (lapiaz, dolina, polje entre otros) y modelados subterráneos (cuevas).

Al entrar en contacto el agua acidificada con la roca, la solución empieza a atacarla disolviéndola. El ión calcio es incorporado rápidamente, dado que la disolución de la calcita es una reacción relativamente rápida. La dolomita, sin embargo, requiere mucho más tiempo para ser disuelta (Drever, 1982). Por ello, en los acuíferos cársticos s.s. el tiempo de residencia puede ser muy corto siendo frecuente que estén subsaturados con respecto a la calcita y dolomita. En los acuíferos de flujo difuso, el agua puede alcanzar el equilibrio con esas especies minerales.

Manantiales

Estas estructuras se producen cuando el nivel piezométrico intercepta la superficie terrestre. Según las características hidrogeológicas del acuífero puede existir uno o más manantiales. En cuanto a la tipología, no existen clasificaciones standards, pero los agruparemos atendiendo a los siguientes criterios (figura 6):

- según su posición:
 - de contacto entre materiales permeables e impermeables
 - de depresión producida por la topografía
- según la circulación del agua en las inmediaciones:
 - de desbordamiento cuando es máximo el nivel piezométrico
 - de vaciado implicando poco tiempo de aprovechamiento del acuífero
 - *trop plein* funcionando como sumidero o como manantial

Acuíferos del Macizo de Aracena

Como ya se ha comentado, estos materiales forman parte del sistema acuífero 5.45 (Sierra Morena). La unidad objeto de estudio la definimos como unidad hidrogeológica Aroche - Zufre. Está compuesta por tres bandas de rocas carbonatadas, que de norte a sur son:

- Calizas marmóreas de la ZNC (Formación Hidrogeológica Navahermosa): corresponden a un episodio deposicional intermedio entre un vulcanismo ácido y otro básico. Constituyen afloramientos de pequeña extensión desde Galaroza hasta el norte de Aracena. Drena, entre otros, el manantial de Fuente del Rey (Aracena) y el de Fuente Ntra. Sra. del Carmen (Galaroza).

- Dolomías de Aracena de la ZNC (Formación Hidrogeológica Roja): drena Fuente Castaño y Malaño (Aracena), Fuenteheridos y La Peña en Alájar.

- Mármoles de la ZJA (Formación Hidrogeológica Blanca): equivalente en alto grado a la formación anterior. Drena Marimateo, Zulema, Fuente del Concejo y Albuhera (Aracena), además de las fuentes de Linares, Santa Ana y Fuente del Oro, entre otros.

El Grupo de Hidrogeología y Medio Ambiente de la Universidad de Huelva ha realizado un seguimiento a las surgencias Marimateo y Fuente-castaño de abril del 96 a diciembre del 97. La figura 7 muestra los hidrogramas (muestreo semanal/quincenal) y los gráficos de Stiff correspondientes a seis analíticas realizadas. Algunas conclusiones se pueden sacar con los pocos datos disponibles. Fuentecastaño presenta claras interferencias del bombeo que se realiza para abastecimiento a Aracena. No obstante, el acuífero que drena parece de vaciado más rápido que el de Marimateo. En cuanto a la hidroquímica, el mismo proceso comentado, hace que Marimateo presente mineralización mayor como resultado del tiempo de residencia del agua en el interior del acuífero maximizando la interacción agua-roca. Las facies son bicarbonatadas cálcicas durante el vaciado de los acuíferos. Las precipitaciones («aguas nuevas») hacen de pistón evacuando las «aguas viejas» de facies bicarbonatada magnésica; este proceso explica la presencia de este tipo de facies después de las precipitaciones.

Infraestructura hídrica

La forma de beneficio del recurso hídrico es diversa y variada. Las aguas superficiales que forman la escorrentía son una componente importante debido a la gran cantidad de material impermeable presente en la zona. Estos aportes juegan un gran papel en los caudales de barrancos, arroyos y ríos. La divisoria de aguas es clara para las aguas superficiales pero no para las subterráneas ya que estos acuíferos drenan cursos de dos organismos de cuenca. Así, aguas cársticas forman parte de los ríos Múrtiga y Odiel (Confederación del Guadiana) y de la Rivera de Buervas (Confederación del Guadalquivir).

Históricamente estas aguas superficiales se han utilizado para riegos de pequeñas huertas a través de acequias (lievas) constituyendo un buen ejemplo de organización comunada. La elevación del nivel de base de los arroyos mediante la construcción de pequeñas presas facilita la disponibilidad del recurso, incorporándose el restante de nuevo al arroyo.

