

Obtención de parámetros para el aprovechamiento geotérmico a partir de datos hidrogeológicos

B. Mezquita¹ y J. Escuer¹

¹ Geoconsultores Técnicos y Ambientales. C/Príncipe de Viana, 11. 25004. Lleida. renovables@geoconsultores.org

Resumen: Los materiales acuíferos que forman el subsuelo son capaces de almacenar agua entre sus poros y fisuras. Estos materiales también son capaces de almacenar o ceder calor, que es transmitido al agua que circula por ellos. Esta característica ha permitido realizar un seguimiento de las temperaturas obtenidas en diferentes muestreos de agua subterránea ubicados en varias masas de aguas subterráneas de la Cataluña occidental. Los resultados obtenidos muestran una variabilidad térmica entre el medio subterráneo y el aire que nos rodea, que se hace más notable en los meses de picos de temperatura. Los pozos de muy poca profundidad se encuentran mayormente influenciados climáticamente y sus temperaturas varían de forma estacional y a medida que la profundidad aumenta, el calor almacenado depende de las características térmicas de los materiales que forman el subsuelo.

Palabras clave: Temperatura, agua subterránea, profundidad, calor.

1-INTRODUCCION

El subsuelo es capaz de almacenar agua entre sus poros y fisuras, constituyendo acuíferos. Como bien es sabido, las rocas y minerales tienen propiedades térmicas que permiten el almacenaje de calor de forma subterránea. Las observaciones de diversos estudios demuestran que la temperatura media en el subsuelo somero se mantiene casi constante a lo largo del año y alrededor de los quince grados en las primeras decenas de metros de profundidad en nuestras latitudes.

Aunque los primeros metros bajo la superficie son los más susceptibles de sufrir cambios en las distintas estaciones del año, si comparamos la temperatura a esa profundidad con la ambiental en el mismo instante, ésta resulta ser más baja en los meses cálidos y más alta en los meses fríos que la del aire que nos rodea, debido a la inercia estacional del subsuelo.

En la actualidad, las instalaciones geotérmicas someras con bomba de calor requieren un adecuado diseño de sus colectores especialmente en el caso de los sondeos verticales debido a su costo. Los datos aquí aportados permiten un mayor conocimiento local de la zona estudiada con respecto a sus características geotérmicas someras lo que es de especial interés en el diseño detallado de colectores verticales para instalaciones de bomba de calor geotérmica.

2-CONTEXTO Y SITUACIÓN

La zona de estudio, situada en Cataluña, abarca diversas comarcas de la provincia de Lleida (la Noguera, Urgell, Segriá, Pla de Urgell y la Segarra) y algunos puntos de las provincias de Barcelona (Anoia) y Tarragona (Conca de Barberà). También se han realizado medidas en un punto de la provincia de Huesca, limítrofe con Lleida.

Hidrogeológicamente, los puntos medidos pertenecen a las terrazas y aluviales del Bajo Segre y del Noguera Ribagorzana, del Pla de Urgell y de las calizas de Tárrega. Clasificados como masas de agua números 47, 48 y 49, respectivamente, según la Agencia Catalana del Agua, y como unidades hidrogeológicas 206, 210 y 211 según el mapa de áreas hidrogeológicas de Cataluña, escala 1:250.000.

En el contexto geológico, nos hallamos en la parte catalana de la cuenca sedimentaria del Ebro que, a gran escala, esta constituida por una potente serie de arcillas, areniscas, calizas y margas de edad terciaria. Las masas de agua clasificadas se encuentran formadas por sistemas acuíferos de varias

litologías. Las gravas y materiales finos aportados por los ríos se encuentran en las tres masas y en el caso de la masa 49 también aparecen las calizas.

