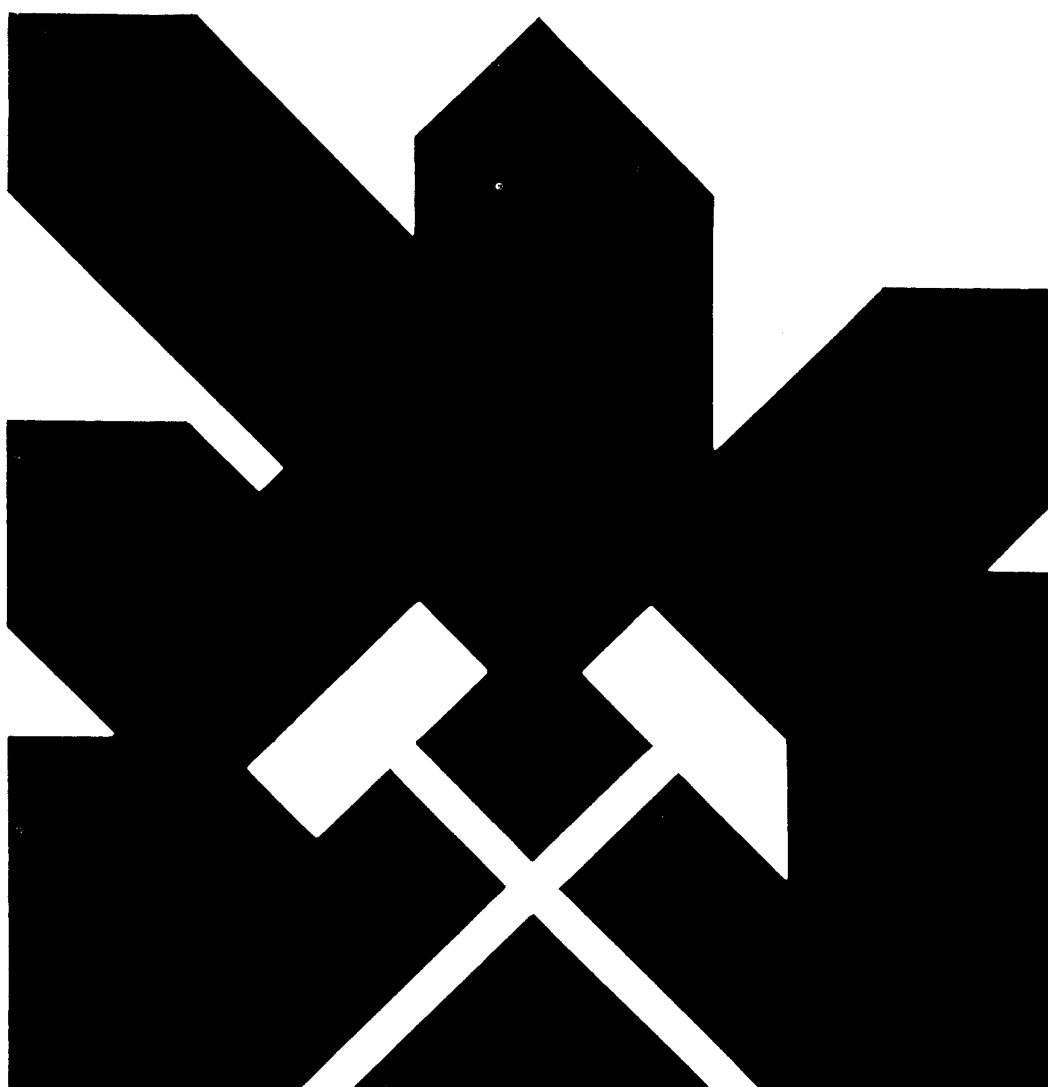


MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA
SECRETARIA DE LA ENERGIA Y RECURSOS MINERALES

CONVENIO CON ENADIMSA PARA EL DESARROLLO
DE TRABAJOS DE INVESTIGACION GEOTERMICA
DENTRO DEL PROGRAMA 234 OTRAS FUENTES DE
ENERGIA. AÑO 1984

"SINTESIS ALMACENES MUY BAJA ENTALPIA"

- INFORME FINAL. -



5
INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

00885

I N D I C E

	<u>Págs.</u>
1.- PRESENTACION	1
1.1.- INTRODUCCION	2
1.2.- OBJETIVOS	4
1.3.- METODOLOGIA	4
1.3.1.- Profundidad de la obra	5
1.3.2.- Caudal extraible y depresión causada .	5
1.3.3.- Temperatura del agua	6
1.3.4.- Calidad química	7
2.- RESUMEN DE RESULTADOS	9
2.1.- RESULTADOS POR ZONAS	10
2.1.1.- Asturias	10
2.1.2.- Cantabria	10
2.1.3.- País Vasco	11
2.1.4.- Cuenca del Ebro	12
2.1.5.- Cataluña	12
2.1.6.- Cuenca del Duero	14
2.1.7.- Madrid	15
2.1.8.- Cuenca Media y Baja del Júcar	16
2.1.9.- Cuenca Alta del Guadiana	17
2.1.10.- Cuenca Alta de los rios Júcar y Segura.	18
2.1.11.- Cuenca Media y Baja del Segura y Coste_	
ra de Alicante	19

	<u>Págs.</u>
2.1.12.- Andalucía	20
3.- ASTURIAS	22
3.1.- AMBITO DEL ESTUDIO	23
3.2.- CARTOGRAFIA GEOLOGICA	23
3.3.- TEMPERATURA DEL AGUA SUBTERRANEA	25
3.4.- CALIDAD QUIMICA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS	25
3.5.- RESUMEN	26
4.- CANTABRIA	28
4.1.- AMBITO DEL ESTUDIO	29
4.2.- CARTOGRAFIA GEOLOGICA	29
4.3.- TEMPERATURA DEL AGUA SUBTERRANEA	31
4.4.- CALIDAD QUIMICA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS	31
4.5.- RESUMEN	32
5.- VASCONGADAS	34
5.1.- AMBITO DEL ESTUDIO	35
5.2.- CARTOGRAFIA GEOLOGICA	35
5.3.- TEMPERATURA DEL AGUA SUBTERRANEA	37
5.4.- CALIDAD QUIMICA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS	38
5.5.- RESUMEN	39
6.- CATALUÑA	40
6.1.- AMBITO DEL ESTUDIO	41
6.2.- CARTOGRAFIA GEOLOGICA	41
6.3.- TEMPERATURA DEL AGUA SUBTERRANEA	42
6.4.- CALIDAD QUIMICA DEL AGUA	43
6.5.- RESUMEN	45
6.6.- CAPITALS DE PROVINCIA INCLUIDAS EN LA ZONA ..	47

	<u>Págs.</u>
7.- CUENCA DEL EBRO	49
7.1.- AMBITO DEL ESTUDIO	50
7.2.- CARTOGRAFIA GEOLOGICA	51
7.3.- TEMPERATURA DEL AGUA SUBTERRANEA	52
7.4.- CALIDAD QUIMICA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS	52
7.5.- RESUMEN	53
7.6.- CAPITALES DE PROVINCIA INCLUIDAS EN LA ZONA ..	54
8.- CUENCA DEL DUERO	56
8.1.- AMBITO DEL ESTUDIO	57
8.2.- CARTOGRAFIA GEOLOGICA	57
8.3.- TEMPERATURA DEL AGUA SUBTERRANEA	58
8.4.- CALIDAD QUIMICA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS	58
8.5.- RESUMEN	58
8.6.- CAPITALES DE PROVINCIA INCLUIDAS EN LA ZONA ..	60
9.- MADRID	64
9.1.- AMBITO DEL ESTUDIO	65
9.2.- CARTOGRAFIA GEOLOGICA	65
9.3.- TEMPERATURA	66
9.4.- CALIDAD QUIMICA DE LAS AGUAS	66
9.5.- HIDROGEOLOGIA	67
9.6.- CAPITALES DE PROVINCIA INCLUIDAS EN LA ZONA ..	68
10.- CUENCA ALTA DEL GUADIANA	70
10.1.- AMBITO DEL ESTUDIO	71
10.2.- CARTOGRAFIA GEOLOGICA	72
10.3.- TEMPERATURA DEL AGUA SUBTERRANEA	73
10.4.- CALIDAD QUIMICA DE LAS AGUAS	73
10.5.- HIDROGEOLOGIA	74
10.6.- CAPITALES DE PROVINCIA INCLUIDAS EN LA ZONA ..	76

	<u>Págs.</u>
11.- CUENCA ALTA DE LOS RIOS JUCAR Y SEGURA	77
11.1.- AMBITO DEL ESTUDIO	78
11.2.- CARTOGRAFIA GEOLOGICA	79
11.3.- TEMPERATURA DEL AGUA SUBTERRANEA	80
11.4.- CALIDAD QUIMICA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS ...	81
11.5.- HIDROGEOLOGIA	82
11.6.- CAPITALAS DE PROVINCIA INCLUIDAS EN LA ZONA .	86
12.- CUENCA MEDIA Y BAJA DEL RIO JUCAR	87
12.1.- AMBITO DEL ESTUDIO	88
12.2.- CARTOGRAFIA GEOLOGICA	89
12.3.- TEMPERATURA DEL AGUA SUBTERRANEA	90
12.4.- CALIDAD QUIMICA DE LAS AGUAS	90
12.5.- HIDROGEOLOGIA	92
12.6.- CAPITALAS DE PROVINCIA INCLUIDAS EN LA ZONA .	93
13.- CUENCA MEDIA Y BAJA DEL SEGURA Y COSTERAS DE ALICANTE	95
13.1.- AMBITO DEL ESTUDIO	96
13.2.- CARTOGRAFIA GEOLOGICA	97
13.3.- TEMPERATURA DEL AGUA SUBTERRANEA	98
13.4.- CALIDAD QUIMICA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS ...	99
13.5.- HIDROGEOLOGIA	100
13.6.- CAPITALAS DE PROVINCIA INCLUIDAS EN LA ZONA DE MURCIA	107
14.- CUENCA DEL GUADALQUIVIR	108
14.1.- AMBITO DEL ESTUDIO	109
14.2.- CARTOGRAFIA GEOLOGICA	110
14.3.- TEMPERATURA DEL AGUA SUBTERRANEA	111
14.4.- CALIDAD QUIMICA DE LAS AGUAS	111
14.5.- HIDROGEOLOGIA	113
14.6.- CAPITALAS DE PROVINCIA INCLUIDAS EN LA ZONA .	115

	<u>Págs.</u>
15.- CUENCA SUR DE ESPAÑA	118
15.1.- AMBITO DEL ESTUDIO	119
15.2.- CARTOGRAFIA GEOLOGICA	120
15.3.- TEMPERATURA DEL AGUA SUBTERRANEA	122
15.4.- CALIDAD QUIMICA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS ...	123
15.5.- HIDROGEOLOGIA	125
15.6.- CAPITALS DE PROVINCIA INCLUIDAS EN LA ZONA .	128

1.- PRESENTACION

1.1.- INTRODUCCION

Las investigaciones llevadas a cabo en todo el mundo a causa de la crisis energética de los años setenta, con vistas a un mejor aprovechamiento de la energía disponible así como al establecimiento de medidas de ahorro energético, condujeron en último término a un extraordinario desarrollo de la bomba de calor.

La bomba de calor es una máquina, cuyo principio, conocido desde hace mucho tiempo, es aprovechar una caída térmica en un lugar para producir un incremento de temperatura en otro distinto. Se trata por lo tanto de una transferencia de calor. Esta transferencia de calor se consigue gracias al empleo de un fluido que circula por un circuito intermedio cerrado y que por sus características físicas, permite la elevación en el nivel térmico. Este circuito intermedio constituye lo que se conoce propiamente como bomba de calor y consta de los siguientes elementos: evaporador, compresor y condensador. En el evaporador el fluido binario extrae calor de la fuente térmica que es cedido en el condensador al circuito de utilización. La circulación del fluido se mantiene gracias al compresor que absorbe una cantidad de energía suministrada por un motor que puede ser eléctrico, de gas o de gasoil.

El principio básico de la bomba de calor es que la energía que cede en el condensador es aproximadamente (depende del

rendimiento de motores e intercambiadores) la suma de la energía consumida en el motor más la energía que se extrae de la fuente primaria. Como en principio ésta última es gratuita o cuando menos más barata que las fuentes convencionales de energía, se tiene finalmente un balance energético-económico positivo.

La fuente primaria de energía puede ser muy diversa, pero fundamentalmente se consideran cuatro fuentes: aire, agua, tierra y calor residual. Cada una de estas fuentes tiene sus ventajas e inconvenientes que para cada caso hay que sopesar en sus aspectos técnicos y económicos. Así el aire tiene la gran ventaja de estar disponible en todas partes y ser gratis, pero como contrapartida está sometido a considerables cambios de temperatura, lo que dificulta la operación técnicamente. El agua tiene la ventaja de su estabilidad térmica pero no está disponible en todas partes y además su uso puede ser costoso. La tierra tiene asimismo mínimas fluctuaciones de temperatura pero necesita mucho espacio para intercambio. Por último el calor residual de industrias tiene generalmente temperaturas elevadas lo que favorece la rentabilidad energética y económica, pero suele estar muy localizado y generalmente alejado de centros de consumo.

Una de las más interesantes de estas fuentes es el agua, y sobre todo el agua subterránea de acuíferos someros ya que su extracción y utilización puede ser muy económica.

El problema está en conocer su disponibilidad en los puntos de consumo, de manera que su localización no constituya una carga económica excesiva. Esto es posible conseguirlo a partir del conocimiento hidrogeológico que se tiene de las distintas zonas del país.

Puesto que una de las actividades históricamente desarrolladas por el Instituto Geológico y Minero de España es la investigación de las aguas subterráneas, se contaba con una buena base de datos para elaborar mapas de diferentes zonas en los que se reflejara la disponibilidad de esta fuente de calor.

1.2.- OBJETIVOS

El fin primordial del presente trabajo es precisamente cumplir el objetivo citado en el apartado anterior. Es decir, presentar una panorámica general y de síntesis, de las posibilidades de disponer de agua subterránea, como fuente de calor, a unos costes reducidos que sean económicamente asumibles, en operaciones de bomba de calor.

Para definir las condiciones económicas de una operación de este tipo es necesario disponer con la mayor precisión posible los siguientes datos: profundidad del acuífero, nivel dinámico, caudal explotable, temperatura y calidad química del agua. De estos, el dato que con menor precisión se conoce en los informes consultados es el primero, aunque se ha seguido siempre el criterio de tomar acuíferos a menos de 200 m de profundidad.

Es preciso resaltar el carácter general y de síntesis del presente informe, definido precisamente por su ámbito nacional. Por lo tanto para la elaboración de un estudio concreto de posibilidades de cualquier localidad, habría que profundizar en los datos aquí presentados, basándose para ello en un análisis detallado, del inventario de puntos acuíferos, si existen tales puntos.

1.3.- METODOLOGIA

Como queda dicho en el apartado anterior los datos

que hay que conocer sobre el recurso de agua para elaborar un estudio económico de la utilización de las aguas subterráneas como fuente de calor, son fundamentalmente: profundidad de la obra de extracción de agua, caudal extraíble y depresión causada (y por lo tanto nivel hidrodinámico), temperatura del agua y calidad química.

1.3.1.- Profundidad de la obra

En este trabajo se ha partido de la base de considerar sólo los acuíferos de profundidad menor de 200 metros. Es en general difícil de obtener a partir de los informes analizados en este estudio, datos concretos de profundidad, por lo que hay escasas referencias a este dato. No obstante hay que señalar que la mejor fuente de información es el inventario nacional de puntos acuíferos, aunque también es conveniente señalar la relatividad de este dato (profundidad del acuífero) para obras no realizadas por organismos de investigación o entidades más o menos oficiales que dispusieran de un control adecuado durante la perforación del sondeo.

1.3.2.- Caudal extraíble y depresión causada

Estos datos son función directa de las características hidráulicas del acuífero y de la terminación de la obra de captación. En este proyecto se han obtenido a partir de los informes consultados, que si suelen hacer referencia a estos datos.

La clasificación que se ha seguido en cuanto a permeabilidad en los acuíferos es aproximadamente la siguiente:

- . Acuíferos muy permeables $K > 10^{-1}$ m/s; pueden dar caudales $Q > 150 - 200 \text{ m}^3/\text{hora}$.
- . Acuíferos permeables $10^{-1} \text{ m/s} > K > 10^{-3} \text{ m/s}$; pueden dar caudales $150 \text{ m}^3/\text{hora} > Q > 100 \text{ m}^3/\text{hora}$.
- . Acuíferos de permeabilidad media-baja $10^{-3} \text{ m/s} > K > 10^{-5} \text{ m/s}$, pueden dar caudales $100 \text{ m}^3/\text{hora} > Q > 10 \text{ m}^3/\text{hora}$.
- . Acuíferos de permeabilidad muy baja e impermeables $K < 10^{-5} \text{ m/s}$ pueden dar caudales $Q < 10 \text{ m}^3/\text{hora}$.

A la hora de utilizar los mapas de permeabilidad presentados hay que considerar el riesgo que siempre supone la extrapolación de datos de permeabilidad, sobretodo en acuíferos fracturados. Otro aspecto que hay que tener en cuenta en estudios de más detalle, es la precisión de los datos disponibles, en especial lo que hace referencia a depresiones causadas por el bombeo.

1.3.3.- Temperatura del agua

Este es un dato importante para el estudio técnico de la implantación de la bomba de calor, sobre todo para la elección del modelo de bomba y el cálculo del coeficiente de rendimiento del sistema. En general no existen demasiados datos de temperatura de las aguas subterráneas, sin embargo la poca variabilidad de este dato, permite hacer extrapolaciones con buenos resultados.

Por otra parte, donde no existen datos se puede aplicar el cálculo en base al gradiente geotérmico medio $2,5 - 3,5^\circ \text{C}/100 \text{ metros}$, a partir de la temperatura media anual de la localidad en cuestión.

La experiencia demuestra la validez de este criterio gene

ral, si no existen anomalías térmicas importantes.

En los estudios de detalle hay que tener en cuenta, si el acuífero es muy somero, la posible proximidad de cauces de ríos que ante un bombeo intenso pueden enfriar el acuífero.

1.3.4.- Calidad Química

Este factor afecta sobre todo a la elección de los materiales más adecuados para el intercambiador primario o el evaporador, por los posibles problemas de corrosión o incrustación que se puedan causar por la composición química de las aguas.

Aunque existen varios criterios, en el presente proyecto se presenta la calidad química de las aguas mediante la definición de su índice de estabilidad y de su mineralización.