Como vestigios de la actividad cerealera pasada encontramos (cada vez menos) los molinos. En una recopilación del siglo XV, Pérez Embid (1995) realiza un inventario compuesto por:

- Aracena: 32 molinos en la rivera de Fuente del Rey, 26 en la de la Fuente del Concejo, 9 en el río Odiel y 8 en el Robledo y Valdelarco.
- Aroche: 12 en el Chanza, 9 en el arroyo de los Cubos, 2 en Alcaloboza y 4 en el arroyo de la Villa.
- Cumbres Mayores: 14 en el Sillo, 6 el en Múrtiga y 4 en la rivera de Riofrío.
- Encinasola: 28 en el Múrtiga y 9 en el Sillo.
- Hinojales: 4 en el arroyo de la Corte y uno en su rivera.
- La Nava: 2 en la rivera del Fresno.

Del orden de 150 molinos adornaban nuestros arroyos y ríos. Algunos se han rehabilitado como viviendas rurales, muy en boga por otra parte, y la mayoría de los que aún existen se desmoronan a pedazos.

En cuanto al agua subterránea, el manantial es por antonomasia la estructura principal por no requerir, en principio, obra adicional para su beneficio. Estos manantiales se sitúan en los contactos del macizo carbonatado con las rocas silicatadas de borde.

Podemos resumir las obras realizadas para el aprovechamiento de estos manantiales en los siguientes tipos:

- regularización con edificación de caseta y salida al exterior por conductos múltiples (caños) (ej.: Fuente Castaño),
- aprovechamiento por medio de drenes horizontales múltiples directos al acuífero (ej.: Marimateo),
- ejecución de baterías de sondeos en las cercanías del manantial (ej.: Fuente Castaño),
- en otros casos la obra se reduce a la realización de un murete de fábrica que eleve el nivel de base en la surgencia (ej.: Fuente del Rey).

La canalización de estas aguas caracteriza las estructuras más típicas de los paisajes serranos: fuentes, abrevaderos y lavaderos de formas diversas combinados o aislados. Valga como ejemplo la flamante Fuente Albuhera, de reciente restauración, que constituye un ejemplo en la conservación del patrimonio cultural marcando una línea a seguir por los gestores municipales de la Sierra.

El aprovechamiento más típico de los acuíferos mediante perforaciones también tiene su representación en el área que nos ocupa (pozos verticales, horizontales (galerías) y sondeos). La sequía de los últimos años (figura 8) ha facilitado la proliferación de sondeos sobre todo en materiales considerados como impermeables (esquistos, pizarras y filitas) con la construcción de depósitos anexos (albercas). Los pozos y galerías son de construcción antigua y en muchos casos realizados a mano pudiéndose ver numerosos ejemplos en nuestro entorno.

En resumen, existe una infraestructura amplia y diversa para la extracción, depósito y manejo del agua tanto subterránea como superficial. Los excedentes se incorporan al ciclo hidrológico a través de barrancos, arroyos y ríos.

FOCOS POTENCIALES DE CONTAMINACIÓN

La ley 29/1985 de Aguas (BOE 189 de 8 de agosto) define la contaminación como «la acción y el efecto de introducir materias o formas de energía, o inducir condiciones en el agua, que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica. A efectos de esta ley, se incluyen las alteraciones del entorno afecto al dominio público».

El origen de la contaminación es antrópico; en función de la actividad que la produce puede ser:

- agropecuaria: actividades agrícolas y ganaderas,
- industrial: incluye actividades extractivas y de transformación (porcino y aves),
- urbana: vertidos de aguas residuales y residuos sólidos.

Atendiendo a la distribución espacial de las fuentes contaminantes se distingue entre:

- contaminación puntual: originada en un foco localizado, por lo que afecta con mayor intensidad a una zona restringida alrededor del foco; es el caso de los vertederos de residuos, de las granjas y de las conducciones de aguas residuales,
- contaminación difusa: la entrada del contaminante se distribuye en una zona amplia del sistema (superficial o subterráneo); citaremos como ejemplo el lavado de nitratos en zonas de regadío.

La vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación depende, por tanto, del tipo y de la distribución espacial de las fuentes contaminantes. Además, los distintos tipos de acuíferos se comportan de forma diferente. Un acuífero detrítico será más vulnerable cuanto más próximo esté el nivel piezométrico a la superficie. En cambio, en los acuíferos cársticos la vulnerabilidad será mayor debido a la conexión directa entre el propio acuífero y el exterior a través de los sumideros. La localización de la zona de recarga, es la herramienta más importante para la protección de estas estructuras subterráneas.

En cuanto a las aguas superficiales, los vertidos son el problema más importante sin olvidar las complejas relaciones entre aguas subterráneas y aguas superficiales que constituyen un solo sistema en el Ciclo Hidrológico.

Analicemos la importancia que tienen las actividades potencialmente contaminantes en la Sierra de Huelva. La ganadería y los aprovechamientos forestales (que conforman una misma unidad de explotación en el ecosistema dehesa) constituyen los usos más representativos de la economía agraria de la zona. El cuadro 1 (Silva, 1997) pone de manifiesto la escasa significación que tienen las tierras de cultivo; en cambio, las tierras de aprovechamiento forestal - ganadero ocupan alrededor del 90% de la superficie (60% especies forestales arbóreas + 17,3% pastos + 10,3% matorral). La incidencia de la contaminación agrícola parece, en principio descartable. Se trata de pequeñas explotaciones familiares constituyendo la tan en boga «agricultura ecológica».