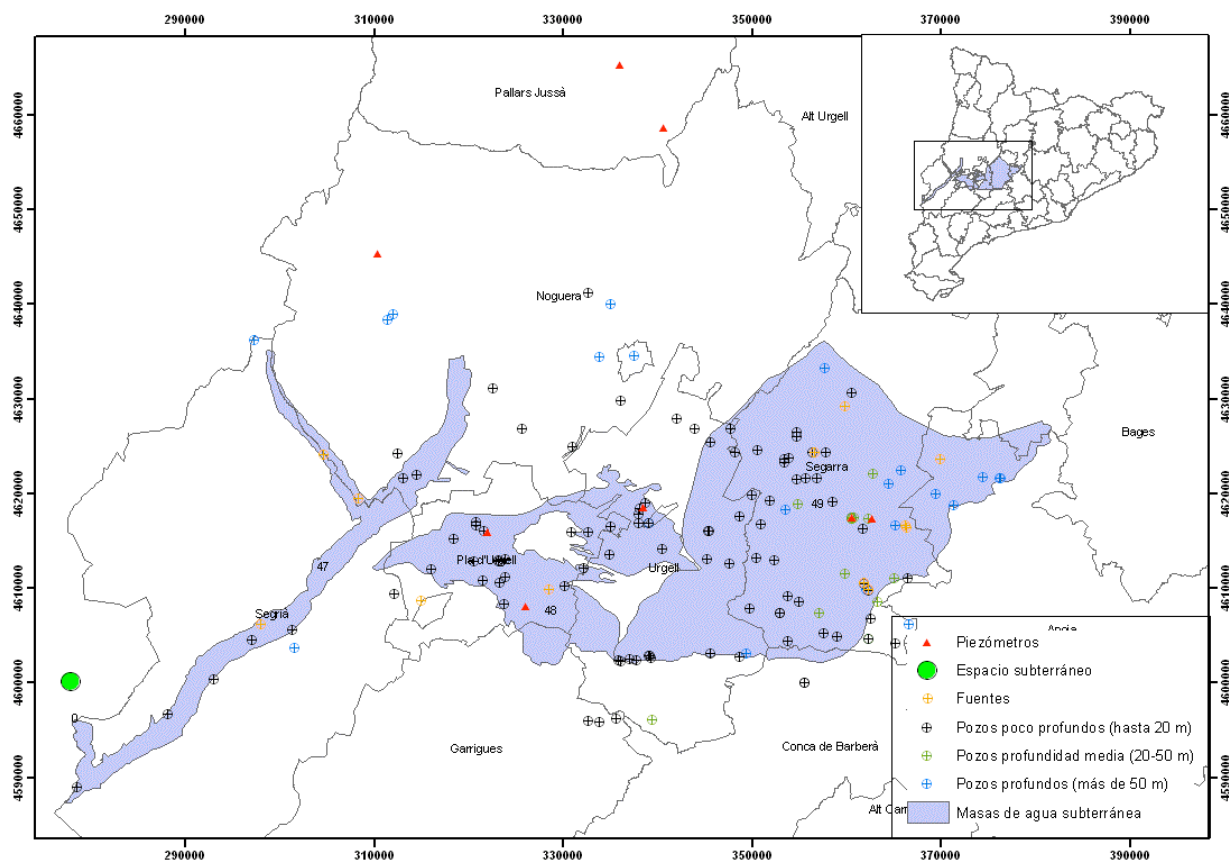


Figura 1. Situación de la zona de estudio y los puntos de control de la red de muestreo de la Agencia Catalana del Agua. En color se han representado las masas descritas según la Agencia Catalana del Agua

3- DESARROLLO Y METODOLOGIA

El estudio se ha basado, principalmente, en el estudio de la capacidad del agua de absorber el calor del medio que la rodea mediante conducción. El medio subterráneo se encuentra a cierta temperatura que, en el caso de los materiales acuíferos, se conduce al agua que almacenan entre sus poros o fisuras. La conductividad térmica de las rocas se ve aumentada significativamente por la presencia de agua entre sus poros o fisuras, tal como se observa en la tabla siguiente:

TIPO DE ROCA	SECA			SATURADA		
	MÍNIMA	MEDIA	MÁXIMA	MÍNIM	MEDIA	MÁXIMA
Dolomita	4,22	4,71	5,09	4,99	5,26	5,53
Caliza	2	2,97	4,41	2,22	3,18	5,16
Limolita	2,56	2,67	2,78	2,87	2,9	2,93
Arenisca	1,56	2,57	3,86	2,34	3,2	4,16
Conglomerado	2,51	2,91	3,24	3,49	3,64	3,76

Tabla I. Valores de conductividad termal para diferentes rocas sedimentarias en condiciones secas y saturadas. Los valores se expresan en $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$. Fuente: *Physical Proprieties of Alpine Rocks: A Laboratory Investigation*. Gong, G. University of Geneva.

Geoconsultores ha realizado el registro sucesivo de estas temperaturas, tomando también las ambientales en el mismo lugar y momento, en varios piezómetros de la provincia de Lleida. Para ello se han aprovechado los datos recogidos en las diferentes campañas de muestreo para la *Agencia Catalana del Agua*. Con ello se ha realizado un estudio de las variaciones térmicas a nivel subterráneo en comparación con las ambientales. Además, se han anotado, de forma periódica, la temperatura ambiental exterior e interior de un espacio subterráneo ubicado en el aluvial del Cinca, en la zona limítrofe con Cataluña. El aluvial del Cinca se encuentra conectado con el del Segre y los materiales que lo forman son del mismo origen considerándose correlacionables.

