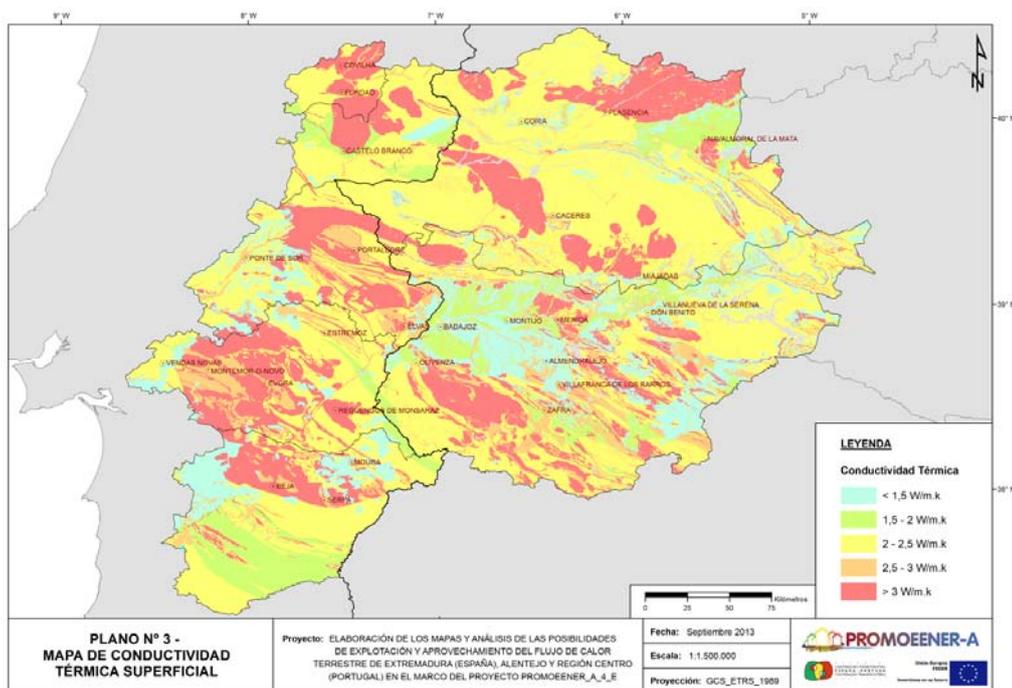


## GUIA DEL POTENCIAL DE RECURSOS GEOTÉRMICOS DE EXTREMADURA (ESPAÑA), ALENTEJO Y REGIÓN CENTRO (PORTUGAL)



Octubre, 2013



PROGRAMA  
COOPERACIÓN TRANSFRONTERIZA  
ESPAÑA ~ PORTUGAL  
COOPERAÇÃO TRANSFRONTEIRIÇA  
2 0 0 7 - 2 0 1 3

Unión Europea  
FEDER



Invertimos en su futuro

**INDICE**

	Pág.
1. PRESENTACIÓN.....	1
2. CONCEPTOS BÁSICOS.....	2
3. TECNOLOGÍAS DE APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS GEOTÉRMICOS.....	3
4. POTENCIAL DE LOS RECURSOS GEOTÉRMICOS SUPERFICIALES.....	6
4.1 RECURSOS DE MUY BAJA ENTALPIA SUPERFICIALES CONTENIDOS EN LAS ROCAS EN TODO EL ÁREA PROMOEENER.....	6
4.2 RECURSOS GEOTÉRMICOS SUPERFICIALES CONTENIDOS EN LOS ACUÍFEROS DEL ÁREA PORTUGUESA DE PROMOEENER-A.....	8
5. TERMOMETRIA, GRADIENTE GEOTÉRMICO Y FLUJO DE CALOR SUPERFICIAL EN EXTREMADURA (ESPAÑA), ALENTEJO Y REGIÓN CENTRO (PORTUGAL).....	12
5.1 MAPAS DE TEMPERATURA A 50, 100 Y 500 METROS.....	12
5.2 MAPA DE GRADIENTE GEOTÉRMICO.....	12
5.3 MAPA DE FLUJO DE CALOR SUPERFICIAL.....	15
6. POTENCIAL DE RECURSOS GEOTÉRMICOS PROFUNDOS EN EXTREMADURA.....	17
6.1 YACIMIENTOS EN POTENCIALES ACUÍFEROS PROFUNDOS.....	17
6.2 YACIMIENTOS EN ROCA CALIENTE SECA (HDR) DEDUCIDOS POR DOCUMENTACIÓN GEOLÓGICA Y GRAVIMÉTRICA.....	22
7. POTENCIAL DE RECURSOS GEOTÉRMICOS PROFUNDOS EN ALENTEJO Y REGIÓN CENTRO (PORTUGAL).....	27
7.1 RECURSOS DE BAJA ENTALPIA PROFUNDOS.....	27
7.2 RECURSOS DE MEDIA ENTALPIA PROFUNDOS.....	30
7.3 RECURSOS DE ALTA ENTALPIA PROFUNDOS.....	31
7.4 ÁREAS DE POTENCIAL EGS -SISTEMAS GEOTÉRMICOS ESTIMULADOS-.....	31