Las especies forestales, si bien no alteran la calidad de las aguas, ac-

túan de forma indirecta sobre el ciclo hidrológico. Observamos cambios drásticos en el paisaje como resultado de la tala de estas especies cuando dan el calibre adecuado para el uso posterior en la industria papelera; hecho que influye favoreciendo la escorrentía superficial, disminuyendo la infiltración hacia el subsuelo y aumentando la erosión. Este proceso se amortigua con el aterrazamiento del terreno soporte de las explotaciones.

USOS	SUPERFICIE	PORCENTAJES
Tierras labradas	23.954	9,5
Especies arbóreas forestales	150.644	60,0
Tierras para pastos	43.505	17,3
Matorral	25.941	10,3
Erial	1.066	0,4
Otras tierras	5.838	2,3
SUPERFICIE TOTAL	250.949	100,0

Cuadro 1.

Distribución de los usos del suelo en la Sierra de Huelva (datos en ha.)
(Silva, 1997)

La contaminación por vertidos de industrias de transformación del porcino ya hizo correr ríos de tinta cuando se detectaron niveles de contaminantes en el río Múrtiga. El problema parece que está en vías de solución.

En cuanto a las explotaciones avícolas (consideradas también como tejido industrial) algunas consideraciones deben hacerse. Existen áreas de topografía plana, que corresponden a valles con relleno de sedimento (carbonatado o carbonatado/silíceo) que pueden llegar a constituir pequeños acuíferos detríticos. Se localizan en los límites de los macizos carbonatados y son zonas idóneas para instalar naves de cría de aves. Este entorno también es el adecuado para la surgencia de agua por el contacto entre rocas carbonatadas (permeables) y rocas silíceas (impermeables). En resumen, puede existir conexión hidráulica entre el manantial y las aguas residuales de las granjas que se infiltran por el detrítico para producir contaminación. El control del ión nitrato puede detectar esta posibilidad.

Las actividades extractivas (canteras de áridos y roca ornamental) pue-

den interferir el ciclo hidrológico. Un ejemplo permite visualizar esta posibilidad. En 1982, la empresa INGEMISA realiza sondeos de investigación para el ITGE en la zona de sierra que va de Aracena a Los Marines con el objetivo de estudiar posibles mineralizaciones de zinc y plomo. Estos sondeos atraviesan zonas carstificadas a profundidades variables (conductos). Por otra parte, Baena y Díaz (1998), en estas mismas litologías pero en la Sierra Norte de Sevilla, definen dos superficies de corrosión: SK1 (entre cota 670 y 680 m.) y SK2 (entre cota 630 y 620 m.). Las preguntas son inmediatas, ¿podrían las actividades extractivas interceptar estos conductos?, ¿se hacen estudios previos a la localización de estas actividades mineras?

Los residuos urbanos, tanto sólidos como líquidos, presentan una problemática común en cualquier núcleo de población. Basta citar el último ejemplo de roturas de conducciones de aguas residuales en Higuera de la Sierra que algún periodista define como «CONTAMINACIÓN OCULTA EN LA SIERRA DE HUELVA» y «AMENAZA AL PARQUE NATURAL DE LA SIERRA DE ARACENA Y PICOS DE AROCHE»(*).

La actual legislación europea contempla la construcción de estaciones de depuración de aguas residuales (EDAR) en los municipios. Los aportes directos a ríos y arroyos no serán problema en los grandes núcleos poblacionales de la sierra a partir de la puesta en funcionamiento de las EDAR. En cambio, en las aldeas periféricas el problema seguirá existiendo.

Los residuos sólidos urbanos procedentes de derribos (escombros) plantean un problema concreto. La irregular topografía facilita la formación de modelados «aprovechables» para la acumulación de estos escombros que en algún caso pueden originar auténticos «vacíos» en los que entra todo, desde sacos de sal hasta productos fitosanitarios. Estos materiales aparte de taponar el curso natural de las aguas pueden llegar a contaminar las aguas superficiales y subterráneas. En algún caso estas acumulaciones pueden originar suelo urbano constituyendo una fuente de beneficios para las administraciones municipales.

(*). Diario ABC. Martes, 3-11-98. P. 54.

CONCLUSIONES

La intención de los autores al presentar este trabajo, ha sido la de presentar de manera simple el funcionamiento de los sistemas naturales en tanto en cuanto modulan las precipitaciones y las convierten en agua disponible para su consumo en las más diversas actividades. La Sierra de Huelva, dada su situación privilegiada en el Parque Natural Sierra de Aracena y Picos de Aroche, requiere estudios geológicos profundos que ayuden a optimizar los grandes recursos disponibles.