Para la evaluación de temperaturas, se han escogido los puntos en los que el agua subterránea se extrae mediante bomba sumergida, ya que ésta la toma de la zona más profunda de la perforación, por lo que su temperatura es más representativa. El siguiente paso ha consistido en clasificar los puntos de agua según sus profundidades, ya que la temperatura depende de la profundidad a la que se esté tomando el parámetro y se pretende observar este cambio. Hasta los 20 metros se consideran *muy poco profundos* y las temperaturas del subsuelo están condicionadas por los cambios climáticos estacionales. En los pozos *poco profundos*, de 20 a 50 metros, son más o menos constantes y entre los 15 - 17°C, y en los *profundos*, de más de 50 metros, la temperatura estará influida del gradiente geotérmico de la Tierra (0.03°C/metro).

En las figuras 2, 3 y 4 se representan las temperaturas tomadas del agua subterránea en los puntos de control durante diferentes muestreos entre los años 2006 y 2009. Se puede observar que para las aguas más superficiales se observa mayor influencia climática, donde las temperaturas del mes de junio son las más elevadas en todos los casos. En el caso de los pozos *poco profundos*, los valores tomados se encuentran con poca variación térmica y en los *profundos*, aunque sí hay varios grados de diferencia entre un muestreo y otro para un mismo punto, los valores máximos no se dan en un período específico del año. En algunos de estos puntos se han observado anomalías térmicas debido a su situación en el contexto geológico.

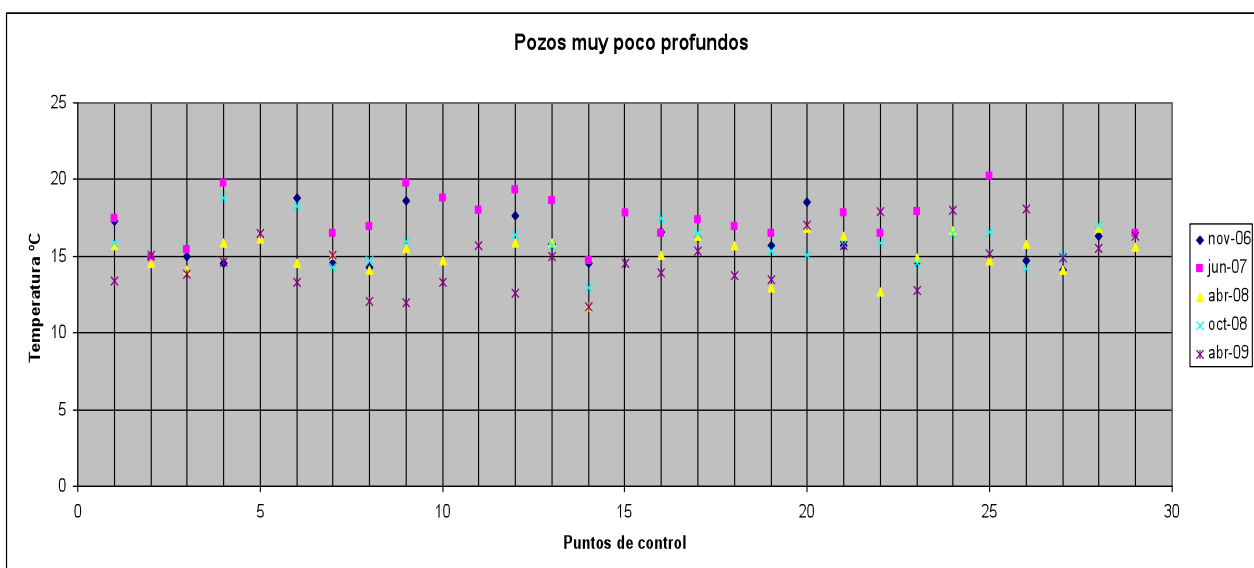


Figura 2. Gráfico en el que se representa la temperatura del agua subterránea tomada en los pozos muy poco profundos.