## 1. PRESENTACIÓN

El proyecto PROMOEENER-A es un proyecto europeo de cooperación transfronteriza, aprobado por el Comité de Gestión del Programa Operativo de Cooperación Transfronteriza España-Portugal (POCTEP) 2007-2013, en su reunión de 21 de marzo de 2011, con plazo de ejecución hasta 2013 y en el que participan como socios el Gobierno de Extremadura ( a través de la Dirección General de Incentivos Agroindustrial y Energía y de la Dirección General de Ordenación Industrial y Comercio, actualmente refundidas en la Dirección General de Industria y Energía), INTROMAC (Instituto Tecnológico de Rocas Ornamentales y Materiales de la Construcción), la Agencia Extremeña de la Energía (AGENEX), la Asociación Provincial de Empresas del Metal de Badajoz (ASPREMETAL), la Agencia Regional de Energia do Centro e Baixo Alentejo (ARECBA), Agencia Regional de Energia e Ambiente do Norte Alentejano e Tejo (AREANATEjo) y, finalmente, la Agencia Regional de Energía de Ambiente do Interior (ENERAREA).

Este proyecto se justifica en la Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y tiene como finalidad última conseguir un desarrollo racional y coordinado en el ámbito geográfico de Extremadura (España) y Alentejo y Región Centro (Portugal). Tiene una financiación del 75% procedentes de Fondos FEDER a través del POCTEP y una inversión total de 1.270.159,50 euros y acciones relativas a la eficiencia energética y energías renovables en edificios a ambos lados de la frontera.

Los objetivos generales y finales del proyecto PROMOEENER-A son los siguientes:

- Impulsar la utilización de soluciones altamente eficientes y el desarrollo de energías renovables para calefacción y climatización de edificios públicos.
- Implantar equipos de climatización eficientes y renovables, en edificios públicos como punto de referencia para promoción de estas tecnologías.
- Disminuir la demanda y el consumo de energía a través de medidas bioclimáticas y sistemas de monitorización de edificios.

Para alcanzar estos objetivos generales se han planteado, a través de las convenientes actuaciones, los siguientes objetivos particulares:

- Obtener un mapa geotérmico de toda el área de referencia: Extremadura (España) y los NUTS de Alto Alentejo, Alentejo Central, Baixo Alentejo, Beira Interior Sul y Cova da Beira (Portugal).
- Analizar la contabilidad energética de 115 edificios públicos estudiando el comportamiento energético de los mismos, identificando los más deficientes y presentando propuestas para 19 de ellos.
- Preparar y ejecutar 14 test de respuesta térmica en el ámbito territorial del proyecto.
- Reducir un 20% el consumo energético en 10 edificios.

- Implantar una red de edificios con medidas constructivas bioclimáticas y 500 kW térmicos (geotermia+solar+biomasa) con equipos de climatización eficientes y renovables que sean ejemplo para usuarios.
- Promover la contratación de Empresas de Servicios Energéticos en el Sector CESE's.

Para cumplir con el primero de estos objetivos particulares, desde el Gobierno de Extremadura se han promovido lo siguientes proyectos específicos:

- *“Preparación y ejecución de ensayos de respuesta térmica del terreno en el marco del proyecto PROMOEENER\_A\_4\_E”.*
- *“Investigación de los Recursos Geotérmicos de Extremadura (España), Alentejo y Región Centro (Portugal) en el marco del proyecto PROMOEENER\_A\_4\_E”*
- *“Elaboración de los Mapas y Análisis de las posibilidades de Explotación y Aprovechamiento del Flujo de Calor Terrestre de Extremadura (España), Alentejo y Región Centro (Portugal) en el marco del Proyecto PROMOEENER\_A\_4\_E”*
- *“Evaluación preliminar del Potencial Geotérmico Profundo de Extremadura”*

Con los resultados obtenidos en estos proyectos se elabora la presente *“Guía del Potencial de Recursos Geotérmicos de Extremadura (España), Alentejo y Región Centro (Portugal)”*.