En cuanto al índice de estabilidad I_R , se define como la diferencia entre el doble del pH de saturación y el pH medido. El pH de saturación se calcula a partir del residuo seco, temperatura, alcalinidad, contenido en Ca^{++} y pH medido. La clasificación de las aguas según el I_R sería:

$I_R > 8,7$	Agua muy corrosiva
$8,7 > I_R > 6,9$	Agua medianamente corrosiva
$6,9 > I_R > 6,4$	Agua estable
$6,4 > I_R > 3,7$	Agua incrustante
$3,7 > I_R$	Agua muy incrustante

Por otra parte según el grado de mineralización, que puede venir dado por la dureza en °F , las aguas se han clasificado en:

- 0° F < TH < 7° F Aguas poco mineralizadas y agresivas
(R_S: 0,1 - 0,3 gr/e)
- 7° F < TH < 22° F Aguas débilmente mineralizadas
(R_S: 0,3 - 0,5 gr/e)
- 22° F < TH < 32° F Aguas medianamente mineralizadas
(R_S = 0,5 - 0,7 gr/e)
- 32° F < TH < 54° F Aguas bastante mineralizadas
(R_S = 0,7 - 1,5 gr/e)

Para cada área se han clasificado con estas normas un número significativo de puntos de agua que pueda servir como criterio general en estudios de factibilidad. Los comentarios expuestos en cuanto a calidad química se han deducido de los cálculos efectuados para estos puntos de agua, que a su vez se presente a título meramente indicativo.

2.- RESUMEN DE RESULTADOS

2.1.- RESULTADOS POR ZONAS

2.1.1.- Asturias

En Asturias hay que distinguir las siguientes unidades como posibles objetivos para utilización en operaciones con bomba de calor, por ser las más propicias hidrogeológicamente:

- Unidad mesoter-ciaria de Gijón-Villaviciosa, cuyas calizas y dolomías jurásicas, producen caudales de 150 - 200 m³/h con sondeos de 100 - 200 metros de profundidad. La temperatura de las aguas es de 15º C. Tiene interés sobretodo en la ciudad de Gijón.
- Unidad mesoter-ciaria de Oviedo-Cangas de Onis, sobre todo en los materiales cretácicos, que se pueden explotar con sondeos de 30 - 50 m³/hora de producción a 15º C, en especial en la ciudad de Oviedo.
- Caliza de Montaña, formación muy abundante en el Principado de Asturias, de buenas características hidráulicas y temperatura de unos 12º C, pero que no es directamente explotable en grandes núcleos urbanos.

2.1.2.- Cantabria

En la región cántabra hay que distinguir las siguientes

unidades:

- Unidad de Comillas, cuyo acuífero principal es el Aptense calizo, de muy buenas características hidráulicas, drenado por las minas de Reocin en más de 300 litros por segundo. La temperatura es de 12 - 15º C, y su interés estriba en que puede explotarse en el área de Torrelavega.
- Unidad diapiirizada de Santander, en la que se pueden considerar buenos acuíferos el Cuaternario, Senonense-Terciario y Aptense calizo. No se disponen de datos concretos de caudales y su temperatura ha de encontrarse alrededor de 13 - 15º C. Serían estas formaciones, objetivo acuífero en la ciudad de Santander.
- Acuíferos calizo-dolomíticos del jurásico, en la zona montañosa, que aunque tienen muy buenas características hidráulicas no se encuentran en zonas de posibles consumidores.

2.1.3.- País Vasco

Dentro del País Vasco, las formaciones que pueden constituir buenos acuíferos para utilización con bomba de calor son:

- Depósitos Cuaternarios, que con buenas características hidráulicas, constituidos por gravas y arenas se encuentran bajo importantes núcleos urbanos como Vitoria y Hernani. Podrían dar caudales de 30 - 40 m³/hora y la temperatura del agua puede ser 13 - 15º C.
- Aptense calizo, con permeabilidades de media a alta,

limitadas por los posibles cambios de facies. Algunos sondeos extraen caudales superiores a los 20 l/s. Se extiende por toda el área Norte de la provincia de Vizcaya y el Noroeste de Guipúzcoa, abarcando importantes sondeos.

- Calizas de Subijana, formación cretácica superior, extendida al Sur del País Vasco, en la provincia de Alava, con muy buenas características hidráulicas. En la ciudad de Vitoria se encuentran demasiado profundos para un objetivo de bomba de calor.

2.1.4.- Cuenca del Ebro

Esta amplia área abarca las provincias de Rioja, Navarra, Zaragoza, Huesca y Teruel. La parte correspondiente de las provincias de Lérida y Vitoria se estudian en Cataluña y País Vasco respectivamente.

Los principales acuíferos de esta cuenca, que por su proximidad a núcleos urbanos pueden ser explotados energéticamente mediante bomba de calor, se concentran en los cuaternarios y subalveos del Río Ebro y afluentes. Están formados por arenas y gravas de buena permeabilidad, con agua a temperaturas variables de 10 - 15°C, pudiendo producir caudales de 50-150 m³/hora y con mineralización alta.

Existen en la cuenca del Ebro, otros acuíferos, fundamentalmente carbonatados, con buenas características pero que no se encuentran en las proximidades de centros consumidores: sistema Monreal-Gallocanta, Demanda, Cameros, etc.

2.1.5.- Cataluña

En Cataluña, se puede citar una serie extensa de zonas,

en las que cabe pensar como propicias para la utilización de los acuíferos poco profundos con fuente energética en operaciones de bomba de calor.

- Aluviales y deltas de ríos y rieras, en todas las comarcas, pero en especial: Llobregat, Besós, Fancoli, Riudoms, Riudecanyes, Tordera, Ter, Fluviá, Ebro, Segre, etc. Son de características muy variables, constituidos por arenas, gravas, limos y lutitas, podría producir caudales muy variables desde 10 m³/hora hasta más de 150 m³/hora, con temperaturas de 14 - 17º C. En zonas con acuíferos de este tipo se encuentran ciudades y centros de consumo muy importantes: Barcelona, Gerona, Lérida, núcleos costeros como Cambrils, Salou, etc., centros industriales y residenciales del delta del Llobregat, etc.
- Formaciones lenticulares del Campo de Tarragona, constituidas por gravas, conglomerados y areniscas, de características hidráulicas muy variables, pudiendo dar caudales de 10 - 50 m³/hora a temperaturas de 14-18º C. Afecta a núcleos urbanos importantes: Tarragona, Reus, etc.
- Formaciones detríticas semiconsolidadas de las depresiones terciarias del Vallés, Penedes, La Selva, Ampurdán, etc., que aunque son de baja permeabilidad en general, podrían dar caudales suficientes para operaciones de pequeña escala. La temperatura del agua es variable entre 14º C y 19º C según las zonas. Afectan a núcleos de población importantes: Sabadell, Granollers, Tarrasa, Villafranca del Penedes, etc.

- Formaciones calcáreas, fundamentalmente macizo del Garraf y sistema Perelló-Vandellós. De muy buenas características hidráulicas, pueden suministrar caudales de 50 - 200 m³/hora, con temperaturas de 12 - 16º C. Afectan a núcleos como: Villanueva y Geltrú, Castellde fels, Sitges, Tortosa, etc.

2.1.6.- Cuenca del Duero

Esta cuenca, que abarca fundamentalmente las provincias de la Comunidad Castilla-León, está constituida por una gran cubeta mesozoica rellena de materiales terciarios. Los materiales de zócalo, tanto paleozoicos como mesozoicos afloran en los bordes de la cuenca.

En esta cuenca existe un elevado potencial en acuíferos a poca profundidad que pueden ser utilizados para bomba de calor.

- Cuaternarios aluviales del Duero y todos sus afluentes, constituidos por gravas, arenas y limos, de diverso espesor y anchura según el río, suelen tener buenas características hidráulicas, dando caudales de hasta 70 m³/hora. La temperatura de las aguas es variable 11 - 20 º C según la profundidad de la zona permeable, y su calidad química suele ser buena. Asentados sobre acuíferos de estas características se encuentran la mayoría de las capitales de provincia: Avila, Burgos, León, Salamanca, Valladolid y Zamora.
- Calizas Pontieneses, acuífero muy permeable, desarrollado sobre todo en el área de Cuellar-Torozos y en las proximidades de Almazán, pueden suministrar caudales

de 50 - 150 m³/hora, con temperaturas del orden de 11 - 15 ° C.

- Depósitos de raña, constituidos por conglomerados y gravas, de alta permeabilidad, se extiende sobre todo en el área Noroeste.

- Terciario Detrítico, que abarca prácticamente toda la cuenca, en general de permeabilidad media, tendiendo a alta en zonas de arenas limpias, por lo que podría dar buenos caudales. Si se exceptua la zona central de la cuenca, donde se encuentra muy profundo, debajo de un potente paquete de margas y yesos, en el resto de la cuenca se encuentra la zona permeable a profundidades menores de 200 metros los caudales que pueden suministrar son muy variables por cambios laterales de facies y espesores, 5 - 15 l/s puede ser una orientación. La temperatura de estos acuíferos también es variable, 12 - 20° C.

2.1.7.- Madrid

La Comunidad de Madrid, cuenta con buenas posibilidades de utilización de aguas subterráneas para operaciones de bomba de calor.

Entre las diferentes opciones se pueden resaltar:

- Cuaternarios Aluviales del río Tajo y afluentes, son acuíferos libres, relacionados con el río correspondiente, de buenas características hidráulicas, pueden dar caudales de 10 - 50 m³/hora. Las temperaturas de las aguas oscila entre 12 y 18° C, siendo en general

superior 16 - 18º C en los ríos Alberche y Guadarrama.

- Terciario, que está presente en dos facies diferentes la detrítica y la evaporítica, siendo la primera más abundante en el Norte y Noroeste de la cuenca y la segunda en el Sur y Sureste, con una facies intermedia entre ambas. La facies detrítica tiene permeabilidad media a baja, por lo que los caudales que se puedan extraer de esta formación no son elevados 5-30 m³/hora salvo que puntualmente pueden dar caudales superiores. La temperatura es variable con la profundidad de la zona permeable 15 - 18º C. La calidad química del agua es muy variable empeorando con la profundidad. La facies evaporítica tiene en general permeabilidad baja, con la excepción de zonas karstificadas de los yesos. Los caudales son en general menores de 15 m³/hora y el agua posee una elevada mineralización, con temperaturas de 14 - 18º C.

- Paleozoico, constituyendo la Sierra Norte de la provincia; aunque se considera y es prácticamente impermeable, podría aportar pequeños caudales de agua a 10 - 12 º C, de buena calidad que se podrían utilizar en operaciones de bomba de calor de pequeñas dimensiones.

2.1.8.- Cuenca Media y Baja del Jucar

Esta Cuenca abarca casi en su totalidad las provincias de Valencia, Castellón y Alicante, así como parte de las de Cuenca y Teruel. Las formaciones más interesantes para utilización con bomba de calor son:

- Acuíferos detríticos, de las Planas Costeras: Vinaroz-Peñiscola, Oropesa-Torreblanca, Castellón, Valencia y Gandía. Formados por arenas, gravas, conglomerados y arcillas, con zonas de buena permeabilidad, que pueden dar caudales de hasta $200 \text{ m}^3/\text{hora}$, con valores de caudal específico muy elevado hasta 50 l/s.m. La temperatura es variable $18 - 22^\circ \text{ C}$, y las aguas se pueden considerar de mineralización elevada y duras, medianamente corrosivas. Sobre acuíferos de este tipo se encuentran las capitales de Castellón y Valencia, así como gran número de importantes ciudades costeras.
- Acuíferos en formaciones calcáreas, fundamentalmente Cretácicos y Jurásicos, de muy buenas características hidráulicas pueden aportar caudales de hasta $300 \text{ m}^3/\text{hora}$ por sondeo. La temperatura de las aguas en estos acuíferos está entre 15° C y 20° C y con buena calidad química. Abarcan los sistemas de la zona Sur y el Macizo de Caroch.

Existen otras formaciones de baja permeabilidad, formadas de materiales miocenos, que puntualmente podrían solucionar algunos casos.

2.1.9.- Cuenca Alta del Guadiana

En esta cuenca, que abarca la provincia de Ciudad Real y parte de las de Toledo, Cuenca y Albacete, no existen en general buenas perspectivas para el objetivo del estudio. Sólo cabe destacar los siguientes acuíferos:

- Llanura Manchega, acuífero formado por calizas miocenas de muy buenas características hidráulicas, por

lo que se pueden esperar buenos caudales por sondeo, con temperaturas entre 18 y 28º C, en general con mineralización media-alta . Este acuífero puede ser objetivo de interés en ciudades como Manzanares, Malagón y Ciudad Real.

- Campo de Montiel, acuífero calcáreo, calizas y dolomías cretácicas y jurásicas de buenas características hidráulicas, con temperaturas del mismo orden que el anterior 17 - 20º C.

Los acuíferos detríticos tienen baja permeabilidad, excepto los aluviales de la cuenca del Bullaque, que pueden dar buenos caudales, pero en general tienen poco interés por la falta de centros consumidores importantes.

2.1.10.- Cuenca Alta de los ríos Jucar y Segura

Esta cuenca comprende fundamentalmente la provincia de Albacete y parte de Jaén, Murcia, Cuenca y Granada. En ella se encuentran ubicados, varios sistemas acuíferos importantes pero los más interesantes por su aplicación a bomba de calor son:

- Formación Chorro-Colleras, constituida por calizas y dolomías de elevada fisuración a profundidades normalmente inferior a 200 m, con nivel piezométrico a 70 - 100 m de profundidad. Se pueden obtener caudales importantes de hasta 250 m³/hora. La temperatura del agua subterránea es variable 10 - 16º C y su calidad química es buena, aunque con posible contaminación agrícola.

- Formación Benejama, situada por encima de la anterior de naturaleza calcárea, puede suministrar caudales de hasta 120 m³/hora, con temperaturas similares, e idéntica calidad química.
- Acuífero Pontiense, formado por calizas lacustres, de buenas características hidráulicas: 50 - 150 l/s de caudales por sondeo, con temperaturas de 10 - 15º C y calidad química en general buena para el objetivo marcado.

Aunque existen otros muchos acuíferos en ésta cuenca, su explotación no ofrece interés especial por la falta de centros de consumo.

Los acuíferos presentados pueden en general ser explotados en Albacete.

2.1.11.- Cuenca Media y Baja del Segura y Costera de Alicante

Esta cuenca abarca fundamentalmente las provincias de Murcia y Alicante así como una parte de Albacete y Almería.

Existen en ella gran cantidad de acuíferos, aunque gran parte de ellos sometidos a una excesiva explotación. Los más importantes y de interés son:

- Cuaternario del río Guadalentín, constituido por arenas y gravas de buena transmisividad pudiéndose obtenerse hasta 60 - 80 l/s por sondeo. Existen anomalías térmicas ligadas generalmente a accidentes tectónicos de borde. En el centro de la vega la temperatura es del orden de 18 - 20º C.

- Vegas del Segura, de las que la Vega Alta es la que ofrece mejores características, pero en conjunto todas pueden dar caudales hasta 80-100 l/s por sondeo. Las temperaturas son del mismo orden que en el Guadalentín, y la calidad química es variable según las zonas pero en general bastante mineralizadas. En la Vega Baja hay problemas de intrusión marina.
- Cuaternario y Plioceno del Campo de Cartagena, acuífero muy explotado actualmente, puede dar caudales de hasta 40 l/s. La temperatura muy variable, frecuentemente supera los 25° C, llegando a veces a superar los 35° C. Las aguas son muy mineralizadas. Tiene especial interés este acuífero por su aplicación en calefacción de invernaderos.

Aunque existen otros muchos acuíferos de carácter carbonatado, su interés para utilización con bomba de calor es menor por problemas de localización de centros de consumo o bien de excesiva profundidad de los acuíferos.

En esta cuenca se podrían aprovechar los acuíferos citados en centros urbanos tan importantes como Murcia capital, Lorca, Totana, Alcantarilla, Orihuela, etc.

2.1.12.- Andalucía

Andalucía abarca dos cuencas importantes: el Guadalquivir y la cuenca Sur. En ambas cuencas existen multitud de acuíferos más o menos independientes, pero en general muy uniformes en cuanto a características. En el mapa de acuíferos se dan las características de cada uno de ellos, que pueden servir como primera base a estudios previos de viabilidad.

En la cuenca del Guadalquivir los acuíferos detríticos predominan sobre los calcáreos, resaltando por su interés en relación con consumidores, los aluviales del Guadalquivir y afluentes, así como los detríticos de las depresiones internas: Guadix-Baza, Granada y Ronda. En este tipo de acuífero se pueden obtener caudales de hasta 60 - 80 l/s, puntualmente hasta 100 l/s, a una temperatura variable de 15-20º C, con aguas de mineralización notable o ligera. En cuanto a acuíferos calcáreos, con características hidráulicas en general buenas, suelen tener problema de coincidencia con centros de consumo.

En la cuenca Sur que se subdivide en Occidental y Oriental, también predominan los acuíferos detríticos, sobretodo los aluviales de los ríos y de algunas depresiones internas. Con buenas características hidráulicas, pueden dar caudales de hasta 80 l/s. Para profundidades menores de 150 m la temperatura alcanza frecuentemente los 25-30º C. Las aguas son de mineralización media a alta. Los acuíferos calcáreos tienen también buenas características hidráulicas pudiendo dar caudales puntuales muy elevados. Son acuíferos actualmente poco explotados por su lejanía a grandes centros de consumo.

Se pueden citar como zonas más interesantes la depresión de Antequera, los valles de los ríos Guadalhorce, Guadalfeo, Andarax, Almanzora, así como Campos de Dalías y Níjar, etc.

3.- ASTURIAS

3.1.- AMBITO DEL ESTUDIO

El área de estudio comprende la totalidad del principa
do de Asturias.

Según el Mapa Nacional de Síntesis de Sistemas acuífe
ros, los ubicados en el área son los números 1, 2 y 3.

Las unidades hidrogeológicas o subsistemas estudiados
son los siguientes:

- Unidad Mesozóica Gijón-Villaviciosa.
- Franja móvil intermedia.
- Unidad mesoterciaria Oviedo-Cangas de Onís.
- Unidad de Somiedo.
- Ubiña-Peña Rueda.
- El Aramo.
- Sierra de Sueve.
- Sierra de Cueva.
- Picos de Europa.
- Unidad Central.

3.2.- CARTOGRAFIA GEOLOGICA

La leyenda cartográfica se ha ajustado a las peculiaridade
s geológicas del área, intentando agrupar en lo posible las
características de los acuíferos en función de su edad, y litolo
gía.