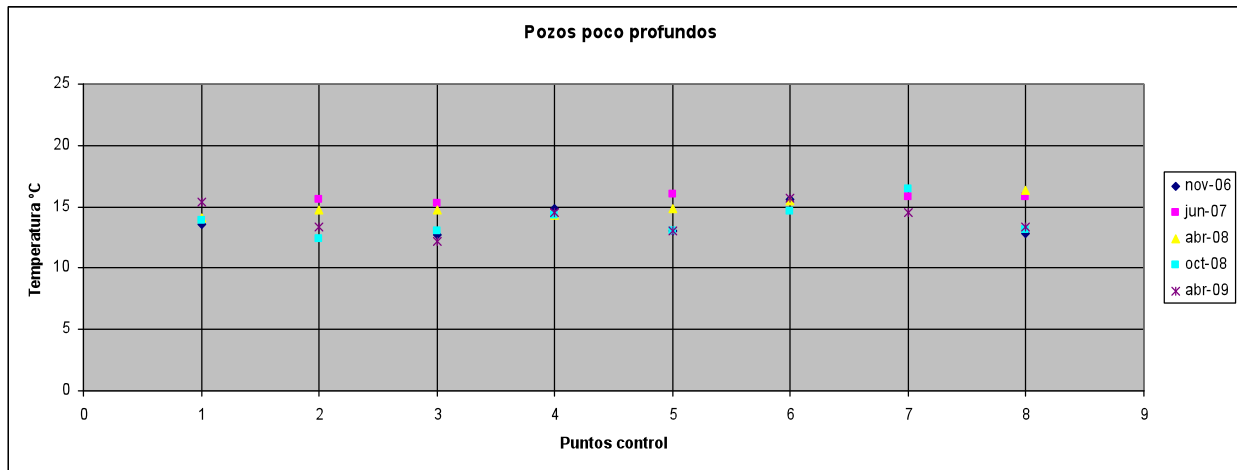


Figura 3. Gráfico en el que se representa la temperatura del agua subterránea tomada en los pozos poco profundos.

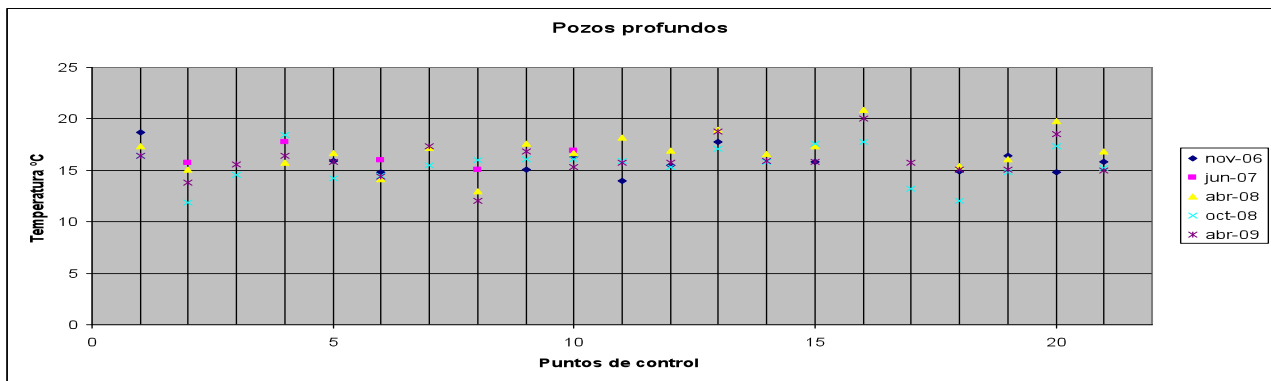


Figura 4. Gráfico en el que se representa la temperatura del agua subterránea tomada en los pozos profundos.

TEMPERATURA		nov-06	jun-07	abr-08	oct-08	abr-09	MEDIA
POZOS MUY POCO PROFUNDOS < 20 m	MAXIMA	18,8	20,2	16,8	18,8	18,1	15,78
	MINIMA	14,1	14,7	11,7	12,9	11,7	
	PROMEDIO	16,0	17,5	15,1	15,9	14,7	
	MÁX-MÍN	4,7	5,5	5,1	5,9	6,4	
POZOS POCO PROFUNDOS 20-50 m	MAXIMA	15,6	16,0	16,3	16,5	15,7	14,44
	MINIMA	12,7	15,3	14,1	12,4	12,2	
	PROMEDIO	13,8	15,7	14,9	13,9	14,0	
	MÁX-MÍN	2,9	0,7	2,2	4,1	3,5	
POZOS PROFUNDOS > 50 m	MAXIMA	18,7	17,8	20,9	18,4	20	16,08
	MINIMA	14	15,1	13	11,9	12	
	PROMEDIO	15,831	16,3	16,858	15,51	15,957	
	MÁX-MÍN	4,7	2,7	7,9	6,5	8	

Tabla II. Resultados finales de valores de temperatura media anual subterránea y variación total entre la máxima y la mínima. En **negrita** se han marcado los valores máximos y mínimos en cada uno de los casos.

También se ha estudiado la variabilidad térmica subterránea dependiendo del tipo de medio acuífero. La mayoría de los puntos seleccionados para el estudio pertenecen a las masas 48 y 49. La masa 48 está formada por gravas con matriz lutítica y lentejones arenosos del Pleistoceno, que se encuentran dispuestos en forma de abanicos aluviales y forman el Pla de Urgell. Tienen porosidad primaria y una permeabilidad elevada. La masa 49 se encuentra formada por varios sistemas acuíferos, entre los que destaca la formación Calizas de Tárrega, que constituyen una unidad bien