Este patrimonio natural se solapa con las estructuras físicas de aprovechamiento del recurso (patrimonio cultural) que constituyen las señas de identidad de una comarca en clara dependencia del agua.

En esta misma dirección, los autores proponen para próximas jornadas la elaboración de un inventario del Patrimonio Geológico del Parque Natural Sierra de Aracena y Picos de Aroche que ayude a conocer y comprender diversos aspectos geológicos del área y que no se limiten a las macromodelados que están en la mente de todos (cuevas y travertinos)

AGRADECIMIENTOS

Parte de este trabajo ha sido financiado por el II Plan Andaluz de Investigación (II PAI RNM 149) y por el II Plan Propio de Investigación de la Universidad de Huelva. Agradecemos a los Servicios Centrales de Investigación de la Universidad de Huelva la colaboración por las analíticas realizadas.

BIBLIOGRAFÍA

- BAENA, R. y DÍAZ DEL OLMO, F. (1998). Paleokarst de Sierra Morena (Sector Cazalla - Constantina, Hespérico Meridional): superficies de corrosión y poljes. Cuaternario y Geomorfología, vol 2 (1-4), 13-22.
- BARD, J.P. (1969). Le métamorphisme régional progressif des Sierras d'Aracena en Andalousie occidentale (Espagne): sa place dans le segment hercynien sud-ibérique. Thèse, USTL, Montpellier, 397 pp.

- BAYÓ, A. y CASTIELLA, J. (1986). Jornadas Karst Euskadi. 255-340. Donostia - San Sebastián.
- BÖGLI (1969). CO₂ - Gelhate der Lift in Alpine Karstboden und Hohlen. 5 th. Int. Congr. Stuttgart, 28: 1 - 9.
- CASTRO, A., FERNÁNDEZ, C., DE LA ROSA, J.D., MORENO-VENTAS, I. y ROGERS, G. (1996). Significance of MORB - derived Amphibolites from the Aracena Metamorphic Belt, Southwest Spain. *Journal of Petrology*. Vol. 37 - Num. 2 - 235-260.
- CRESPO-BLANC, A. (1991). Evolución geotectónica del contacto entre la Zona de Ossa Morena y la Zona Surportuguesa en las Sierras de Aracena y Aroche (Macizo Ibérico Meridional): un contacto mayor en la cadena hercínica europea. Servicio de Reprografía de la Facultad de Ciencias. Universidad de Granada.
- Diputación Provincial (1993). Atlas Hidrogeológico de la Provincia de Huelva.
- DREVER, J.I. (1982). The geochemistry of natural waters. Prentice Hall. Englewood Cliffs, N.J., 388 p.
- JULIVERT, M.; FONTBOTÉ, J.M.; RIBEIRO, A. y NABAIS, L.E. (1972). Mapa tectónico de la Península Ibérica, y Baleares. E: 1: 1.000.000. Memoria Explicativa: 1-1133 (1974). IGME.
- BOE 189 de 8 de Agosto (1985). Ley 29/1985 de Aguas.
- LOTZE, F. (1945). Zur Gliederung der Varisciden der Iberischen Mesetas. *Geoth. Forsch.*, 6:78-92.
- MARTÍN ROSALES, W., PULIDO, A., LÓPEZ, M., RODRÍGUEZ,, C.M. y VALLEJOS, A. (1996). Principales impactos antrópicos en la Gruta de las Maravillas (Aracena, Huelva). *Geogaceta*, 20 (5), 1162-1164.
- ORDÓÑEZ, J.L., MARTÍN MACHUCA, M., CUMBRERAS, F. y DÍAZ, A. (1998). Caracterización química e hidrogeológica de las aguas sub-

terránicas para abastecimientos urbanos en la Sierra de Aracena, Huelva. (Pendiente publicación).

PETTIJHON, F.J. (1975). *Sedimentary Rocks*. Harper & Row, Publishers. N.Y. 628 p.

PÉREZ EMBID, J. (1998). *Aracena y su Sierra. La formación histórica de una comunidad andaluza (Siglos XIII-XVIII)*. Diputación Provincial de Huelva. Huelva.

PFEFFERKORN, H.W. (1968). *Geologie des Gabetes zwischen Serpa und Mertola (Baixo Alentejo, Portugal)*. *Munst. Forsch. Geol. Palaont.* 9:1-143.

ROQUES, H. (1962). *Consideration theoriques sur la chimie des carbonates*. *Ann. Speleol.*, 17 (1): 11-41.

SILVA, R. (1997). *Las políticas de apoyo a las explotaciones agrarias. Sus repercusiones en la Sierra de Huelva*. Huelva en su Historia 6. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Huelva. 176-189.

TROMBE, F. (1952). *Traité de Speleologie*. Ed. Payot, París, pp. 376.