En ella se expone sintetizadamente los principales resultados alcanzados en cuanto a la definición del potencial de recursos geotérmicos en Extremadura por la parte española y en Alentejo y Región Centro por la parte portuguesa.

Estos resultados se expresan en una selección de áreas favorables y caracterización de dichas áreas desde el punto de vista geotérmico.

## 2. CONCEPTOS BÁSICOS

El recurso geotérmico se define como la fracción de la energía geotérmica que puede ser aprovechada de forma técnica y económicamente viable. Incluye tanto los recursos actualmente conocidos cuyo aprovechamiento resulta factible, como los que podrían serlo en un futuro relativamente próximo. El concepto de recurso geotérmico incluye desde el calor que puede encontrarse en los horizontes más superficiales del suelo, hasta el almacenado en rocas situadas a profundidades que sólo pueden alcanzarse mediante técnicas de perforación petrolífera.

Los recursos geotérmicos se clasifican según su nivel térmico –o lo que es lo mismo, su entalpía–, factor que condiciona claramente su aprovechamiento. En la bibliografía pueden encontrarse clasificaciones realizadas según distintos rangos de temperatura. Los admitidos por la *Plataforma Tecnológica Española de Geotermia (GEOPLAT)*, elaborados siguiendo las últimas tendencias, son los siguientes:

- **Recursos geotérmicos de alta entalpía** ( $T > 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Se encuentran principalmente en zonas con gradientes geotérmicos elevados y se sitúan a profundidades muy variables (suelen oscilar entre 1.500 y 3.000 m). Están constituidos por vapor seco –en muy pocos casos– o, más frecuentemente, por una mezcla de agua y vapor, y su aprovechamiento fundamental es la producción de electricidad.
- **Recursos geotérmicos de media entalpía** ( $T: 100\text{ }^{\circ}\text{C} - 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Suelen localizarse en zonas con un gradiente geotérmico elevado a profundidades inferiores a los 2.000 m y, en cuencas sedimentarias, a profundidades comprendidas entre 3.000 y 4.000 m. Su temperatura permite el uso para la producción de electricidad mediante ciclos binarios. También pueden aprovecharse para uso térmico en calefacción y refrigeración en sistemas urbanos y en procesos industriales.
- **Recursos geotérmicos de baja entalpía** ( $T: 30\text{ }^{\circ}\text{C} - 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Se localizan habitualmente en zonas con un gradiente geotérmico normal a profundidades entre 1.500 y 2.500 m, o a profundidades inferiores a los 1.000 m en zonas con un gradiente geotérmico más elevado. Su explotación se destina básicamente a usos térmicos para calefacción/climatización y ACS urbanos y para diferentes procesos industriales. Los fluidos geotérmicos raras veces se utilizan directamente; lo más frecuente es el aprovechamiento mediante intercambiadores y/o bombas de calor. Suelen requerir una demanda importante de energía calorífica en las proximidades.
- **Recursos geotérmicos de muy baja entalpía** ( $T < 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Las temperaturas de estos recursos, generalmente próximas a la media anual del lugar donde se captan, corresponden a la energía térmica almacenada en las aguas subterráneas, incluidas las provenientes de labores mineras y drenajes de obras civiles, siempre para uso exclusivamente energético y no consuntivo del agua, y en el subsuelo poco profundo (normalmente, a menos de 200 m, incluyendo las captaciones de calor asociadas a elementos constructivos de la edificación). En este último caso, la energía renovable puede captarse de manera muy eficiente, dada la estabilidad térmica del subsuelo frente a la oscilación estacional del ambiente como consecuencia de la transmisión de calor hacia las zonas más externas de la corteza. Dicha transmisión hace posible que, a partir de 10-15 m de profundidad, la temperatura del terreno se mantenga prácticamente estable durante todo el año. Su aplicación se centra en los usos directos del calor: aporte energético a sistemas de ventilación, calefacción y refrigeración de locales y/o procesos, con o sin utilización de una bomba de calor.