Según éstos criterios los materiales quedan agrupados en la siguiente forma:

- Unidad mesozoica Gijón-Villaviciosa: formaciones jurásicas detríticas y calizo-dolomíticas. Poseen muy buena permeabilidad sobre todo en la zona Gijón-Villaviciosa donde se extraen caudales por pozo de 150-200 m³/h.
- Franja móvil intermedia: zona de fallas y cabalgamientos en forma de escamas superpuestas, donde se encuentran materiales cretácicos, jurásicos y triásicos. Debido a su fuerte tectonización, es muy difícil de evaluar de manera global, necesitando de estudios de detalle para el conocimiento de la misma.
- Unidad mesoterciaria Oviedo-Cangas de Onís: materiales cretácicos y terciarios en los que se han reconocido calizas, arenas y gravas. La permeabilidad es de media a buena. Los caudales de extracción son del orden de 30 a 50 m³/h.
- Caliza de Montaña: Unidades carbonatadas con zonas de permeabilidad muy alta. Existen obras de captación que pueden producir caudales de 200 m³/h en zonas karstificadas o dolomitizadas. Por el contrario, estos caudales pueden ser muy inferiores o prácticamente ser nulos, caso de no aparecer los fenómenos de karst y dolomitización anteriores.
- Permo-trías: afloramientos de areniscas y arcillas existentes en el Norte de Asturias dentro de la unidad de Gijón-Villaviciosa.
- Formaciones impermeables indiferenciadas: Compuestas por materiales de diversas edades, y que no ofrecen posibilidad para utilización como fuente de calor.

- Zona de explotación de minas de carbón: Se han reseñado en la cartografía unas superficies donde existen explotaciones mineras, que se corresponden con la Cuenca Central Asturiana y La Camocha, y es factible influyan en el comportamiento hidráulico regional, pues las zonas de hundimiento o relleno pueden, constituir verdaderos acuíferos.

3.3.- TEMPERATURA DEL AGUA SUBTERRANEA

La temperatura en los cuaternarios y en los acuíferos libres superficiales oscila entre 10 y 14º C.

En general y deducida de medidas realizadas en captaciones distribuidas por la zona, la temperatura del agua varía de 12 a 20º C.

3.4.- CALIDAD QUIMICA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

Del estudio de varias muestras del área de estudio se deduce que el agua es medianamente corrosiva o estable.

En el cuadro adjunto se refleja el resultado de los cálculos efectuados, para algunos puntos de información existente.

La calidad general de las aguas es buena.

ZONA	TH (of)	RESIDUO SECO A 110° C (mg/l)	Ca ⁺⁺ (mg/l)	ALCALINIDAD (mg/l Co ₃ Ca)	pH	pH SATURACION	I _R	OBSERVACIONES
Gijón-Villaviciosa (acuífero jurásico)	47	600	92,2	100	7,7	7,8	7,9	Medianamente Corrosiva
Oviedo-Cangas de Onís	23	432	74,0	210	8,3	7,5	6,7	Estable
	19	260	69,0	165	8,3	7,6	6,9	Estable
	11	198	40,0	148	7,4	7,9	8,4	Medianamente Corrosiva
Caliza de Montaña	80	24	24,0	103	72,5	8,0	8,5	Medianamente Corrosiva
	100	156	37,0	75	7,8	8,2	8,6	Medianamente Corrosiva

3.5.- RESUMEN

- Unidad mesoter-ciaria Gijón-Villaviciosa: El acuífero principal, está constituido por calizas y dolomías jurásicas, que se explotan mediante sondeos de 100 - 200 metros de profundidad. Sus características hidráulicas, permeabilidad, porosidad, etc., son buenas, produciendo caudales del orden de 150-200 m³/h. La temperatura de formación es de 15° C. Por su cercanía con la ciudad de Gijón, este acuífero ofrece unas altas posibilidades de utilización geotérmica.
- Unidad mesoter-ciaria Oviedo-Cangas de Onís: La forman materiales cretácicos y terciarios. Los sondeos de explotación existentes producen caudales de 30 a 50 m³/h con temperaturas de unos 15° C. Las buenas posibilidades de explotación de este acuífero, están ligadas a la cercanía de la ciudad de Oviedo, potencial foco de demanda.
- Caliza de Montaña: Muy abundante en todo Asturias, posee muy

buenas características hidráulicas. La temperatura de los almacenes es de unos 12º C de media. El problema principal de aprovechamiento energético es la falta de grandes núcleos de población que constituyen una fuente de demanda.

4.- CANTABRIA

4.1.- AMBITO DEL ESTUDIO

Abarca la totalidad de la región de Cantabria en la que se sitúan los sistemas acuíferos números 4, 5 y 6. En cada uno de ellos se distinguen varias unidades o subsistemas:

- Sistema nº 4.- San Román, Comillas, Mesoterciaria Costera, y diapirizada de Santander.
- Sistema nº 5.- Cabuérniga y Puerto del Escudo.
- Sistema nº 6.- Alisas-Ramales y Ajo.

4.2.- CARTOGRAFIA GEOLOGICA

En el plano de la zona se han representado los distintos terrenos geológicos relacionándolos en función de sus características hidráulicas, de edad y litología, con lo que quedan agrupados de la forma siguiente:

- Depósitos cuaternarios: Representados por depósitos fluviales de arenas y gravas, así como por marismas, que se encuentran bien desarrolladas en la Bahía de Santander, Ría de Cubas y Ría de Treto. Los depósitos fluviales poseen muy alta permeabilidad.
- Oligoceno-Eoceno: Formaciones prácticamente impermeables o de baja permeabilidad, constituidas por margas, conglomerados y calizas.

- Senoniense-Terciario: Acuíferos constituidos por calizas, dolomías, calcarenitas. Posee una transmisividad y porosidad muy altas, todo ello expresado cualitativamente dada la carencia de obras de captación, por lo que las valoraciones se han realizado mediante observación de los manantiales.
- Maestrichtense-Turonense: Prácticamente impermeables, constituido por margas y calizas arcillosas.
- Cenomaniense-Albense-Aptense calizo: Calcarenitas localmente dolomitizadas y calizas que constituyen acuíferos de gran importancia. Al igual que en el Senoniense-Terciario no existen obras de captación donde realizar los estudios de valoración del potencial hidráulico de dichos acuíferos. La permeabilidad deducida a partir de muestras superficiales es buena.
- Cenomaniense-Albense-Aptense margoso: Argilitas, areniscas o intercalaciones calizas, que en conjunto posee muy baja permeabilidad.
- Aptense: Formación muy permeable de calizas, calcarenitas y calizas recifales. En ella, se encuentran enclavadas las famosas minas de Reocín, que en la actualidad poseen un drenaje mediante bombeo que extrae 300 litros por segundo. (Datos tomados de la Real Compañía Asturiana de Minas).
- Barreniense: Areniscas, limolitas y arcillas prácticamente impermeables.
- Jurásico: Conjunto predominantemente carbonatado, muy permeable. Existen pocas obras de captación realizadas en esta formación geológica; tres sondeos realizados en el valle del Pas han producido 65-90 y 115 litros por segundo respectivamente.

- Triás-Permotriás: Se han unificado ambas formaciones triásicas y permotriásicas, debido a su comportamiento como base impermeable de los acuíferos anteriormente descritos. Las constituyen las típicas arcillas irisadas, yesos y areniscas.
- Caliza de Montaña: Base del Carbonífero, formación similar a la descrita en el apartado correspondiente a Asturias. Aunque no existen obras de captación, dicha similitud hace presumir un alto grado de permeabilidad.
- Paleozoico indiferenciado: Cuarcita y pizarras impermeables.

4.3.- TEMPERATURA DEL AGUA SUBTERRANEA

La temperatura de las aguas superficiales se sitúan entre 9 y 14º C, si bien puede considerarse que en general la temperatura en el área de estudio oscila entre 11 y 24º C según las medidas efectuadas en distintas captaciones.

4.4.- CALIDAD QUIMICA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

La calidad general del agua, desde el punto de vista de su grado de mineralización, es excelente.

Una vez realizados los cálculos sobre el poder de corrosión de las aguas, según cuadro que se acompaña, éstas resultan ser medianamente corrosivas en todos los sistemas estudiados.

ZONA	TH (of)	RESIDUO SECO A 110° C (mg/l)	Ca ⁺⁺ (mg/l)	ALCALINIDAD (mg/l Co ₃ Ca)	pH	pH Saturación	I _R	OBSERVACIONES
Santander- Santillana y zona de S. Vicente de la Barquera	32	486,1	80,2	230	6,7	7,7	7,8	Medianamente Corrosiva
	20	363,4	60,1	170	8,1	7,9	7,7	Medianamente Corrosiva
UNIDAD JURASICA AL SUR DE CALDAS DE BESAYA	18	263,0	56,1	140	7,9	7,7	7,5	Medianamente Corrosiva
	10	337,4	32,1	170	7,8	8,0	8,2	Medianamente Corrosiva
	16	271,2	60,1	160	7,8	7,6	7,4	Medianamente Corrosiva
	25	388,1	80,2	200	7,7	7,5	7,3	Medianamente Corrosiva
URGO-APTENSE DE LA ZONA ORIENTAL DE SANTANDER	15	248,7	44,1	120	7,9	7,9	7,9	Medianamente Corrosiva
	16	284,4	36,1	130	7,9	7,5	7,1	Medianamente Corrosiva
	22	365,0	72,0	170	7,6	7,6	7,6	Medianamente Corrosiva
	25	411,3	76,2	220	7,3	7,6	7,9	Medianamente Corrosiva
	30	586,6	76,2	160	7,4	7,7	8,0	Medianamente Corrosiva

4.5.- RESUMEN

Unidad de Comillas: El acuífero principal de esta formación es el Aptense calizo. En ella se encuentran situadas las minas de Reocín que drenan más de 300 litros por segundo. Posee una permeabilidad muy buena, la temperatura de formación es de 12-15° C. La principal zona de demanda es la ciudad de Torrelavega, que con el alto grado de industrialización que posee hace de este acuífero un objetivo de explotación geotérmica mediante bomba de calor de primera magnitud.

Unidad diapirizada de Santander: Tres son las formaciones permeables que pueden ser aprovechadas energéticamente, Cuaternario, Senoniense-Terciario y Aptense Carbonatado. La demanda principal la constituye la ciudad de Santander, y los núcleos urbanos industriales de sus alrededores.

Jurásico de Cabuerniga y Puerto del Escudo: Formado por acuíferos calizo-dolomíticos de permeabilidad muy alta, que pueden producir hasta 100 litros por segundo. No existen grandes núcleos de formación que aseguren una demanda energética alta.

5.- VASCONGADAS

5.1.- AMBITO DEL ESTUDIO

Las tres provincias vascongadas, Alava, Guipuzcoa y Vizcaya componen en su totalidad, el área de estudio.

Los sistemas acuíferos de la zona son los números 7, 65 y 66. Estos se subdividen en las siguientes unidades:

- Unidad de Navarniz
- Unidad de Izarraitz
- Unidad Costera
- Terciario de Oiz
- Unidad de Tolosa
- Anticlinorio Vizcaino
- Sierra de Aralar
- Cuaternario de Vitoria
- Caliza de Subijana
- Terciario de Treviño

5.2.- CARTOGRAFIA GEOLOGICA

Los distintos terrenos geológicos se han agrupado siguiendo criterios de edad, litológicos, hidrodinámicos, etc. El resultado queda reflejado en el mapa de acuíferos que se acompaña.

- Depósitos cuaternarios: Formaciones de arenas y gravas muy permeables, en Vitoria y Hernani se obtienen caudales de aproximadamente 30 m³/h.

- Terciario detrítico: Conjunto que de forma muy sintética se ha subdividido en dos formaciones, una de conglomerados y arenas con permeabilidad media a baja y otra de areniscas, arcillas, arenas y alguna caliza, que en conjunto disponen de baja permeabilidad.
- Terciario flyschoide: Unidad localizada en la zona meridional del País Vasco, constituida por una sucesión flyschoide de areniscas, arcillas, calizas y margas. La permeabilidad es por regla general baja, demostrada por la existencia de las galerías de captación realizadas para abastecimiento de Pasajes de San Juan.
- Cretácico Superior-margoso: Flysch monótono constituido por una alternancia irregular de calizas, margas, pizarras y limolitas, de estratificación muy uniforme. Litológicamente es de permeabilidad baja a impermeable.
- Cretácico superior calizo: Situado en la parte Sur del País Vasco, está compuesto por calcarenitas, calizas y margas. En la provincia de Alava constituye, un acuífero karstico de gran interés hidrogeológico, donde se puede observar en época de estiaje la infiltración directa de las aguas del río Zaya alimentando dicho acuífero, este fenómeno demuestra la alta permeabilidad en zonas de fractura.
- Aptense-Albense: Constituye una unidad con continuos cambios de facies hacia calizas que se describirán en el apartado siguiente; la forma argilitas, areniscas o intercalaciones calizas. La permeabilidad es baja.

- Aptense calizo: Unidad de sedimentos fundamentalmente calizos. El Instituto Geológico y Minero de España, realizó un sondeo en esta formación en la localidad de Mondragón con una producción de unos 20 l/s. La permeabilidad puede ser de media a alta, en función de la distancia de la obra de captación a los abundantes cambios de facies anteriormente reseñados.
- Wealdense: Conjunto detrítico que se encuentra ampliamente desarrollado en el núcleo del anticlinorio vizcaíno, lo componen areniscas arcillosas negras esquistos negros y limolitas. Formación que se puede considerar impermeable.
- Jurásico: Constituido por afloramientos calizas arcillosas, calizas arenosas y margas, que se sitúan preferentemente en la sierra de Aralar y Tolosa. Las surgencias de Amézqueta demuestran una buena permeabilidad.
- Triás y Permotriás: De características semejantes a las descritas para la zona de Cantabria.
- Paleozoico indiferenciado: Exclusivamente representado en el Macizo de las Cinco Villas, lo forman pizarras, grauvacas y cuarcitas. No tienen buena permeabilidad.
- Rocas volcánicas: Se encuentran intercaladas en la formación que se ha denominado Cretácico Inferior Margoso, son materiales volcánicos en forma de lavas almohadilladas. La permeabilidad es de baja a muy baja.

5.3.- TEMPERATURA DEL AGUA SUBTERRANEA

Los valores de temperatura obtenidos en distintos puntos del área de estudio oscilan entre los 8°C de la Fuente de

Sarazo (Treviño) a los 28,6°C del Balneario de Alzola.

Las manifestaciones termales más importantes además de la citada de Alzola son los Baños de Sobrón (18°C) y la surgencia de Urbenaga de Ubilla (25°C).

5.4.- CALIDAD QUIMICA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

La calidad de las aguas, a tenor de su contenido en sales, es en general buena en toda el área.

Se ha realizado el cálculo del grado de corrosión del agua de distintas zonas y de sus resultados se deduce que poseen un grado de corrosión medio,

A título meramente indicativo se presenta un cuadro con los valores calculados.

ZONA	TH (of)	RESIDUO SECO A 110° C (mg/l)	Ca ⁺⁺ (mg/l)	ALCALINIDAD (mg/l Co ₃ Ca)	pH	pH Saturación	I _R	OBSERVACIONES
V. de Navar niz	170	161	65	162	7,6	7,5	7,4	Medianamente Corrosiva
Anticlinorio Vizcaino	378	460	92	187	7,2	7,5	7,8	Medianamente Corrosiva
V. de Iza- rraitz	120	171	45	131	7,4	7,8	8,2	Medianamente Corrosiva
V. Tolosa	125	190	47	125	7,4	7,9	8,4	Medianamente Corrosiva
Caliza de Su- bijana	449	686	160	170	8,1	7,4	6,7	Agua estable
Zona de Sobrón	259	249	71	274	7,9	7,7	7,5	Medianamente Corrosiva

5.5.- RESUMEN

Cuaternario del País Vasco: Las formaciones más importantes son los cuaternarios detríticos de Vitoria y Hernani. Las buenas características hidráulicas, la poca profundidad del nivel piezométrico y de las obras de captación necesarias, hacen que sea una zona muy favorable como recurso de muy baja entalpía.

Calizas de Subijana: Ocupan prácticamente todo el sur del País Vasco, poseen muy buena permeabilidad por fracturación y aunque no se conocen con exactitud los caudales de producción, estos pueden ser del orden de 70-100 m³/h. En principio es una zona muy favorable para una explotación geotérmica, que será necesario investigar con mayor detalle.

Unidad de Sobrón: Constituida por calizas muy permeables cortadas por el sondeo Sobrón. Geológicamente la zona es favorable para aplicación de energía geotérmica de baja entalpía; su principal inconveniente es la falta de núcleos de población de suficiente entidad, que presenten una alta demanda de calor.

Resto del País Vasco: La geología regional hace que éste ente autonómico presente una dispersión de puntos donde existen buenas posibilidades de actuaciones geotérmicas, que actualmente son poco conocidas y por lo tanto necesitan de una investigación exhaustiva; la ejecución del presente mapa de acuíferos con posibilidades de explotación geotérmica mediante bomba de calor, ha puesto de manifiesto las unidades Costera, Tolosa, Izarraitz, Sierra de Aralar y Anticlinorio Vizcaino.

6.- CATALUÑA

6.1.- AMBITO DEL ESTUDIO

Este capítulo engloba las cuatro provincias de Cataluña que geológicamente abarcarían el Pirineo Oriental, Sistema Costero Catalán y Depresión del Ebro.

6.2.- CARTOGRAFIA GEOLOGICA

Se ha intentado agrupar, en lo posible, las características de los acuíferos en función de sus propiedades geológicas e hidrogeológicas.

Como resultado se ha obtenido la siguiente leyenda cartográfica:

Acuíferos de buena permeabilidad

- Formaciones poco consolidadas: Constituidas por arenas, gravas, limos y lutitas.
- Formaciones carbonatadas: Las componen calizas y dolomías de distintas edades.
- Basaltos de la zona de Olot.

Acuíferos de permeabilidad media-baja

- Formaciones detríticas semiconsolidadas: Las constituyen los conglomerados de Monserrat y Llorens.
- Formaciones de rocas semiconsolidadas: Sus materiales son arenas, gravas y conglomerados con alternancia de arcosas, arcillas y lutitas.

6.3.- TEMPERATURA DEL AGUA SUBTERRANEA

En los cuaternarios y acuíferos libres superficiales, la temperatura es de 10°C a 17°C.