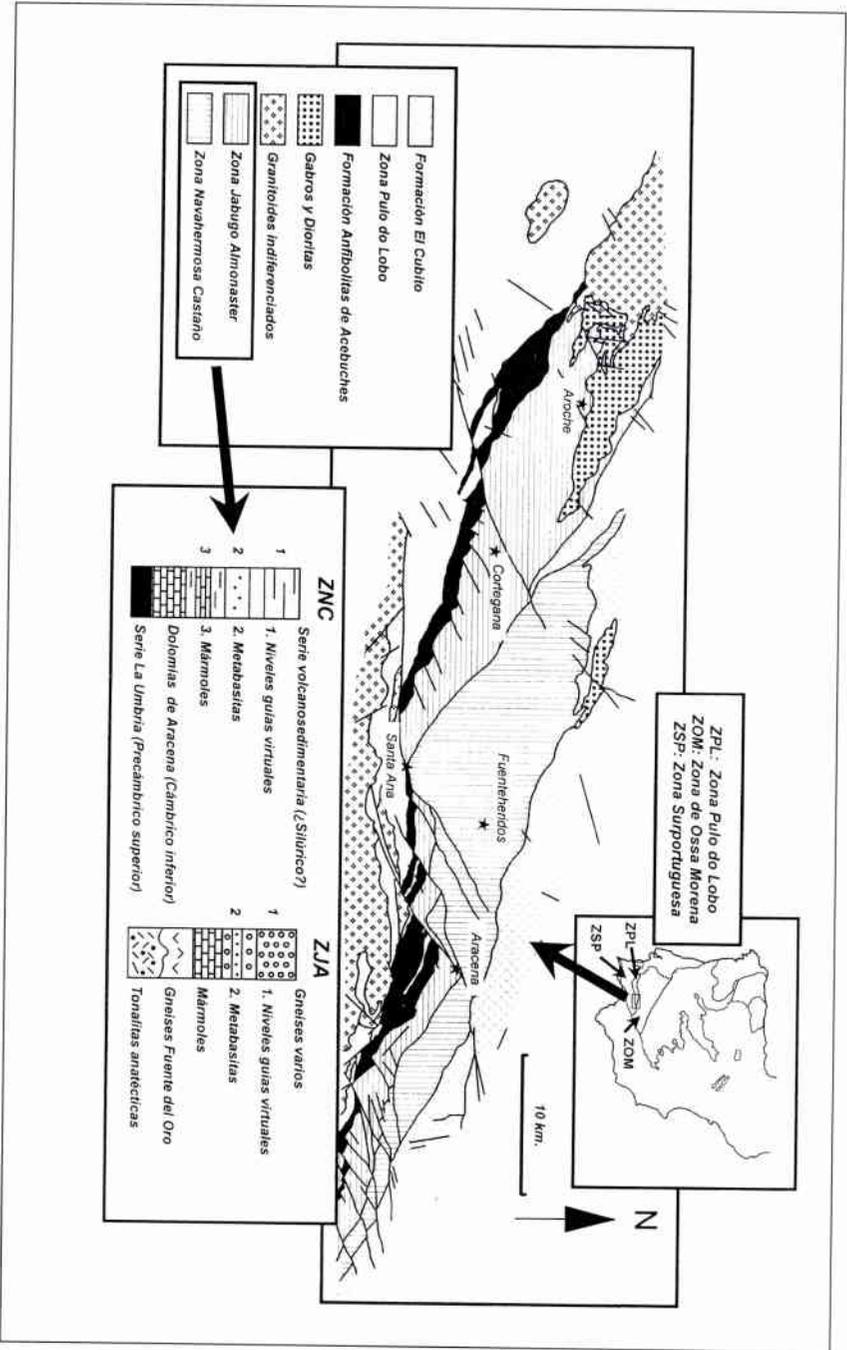


Figura 1. Cartografía de síntesis del contacto Osa Morena - Surportuguesa en el Macizo de Aracena. Elaborada a partir de Apalategui et al (1983), Crespo Blanc (1991) y Castro et al (1996).