desarrollada, de hasta 400 metros de potencia, con intercalaciones de margas de diferentes potencias. Tienen porosidad secundaria por fisuración y algunas zonas cársticas. Esta masa también incluye los aluviales y terrazas de los ríos Corb, Ondara, Sió y Llobregós, que se disponen en los valles, pero sin alcanzar gran desarrollo. En ella (masa 49) se observa mayor variabilidad de temperaturas medias anuales, esta característica puede ser debida a que la masa está constituida por acuíferos de distintas características litológicas, predominantemente calizas. Los pozos más someros se han perforado sobre los aluviales de los ríos y los más profundos se abastecen de agua procedente de las calizas. Las mayores temperaturas se alcanzan en los pozos de mayor profundidad. En el caso de la masa 48, las temperaturas son menos variables, entre 15 y menos de 17 grados centígrados. Los resultados obtenidos, tomando las temperaturas medias anuales en cada punto, se detallan en la tabla que sigue:

TEMPERATURA	MASA 48	MASA 49
MÁXIMA	16,9	18,8
MÍNIMA	15,6	12,0
MEDIA	16,3	15,2

Tabla III. Resultados finales de valores de temperatura media anual subterránea y variación total entre la máxima y la mínima.

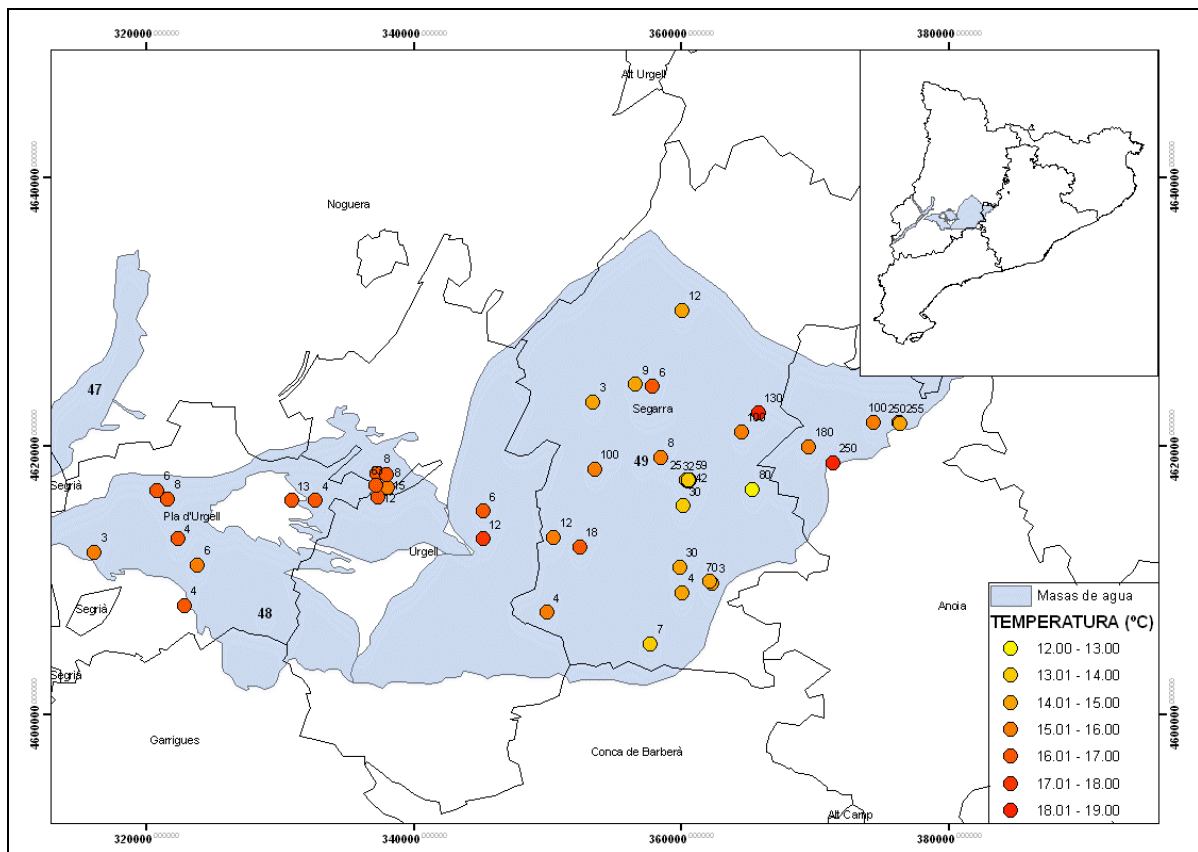


Figura 5. Temperaturas anuales medias en las masas 48 y 49 descritas por la Agencia Catalana del Agua.

Si comparamos las temperaturas subterráneas con la ambiental exterior, siempre en el mismo instante, se observa que el grado de oscilación de la temperatura del aire es mucho mayor que las oscilaciones de temperatura del agua en los distintos pozos incluso en los más superficiales. El subsuelo ejerce un papel de atemperador de las oscilaciones.