Los inventarios de puntos acuíferos realizados en Cataluña ponen de manifiesto las siguientes temperaturas de acuíferos:

Ampurdán: Las temperaturas medias de los pozos y manantiales de la zona son de 16°C a 20°C. Como manifestaciones geotérmicas únicamente se conocen el manantial de St. Climent Sescebes (28°C) y el sondeo petrolífero Gerona-2 (44°C).

Olot: La temperatura media medida es de 11°C en los manantiales y 12°C en los pozos.

Las mayores temperaturas de surgencia corresponden a los puntos siguientes:

- Anomalia térmica de Amer	18,5°C
- Font Bollidura	15,5°C
- Font Tries	15,4°C

La Selva: Se han estudiado dos núcleos de surgencias termales, localizadas en Sta. Coloma de Farnés y Caldas de Malavella con temperaturas de 36°C y 55°C respectivamente.

Existen sondeos perforados por el antiguamente denominado Instituto Nacional de Colonización, que producen agua a temperaturas comprendidas entre 17 y 25°C.

El Valles: La temperatura de la mayoría de los puntos de agua observados, es del orden de 15-16°C, en esta zona se encuentran dos anomalías geotérmicas importantes, Caldas de Montbuy (70°C) y La Garriga (60°C).

6.4.- CALIDAD QUIMICA DE LAS AGUAS

Se ha realizado el cálculo del grado de corrosión del agua en distintas zonas del área de estudio.

Los resultados que se ofrecen en el cuadro adjunto, ponen de manifiesto que, en general, son medianamente corrosivas.

ZONA	TH (ppm Co_3Ca)	Residuo seco a 110°C (mg/l)	Ca^{++} (mg/l - Co_3Ca)	Alcalinidad (mg/l Co_3Ca)	pH	pH satura ción	I_R	Observaciones
VALLES - PENEDES	344	469	78,6	258	7,4	7,4	7,4	Medianamente corrosiva
	317	973	111,4	316,9	7,45	7,2	7,7	Medianamente corrosiva
	260	822,5	36,8	260	8,15	7,9	8,4	Medianamente corrosiva
	386	557	115,4	246	7,7	7,4	8	Medianamente corrosiva
LLOBREGAT	150	152	48,9	135	7,7	8	7,4	Medianamente corrosiva
	332	385	99,4	185	7,6	7,5	7,7	Medianamente corrosiva
	408	654	182,8	137	7,6	7,6	7,6	Medianamente corrosiva
	124	150	41,7	118	8,2	8,2	8,2	Medianamente corrosiva
	312	826	75,4	212	7,8	7,6	8	Medianamente corrosiva
	428	712	89	266	7,6	7,4	7,8	Medianamente corrosiva
	458	644	113,8	325	7,6	7,2	8	Medianamente corrosiva
CALIZAS DEL GAYA	372	394	115,4	259	7,6	7,2	8	Medianamente corrosiva
	372	378	110,6	256	7,5	7,3	7,7	Medianamente corrosiva
	540	558	150,7	259	7,45	7,1	7,8	Medianamente corrosiva
	356	378	92,9	234	8	7,5	8,1	Medianamente corrosiva
	312	365	97,8	301	7,8	7,5	8,1	Medianamente corrosiva
CORDILLERA PRE LITORAL Y MACI ZO DE MONTSENY	217	420	88,18	217	7,5	7,7	7,3	Medianamente corrosiva
	300	497	112,2	300	7,5	7,3	7,7	Medianamente corrosiva
	294	410	87,37	294	7,5	7,4	7,6	Medianamente corrosiva

ZONA	TH (ppm Co_3Ca)	Residuo se co a 110°C (mg/l)	Ca^{++} (mg/l Co_3Ca)	Alcalinidad (mg/l Co_3Ca)	pH	pH satura ción	I. R.	Observaciones
CORD. PRELI TORAL Y MAC DE MONTSENY	398	478	112,2	323	7,25	7,4	7,1	Medianamente corrosiva
	388	452	85,77	285	7,8	7,4	8,2	Medianamente corrosiva
CUATERNARIO DEL BESOS	692	951	190,8	390	7,6	7	8,2	Medianamente corrosiva
	644	967	182,8	377	7,4	7	7,8	Medianamente corrosiva
	480	667	131,5	355	7,5	7,2	7,8	Medianamente corrosiva
	432	532	129,9	230	7,6	7,3	7,9	Medianamente corrosiva
	484	753	133,1	380	7,5	7,1	7,9	Medianamente corrosiva
	556	827	160	335	7,5	7,1	7,9	Medianamente corrosiva

Atendiendo a su grado de mineralización, las aguas del Pirineo Oriental se clasifican como de mineralización ligera a notable y presentan en general buena calidad.

6.5.- RESUMEN

El mapa de utilización de acuíferos como fuente geotérmica para bombas de calor en la cuenca del Pirineo Oriental permite obtener una visión bastante aproximada de las zonas más favorables para la instalación de bombas de calor.

Los acuíferos son muy variados dada la heterogeneidad existente tanto en las características geológicas como hidrogeológicas; las zonas que, en principio, tienen mayores posibilidades de explotación son:

Deltas del Llobregat y Besós: Poseen buenas características hidrogeológicas, transmisividades de 1.000-10.000 m²/día, temperaturas de 14-16°C y unos recursos de aproximadamente 185 Hm³. La demanda energética está asegurada por la ciudad de Barcelona y su cinturón industrial.

Aluviones del Francolí, Riudoms, Riudecols y Riudecanyes: Formado por arenas, gravas sueltas y arenas de playas antiguas, posee transmisividades de 100-500 m²/día, temperaturas de 14-16°C y recursos de unos 16 Hm³. Tarragona y los núcleos costeros de Cambrils, Salou, etc, serían los destinatarios de la energía recuperada.

Campo de Tarragona: Serie formada por arcillas rojas con intercalaciones lenticulares de gravas y conglomerados, margas azules, calizas y areniscas; la transmisividad es muy variable 10-500 m²/día, la temperatura 14-18°C y los recursos de aproximadamente 35 Hm³.

La zona de demanda la componen las ciudades de Reus, Valls y Hospitalet, así como la zona costera de Cambrils-Salou.

Macizo de Garraf: Calizas cretácicas muy karstificadas. Las condiciones hidrogeológicas son muy variables, transmisividad 10-3000 m²/día, temperatura 12-16°C, recursos 40 Hm³/año. Los puntos de consumo son Villafranca del Penedés, Vendrell, Sitges y Castelldefels.

Aparte de los acuíferos anteriormente citados, pueden constituir acuíferos aprovechables como fuentes de energía las unidades menos investigadas de: Calizas de Olot-Bañolas, Ampurdán, La Selva, Delta de los ríos Muga, Fluviá y Ter, Depresiones del Vallés-Penedés y conglomerados de Montserrat y Llorens.

6.6.- CAPITALS DE PROVINCIA INCLUIDAS EN LA ZONA

Debido a ser las capitales de provincia los focos potenciales de mayor consumo energético, a continuación se describen los acuíferos de más entidad que se encuentran en el subsuelo de las mismas.

- BARCELONA

Se encuentra enclavada entre los deltas del Besós y Llobregat, ambos de características geológicas muy similares, dado que están constituidas por dos capas detríticas separadas por limos. El espesor de los acuíferos es de 15-50 metros el primero y 25-60 m el segundo. Ambas formaciones representan el principal aporte energético ante una operación geotérmica mediante aplicación de bomba de calor, en conexión con las arenas finas pliocénicas del Plá de Barcelona.

- GERONA

El principal acuífero gerundense son las gravas aluviales del río Ter, que poseen una potencia de 5-30 m.

- LERIDA

Con un espesor comprendido entre 5 y 20 metros y una superficie aproximada de 80 Km², se encuentran depositadas las

gravas y arenas del aluvial del Segre, río que atraviesa la ciudad de Lérida.

- TARRAGONA

En la comarca geológico-geográfica denominada "Campo de Tarragona", se ha desarrollado una formación constituida por arcillas rojas con intercalaciones lenticulares de gravas y conglomerados con un espesor comprendido entre 150 y 300 metros; de esta unidad, se extraen para abastecimientos urbanos y regadíos entre 7 y 10 Hm³/año; la utilización directa de bomba de calor alimentada por agua subterránea, debe contemplar la explotación de este acuífero en la ciudad de Tarragona.

7.- CUENCA DEL EBRO

7.1.- AMBITO DEL ESTUDIO

La Cuenca del Ebro posee una extensión de 85.550 Km². Comprende en todo o en parte las provincias de Zaragoza, Huesca, Teruel, Logroño, Navarra, Soria, Lérida y Alava.

Los acuíferos que se sitúan en la cuenca son los siguientes:

- Monreal-Gallocanta
- Mesozoico Ibérico del Ebro
- Puertos de Beceite
- Curso bajo y delta del Ebro
- Aluvial del Ebro y afluentes
- Sierra de la Demanda y Cameros
- La Lora y Villarcayo
- Treviño y Sierra de Cantabria
- Urbana y Audía
- Azolar
- Sinclinal de Jaca
- Sinclinal de Tremp

Los tipos básicos de acuíferos son carbonatados, mioceno-cuaternario detrítico y cuaternarios aluviales.

7.2.- CARTOGRAFIA GEOLOGICA

- Formaciones detríticas cuaternarias muy permeables. Capacidades de producción comprendidas entre 50 m³/h y 130 m³/h. Este apartado se corresponde con los aluviales de los ríos Ebro, Cinca, Segre, Noguera Ribagorzana y Alcanadre, y los cuaternarios costeros (delta del Ebro). Los acuíferos están constituidos por alternancias de arenas, gravas, limos y arcillas.
- Formaciones detríticas mioceno-cuaternarias con caudales muy variables; pueden producir entre 30 y 3.600 m³/h. Formaciones detríticas de tipo piedemonte, su litología es típica de depósitos periglaciares (conglomerados y arenas) alternando con niveles impermeables de arcillas y lutitas.
- Formaciones carbonatadas capaces de producir caudales del orden de 150-200 m³/h. Como su nombre indica son todos aquellos acuíferos constituidos por calizas y dolomías de varias edades, suelen poseer unos parámetros hidrodinámicos de muy buenas características.
- Formaciones semipermeables. Están constituidas por materiales detríticos de grano fino y materiales del tipo flysch, localmente pueden producir caudales de hasta 5 l/s.
- Formaciones impermeables en superficie. Constituyen la mayor parte de la depresión del río Ebro. Superficialmente los afloramientos son en lo fundamental arcillas y yesos, en profundidad existen niveles detríticos permeables o se encuentra cercano al substrato mesozoico de manera que puedan ser beneficiadas aguas con temperaturas interesantes.

- Formaciones impermeables. Las forman principalmente yesos y margas triásicas. Son los típicos yesos y margas de colores vivos del Keuper, sobre los que se ha depositado los materiales jurásicos, cretácicos y terciarios.
- Formaciones impermeables paleozoicas de pizarras, cuarcitas y areniscas.
- Formaciones impermeables carbonífero-triásicas. Situadas en la zona oriental, existen unos afloramientos de pizarras y rocas ígneas que han sido cartografiadas cerca de Tarragona.

7.3.- TEMPERATURA DEL AGUA SUBTERRANEA

La temperatura del agua en la zona oscila entre 11 y 16°C.

Existen manifestaciones termales en la zona de las cuales las más importantes son:

- Sondeos IGME en la zona de Belchite 33°C
- Balneario de Jaraba 34°C
- Balneario de Alhama de Aragón 34°C
- Balneario de Fitero 52°C
- Balneario de Arnedillo 52°C
- Balneario de Grávalos 52°C

7.4.- CALIDAD QUIMICA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

Los acuíferos analizados en la cuenca del Ebro disponen de aguas bastante dulces, duras y no muy agresivas cuyos valores son:

ZONA	DUREZA °F	pH	CONDUCTIVIDAD
Valle del Jiloca	330	7,3	13.200
Mediana de Aragón	52	7,4	1.600
Alhama de Aragón	42	7,6	1.110
Jaraba	37	7,6	37
Fitero	150	7	6.720

7.5.- RESUMEN

El mapa de utilización de acuíferos como fuente geotérmica para bombas de calor de la cuenca del Ebro, permite en una primera aproximación, definir zonas favorables para la instalación de dichos aparatos calefactores.

Se han de destacar las siguientes zonas:

Subalveo y cuaternario del Ebro y afluentes

Formación de arenas y gravas que pueden proporcionar aguas a temperaturas de 10-15°C, poco cargadas en sales y bastante dureza.

Monreal-Gallocanta

Sistema acuífero compuesto de dos almacenes, uno constituido por calizas y dolomías Cenomanenses-turonenses y dolomías Liásicas y un segundo formado por materiales detríticos plio-cuaternarios.

El primero se deberá captar a bastante profundidad (100-200 m) podrá producir agua a unos 30°C. El segundo es mucho más superficial y adecuado a utilización de bomba de calor agua-agua; puede producir agua a 16°C de temperatura.

Mesozoico de la región ibérica

Situado entre el macizo del Moncayo y el río Guadalupe, se tienen buenos conocimientos geológicos de la región de Belchite, donde se explotan aguas a 33°C de temperatura.

Zona Suroriental

La constituyen el mesozoico de los puertos de Beceite, el delta del Ebro y los cuaternarios costeros.

Está muy poco investigada.

Zonas Norte y Demanda

Lo mismo que la anterior, el grado de conocimientos es nulo por lo que será conveniente programar trabajos de explotación pertinentes.

7.6.- CAPITALS DE PROVINCIA INCLUIDAS EN LA ZONA

A continuación se describen los sedimentos que se encuentran depositados en el subsuelo de las capitales de provincia de la Cuenca del Ebro.

- HUESCA

Los afloramientos que existen en esta ciudad, son gra

vas, brechas y conglomerados cuaternarios depositados sobre los materiales terciarios.

- LOGROÑO

El único acuífero con posibilidades de utilización directa para bomba de calor es el cuaternario del río Ebro.

- PAMPLONA

La única unidad hidrogeológica permeable es el cuaternario del Arga, y en las inmediaciones de Pamplona se encuentra muy poco desarrollado.

- ZARAGOZA

El cuaternario del Ebro es una unidad muy favorable para aprovechamiento energético mediante bomba de calor. Los materiales de que se compone constan de las típicas sucesiones de arenas y gravas con intercalaciones de limos y arcillas más o menos potentes. El espesor total es muy variable según los tramos, pero en el área de Zaragoza puede llegar a 50 metros.

8.- CUENCA DEL DUERO

8.1.- AMBITO DEL ESTUDIO

La cuenca del Duero comprende las provincias de Valladolid, Palencia, Salamanca, Avila, Segovia, Zamora, León, Burgos y Soria, unas en su totalidad y otras en parte.

Los sistemas acuíferos localizados en el área son los números 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 88 (10 bis).

8.2.- CARTOGRAFIA GEOLOGICA

Los distintos terrenos geológicos constitutivos de acuíferos se han reunido en cuatro grupos:

- Terciario sedimentario con arenas y gravas intercaladas, PERMEABILIDAD VARIABLE.
- Calizas pontienses. MUY PERMEABLES.
- Depósitos de rañas, formadas por conglomerados y gravas. MUY PERMEABLES.
- Depósitos superficiales arenosos. MUY PERMEABLES.

8.3.- TEMPERATURA DEL AGUA SUBTERRANEA

La temperatura del agua en el área de estudio varía entre 11 y 25°C.

8.4.- CALIDAD QUIMICA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

Los valores de conductividad medidos en las distintas zonas indican que las aguas presentan un grado de mineralización que va desde muy debil a notable, si bien predominan los de mineralización ligera.

8.5.- RESUMEN

Terciario Sedimentario

- Acuíferos del Zapardiel-Adaja, Eresma, Duratón

Situados entre el río Duero y el Sistema Central, poseen unos recursos de aproximadamente 390 Hm³/año. Existen bastantes sondeos perforados en este acuífero con profundidades comprendidas entre 50 y 250 metros; la temperatura media de las aguas está comprendida entre 11 y 20°C, estando en relación directa con la profundidad de explotación.

- Acuífero del Esla-Valderaduey

Sus recursos se estiman en 200-400 Hm³/año. La transmisividad es buena, variando mucho en función de la situación, son normales caudales específicos de 1 l/s por metro de dep^{re}sión.

Las aguas se caracterizan por poseer conductividades

muy bajas (inferiores a 500 μ mhos/cm). El límite de profundidad de explotación estará definido por la incidencia del coste de la obra de captación en la rentabilidad del proyecto geotérmico, que "a priori" será de 200-300 metros.

- Región Centro

Poco o nada interesante respecto a la utilización geotérmica de acuíferos superficiales, debido a subyacer el terciario detrítico bajo un potente paquete de margas y yesos impermeables.

- Acuíferos de la Ibérica

Poco conocida debido a los pocos sondeos perforados. La transmisividad media oscila entre 5-100 m²/día, posee unos recursos hídricos del orden de 245 Hm³/año. No se conoce la temperatura de estos acuíferos por lo que será de interés programar una somera campaña de exploración, que permita adquirir los conocimientos generales para programar futuros trabajos de aplicación geotérmica.

- Acuíferos del Tormes

De características hidrogeológicas prácticamente desconocidas. Por los datos geológicos descritos y los pocos sondeos perforados, parece existir interés geotérmico para aplicación de bomba de calor, máxime si se tiene en cuenta que la ciudad de Salamanca se asienta sobre esta formación.

Calizas Pontieneses

- Acuíferos Pontieneses

La zona donde está más desarrollada esta formación

es el área Cuellar-Torozos y en las inmediaciones del Almazán, posee buena permeabilidad (200-1.000 m²/día) por lo que se pueden esperar producciones del orden de 10 a 50 l/s por obra de captación. Las temperaturas son del orden de 11-15°C según cálculos realizados a partir de temperaturas medias.

Depósitos de rañas

- Acuíferos Pliocenos

Constituyen acuíferos libres de baja permeabilidad (10 m²/día), las reservas son muy pequeñas y las temperaturas están comprendidas entre 11 y 15°C. Como aplicación directa para bomba de calor únicamente pueden resolver problemas pequeños y muy locales.

Depósitos superficiales arenosos

- Arenales de La Moraña y Tierra de Pinares

Estos depósitos están formados por arenas de un espesor comprendido entre 5 y 30 metros. La transmisividad es de media a baja (10-100 m²/día) y los caudales de explotación varían entre 1 y 20 l/s. Las reservas se pueden cifrar en 330 Hm³/año.

8.6.- CAPITALES DE PROVINCIA INCLUIDAS EN LA ZONA

- AVILA

Existe un pequeño aluvial depositado por el río Adaja que posee buena permeabilidad pero sus recursos son muy pequeños. Podrá solucionar problemas de carácter muy local.