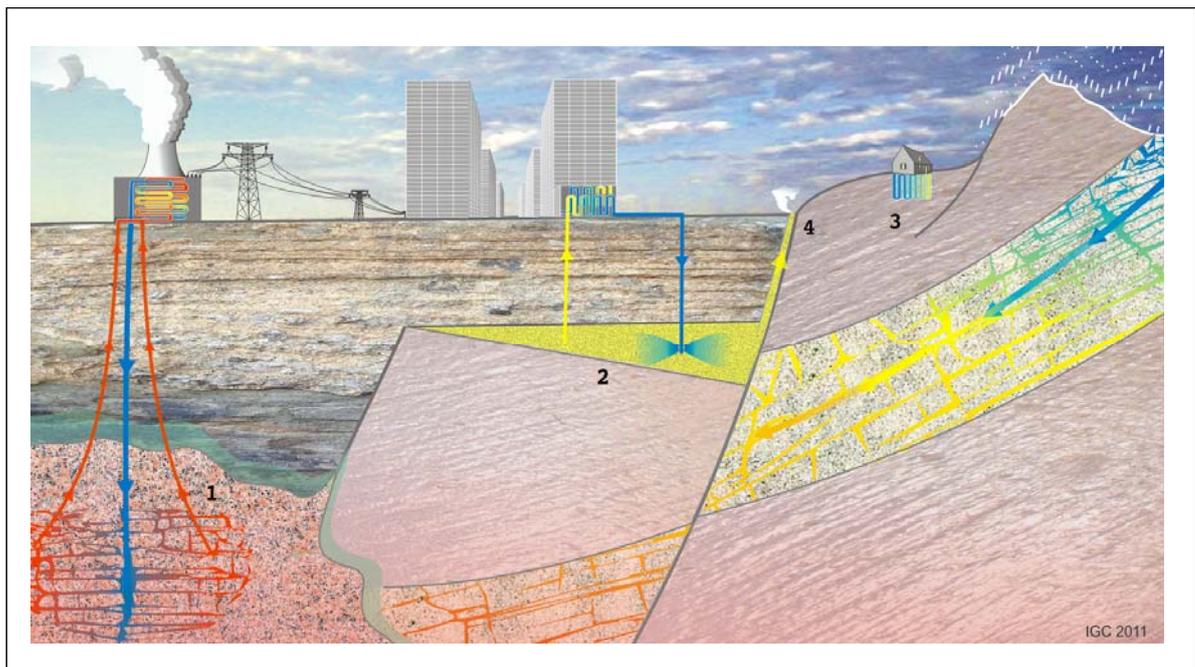
### 3. TECNOLOGÍAS DE APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS GEOTÉRMICOS

El aprovechamiento de los recursos geotérmicos se centra básicamente en dos aplicaciones: la generación de energía eléctrica y los usos directos del calor:

- **Generación de energía eléctrica:** corresponde a los recursos geotérmicos de alta y media entalpía, entre los que se incluyen los sistemas geotérmicos estimulados (plantas de vapor seco, plantas flash, plantas de ciclo binario).

- **Usos directos del calor:** en el sector residencial y de servicios –calefacción y refrigeración, producción de ACS, redes de climatización de distrito, etc.–, en el sector industrial –piscifactorías, producción de algas, invernaderos, secado, evaporación, esterilización, procesos químicos, etc.–, aplicaciones balneoterápicas, etc., para los recursos de baja y muy baja entalpía.

En la figura 1 se presenta diversos tipos de aprovechamiento de los yacimientos geotérmicos tomando por IGC.



**Figura 1.** Ejemplo de tipos de explotación de yacimientos geotérmicos. 1) De alta temperatura tipo roca seca, se inyecta agua fría y mediante un ciclo combinado se obtiene electricidad. 2) De media temperatura, de un acuífero profundo se extrae agua caliente para climatización de distrito. 3) De baja temperatura, mediante un intercambiador de calor enterrado se explota la inercia térmica del terreno para climatizar una casa. 4) Representa una manifestación termal originada por un proceso de circulación de agua: infiltración en una zona de carga, transición lenta por un acuífero profundo y descarga rápida a través de la falla de contacto entre cuenca y basamento (fuente IGC, 2011).

Un caso particular de aprovechamiento es la tecnología ligada a la geotermia somera.

Dada su estabilidad térmica frente a los cambios estacionales, el subsuelo, en sus primeros 100-200 metros, resulta un medio adecuado para proporcionar y almacenar energía térmica. El terreno presenta una conductividad térmica baja y una alta capacidad de almacenamiento de calor, de manera que su temperatura varía muy lentamente, tanto más cuanto mayor es la profundidad. Dicha temperatura se estabiliza a partir de unos 15-20 m de profundidad, pasando a estar controlada por el gradiente geotérmico, y manteniéndose prácticamente constante a lo largo de todo el año.