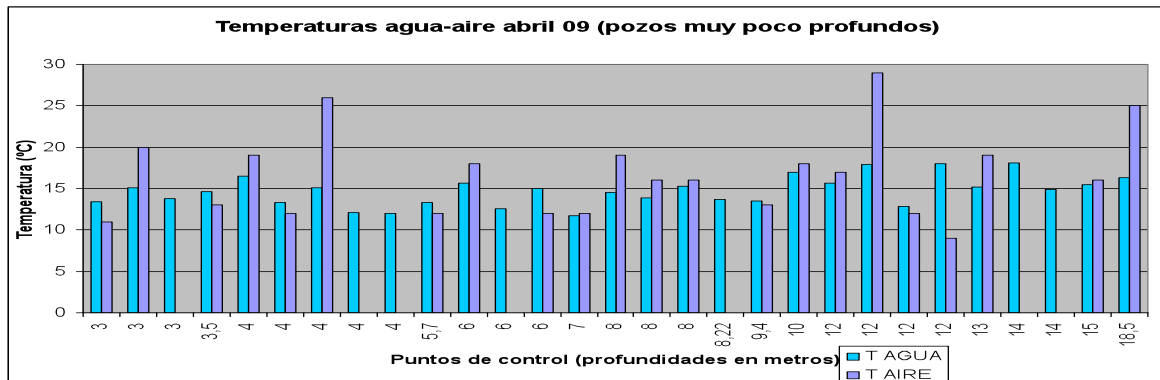


Figura 6. Temperatura del agua y del aire en pozos muy poco profundos.

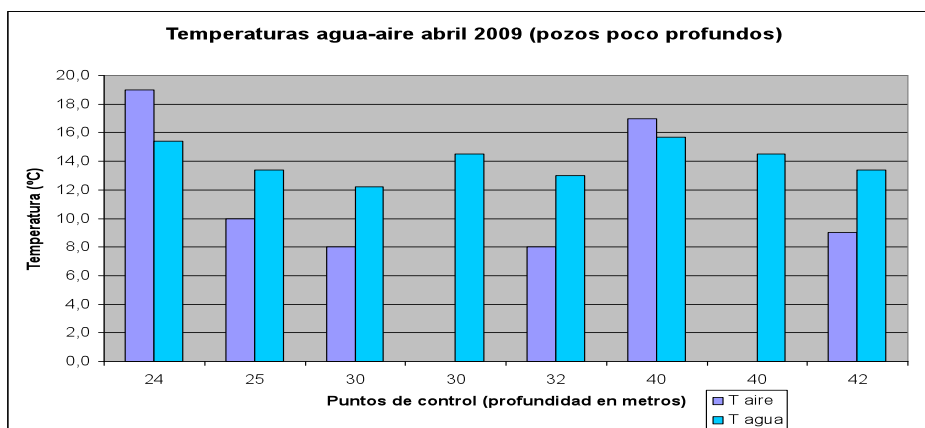


Figura 7. Temperatura del agua y del aire en pozos poco profundos.

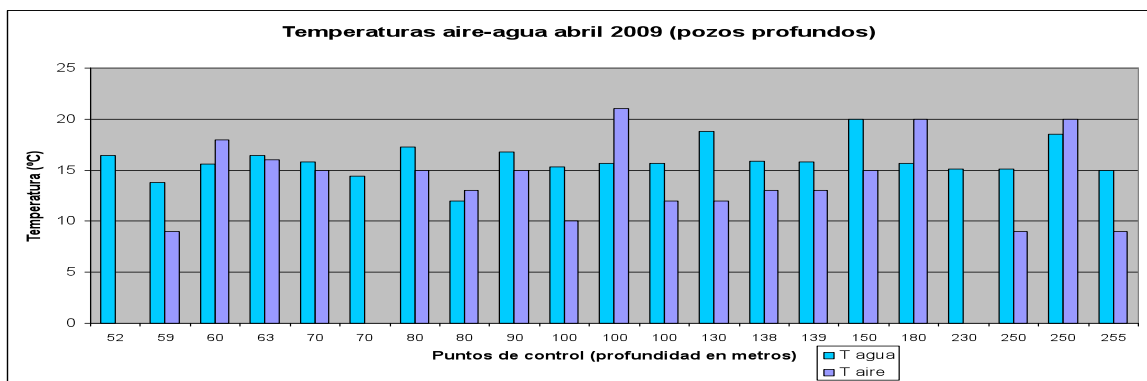


Figura 8. Temperatura del agua y del aire en pozos profundos.