- BURGOS

La ciudad de Burgos está bañada por el río Arlanzón, el régimen de grandes crecidas en invierno, hace que el poder erosivo de este río permita el transporte de gruesos sedimentos de manera que sus depósitos aluviales posean muy buena permeabilidad. La potencia de dicho aluvial es del orden de 5-10 metros y los caudales que de él se pueden extraer de aproximadamente 10-15 l/s. La temperatura media de Burgos es de 10,2 grados centígrados, similar a la que puede aportar el cuaternario anteriormente descrito.

- LEON

Los ríos Bernesga y Torio que circundan León, han depositado un extenso aluvial muy permeable, del que se pueden extraer caudales del orden de 5-10 l/s a una temperatura de 10-12°C.

El acuífero existente en León con más posibilidades de aprovechamiento geotérmico mediante bomba de calor, son los niveles detríticos interestratificados entre las arcillas y lutitas del Terciario y que se encuentren a una profundidad límite de 200-300 metros. La productividad de esta formación está estimada en unos 10-20 l/s por obra de captación y la temperatura de surgencia está comprendida entre 13°C y 20°C en función de la profundidad. Existe gran número de sondeos sobre los que se puede aplicar directamente la bomba de calor, mediante la realización de un estudio previo de viabilidad de la operación.

- PALENCIA

El ayuntamiento palentino ha instalado una bomba de calor como fuente energética para abastecimiento calorífico a las piscinas del Polideportivo municipal. El foco frío de dicha bomba de calor es el agua de formación de una terraza cuaternaria depositada en el actual asentamiento de Palencia.

La temperatura del agua oscila entre 12 y 16°C y el caudal de explotación en épocas de aportes de 27 l/s, con un salto térmico de 2°C. En estiaje existe problema con el caudal. Operaciones de este tipo son las que se pueden acometer en Palencia como aprovechamiento de acuíferos para bomba de calor.

- SALAMANCA

Existen depósitos aluviales en el río Tormes y un plio cuaternario en Santa Marta de Tormes-Machacón, ambas formaciones pueden ofrecer interés geotérmico.

- SEGOVIA

En las inmediaciones de Segovia afloran arenas del Albense y calizas del Cretácico Superior. La permeabilidad de estos sedimentos puede ser lo suficientemente buena como para producir agua y ser utilizada como foco frío para utilización de bomba de calor.

- SORIA

Las formaciones geológicas que afloran en esta ciudad son el Jurásico, Cretácico Superior y Oligoceno. El aluvial

del Duero o bien no existe o es muy pequeño no teniendo entidad suficiente para constituir un acuífero.

- VALLADOLID

Se pueden obtener caudales apreciables del cuaternario del río Pisuerga cuya temperatura oscila entre 10 y 13°C.

- ZAMORA

Hacia el Este de la ciudad se encuentra muy desarrollado el cuaternario del Duero del que se extraen caudales de 10-15 l/s por pozo, con temperaturas estimadas en 12-15°C.

- CONCLUSIONES

En la cuenca del Duero es factible la utilización de acuíferos como fuente energética mediante aplicación de bomba de calor, prácticamente en todo el Terciario, si se exceptúa la denominada Región Centro. Esta utilización se encuentra restringida en profundidad hasta 200-300 metros en función del coste de perforación e instalaciones del pozo o sondeo, no obstante es posible actuar sobre obras ya realizadas.

Como acuíferos superficiales se puede actuar en las calizas pontienses, rañas pliocenas y arenas de la Moraña y Tierra de Pinares.

9.- MADRID

9.1.- AMBITO DEL ESTUDIO

Este informe se presenta como resumen de los datos disponibles en el Atlas Hidrogeológico de la Provincia de Madrid, publicado por el IGME como resultado de los trabajos realizados dentro del Convenio Marco entre éste Organismo y la Excma. Diputación de Madrid.

El área de estudio, que abarca toda la provincia de Madrid, comprende fundamentalmente las facies detríticas del Terciario de la Fosa del Tajo que se extienden por toda la provincia de Madrid y la Sierra de Guadarrama que constituye el límite Norte de dichas facies.

Según el Mapa Nacional de Síntesis de Sistemas Acuíferos, dentro del área de estudio están ubicados en parte el Sistema 14, de carácter detrítico y el sistema 15, fundamentalmente calcáreo.

9.2.- CARTOGRAFIA GEOLOGICA

El valor de la permeabilidad de los materiales acuíferos se ha calculado a partir de datos obtenidos en pozos y sondeos existentes en la zona, lo que permite agruparlos en la siguiente forma:

Permeabilidad muy baja o impermeable.- Paleozoico.

Permeabilidad baja.- Incluye las facies detrítica, intermedia y química o central.

Permeabilidad media.- Dentro de la facies intermedia posee esta característica la Formación Peñuelas.

Permeabilidad alta.- Depósitos cuaternarios relacionados con los ríos.

9.3.- TEMPERATURA

La temperatura del agua en el área de estudio oscila entre 12 y 18°C.

No se dispone de información en las facies de transición y química. ni en el acuífero del Páramo. Por tanto los datos que se ofrecen, reflejan exclusivamente las temperaturas de los acuíferos de la facies detrítica y del cuaternario que se sitúa sobre ella.

Las temperaturas más altas, 16-18°C, se localizan en zonas amplias a ambos lados de los ríos Alberche y Guadarrama.

9.4.- CALIDAD QUIMICA DE LAS AGUAS

En términos generales el agua es blanda y de mineralización muy débil en el Paleozoico, de dureza media y mineralización ligera en la Facies Detrítica, dura y de mineralización notable en los acuíferos del Páramo y muy dura y de mineralización fuerte en las Facies Intermedia y Central.

9.5.- HIDROGEOLOGIA

- CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DE LOS ACUIFEROS

El Paleozoico puede considerarse impermeable o de permeabilidad muy baja en las zonas en que el granito está fracturado o descompuesto. Pueden obtenerse caudales de 2-3 l/seg.

La facies detrítica presenta valores que oscilan entre 5 y 50 m²/día, si bien localmente supera los 200 m²/día

La permeabilidad es baja, entre 0,1 y 0,3 m/día.

La facies intermedia, dada su baja permeabilidad carece en general de interés hidrogeológico, a excepción de la formación Peñuelas que tiene alguna importancia aunque con carácter meramente local.

La facies química o central posee valores de transmisividad entre 1 m²/día y más de 25 m²/día. Los caudales obtenidos son menores de 5 l/s.

Los depósitos cuaternarios constituyen acuíferos libres relacionados con el río. Su transmisividad es elevada entre 200 y 1000 m²/día, al igual que la permeabilidad que puede superar los 100 m/día.

El caudal específico es pequeño en toda el área, su valor oscila entre 0,3 y 1,4 l/s por metro de depresión.

- CARACTERISTICAS QUIMICAS DE LOS ACUIFEROS

La mejor calidad del agua se da en el Paleozoico (R.S.)

0,5 g/l), en los cuaternarios de los ríos Alberche, Perales, Guadarrama y algún tramo del Jarama (0,25 RS 0,4 g/l) y en las calizas de los Páramos (0,5 RS 1,0 g/l).

Por el contrario la peor calidad la ofrece el Terciario evaporítico (Facies intermedia y química) y el resto de los aluviales (Manzanares, Henares, Tajuña y Tajo).

La calidad del agua en la Facies detrítica es variable y en general, empeora con la profundidad. Su residuo seco oscila entre 0,2 y 0,5 g/l en las unidades superiores, mientras que en las inferiores se sitúa entre 0,5 y 1,0 g/l.

El Instituto Geológico y Minero de España y la Excm. Diputación de Madrid, han publicado, dentro del Convenio Marco de Asistencia Técnica suscrito por ambas, el Atlas Hidrogeológico de la Provincia de Madrid que ofrece información completa y rápida de la situación de acuíferos, características hidrodinámicas, químicas, etc, y puede consultarse para estudios de mayor detalle.

9.6.- CAPITALAS DE PROVINCIA INCLUIDAS EN LA ZONA

- MADRID

El tercio norte de la capital se asienta sobre la Facies Detrítica y más concretamente en la Unidad Madrid, formada por arenas arcósicas de grano fino y lentejones de conglomerados.

Estos materiales se integran en una matriz limo-arcillosa.

El tercio central se situa en la misma facies pero sobre la Unidad Tosco, de iguales características que la U. Madrid pero con arenas de grano más fino.

En el tercio sur aparece la facies de transición, con disminución de materiales permeables y sensible empeoramiento de la calidad del agua.

La transmisividad oscila entre 5 y 50 m²/día y la permeabilidad resulta baja 0,1-0,3 m/día.

El valor del caudal específico se sitúa próximo a 1m³/h por metro de depresión.

El agua presenta un residuo seco inferior a 0,5 g/l en la Unidad Madrid y entre 0,5 y 1 g/l en la Unidad Tosco. En el Tercio Sur de la Capital, la calidad del agua es sensiblemente peor.

10.- CUENCA ALTA DEL GUADIANA

10.1.- AMBITO DEL ESTUDIO

El área de estudio comprende la cuenca Alta del Río Guadiana, que incluye parte de las provincias de Ciudad Real, Cuenca, Albacete y Toledo. De su superficie, sólo unos 17.800 km² constituyen el objeto de dicho estudio al ser potencialmente - acuíferos.

De acuerdo con el Mapa Nacional de Síntesis de Sistemas Acuíferos, los existentes en la zona son los siguientes:

- Sistema 19: Sierra de Altomira
- Sistema 20: Mancha de Toledo
- Sistema 22: Cuenca del Río Bullaque
- Sistema 23: Llanura Occidental Manchega
- Sistema 24: Campos de Montiel

Dentro de la cuenca Alta del Guadiana existen además - otros acuíferos, pequeños y geográficamente dispersos, con interés meramente local. El resto puede considerarse impermeable.

Se localizan numerosos núcleos de población repartidos - uniformemente por toda la zona, siendo bastantes los que poseen un elevado número de habitantes.

10.2.- CARTOGRAFIA GEOLOGICA

Los distintos terrenos geológicos se han representado en un plano agrupados en función de su permeabilidad, asignada en general por su valor en superficie y en particular por datos obtenidos en profundidad mediante sondeos.

Las zonas calificadas como muy permeables agrupan a los siguientes terrenos:

Cuaternario: Aluvial, gravas y arenas.

Mioceno: Calizas y calizas margosas.

Cretácico: Calizas y dolomías.

Jurásico: Calizas, dolomías y carniolas.

Las zonas permeables comprenden:

Cretácico y Jurásico: Tramos calcáreos.

Rocas efusivas: Lapilli, coladas y cenizas.

Zonas de permeabilidad media-baja:

Pliocuaternario: Rañas, piedemontes, arenas, calizas, etc.

Paleógeno: Conglomerados, arenas, margas, calizas y yesos.

Cretácico y Jurásico: Margas, margocalizas y calizas margosas:

Zonas de permeabilidad baja-impermeable:

Mioceno: Arcillas, arcillas arenosas, margas, limos, etc.

Triásico: Arcillas, yesos, areniscas y conglomerados.

Paleozoico: Areniscas, pizarras, cuarcitas.

Rocas ácidas: Granitos, pórfidos, etc.

10.3.- TEMPERATURA DEL AGUA SUBTERRANEA

El proyecto Investigación Geotérmica de la Cuenca Alta del Tajo, ha efectuado una campaña termométrica en la Región volcánica de Ciudad Real.

Esta zona queda incluida geográficamente en el perímetro formado por las poblaciones de Santa Cruz de Mudela, Valdepeñas, Daimiel, Malagón, Piedrabuena y Puertollano.

Los puntos en que se ha tomado temperatura se sitúan, en su mayoría, en la zona denominada de acuíferos locales y en el entorno de Ciudad Real capital sobre el sistema 23.

Los valores obtenidos oscilan entre 14°C y 28°C.

En el resto de la cuenca estos valores son generalmente inferiores a 17°C.

10.4.- CALIDAD QUIMICA DE LAS AGUAS

En general predominan las aguas de dureza media a dura y de mineralización ligera a notable que corresponden a los acuíferos calcáreos.

Se ha realizado el cálculo del grado de corrosión de varias muestras de agua de la zona, cuyos resultados se ofrecen en el cuadro adjunto y del que se deduce que son poco corrosivas.

$$I_R = 2pH_s - pH$$

SISTEMA	PUNTO	T °C	R. S. (mg/l)	Ca (mg/l)	CO ₃ H (mg/l)	pH	pH _s	INDICE DE SATURACION I _s = pH - pH _s	INDICE DE RYZMAR
19	2226/6001	14,5	274	66	270	7,5	7,5	E	7,5
	2227/7008	14	640	158	228	7,5	7,3	I	7,1
20	2028/5017	13,5	410	75	240	7,8	7,5	I	7,2
	2126/3008	13,5	338	89	258	7,6	7,4	I	7,2
	2126/5001	14,0	688	146	198	7,4	7,4	E	7,4
23	2329/1007	14	248	58	156	8,4	7,7	I	7,0
	2129/8007	15	302	66	222	7,5	7,5	E	7,5
	1930/8012	14,5	570	111	222	7,7	7,4	I	7,1
24	2131/3010	15	586	104	324	7,5	7,3	I	7,1
	2230/8011	14,5	360	54	318	7,6	7,5	I	7,4
	2232/6008	13	264	76	216	7,7	7,5	I	7,3

(*) E: Estable
I: Incrustante

10.5.- HIDROGEOLOGIA

CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DE LOS ACUIFEROS

En general, los acuíferos en calizas miocenas de la LLa nura Manchega y en calizas y dolomías, tanto Jurásicas como Cretácicas, de la Sierra de Altomira y Campo de Montiel, poseen buenas características hidráulicas y buena calidad de agua.

Los acuíferos en niveles detríticos y calizas terciarias, Cuaternarias y Paleozoicas de la Mancha de Toledo, son pobres y con mala calidad de agua.

Los acuíferos en aluviales, Cuenca del Bullaque, son de poco espesor pero muy permeables, con agua de buena calidad.

Por último, al sur de la zona de estudio, se extiende una amplia franja de terrenos de Trias, Paleozoico y Mioceno, prácticamente impermeables, que sólo localmente presentan permeabilidad media-baja o baja en materiales detríticos calizos y en cuaternarios de ríos.

CARACTERISTICAS QUIMICAS DEL AGUA

El agua de los acuíferos con permeabilidad baja presenta una relación directa con la litología y la pluviometría, siendo inmediata la relación con ésta última.

En los acuíferos con permeabilidad alta destaca la influencia regional, en cuanto a la litología, siendo la relación con la pluviometría de carácter interanual.

A grandes rasgos, la definición de la calidad química de las aguas, según la clasificación de NOISSETTE, es como sigue:

- Acuíferos detríticos secundarios y terciarios y acuíferos cuaternarios formados con materiales de los anteriores: presentan mineralización fuerte y notable con aguas muy duras y duras.
- Acuíferos detríticos cuaternarios formados a espensas de Paleozoico: Poseen aguas de mineralización ligera y blandas.
- Acuíferos calcáreos secundarios: Son aguas de mineralización notable y duras y de dureza media.

- Acuíferos calizos terciarios: Se obtienen aguas de mineralización notable y duras.

Hay que resaltar la estrecha relación que existe entre las aguas de los ríos y los acuíferos, así como la progresiva contaminación agrícola a que están sometidos.

En general las aguas de la cuenca resultan ser poco agresivas.

10.6.- CAPITALES DE PROVINCIA INCLUIDAS EN LA ZONA

- CIUDAD REAL

Está situada dentro del sistema 23, Llanura Manchega, sobre el acuífero superior constituido por calizas Mio-Pliocenas y materiales detríticos Plio-Cuaternario y volcánicos.

Este acuífero, libre y con potencia media de 35 metros, presenta gran heterogeneidad, con valores de transmisividad entre 50 y 20.000 m²/día.

Sus aguas se definen como duras y de mineralización notable.

11.- CUENCA ALTA DE LOS RIOS JUCAR Y SEGURA

11.1.- AMBITO DEL ESTUDIO

La superficie ocupada por el área de estudio es de unos 20.000 km² que se distribuyen entre varias provincias en la siguiente forma:

Albacete	67%
Jaén	13%
Murcia	10%
Cuenca, Alicante , Granada	10%

Corforme al Mapa Nacional de Síntesis de Sistemas acuíferos, los ubicados parcial o totalmente dentro del área estudiada son:

- Sistema 18 (mitad meridional): Albacete
- Sistema 49
- Zona de acuíferos aislados: Unidad Central o diapírica

La única capital de provincia incluida en la zona es Albacete, asentada sobre la Unidad Norte.

En esta unidad se explotan tres acuíferos (Jurásico, Cretácico y Pontiense) que forman un conjunto multicapa de excelentes características, tanto químicas como hidrodinámicas.

Otros núcleos importantes de población son: Hellín, Almansa, La Roda y Tobarra (ALBACETE), Jumilla y Yecla (MURCIA), Cazorla y Quesada (JAEN).

11.2.- CARTOGRAFIA GEOLOGICA

La permeabilidad de cada terreno geológico, calculada en base a datos de superficie o deducida de sondeos, permite agruparlos ofreciendo una idea general aproximativa de las zonas más favorables para alcanzar los objetivos del presente proyecto.

El plano adjunto ofrece esa visión con arreglo a los siguientes criterios de agrupación:

Zonas muy permeables:

Mioceno.- Calizas arrecifales

Paleógeno.- Calizas

Cretácico Superior.- Calizas y dolomías (SENONENSE-TURONENSE-CENOMANENSE)

Jurásico.- Calizas, dolomías y carniolas (LIAS-DOGGER).

Zonas permeables:

Mioceno.- Arenas, calizas y areniscas calcáreas.

Paleógeno.- Margocalizas y conglomerados

Cretácico Superior.- Margocalizas y dolomías con niveles margo-arcillosos. (SENONENSE-TURONENSE-CENOMANENSE).

Cretácico Inferior.- Calizas con niveles margosos
Jurásico.- Margocalizas, calizas y dolomías (MALM).

Zonas semipermeables:

Cretácico Inferior.- Arenas y niveles calcáreos localmente
(WEALD-UTRILLAS).

Zonas impermeables:

Jurásico.- Arcillas y margas (LIAS-DOGGER)
Triás.- Arcillas y evaporitas
Paleozóico.- Materiales indiferenciados

Zonas de permeabilidad variable:

Cuaternario.- Materiales margo-arenosos, localmente con-
glomerados.