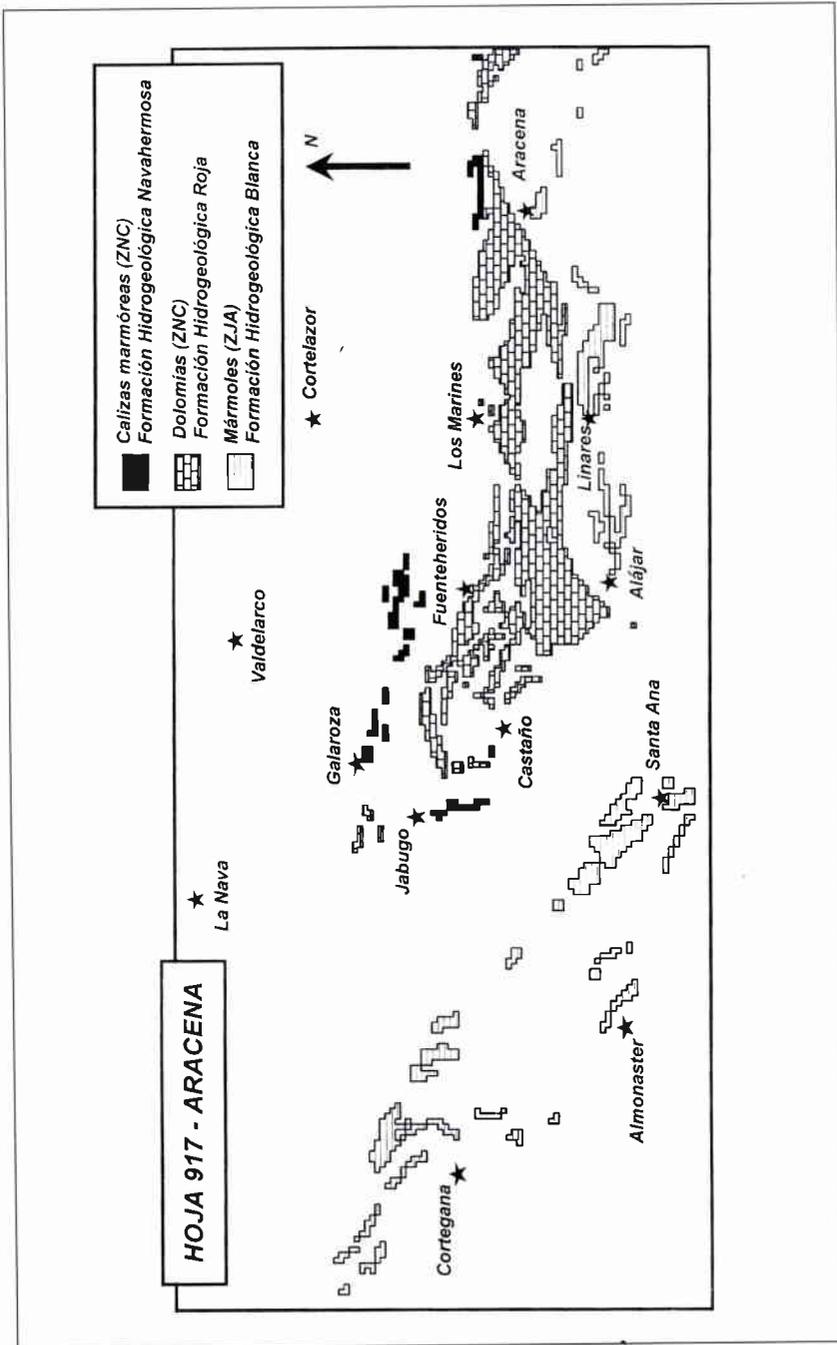


Figura 2. Cartografía de síntesis de las formaciones carbonatadas del Macizo de Aracena. Elaborada a partir de Apalategui et al (1983)

Faja metamórfica de Aracena		BARD (1969)	
Anticlin. de Cortegana	Anticlin. Fuenteheridos - La Umbría	Serie El Cubrito Serie La Corne Serie de Jabugo Calizas de Aracena Serie de La Umbría	
Serie Fuente del Oro Serie de Almonaster Serie de Acebuches Serie de la Palanca			
Macizo de Aracena Dominio Meridional: Anfibolitas de Acebuches Grupo Pulo do Lobo Formación Ribeira de Limas Formación Santa Iria		APALATEGUI et al. (1983,84)	
		Unidad El Cubrito	
		Subdominio Central A	Subdominio Central B
		Dominio Central	
Macizo de Aracena		CRESCO BLANC (1989)	
		Zona El Cubrito	
		Zona Navahermosa - Castaño del Robledo	Zona Jabugo - Almonaster
Ofolitas / Anfibolitas de Beja Zona Meridional / Acebuches			
Banda Metamórfica de Aracena			
Dominio Océánico		Dominio Continental	
Anfibolitas de Acebuches		Rocas de medio y bajo grado	
		Rocas de alto grado	

Figura 3. Divisiones propuestas por los autores que han trabajado en el Macizo de Aracena.

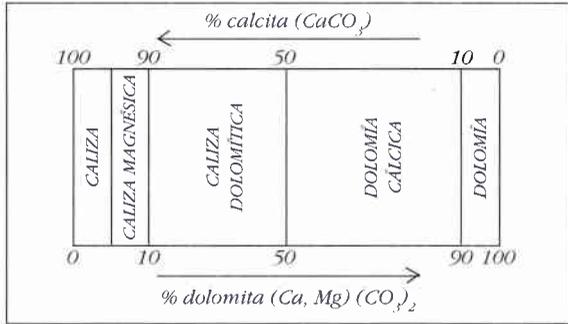


Figura 4.
Clasificación de rocas sedimentarias carbonatadas (Pettijhon, 1975)