Un resultado significativo se observa en los datos tomados periódicamente en los piezómetros y en el espacio subterráneo. En el primer caso se han medido las temperaturas mensualmente en 7 puntos diferentes y en todos se observa el mismo resultado: la gráfica de temperatura ambiental y temperatura del agua siguen casi la misma forma, aunque más suavizada en el caso del agua (Figura 9). En este caso no consideramos las profundidades alcanzadas por los diferentes piezómetros porque el agua se obtiene utilizando un toma-muestras, es decir, de la zona superficial de la perforación, por lo que su temperatura está influenciada por las variaciones climáticas ambientales.

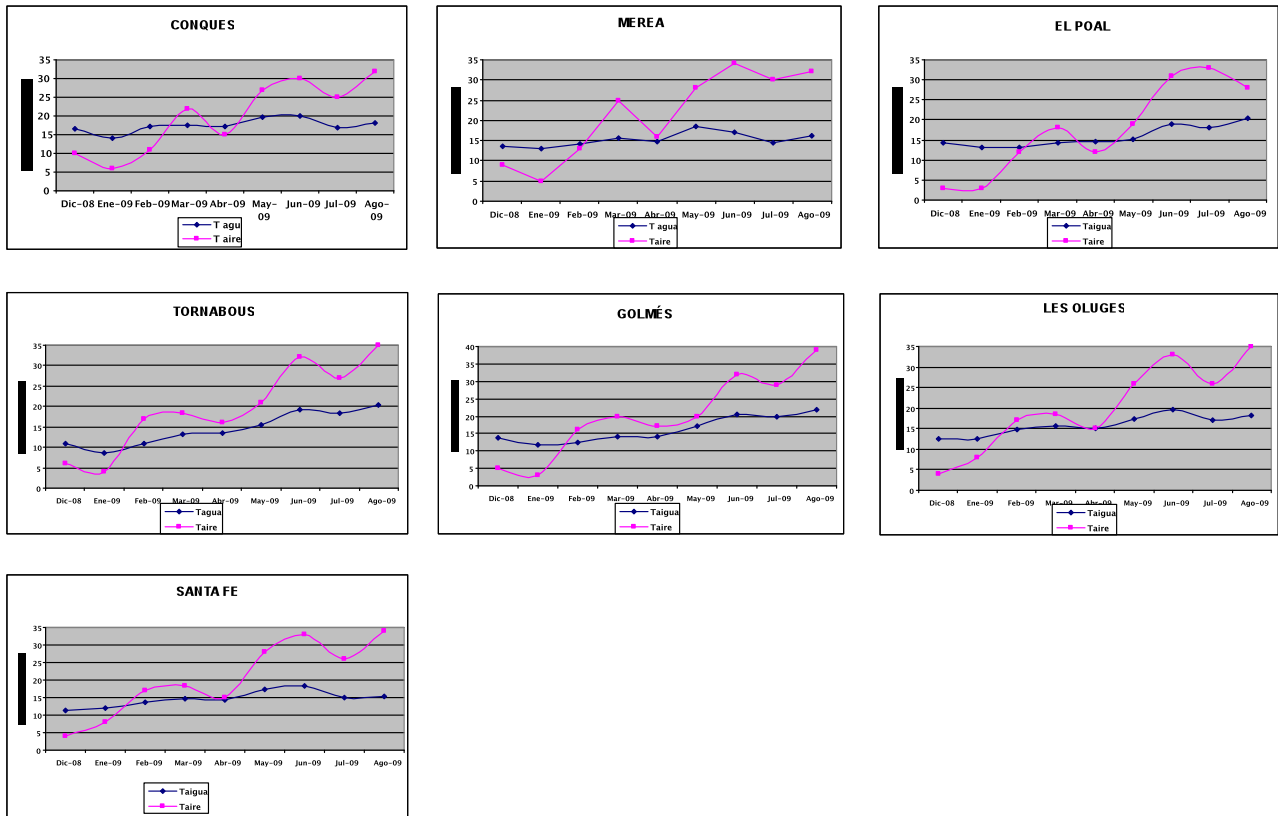


Figura 9. Variación mensual de la temperatura del agua subterránea y del aire en la red piezométrica.

Las observaciones en el espacio subterráneo se han realizado desde el mes de diciembre de 2008 hasta marzo de 2009 de forma casi diaria. Este espacio se encuentra bajo 3 metros de profundidad, por lo que la temperatura del aire que almacena se verá influenciada por los cambios de la temperatura ambiental del exterior. En la gráfica se observa esta influencia y el tiempo de reacción del subsuelo. Mientras que la temperatura ambiental va formando picos, llegando a valores bajo cero, en el caso de la temperatura subterránea no se observa gran variación, siendo cercana a los 15 grados. Sí se observa la influencia de la temperatura ambiental en los momentos de picos elevados o de temperaturas mínimas.