11.3.- TEMPERATURA DEL AGUA SUBTERRANEA

La temperatura del agua en la cuenca es normalmente baja y oscila entre 10°C y 16°C.

Existen varias manifestaciones termales entre las cuales las más importantes son: Hellín (28°C y 24°C), Balneario de Tus (26°C), Baños la Concepción (24°C), Balneario La Pestosa (22°C) y Fuente de los Baños (17°C).

11.4.- CALIDAD QUIMICA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

Se ha efectuado el cálculo del grado de corrosión de las aguas en quince muestras distribuidas por el área de estudio.

Los resultados se ofrecen en el cuadro. De su observación se deduce que la mayoría de las aguas son medianamente corrosivas.

Los acuíferos de la zona de Albacete se ven sometidos a una importante contaminación de origen agrícola.

PUNTO Nº	Tº C	T.S.D. (mg/l)	Ca (mg/l)	CO ₃ H (mg/l)	pH	pHs	INDICE SATURACION Is = ph - pHs	INDICE RYZMAR IR = 2pHs - pH
2328-2001	13	316	58	204	7,7	7,6	I	7,5 M.C.
2329-3003	14	444	60	180	8,1	7,7	I	7,3 M.C.
2329-6001	13	894	108	366	7,5	7,6	A	7,7 M.C.
2429-5023	15	771	80	280	7,7	7,5	I	7,3 M.C.
2430-2004	14	990	116	280	7,7	7,8	A	7,9 M.C.
2431-1052	16	805	92	366	7,3	7,3	E	7,3 M.C.
2431-2013	14	551	56	280	7,8	7,3	I	6,8 E
2431-5026	15	535	64	244	7,8	7,2	I	6,6 E
2431-8008	17	892	112	317	7,5	7,5	E	7,5 M.C.
2529-5005	15	921	100	317	7,7	7,5	I	7,3 M.C.
2531-1118	16	929	100	305	7,4	7,5	A	7,6 M.C.
2533-6005	15	948	100	280	7,6	7,6	E	7,6 M.C.
2630-7002	14	500	76	317	7,5	7,4	I	7,3 M.C.
2631-7058	16	786	112	200	7,3	7,4	A	7,5 M.C.
2730-2011	14	624	68	305	7,6	7,5	I	7,4 M.C.

(*) I: Incrustante
 A: Agresiva
 E: Estable
 MC: Medianamente corrosiva

11.5.- HIDROGEOLOGIA

CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DE LOS ACUIFEROS

La práctica totalidad de las formaciones permeables estudiadas en el área son de naturaleza calcárea, constituidas fundamentalmente por calizas y dolomías del Jurásico y Cretácico - y por calizas lacustres del Mioceno.

En general, permiten obtener caudales importantes de agua de buena calidad permanente en virtud de sus importantes recursos, accesibilidad y buenas cualidades hidrodinámicas.

A continuación se describe brevemente el tipo de características de cada unidad.

- Sistema Hidrogeológico de Albacete

a) Acuífero Jurásico (CHORRO-COLLERAS)

Está constituido por calizas y dolomías que presentan elevada fisuración y frecuente karstificación. Como consecuencia de ello la transmisividad es variable, - pese a lo cual puede atribuirse, como representativo del conjunto, un valor de 100 a 200 m²/h.

La permeabilidad ofrece valores de 1 m/h (Zona meridional), a 2 m/h (Llanura de Albacete).

La profundidad de la obra de captación es normalmente inferior a 200 m, situándose el nivel piezométrico a menos de 75-100 m de la superficie topográfica.

El caudal que puede obtenerse oscila entre 25-150 l/s

b) Acuífero Cretácico (BENEJAMA)

Es de naturaleza calcárea y el techo de la formación se encuentra localmente karstificado.

La transmisividad de la formación oscila entre 100 y 200 m²/h, si bien en las proximidades del río Jucar - es superior (500-4000 m²/h).

La profundidad de la obra de captación es menor que - 200 m y el nivel piezométrico se encuentra a menos de 75 m de la superficie. Pueden extraerse caudales próximos a 40 l/s.

c) Acuífero Mioceno (PONTIENSE)

Está formado por calizas lacustres.

La transmisividad asignada al conjunto de la formación es de 100 m²/h, que supera los 500 m²/h en su zona - central.

La profundidad necesaria para captar el acuífero es - inferior a 150 m y el nivel piezométrico se sitúa a menos de 50 m de la superficie. Pueden obtenerse caudales importantes que oscilan entre 50 y 150 l/s.

d) Acuífero Cuaternario

En los bordes de la Llanura de Albacete presenta facies detríticas groseras, susceptibles de aportar caudales importantes.

- Unidad Central o de acuíferos aislados

Esta unidad engloba numerosos acuíferos, alguno de los cuales no tiene prácticamente explotación debido a su inaccesibilidad y/o a que sus recursos están ya utilizados mediante manantiales.

No obstante presentan buenas características hidrodinámicas, permitiendo la obtención de caudales interesantes.

En la Sierra de la Oliva se han deducido, mediante bombeo de ensayo, transmisividades que oscilan entre 20 y 100 m²/h que permiten obtener caudales de 40 a 180 l/s con depresiones moderadas.

- Unidad Suroeste

Las formaciones permeables de ésta unidad son de naturaleza calcárea, alguna de las cuales tiene solo interés local y otras son difícilmente explotables (Cretácico).

Los bombeos de ensayo realizados en la zona permiten deducir una transmisividad cuyo valor oscila entre 50 y 75 m²/h.

Pueden obtenerse caudales de 30-100 l/s con depresiones de 13 a 25 m.

CARACTERISTICAS QUIMICAS DE LOS ACUIFEROS

Para definir la calidad de las aguas en la Cuenca se han estudiado numerosos análisis pertenecientes a muestras tomadas en sondeos, pozos y manantiales.

En general las aguas poseen buena calidad permanente, con valores de residuo seco inferior a 1 g/l, sólo superado localmente.

Seguidamente se describen las características químicas de las aguas en las distintas zonas:

a) Sistema acuífero 18 (mitad meridional)

Este sistema presenta en la práctica totalidad de su extensión, aguas duras y de mineralización notable. No obstante existen dos zonas, sectores SW y NE, relacionadas la primera con dolomías y calizas del Dogger y la segunda con dolomías del Cenomanense-Turonense, que poseen aguas de dureza medias y mineralización ligera.

b) Unidad Central

Dentro de ésta unidad se diferencian dos grandes zonas de características bien distintas, el Arco Estructural Alcazar-Elche de la Sierra y la Depresión Albatana-Minareda y el Altiplano Jumilla-Yecla.

La primera de ellas presenta acuíferos de carácter dolomítico en su mayoría, con aguas de dureza media y mineralización ligera generalmente. La excepción que da lugar a aguas duras y muy duras con mineralizaciones notables y fuertes, -

la constituyen puntos localizados en la zona meridional donde el Trías se encuentra próximo a la superficie. No obstante, se trata de casos aislados que no afectan a la generalidad.

La zona Albatana-Minateda y Jumilla-Yecla, con acuíferos de carácter calizo-dolomítico, dispone de aguas de peor calidad, debido a la influencia de materiales salinos triásicos, yesos miocenos y retorno de riegos cargados de sales.

Las aguas de la depresión Albatana-Minateda se caracterizan por ser duras y de mineralización notable y fuerte.

El Altiplano Jumilla-Yecla posee aguas más equilibradas que se definen como duras y de mineralización notable.

c) Unidad Suroeste

Los acuíferos de ésta unidad están constituidos por calizas y dolomías. Las aguas son de buena calidad, de dureza media a duras y mineralización ligera a notable que se utiliza para abastecimiento a grandes núcleos de población.

11.6.- CAPITALAS DE PROVINCIA INCLUIDAS EN LA ZONA

- ALBACETE

El único acuífero que podría tener interés es el Plio-Cuaternario, formado por materiales margoarenosos y localmente conglomerados.

Pueden obtenerse caudales pequeños a costa de importantes depresiones, que se recuperan pronto con el régimen de lluvias pero que sin embargo no resuelven definitivamente el problema al ser drenado el acuífero por otros más profundos o adyacentes.

12.- CUENCA MEDIA Y BAJA DEL RIO JUCAR

12.1.- AMBITO DEL ESTUDIO

El área estudiada tiene una superficie aproximada de 32.000 km² y comprende la totalidad de las provincias de Valencia y Castellón, gran parte de la de Alicante y pequeñas zonas en Cuenca, Tarragona y Teruel.

Presenta dos zonas bien diferenciadas: litoral e interior. En la primera de ellas se concentra la mayor parte de la población, en núcleos urbanos importantes, así como la industria y la práctica totalidad de la agricultura en regadío.

Según el Mapa Nacional de Síntesis de Sistemas acuíferos se encuentran presentes en la zona los siguientes:

- Zona sur (Sistema 50)
- Plana de Valencia (Sistema 51)
- Macizo del Carocho (Sistema 52)
- Medio Turia (Sistema 53)
- Alto Turia (Sistema 54)
- Planas Vinaroz-Peñíscola y Oropesa-Torreblanca (Sistema 55)
- Sierra del Espadán y Plana de Castellón (Sistema 56)

12.2.- CARTOGRAFIA GEOLOGICA

Los distintos materiales del área de estudio se han agrupado, atendiendo a sus características geológicas e hidrogeológicas, para ofrecer como resultado un documento que dé una visión general de su permeabilidad.

En éste plano se distinguen cuatro tipos de formaciones, según su grado de permeabilidad:

- Formaciones de permeabilidad alta.- En éste grupo se incluyen los materiales de permeabilidad alta por fisuración (calizas y dolomías del Jurásico, dolomías del Muschelkalk, areniscas del Bunt y calizas del Cretácico en el sector S) y por porosidad (materiales detríticos del Terciario-Cuaternario). Estos últimos constituyen las Planas litorales de Castellón, Valencia, Vinaroz-Peñíscola, Oropesa-Torreblanca y Gandía-Denia.
- Formaciones de permeabilidad media.- Están constituidas por materiales cretácicos, en el sector N del área de estudio y al S dentro de la provincia de Alicante.
- Formaciones de permeabilidad media-baja.- Compuestas fundamentalmente por materiales miocenos. No obstante, bajo éstos ya cen terrenos del Mesozoico que permiten obtener caudales importantes.
- Formaciones de permeabilidad baja o nula.- Básicamente cons-

tituido por margas y arenas miocenas y materiales del Keuper, y Paleozoico.

12.3.- TEMPERATURA DEL AGUA SUBTERRANEA

La práctica totalidad del agua de la cuenca posee temperaturas que oscilan entre 18°C y 22°C.

No se dispone de datos en el sistema 54 ni en la zona no costera del Sistema 55, en los que cabe suponer temperaturas menores conocida su altitud sobre el nivel del mar.

12.4.- CALIDAD QUIMICA DE LAS AGUAS

Se ha calculado el grado de corrosión de las aguas del área de estudio. Para ello se han utilizado los análisis de treinta muestras de agua representativas de los distintos acuíferos.

Del estudio de los resultados se deduce que en general, son aguas medianamente corrosivas.

La calidad general de las aguas, deducida del estudio de los análisis de más de 200 puntos, es buena en la mayor parte del área de estudio.

La excepción la constituye la zona costera, sometida a contaminación urbana, industrial, agrícola e incluso marina. Esta última en las Planas de Vinaroz-Peñíscola, Oropesa-Torre blanca, Castellón y Gandía.

PUNTO Nº	Tº C	T.S.D. (mg/l)	Ca (mg/l)	CO ₃ H (mg/l)	pH	pHs	INDICE SATURACION Is = ph - pHs	INDICE RYZMAR IR = 2pHs - pH
28-32/3001	14	353	62	210	7,8	7,7	I	7,6 M.C.
28-32/7001	14	325	52	210	7,6	7,7	A	7,8 M.C.
28-32/8001	14	429	68	300	7,8	7,5	I	7,2 M.C.
28-33/3006	14	431	77	270	7,6	7,4	I	7,2 M.C.
29-30/7001	18	338	60	210	7,4	7,5	A	7,6 M.C.
29-32/1006	16	389	71	192	7,7	7,6	I	7,5 M.C.
29-32/5001	16	392	58	270	7,7	7,5	I	7,3 M.C.
29-32/6001	16	360	76	240	7,6	7,4	I	7,2 M.C.
30-31/6004	18	635	62	232	8,0	7,6	I	7,2 M.C.
30-33/2001	18	346	70	180	7,5	7,5	E	7,5 M.C.
28-30/4001	15	474	72	213	7,8	7,6	I	7,4 M.C.
29-26/6016	16	722	91	207	7,6	7,5	I	7,4 M.C.
29-27/6017	17	884	130	276	7,4	7,5	A	7,6 M.C.
29-28/5017	18	712	86	258	7,5	7,4	I	7,3 M.C.
29-29/7003	18	744	80	244	7,9	7,5	I	7,1 M.C.
29-30/5049	18	814	114	342	7,4	7,2	I	7,0 M.C.
28-30/6001	15	414	62	274	7,8	7,5	I	7,2 M.C.
28-31/3019	16	672	78	252	7,5	7,5	E	7,5 M.C.
26-27/7001	15	533	88	252	8,2	7,4	I	6,6 E
27-27/6007	15	438	75	234	8,1	7,5	I	7,0 M.C.
28-27/4001	16	754	132	234	8,0	7,3	I	6,6 E
28-28/1018	15	549	102	270	8,0	7,3	I	6,6 E
26-24/3001	14	362	63	174	7,4	7,7	A	8,0 M.C.
28-24/2001	14	717	133	159	7,7	7,5	I	7,3 M.C.
31-21/8004	14	501	97	300	7,7	7,3	I	6,9 M.C.
31-22/8043	17	466	90	240	7,5	7,4	I	7,3 M.C.
31-24/1024	16	548	76	240	7,5	7,5	E	7,5 M.C.
29-25/5016	16	566	112	216	7,5	7,4	I	7,3 M.C.
29-26/7038	17	813	148	240	7,6	7,3	I	7,0 M.C.
30-25/1026	18	537	89	180	7,9	7,5	I	7,1 M.C.

(*) I: Incrustante
A: Agresiva
E: Estable
MC: Medianamente corrosiva

12.5.- HIDROGEOLOGIA

CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DE LOS ACUIFEROS

Las formaciones permeables próximas a la costa, tanto las de carácter detrítico como las subyacentes calcáreas, son de gran interés, por concentrarse en ésta zona la mayor parte de la población, de la industria y la práctica totalidad de la agricultura de regadío.

- Los acuíferos detríticos más importantes los constituyen las Planas de Vinaroz-Peñíscola, Oropesa-Torreblanca, Castellón, Valencia y Gandía.

Los materiales que los forman son arenas, gravas, conglomerados y arcillas, con espesores importantes, que permiten obtener caudales de hasta 100 l/s. Los caudales específicos alcanzan valores de 50 l/s/m.

- Los acuíferos en formaciones calcáreas, fundamentalmente del Cretácico y Jurásico, son susceptibles de aportar caudales importantes.

En los sistemas Zona Sur y Macizo del Caroch se obtienen caudales de 150 l/s. Los caudales específicos son del orden de 10-30 l/s/m, alcanzando localmente los 50 l/s/m.

El sistema Medio Turia ofrece caudales importantes en captaciones, con caudales específicos de hasta 30-40 l/s/m. Por el contrario el sistema Alto Turia tiene escasa explotación, pequeños caudales y depresiones importantes, localizada en su sector más meridional.

Por último los sistemas Maestrazgo-Javalambre y Sierra del Espadán se encuentran poco explotados, a excepción de las Planas, obteniéndose pequeños caudales con fuertes depresiones.

CARACTERISTICAS QUIMICAS DE LOS ACUIFEROS

Atendiendo a su dureza y grado de mineralización, las aguas de la Cuenca Media y Baja del Júcar, son de dureza media y mineralización ligera en el interior.

En la franja costera resultan ser duras y de mineralización notable, con zonas en las que el agua es extremadamente dura y fuertemente mineralizada. Estas últimas corresponden a las planas de Vinaroz-Peñíscola, Oropesa-Torreblanca, Castellón y Gandía, y a un área situada al W de la Albufera.

El grado de corrosión de las aguas, en general, es medio.

12.6.- CAPITALS DE PROVINCIA INCLUIDAS EN LA ZONA

- CASTELLON

Se asienta sobre el acuífero detrítico de arenas y gravas miocuaternarias que constituye la unidad Plana de Castellón.

La naturaleza de estos materiales permite la obtención

de caudales a partir de obras de captación no necesariamente profundas.

Las aguas del Miocuaternario poseen facies sulfatadas cálcicas magnésica, con residuo seco entre 0,8 y 2 g/l y se ven afectadas localmente por contaminación de tipo agrícola, industrial y urbana.

La temperatura del agua oscila entre 18 y 21°C. Experimenta variaciones de acuerdo a la temperatura media ambiente.

- VALENCIA

El acuífero explotable bajo el subsuelo de Valencia capital es el denominado Plana de Valencia de carácter detrítico formado por gravas, conglomerados, arenas y arcillas que en conjunto ofrecen permeabilidad alta y permiten obtener caudales próximos a 100 l/s con pequeñas depresiones.

El agua presenta buena calidad con residuo seco entre 0,5 y 1 g/l y se define como dura y de mineralización notable.

La temperatura es del orden de 18-20°C con variaciones estacionales acusadas.

13.- CUENCA MEDIA Y BAJA DEL SEGURA Y COSTERAS DE ALICANTE

13.1.- AMBITO DEL ESTUDIO

El área estudiada tiene una superficie de unos 14.540km² y comprende gran parte de las provincias de Murcia (8613 km²) y Alicante (4640 km²), así como una pequeña extensión de las de - Almería (889 km²), Albacete (257 km²) y Valencia (141 km²).

Los numerosos acuíferos que existen en el área, se agrupan en las siguientes unidades hidrogeológicas:

- Cuaternario Segura-Guadalentín.
- Campo de Cartagena.
- Prebético de Murcia.
- Subbético de Murcia.
- Bético de Murcia.
- Terciario de Mula-Fortuna.
- Terciario de Torrevieja.
- Prebético de Alicante.

La mayoría de los acuíferos se encuentran en formaciones calizo-dolomíticas a excepción de los cuaternarios en formaciones detríticas más o menos consolidadas (Segura-Guadalentín, - Campo de Cartagena, Río Argos, Benidorm, Villajoyosa y Hoya de Castalla) y del acuífero Plioceno del Campo de Cartagena.