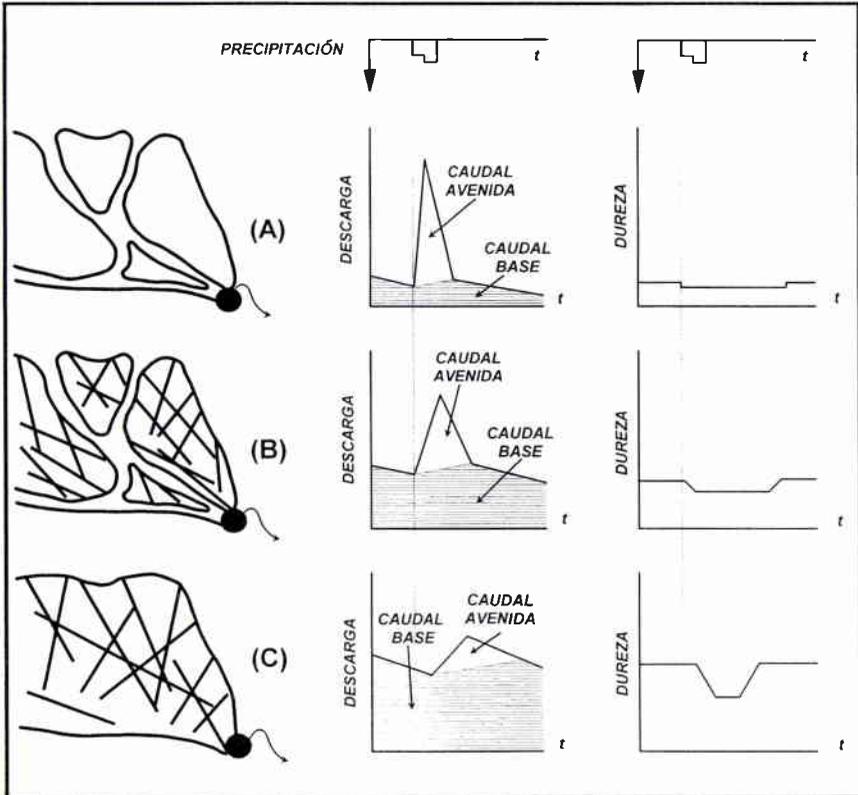


Figura 5.
Relaciones de los tipos de acuíferos cársticos con la descarga y la mineralización.
(A) Cárstico s.s., (B) Intermedio y (C) De flujo difuso.
Elaborada a partir de Bayó et al (1986)