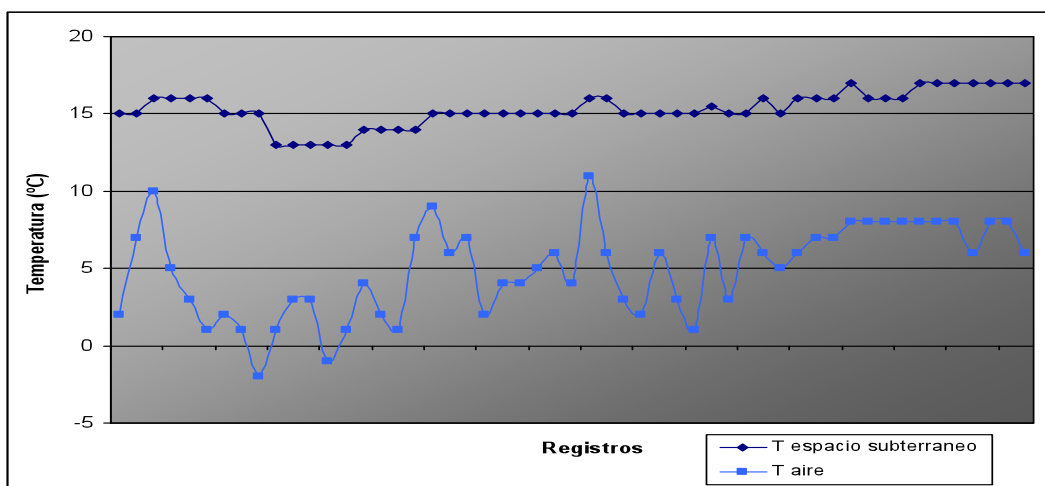


Figura 10. Variación diaria de la temperatura ambiental y en un espacio subterráneo de 3 metros de profundidad bajo el nivel topográfico superficial.



CONCLUSIONES

La temperatura media anual subterránea en la zona estudiada oscila entre los 14,44 y los 16,08°C. Estos resultados finales de valores de temperatura media anual subterránea y variación total entre la máxima y la mínima dependen de la profundidad de los pozos considerados. Hasta los 20 metros se consideran pozos *muy poco profundos* y las temperaturas del subsuelo están condicionadas por los cambios climáticos estacionales, la media obtenida alcanza los 15,78°C. En los pozos *poco profundos*, de 20 a 50 metros, las temperaturas poseen una mayor constancia con una media anual de 14,44 °C, y en los *pozos profundos*, de más de 50 metros, la temperatura está influida por el gradiente geotérmico de la Tierra (0.03°C/metro) aumentando la media anual hasta 16,08 °C.

La variabilidad térmica subterránea depende asimismo del tipo de medio acuífero. Se observa mayor variabilidad de temperaturas medias anuales en los acuíferos constituidos predominantemente por calizas con 2,8 °C de oscilación respecto a los formados por materiales detríticos con 1,3 °C de oscilación.

Las mayores temperaturas se alcanzan en los pozos de mayor profundidad de más de 50 metros, reflejando que la temperatura está influida por el gradiente geotérmico de la Tierra (0.03°C/metro). Respecto a las comparativas de la temperatura del subsuelo con la temperatura del aire exterior puede constatar que como era de esperar el subsuelo ejerce un papel de atemperador de las oscilaciones de temperatura. El grado de oscilación de la temperatura exterior es mucho mayor que las oscilaciones de temperatura del agua en los distintos pozos incluso en el caso de los más superficiales. También es observable un decalaje claro entre ambas producto de la inercia térmica del subsuelo.

Los datos aquí aportados permiten un mayor conocimiento local de la zona estudiada con respecto a sus características geotérmicas someras lo que es de especial interés en el diseño detallado de colectores verticales para instalaciones de bomba de calor geotérmica.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación no hubiera podido realizarse sin la colaboración de l'Agència Catalana de l'Aigua, ya que la mayoría de los datos se han obtenido aprovechando las sucesivas campañas de muestreo de aguas subterráneas de las redes de control de nitratos y piezometría.

REFERENCIAS

ACA Agència Catalana de l'Aigua [on line]. Barcelona : “Fitxes de les masses d'aigües subterrànies” <<http://aca-web.gencat.cat>>. [Consulta: julio 2009].

GONG, G. (2005): “Physical Properties of Alpine Rocks: A Laboratory Investigation”. University of Geneva.

SGC (1992):. “Mapa d'àrees hidrogeològiques de Catalunya 1:250000”. Generalitat de Catalunya. DPTOP- ICC. 66 pp, 1 mapa.

Por la presente, y como autor del trabajo mencionado arriba, cedo a la Comunidad de Madrid una licencia no-exclusiva irrevocable para imprimir, reproducir, distribuir, transmitir o comunicar de cualquier manera dicho trabajo, incluyendo el derecho de hacer modificaciones de formato. Además, afirmo que esta cesión no lesiona los derechos de terceros