13.2.- CARTOGRAFIA GEOLOGICA

Los distintos terrenos geológicos se clasifican según su permeabilidad en cuatro grupos:

Terrenos muy permeables:

- Cuaternario.- Travertinos y gravas gruesas
- Plioceno-Mioceno.- Calizas y areniscas.
- Oligoceno.- Calizas y/o pudingas
- Eoceno.- Calizas, a veces arenosas.
- Cretácico Superior: Calizas y dolomías
- Jurásico.- Calizas, calizas oolíticas, dolomías y areniscas.

Terrenos permeables:

- Cuaternario.- Conglomerados y gravillas
- Plioceno-Mioceno.- Calizas (de algas, bioclásticas, - arenosas), conglomerados, areniscas y molasas.
- Cretácico.- Calizas margosas y/o arenosas
- Jurásico.- Calizas con silex.
- Triásico.- Calizas y dolomías.

Terrenos semipermeables:

- Eoceno.- Margas, arenas y areniscas.

- Cretácico.- Margas y margocalizas o margas y arenas
- Jurásico.- Margas, margocalizas, calizas nodulosas y -
con silex.

Terrenos impermeables:

- Cuaternario.- Arcillas y limos.
- Plioceno-Mioceno.- Margas
- Oligoceno.- Margas
- Triásico.- Facies KEUPER y areniscas
- Paleozoico.- Argilitas, cuarcitas, pizarras, filitas ,
micasquistos, etc.

13.3.- TEMPERATURA DEL AGUA SUBTERRANEA

Las manifestaciones termales son numerosas e importantes en la Cuenca. De hecho existen varias zonas con anomalías térmicas, que se citan a continuación:

- Cuaternario del Guadalentín (Baños de Alhama de Murcia y puntos de agua próximos).
- Triásicos de Carrascoy.
- Campo de Cartagena (proximidades del afloramiento triásico-dolomítico de Cabezo Gordo y en general por todo el campo). Las temperaturas alcanzan los 52°C.
- Terciario de Mula-Fortuna (Baños de Mula, Fortuna y Archena) con gradientes geotérmicos de 6°C/100m.
- Bético de Murcia, con anomalías en todos los sectores y gradientes geotérmicos que localmente llegan a 12°C/100 m.

13.4.- CALIDAD QUIMICA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

Las aguas de la cuenca presenta, en general, una agresividad media, como se deduce de los cálculos efectuados sobre diecisiete muestras distribuidas por todo el área estudiada, que se presentan en el cuadro adjunto.

Las áreas en que se manifiestan anomalías térmicas, presentan abundantes casos de gases en disolución, fundamentalmente CO_2 que altera las condiciones de equilibrio del agua, ante cambios de presión o temperatura. Para recuperar el equilibrio precipitará carbonatos de Ca-Mg, o se hará agresiva. Estas aguas, están por lo general, muy mineralizadas.

PUNTO Nº	Tº C	T.S.D. (mg/l)	Ca (mg/l)	Co ₃ H (mg/l)	pH	pHs	INDICE SATURACION Is = pH - pHs	INDICE RYZMAR IR = 2pHs - pH
821/120	15,5	354	44	213	7,7	7,7	E	7,7 M.C.
822/103	17	583	96	274	7,5	7,3	I	7,1 M.C.
845/102	15	572	48	189	7,7	7,8	A	7,9 M.C.
846/195	15	431	56	262	8,1	7,5	I	6,9 E
847/ 59	15	337	54	226	7,6	7,6	E	7,6 M.C.
848/ 14	18	311	56	207	7,7	7,5	I	7,3 M.C.
869/ 95	16	441	46	262	7,9	7,6	I	7,3 M.C.
870/220	16	411	44	207	7,6	7,7	A	7,8 M.C.
890/ 68	16	751	70	262	7,6	7,5	I	7,4 M.C.
910/ 8	13	747	106	262	7,4	7,4	E	7,4 M.C.
910/ 50	13	420	62	201	7,4	7,6	A	7,8 M.C.
911/ 67	16	688	104	268	7,8	7,4	I	7,0 M.C.
932/ 14	15	292	38	177	7,5	7,8	A	8,1 M.C.
934/609	18	678	4	165	8,5	8,9	A	9,3 A.C.
934/727	18	783	94	482	7,5	7,1	I	6,7 E
952/ 28	14.	290	30	189	7,9	7,9	E	7,9 M.C.
975/ 61	20	918	72	342	7,5	7,4	I	7,3 M.C.

(*) E: Estable
A: Agresiva
I: Incrustante
AC: Altamente corrosiva
MC: Medianamente corrosiva

13.5.- HIDROGEOLOGIA

CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DE LOS ACUIFEROS

Las formaciones permeables de carácter detrítico estudiadas en la zona, están presentes en las siguientes unidades:

a) Cuaternario del río Guadalentín.

Está constituido por gravas y arenas formando un sólo acuífero en la zona alta del Valle y otro multicapa en el resto. Se obtienen caudales entre 20 y 80 l/s con transmisividades que oscilan entre 70 y 300 m²/h.

b) Vegas del Segura

De los tres tramos en que se divide, el correspondiente a la Vega Alta ofrece las mejores características hidráulicas. Con transmisividades de 2000 m²/h, permite obtener caudales superiores a 100 l/s con depresiones menores de 5 m.

La Vega Media y Baja presentan asimismo buenas características, con transmisividad de 200 m²/h para el acuífero profundo que llega a 1200 m²/h en el acuífero bicapa. Los caudales que pueden extraerse llegan a los 100 l/s.

c) Campo de Cartagena

Se incluye aquí el Cuaternario y el Plioceno constituido éste último por molasas. El primero no se explota directamente, si bien puede estar comunicado con las formaciones permeables - inferiores. El Plioceno permite extraer caudales de 40 l/s.

d) Cuaternarios de menor extensión

Entre estos se cuenta el río Argos con caudales de 15-25 l/s y los de Villena, Benidorm y Hoya de Castalla para las que se ha calculado una transmisividad entre 30 y 300 m²/h.

Las formaciones permeables calcáreas poseen en general - buenas características hidráulicas.

A grandes rasgos, su descripción es como sigue:

a) Campo de Cartagena

El acuífero está constituido por calcarenitas bioclásticas del Andaluciense, de las que se obtienen caudales próximos a 40 l/s.

b) Bético de Murcia

Las calizas y mármoles del Alpujárride conforman el horizonte permeable en la zona. Los acuíferos son de escasa entidad debido a su excesiva compartimentación y desconexión hidráulica. Se obtienen caudales que oscilan entre 5 y 60 l/s, a costa de importantes depresiones que se traducen en descensos no recuperados.

c) Subbético de Murcia

Las calizas y dolomías del Lías son fundamentalmente - los materiales que forman los distintos acuíferos.

La transmisividad oscila entre 200 y 2800 m²/h y los caudales varían de 20 a 160 l/s.

d) Prebético de Murcia

Las calizas y dolomías del Cretácico y las calizas del Eoceno forman los almacenes más importantes del Prebético de Murcia.

El Cretácico permite obtener caudales importantes de 40 a 100 l/s que en el Eoceno se reducen a 15-40 l/s.

La transmisividad oscila entre 100 y 800 m²/h.

e) Prebético de Alicante

Está constituido en general por calizas y dolomías del Cretácico y Jurásico.

Existen zonas karstificadas. La transmisividad oscila entre 100 y 1000 m²/h, pudiendo obtenerse caudales de hasta 100 l/s.

CARACTERISTICAS QUIMICAS DE LOS ACUIFEROS

Para su definición se ha estudiado los análisis de puntos de agua correspondientes al inventario general y a la red de calidad establecida en la cuenca. Las conclusiones, por zo-

nas, son las siguientes:

a) Cuaternario del río Guadalentín

Alto Guadalentín.- Posee aguas duras y de mineralización notable. En el borde norte, pasan a ser muy duras y muy mineralizadas, observándose temperaturas de 25 a 28°C.

Bajo Guadalentín.- En general son aguas muy duras y muy mineralizadas, empeorando su calidad en el borde norte, próximo a yesos y arcillas miocenas.

b) Vega Alta del Segura

La zona central de la Vega posee aguas duras y mineralización notable, empeorando hacia los bordes, que pasa a muy dura-muy mineralizada.

c) Vega Media del Segura

En ésta zona tanto el cuaternario inferior cautivo, como el cuaternario superficial, ofrecen agua muy dura y muy mineralizada.

El cuaternario profundo superior (acuífero libre) posee agua de mejor calidad, clasificada como dura y de mineralización notable.

d) Vega Baja

La zona alta presenta características similares a la Vega Media. La zona baja sufre un problema de intrusión marina fósil que hace pésima la calidad del agua.

e) Campo de Cartagena

Acuíferos Triásicos.- Aguas muy duras, muy mineralizadas y termales; se miden 32-37°C en sondeos de la Sierra de las Victorias y del Cabecico del Rey.

Tortonense Septentrional.- Posee aguas duras y de mineralización notable, aptas para consumo humano.

Andalucense.- Aguas muy duras-muy mineralizadas y termales (21-30°C).

Plioceno-Tortonense meridional.- Presenta aguas muy duras-muy mineralizadas con temperaturas que llegan a 52°C en las proximidades del Cabezo Gordo.

Cuaternario.- Aguas muy duras-muy mineralizadas.

f) Bético de Murcia

Todas las formaciones permeables presentes en la zona - ofrecen aguas muy duras y muy mineralizadas, a excepción de la zona NE del sistema Cope-Calablanca, cuyas características son agua dura y mineralización notable.

g) Subbético de Murcia

Sector Nerpio-Archivel-Caravaca-Cehegín.- Posee en general aguas de dureza media y mineralización ligera a excepción - de los subsistemas Quipar, Sima y Argos cuyas aguas se clasifican como duras y de mineralización notable.

Sector Bullas-La Paca.- La mayor parte del sector tiene

aguas de dureza media y mineralización ligera salvo los sistemas de Ceperos, D. Gonzalo-La Paca y Marrajo en las que pasan a ser duras y de mineralización notable.

Sector Ricote-La Copa-Valentín.- Todos los subsistemas - incluidos en este sector, poseen aguas duras y de mineralización notable.

Sector Junquera-Moralejo-Tarragoya.- Salvo el sistema de Pocicas, cuyas aguas son muy duras y muy mineralizadas, los demás sistemas ofrecen aguas de dureza media y mineralización ligera.

Sector Velez Blanco-Fuentsanta.- El sistema del Gigante - tiene aguas de dureza media y mineralización ligera. Por el contrario las aguas del sistema Pericay-Luchena son muy duras y - muy mineralizadas.

Sector Mula-Aledo.- A excepción del Subsistema El Bosque cuyas aguas son de dureza media y mineralización ligera, los demás subsistemas ofrecen aguas muy duras y muy mineralizadas.

Las temperaturas de las surgencias más representativas - del sector son: Baños de Mula 37°C, Baños de Archena 40°C, Baños de Fortuna, 44°C.

En sondeos de investigación realizados en el sector se han medido temperaturas próximas a 70°C.

Crevillente.- Este sistema acuífero presenta agua de dureza media y mineralización notable.

h) Prebético de Murcia

De los cinco sistemas acuíferos que lo integran solo el de Quibas posee agua muy dura y muy mineralizada en el sector - Sur. El sector norte de éste sistema y del Carche-Salinas, al - igual que la totalidad de los restantes sistemas, (Sinclinal de Calasparra, Jumilla-Villena y Ascoy-Sopalmo) tienen aguas duras y de mineralización notable.

Por último, el sector sur del sistema Carche-Salinas, - permite obtener agua de dureza media y mineralización ligera.

i) Prebético de Alicante

Aguas de dureza media y mineralización ligera. Dentro de este grupo se encuentra la mayoría de los sistemas acuíferos - del área. Entre los de tipo calizo-dolomítico se encuentran los siguientes: Argueña-Maigmo, Barrancones-Carrasqueta, Sierra Mariola, Sierra Aitana, Carrascal-Ferrer, Serrella-Aixorta, Torre manzanas, Puig-Campana, Peña-Alhama y el sector oeste de la Depresión de Benisa.

Entre los detríticos figura el sistema Hoya de Castalla.

Aguas duras y de mineralización notable. Los sistemas incluidos en este grupo son: Anticlinales de Orcheta, Sector este de la Depresión de Benisa, Ventós-Castellar y Peñarrubia, todos ellos de naturaleza calcárea. También se incluye el sector más occidental del Cuaternario de Benidorm (Detrítico).

Aguas muy duras y muy mineralizadas. Los acuíferos que - responden a esta clasificación son: Sierra del Cid, Tosal del Reo, Monnegre y Cabezón de Oro, todos ellos calcáreos y el sector oriental, costero del Cuaternario de Benidorm, de naturaleza detrítica.

13.6.- CAPITALES DE PROVINCIA INCLUIDAS EN LA ZONA DE MURCIA

Se sitúan en el tramo alto de la Vega Media. Esta constituye un conjunto detrítico formado por gravillas y margas que alberga un acuífero superior freático, libre y otro inferior continuo que en el entorno de Murcia capital se convierte por efecto de una capa arcillosa, en dos, de los cuales el superior tiene una potencia entre 40 y 80 m. La potencia del manto freático es de 10-20 m de limos, margas arenosas y arenas arcillosas.

El conjunto formado por los acuíferos freáticos y profundo superior posee un valor de permeabilidad horizontal media igual a $2,5-3.10^{-3}$ m/s. y valores de transmisividad que oscilan entre 300 y 1200 m²/h que posibilitan la obtención de caudales importantes.

El agua del acuífero superficial se define como muy dura y muy mineralizada ($2 < RS$ g/l) mientras que la del profundo superior es dura y de mineralización notable ($1,5 < RS < 1,8$ g/l).

- ALICANTE

Situada sobre terrenos margosos de gran espesor no presenta ningún interés.

14.- CUENCA DEL GUADALQUIVIR

14.1.- AMBITO DEL ESTUDIO

El área de estudio tiene una superficie de 68.321 km² y comprende las cuencas de los ríos Guadalquivir, Guadalete, Barbate, Tinto, Odiel y Piedras.

Comprende en todo o en parte todas las provincias de Andalucía.

Las capitales situadas dentro del área son Huelva, Cádiz, Sevilla, Córdoba, Jaén y Granada.

Existen numerosos acuíferos en la cuenca que se agrupan en catorce sistemas, conforme a la clasificación establecida en el Mapa de Síntesis de Sistemas Acuíferos, que se realicionan a continuación:

- Acuíferos de la Meseta.
- S.A. Ayamonte-Huelva.
- S.A. Mioceno transgresivo.
- S.A. Almonte-Marismas.
- S.A. Ecija-Arahal-Porcuna.
- S.A. Ubeda-Rumblar.
- S.A. Calizas Alto Guadalquivir-Jaén-Cabra.
- S.A. Cuenca Alta Guadiana Menor.
- S.A. Dolomías Béticas.
- S.A. Depresiones Guadix-Baza y Granada.

- S.A. Calcáreos Cuenca Alta Genil.
- S.A. Costeros de Cádiz.
- S.A. Asociados a los ríos Guadalete y Barbate.

14.2.- CARTOGRAFIA GEOLOGICA

Se ha asignado a cada acuífero de la cuenca un valor de permeabilidad en base a los múltiples datos que se poseen, obtenidos de bombeos de ensayo.

En general poseen buenas características hidráulicas que permiten la obtención de caudales interesantes.

Los materiales acuíferos detríticos ocupan el 63% de la superficie total de acuíferos. Los materiales permeables que los componen son los siguientes:

- Mioceno transgresivo.- Gravas, conglomerados, arenas y areniscas.
- Mioceno superior.- Arenas, areniscas y calcarenitas.
- Plioceno.- Calizas, margocalizas, gravas y limos.
- Cuaternario.- Gravas, conglomerados, arenas y limos.

Los acuíferos carbonatados están constituidos por calizas, dolomías y mármoles desarrollados en el ámbito de las Cordilleras Béticas (Prebético, Subbético y Bético).

Los materiales permeables se localizan en:

- Dominio Prebético.- Lías y Cenomanense.
- Dominio Subbético.- Lías.
- Dominio Bético.- Permotrias y Trias Alpujarride.

14.3.- TEMPERATURA DEL AGUA SUBTERRANEA

La temperatura media de las aguas subterráneas de la cuenca oscila entre 18 y 22°C y varían sensiblemente influenciadas por la temperatura media ambiente, dado que en muchos casos el nivel estático se sitúa próximo a la superficie topográfica.

Existen numerosas manifestaciones termales entre las cuales las más significativas son: Alhama de Granada (40-49°C), Baños de Graena (40°C), Jabalcón (37-40°C), Baños de Zújar (37°C), Sierra Elvira (34°C), Alicún de las Torres (34°C), Los Bañuelos (32°C), La Malá (30°C), Sanlúcar la Mayor (29°C) y Jabalcruz (24°C).

14.4.- CALIDAD QUIMICA DE LAS AGUAS

La mejor calidad de agua la ofrecen los acuíferos calcáreos que presentan dureza media y mineralización ligera.

Los acuíferos detríticos poseen agua dura y mineralización notable a excepción del Almonte-Marismas cuyas características son dureza media y mineralización ligera.

El grado de corrosión, calculado sobre varias muestras distribuidas por el área de estudio, es en general medio, como se deduce de los resultados obtenidos que figuran en el cuadro adjunto.

PUNTO Nº	Tº C	R.S. (mg/l)	Ca (mg/l)	Co ₃ H (mg/l)	pH	pHs	INDICE DE SATURACION Is = pH - pHs	INDICE DE RYZMAR IR = 2pHs - pH
12-39/5009	21	835	178	171	7,7	7,3	I	6,9 E
12-39/7009	22	265	40	102	8,0	7,9	I	7,8 M.C
12-39/8016	23	505	23	276	7,9	7,7	I	7,5 M.C
13-40/2011	15	560	52	384	7,7	7,5	I	7,3 M.C
13-40/2049	16	500	76	123	7,6	7,8	A	8,0 M.C
13-48/1002	16	712	96	317	7,4	7,4	E	7,4 M.C
14-41/1004	19	641	130	180	7,4	7,4	E	7,4 M.C
14-41/2002	18	360	52	137	7,8	7,8	E	7,8 M.C
14-42/6001	20	370	108	204	7,5	7,3	I	7,1 M.C
14-43/2002	18	519	96	366	7,4	7,2	I	7,0 M.C
14-43/6005	17	494	72	293	7,8	7,4	I	7,0 M.C
15-39/1004	13	645	122	216	7,4	7,4	E	7,4 M.C
15-39/2006	14	660	120	139	7,6	7,6	E	7,6 M.C
15-41/2001	15	555	92	153	7,7	7,6	I	7,5 M.C
15-42/4025	17	449	62	275	7,9	7,7	I	7,5 M.C
16-39/3004	17	600	74	372	8,0	7,4	I	6,8 E
18-36/4012	21	400	90	156	7,7	7,5	I	7,3 M.C
19-35/6027	14	460	70	366	7,9	7,4	I	6,9 E
21-41/1022	16	105	20	39	7,5	8,6	A	9,7 C

(*) I: Incrustante
A: Agresiva
E: Estable
MC: Medianamente corrosiva
C: Muy corrosiva

14.5.- HIDROGEOLOGIA

CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DE LOS ACUIFEROS

Los acuíferos están integrados en las tres grandes unidades definidas como Meseta, Cordilleras Béticas y Depresión del Guadalquivir.