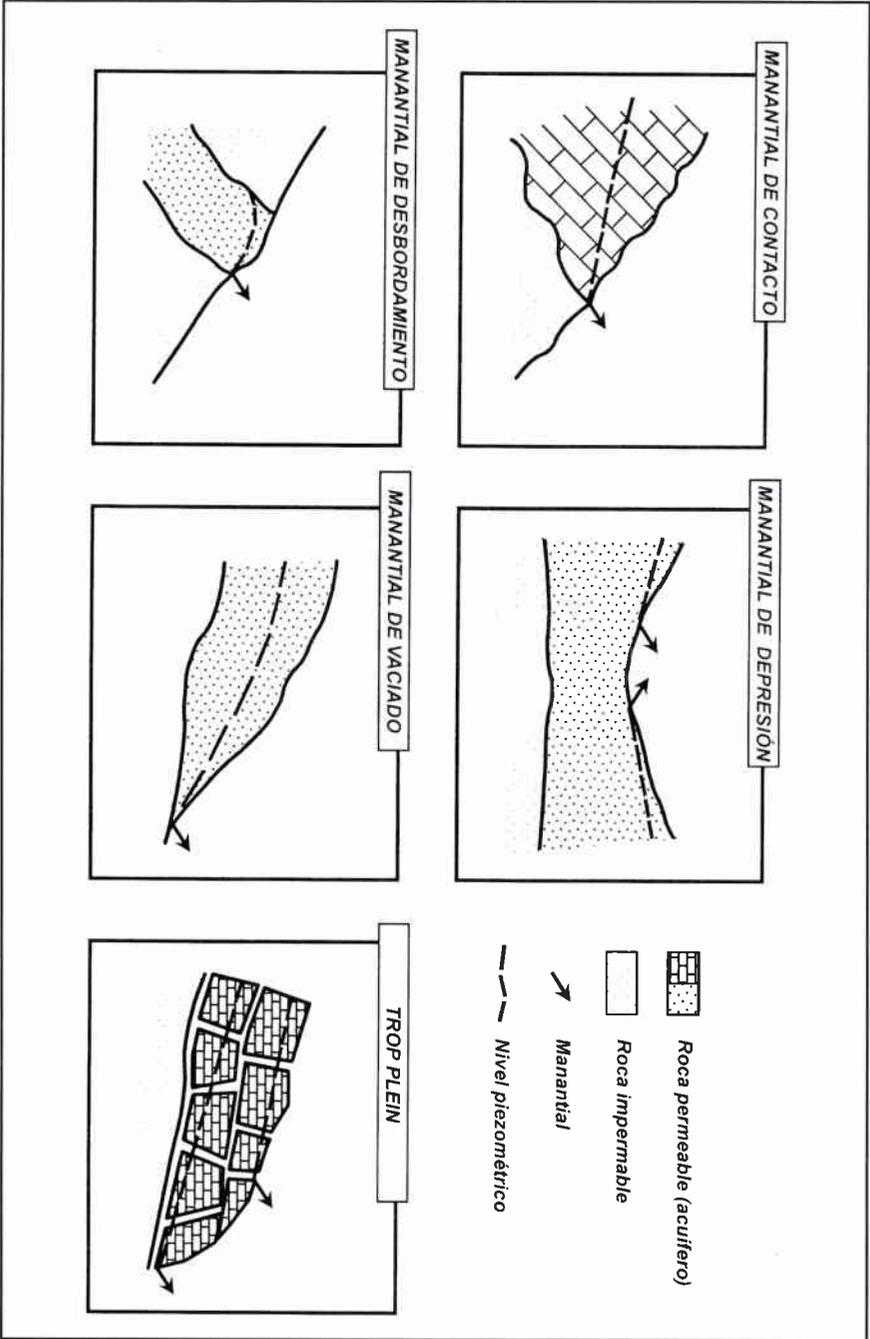


Figura 6. Tipologías de manantiales.

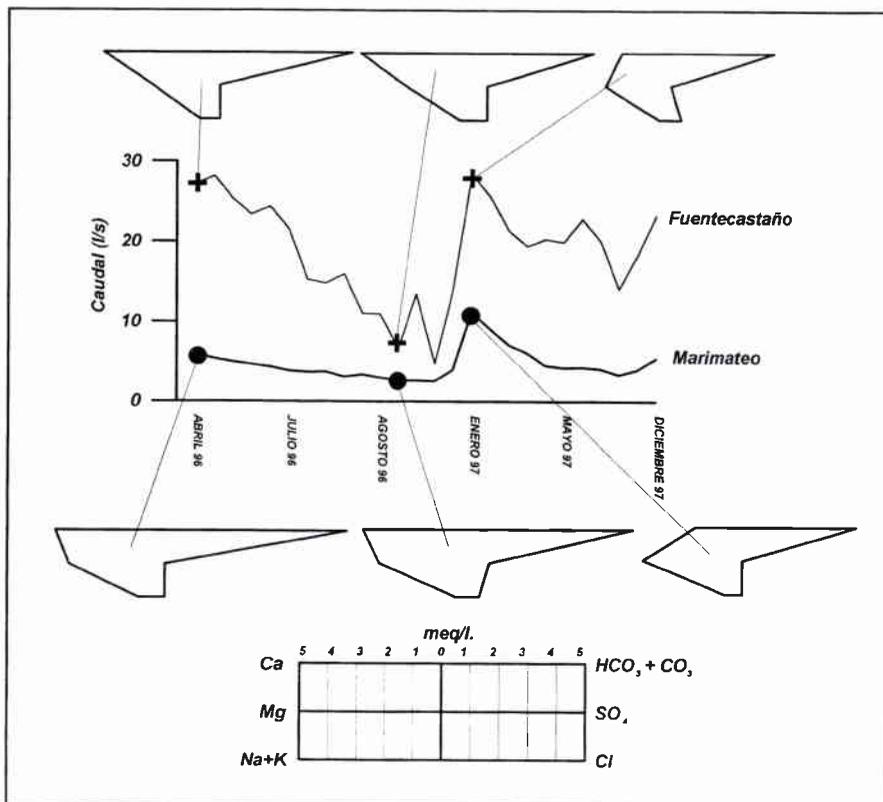


Figura 7.
Hidrogramas y diagramas de Stiff de los manantiales.
Fuente Castaño y Marimateo

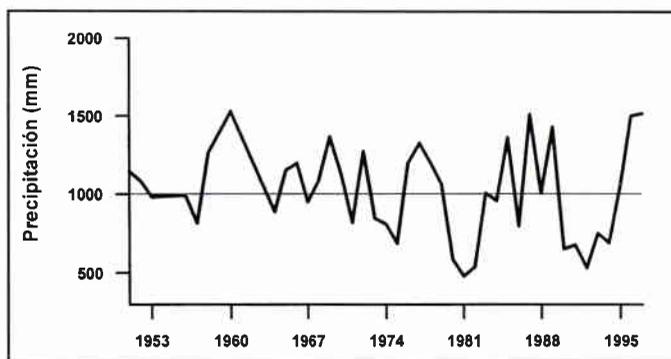


Figura 8.
Evolución de las precipitaciones en la Estación «Aracena» (1951-1997)



Fuente lavadero en Castañuelo.



Fuente la Albuhera en Aracena.



Fuente lavadero en Zufre.



Pozo acondicionado a los nuevos tiempos en los alrededores de Carboneras.