Por su extensión predominan los detríticos sobre los calcáreos.

Los acuíferos de la Meseta son calcáreos, aislados, de pequeña extensión, baja permeabilidad e interés puramente local. Permiten obtener caudales de 5 a 10 l/s.

Las Cordilleras Béticas, dada su complicada estructura, albergan numerosos acuíferos de tipo calizo-dolomítico que en ocasiones presentan karstificación. En términos generales poseen valores de permeabilidad entre media y alta.

La transmisividad, calculada en función de datos obtenidos en bombeos de ensayo, oscila entre 10^{-1} y 10^{-3} m²/s.

Sus características hidráulicas hacen posible la obtención de caudales interesantes que en la sierra de Cazorla llegan a 50 l/s.

Los acuíferos detríticos de la Depresión del Guadalquivir y de las Depresiones Internas de las Béticas presentan muy buenas características hidráulicas y permiten la extracción de caudales que pueden sobrepasar los 100 l/s.

Por último las Depresiones de Guadix-Baza, Granada y Ronda, de carácter detrítico y permeabilidad media y medibaja, ofrecen la posibilidad de caudales interesantes.

CARACTERISTICAS QUIMICAS

Las aguas de la cuenca son, en general, de buena calidad. Las mejores características las poseen los acuíferos calcáreos, cuyas aguas se definen como de dureza media y mineralización ligera. La excepción la constituyen las Sierras de Orce y Baza y los acuíferos cámbricos de la Meseta que ofrecen agua dura con mineralización notable.

Entre los detríticos la mejor calidad se da en los acuíferos Almonte-Marismas, Arcos-Bornos-Espera, Rumblar, Depresión de Guadix y Detrítico de Ronda, con aguas de dureza media y mineralización ligera. De igual dureza y mineralización notable son las aguas de los acuíferos Huescar-Puebla, Bailén-Guarrmán, Ayamonte-Morón-Marchena, Puerto Real-Conil y Vejer-Barbate.

Como aguas duras y de mineralización notable se definen las del Aluvial del Guadalquivir, Altiplanos de Ecija, Porcuna, Lebrija, Llanos de Villamartín, Depresiones de Baza y Granada y Mioplioceno de Granada.

El Aluvial de la Cuenca Baja del Genil y los acuíferos Ubeda, Jerez, Cúllar-Baza y Jabalcón poseen aguas duras y fuer

temente mineralizadas.

Por último se detectan aguas muy duras y de fuerte mineralización en el aluvial de los ríos Tinto, Odiel, Piedras y Guadalete y en los acuíferos costeros de Chipiona y Pto. de Sta. María, así como en zonas costeras del Ayamonte-Huelva y Almonte-Marismas, debido a intrusión marina tanto fósil como reciente.

14.6.- CAPITALAS DE PROVINCIA INCLUIDAS EN LA ZONA

- HUELVA

Está situada en el aluvial de los ríos Tinto y Odiel, formado por arenas, gravas y limos cuaternarios.

La calidad de las aguas del aluvial es mala. Posee facies clorurada sódica, es extremadamente dura y de mineralización notable. Localmente se observan la existencia de intrusión salina.

- SEVILLA

Está situada sobre los afloramientos de cantos rodados arenas y arcillas del Cuaternario y areniscas Miocenos, cuyo espesor puede superar los 50 m. La transmisividad de estos materiales presentan valores comprendidos entre $5 \cdot 10^{-3}$ y $8 \cdot 10^{-4}$ m²/s que permite obtener caudales moderados.

Poseen un residuo seco inferior a 0,5 g/l y se definen como aguas de dureza media y mineralización ligera a notable.

La temperatura del agua es de 18-20 °C.

- CORDOBA

Se asienta sobre materiales calcáreos y calizas del Mioceno junto al aluvial del Guadalquivir, compuesto por gravas, cantos, arenas, conglomerados y limos cuaternarios.

Presumiblemente puede obtenerse caudales moderados a escasa profundidad.

La calidad del agua queda definida como dura y de mineralización notable.

- JAEN

Se encuentra sobre un paquete muy potente de margas, margocalizas y calizas margosas, por lo que en principio hay que pensar en pocas posibilidades de utilización de la bomba de calor con aguas subterráneas poco profundas.

- GRANADA

Se localiza sobre el acuífero denominado Vega de Granada que corresponde a un relleno de materiales detríticos del Cuaternario, Mioceno y Plio-Cuaternario, constituidos por cantos, gravas, arenas y limos que conforman acuíferos libres.

Los valores de transmissiavidad superan los 10^{-2} m²/s. En general presentan buenas características hidráulicas que permiten la obtención de caudales interesantes.

El agua tiene un residuo seco normalmente inferior a 0,5 g/l.

- CADIZ

Los materiales aflorantes en su entorno corresponden al Plioceno, constituido por arenas amarillentas en su tramo inferior y por areniscas y calizas areniscosas el superior.

La situación de la capital, sobre una barra de terreno que se adentra en el mar, impide el aprovechamiento del agua subterránea dada su pésima calidad.

15.- CUENCA SUR DE ESPAÑA

15.1.- AMBITO DEL ESTUDIO

La Cuenca Sur de España se extiende desde Algeciras hasta el límite con la región murciana y ocupa la casi totalidad de las provincias de Málaga y Almería y una pequeña parte de las de Cádiz, Granada y Murcia.

Está situada a lo largo de la costa y presenta un relieve muy accidentado hacia el interior, lo que produce su división en numerosas y pequeñas subcuencas hidrográficas con pronunciadas pendientes.

Los sistemas hidrogeológicos que existen en la cuenca son los siguientes:

SECTOR OCCIDENTAL (Málaga)

- Sistema 34.- Cuaternario y Plioceno del C. de Gibraltar.
- " 35.- Detrítico de Ronda
- " 36.- Mesozoico calizo-detrítico de la Serranía de Ronda.
- " 37.- Guadalhorce Bajo
- " 38.- Sierra Blanca y Sierra de Mijas
- " 39.- Detrítico de Antequera
- " 40.- Mesozoico calizo-dolomítico de Sierra del Torcal-Sierra Gorda.
- " 41.- Sierra Tejeda-Almijara
- " Acuífero de Cuaternarios costeros

SECTOR ORIENTAL (Almería)

Sistema 42.- Sierras de Gádor y Alhamilla

- " 43-1.- Campo de Dalías
- " 43-2.- Delta del Adra
- " 44-1.- Valle del Andarax
- " 44-2.- Campo de Níjar
- " 44-3.- Campo de Tabernas
- " 45.- Cuevas de Almanzona-Vera
- " 46.- Los Gallardos-Macael

La superficie total de la zona estudiada es de 18.400 km² de los cuales 9.950 km² corresponden al sector occidental y - 8.450 km² al oriental. El río Adra constituye el límite entre - ambos sectores.

15.2.- CARTOGRAFIA GEOLOGICA

Los distintos terrenos geológicos del sector occidental se han agrupado según su permeabilidad, en la forma siguiente:

- Formaciones permeables carbonatadas:

Jurásico y Triás Alpino.- Calizas, dolomías y mármoles.

- Formaciones permeables detriticas:

Cuaternario y Pliocuaternario.- Conglomerados, travertinos, gravas y arenas.

Plioceno.- Conglomerados, gravas, arenas y calizas.

Mioceno.- Calcarenitas, areniscas y conglomerados.

- Formaciones semipermeables:

Mioceno.- Arenas, yesos y calizas.

Oligoceno-Eoceno-Cretácico-Jurásico.- Margocalizas y arenas.

- Formaciones impermeables:

Triás.- Yesos, margas y arcillas.

Permotriás.- Filita y cuarcitas.

Paleozoico.- Esquistos, pizarras y cuarcitas

Rocas ígneas: Peridotitas.

La clasificación de terrenos en el sector oriental se ha hecho en base a los siguientes criterios:

- Formaciones permeables carbonatadas:

Triás Alpino y Permotriás.- Calizas, dolomías y mármoles.

- Formaciones permeables detríticas:

Cuaternario y Pliocuatnario.- Conglomerados, gravas y arenas.

Plioceno y Mioceno.- Calcarenitas, conglomerados, arenas, areniscas, calizas arrecifales y yesos.

- Formaciones semipermeables:

Plioceno y Mioceno.- Margas arenosas, areniscas y facies "FLYCH".

- Formaciones impermeables:

Triás Alpino.- Filitas y cuarcitas

Paleozoico.- Esquistos y rocas volcánicas indiferenciadas.

15.3.- TEMPERATURA DEL AGUA SUBTERRANEA

La temperatura del agua medida en la Cuenca Sur se ajusta, en términos generales, a los criterios expuestos anteriormente.

En el sector oriental, no obstante, se aprecian bastantes anomalías térmicas ligadas a numerosas fallas verticales de gran penetración.

Se han efectuado 110 medidas de temperatura del agua en este sector, que corresponden a manantiales, galerías y sondeos de distintas profundidades.

El resultado de la observación se resume en el siguiente cuadro.

NATURALEZA DE LA OBRA	PROFUNDIDAD (m)	VARIACION DE LAS TEMPERATURAS (°C)
Manantiales Galerías	-	12 - 27
Sondeos	0 - 150	20 - 31
Sondeos	150 - 250	23 - 36
Sondeos	> 250	19 - 40

15.4.- CALIDAD QUIMICA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

Los cálculos efectuados sobre varias muestras de agua en toda la cuenca ponen de manifiesto, en general, su escasa agresividad.

Sólo en el sistema acuífero número 42, Sierra de Gádor, se detectan algunas muestras cuyo índice de corrosión está comprendido entre 7,6 y 8,4 que permite clasificarlas como aguas medianamente corrosivas e incluso corrosivas.

Los cálculos se ofrecen en el cuadro adjunto.

La calidad general es buena en los acuíferos calcáreos, con agua de dureza media y mineralización ligera. Los acuíferos detríticos presentan peor calidad, con aguas duras de mineralización notable, que en algunas zonas pasan a ser muy duras y fuertemente mineralizadas.

$$I_R = 2pH_s - pH$$

SISTEMA	PUNTO	T °C	R. S. (mg/l)	Ca (mg/l)	CO ₃ H (mg/l)	pH	pHs	INDICE DE SATURACION Is = pH - pHs	INDICE DE RYZMAR
37	1644/7016	20	756	107	312	8,1	7,2	I	6,3
	1644/7019	19	862	117	336	8,0	7,4	I	6,8
	1744/5171	19	800	85	444	7,9	7,2	I	6,5
	1744/5191	19	764	22	192	8,1	8,1	E	8,1
	1745/1133	18	676	26	204	8,0	8,0	E	8,0
	1745/1134	19	744	85	318	7,7	7,4	I	7,1
39	1642/2126	19	640	132	288	8,3	7,2	I	6,1
	1642/2227	18	696	143	288	7,7	7,1	I	6,5
	1642/3009	23	468	101	312	8,0	7,1	I	6,2
	1642/4053	18	740	128	240	7,9	7,3	I	6,7
	1642/6018	21	732	163	252	7,8	7,1	I	6,4
	1742/2086	19	304	83	276	7,8	7,3	I	6,8
Cuaternario Vélez	1844/1090	20	266	54	180	7,9	7,6	I	7,3
	1844/5007	19	542	81	222	7,8	7,5	I	7,2
42	1	14	256	43	140	7,8	7,9	A	8,0
	6	16	447	43	220	8,5	7,8	I	7,1
	7	21	332	39	189	7,4	7,9	A	8,4
	19	16	483	59	323	7,5	7,5	E	7,5
	39	19	351	48	232	7,6	7,6	E	7,6
43	37	24	529	46	238	7,5	7,6	A	7,7
	44	28	498	50	262	8,0	7,4	I	6,8
44	27	22	679	90	360	7,3	7,2	I	7,1
	28	24	640	71	421	8,2	7,2	I	6,2
	29	24	707	96	360	7,1	7,1	E	7,1
	55	25	752	72	292	7,1	7,3	A	7,5
	58	15	832	79	274	8,1	7,4	I	6,7
	68	27	879	102	256	7,1	7,3	A	7,5
	73	37	832	71	238	7,3	7,3	E	7,3

(*) I: Incrustante
A: Agresiva
E: Estable

15.5.- HIDROGEOLOGIA

CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DE LOS ACUIFEROS

Los acuíferos estudiados en la Cuenca Sur son fundamentalmente de dos tipos: Formaciones calcáreas (calizas, dolomías y mármoles) que presentan permeabilidad por fisuración y/o karstificación y formaciones detríticas (conglomerados, calcarenitas, gravas, arenas, areniscas), con permeabilidad por porosidad intergranular.

Sector Occidental

Las tres cuartas partes del agua extraída para bombeo en éste sector proceden de los acuíferos detríticos, con caudales puntuales que van desde menos de 10 l/s en el detrítico de Ronda, hasta 150 l/s en el cuaternario del Guadalfeo, pasando por los 10 - 50 l/s del Campo de Gibraltar y 20 - 80 l/s en el detrítico de Antequera.

La transmisividad calculada en los acuíferos detríticos es variable a causa de la heterogeneidad de los materiales que los componen.

Estos valores son de 5 a 100 m²/h en el Cuaternario del Guadalfeo, entre 360 y 720 m²/h en el sistema detrítico de Antequera y llegan a 1000 m²/h en el Aluvial de Vélez.

Los acuíferos calcáreos están poco explotados por bombeo no obstante sus buenas características hidráulicas, que permiten obtener caudales superiores a 100 l/s.

La transmisividad calculada mediante datos de bombeos de ensayo oscila entre 350 m²/h en las Sierras Blanca y Mijas y 3.000-10.000 m²/h en Sierra Gorda.

Sector Oriental

Al igual que en el Sector Occidental, existen dos tipos de acuíferos, calcáreos y detríticos. De éstos últimos se extrae cerca del 80% de los caudales bombeados.

En general, todas las unidades hidrogeológicas estudiadas poseen buenas características hidráulicas.

Las formaciones calcáreas permiten obtener caudales elevados en general, 25-60 l/s en el Alto Almanzora, 45-130 l/s en Sierra de Gádor y 50-200 l/s del acuífero inferior calcáreo del Campo de Dalías.

Las transmisividades oscilan entre 10-15 m²/h en Sierra de Gádor y 2000-3000 m²/h en el Campo de Dalías. Se obtienen caudales específicos entre 3 y 50 l/s m.

Las formaciones detríticas ofrecen asimismo buenas posibilidades, ya que los caudales obtenidos se sitúan entre 20 y 80 l/s con transmisividades desde 15-35 m²/h en el Campo de Mijas hasta 500 m²/h en el Campo de Dalías.

Los caudales específicos son del orden de 2-40 l/s m.

CARACTERISTICAS QUIMICAS DEL AGUA

Sector Occidental

Los acuíferos calcáreos presentan mejor calidad de agua que los detríticos, en términos generales y conforme a la clasificación de NOISSETTE.

El agua ligada a las formaciones carbonatadas es de buena calidad, con dureza media, mineralización ligera y bajo poder de corrosión.

Los acuíferos detríticos ofrecen aguas duras y de mineralización notable con las siguientes excepciones:

Detrítico de Ronda: Agua de dureza media y mineralización ligera en general, con algunas zonas (entorno de Ronda ciudad y borde W del sistema) en las que pasa a dura y de mineralización notable.

Detrítico de Antequera: Agua dura de mineralización notable, - salvo en el borde Sur del sistema que presenta aguas muy duras y fuertemente mineralizadas. En el límite Norte - próximo a afloramientos calcáreos el agua es de dureza media y mineralización ligera.

Detrítico de Málaga: Agua dura y mineralización notable en general. En la margen izquierda del río Guadalhorce las aguas son muy duras y con fuerte mineralización.

Cuaternario de Vélez: Zona Sur, agua dura y mineralización notable. Zona Norte, agua de dureza media y mineralización ligera.

Sector Oriental

Los acuíferos albergados en formaciones carbonatadas poseen agua de dureza media y mineralización ligera (Sierras de Gádor y Alhamilla y Unidad calizo-marmórea de los Gallardos-Macael) con algunas zonas en ésta última unidad en la que el agua pasa a ser dura y de mineralización notable.

En las Sierras de Gádor y Alhamilla el agua tiene un grado medio de corrosión.

Los acuíferos detríticos tienen aguas de peor calidad.

Las aguas del Campo de Dalias son duras y muy duras con mineralización notable y muy mineralizadas.

El sistema detrítico de Almería-Campo de Níjar-Campo de Tabernas presenta aguas de mineralización notable y duras, con algunas zonas en que pasan a ser muy duras y de fuerte mineralización (Campo de Níjar y Cuenca Baja del Andarax).

El detrítico de Cuevas de Almanzora-Vera ofrece en general la peor calidad de agua, muy dura y fuertemente mineralizada, con la excepción del tramo Alto Almanzora en que el agua es dura y de mineralización notable.

15.6.- CAPITALS DE PROVINCIA INCLUIDAS EN LA ZONA

- MALAGA

Está situada en el Bajo Guadalhorce y los niveles permeables son el acuífero cuaternario y el Plioceno. El primero de ellos, compuesto por arenas gravas, limos y arcillas, tiene

una potencia media de 15 m. El Plioceno está constituido por gravas y arenas con potencia variable entre 15 y 40 m.

Ambos acuíferos poseen buenas características hidrodinámicas y permiten obtener caudales interesantes.

Sus aguas, en general, presentan valores de residuo seco entre 0,7 y 1,5 g/l y 30-55°F de dureza.

- ALMERIA

Los materiales sobre los que se asienta la ciudad son de carácter detrítico (aluvial del cauce y Pliocuaternario).

El primero tiene una potencia entre 20 y 50 m mientras que el segundo posee un espesor que oscila entre 20 m en los pies de monte y 300 m en el centro del valle.

Pueden extraerse caudales de 15 l/s.

El agua posee mala calidad y presenta valores de conductividad entre 2.000 y 5.000 mhos/cm.