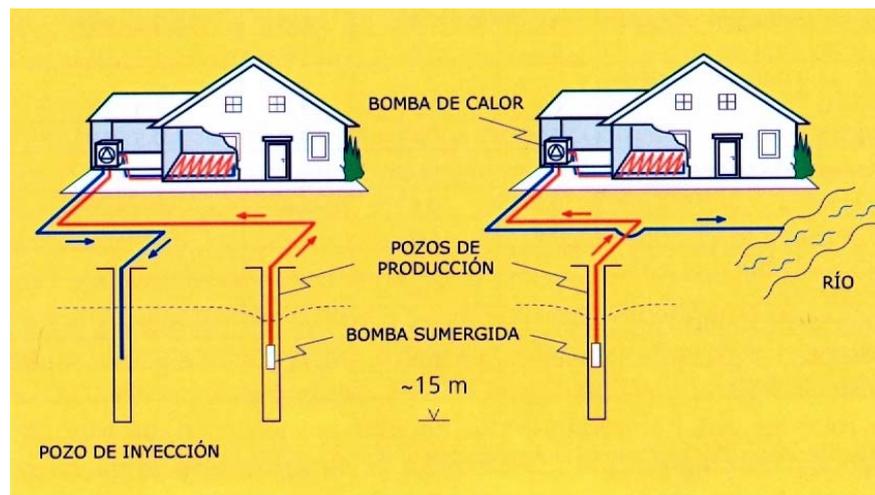
Las tecnologías para aprovechar esta energía almacenada en los primeros metros de la corteza terrestre son básicamente dos:

- *Bomba de calor geotérmica (GHP: Geothermal Heat Pump).*
- *Almacenamiento subterráneo de energía térmica (UTES: Underground Thermal Energy Storage).*

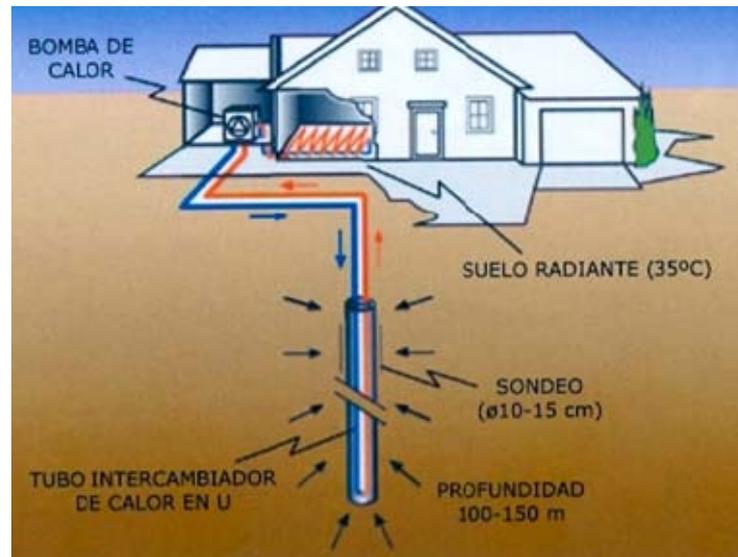
En ambos casos, las tecnologías desarrolladas para aprovechar el calor del subsuelo son función de la accesibilidad del recurso geotérmico, y pueden clasificarse en dos tipologías principales que, a su vez, incluyen diferentes subtipos:

- *Circuitos abiertos*, basados en el uso de aguas subterráneas extraídas de un acuífero para su aprovechamiento. En este caso, el agua subterránea es el medio de transporte del calor (figura 2).
- *Circuitos cerrados*, cuyo fundamento es el empleo de un fluido –básicamente, agua con algún aditivo–, para extraer el calor de los materiales existentes a poca profundidad en el subsuelo. Implican la instalación de un intercambiador –vertical u horizontal– en el terreno para el aprovechamiento energético, cuya pared separa el fluido termoportador de la roca y del agua subterránea (figura 3).

Habría que considerar una tercera categoría, a la que pertenecen los sistemas que no pueden incluirse, estrictamente, en ninguna de las dos indicadas. Serían aquéllos en los que existe cierta diferenciación entre el agua subterránea y el fluido termoportador, pero no hay ninguna barrera entre ellos, como es el caso de los que aprovechan las temperaturas de las aguas de minas o de obras subterráneas (túneles, etc.), con caudales suficientes para su explotación con fines energéticos.



**Figura 2.** Diagramas de funcionamiento de una bomba de calor geotérmica en sistema abierto  
Fuente: Llopis Trillo, G.; Rodrigo Angulo, V. *Guía de la Energía Geotérmica*. Comunidad de Madrid. 2008



**Figura 3.** Sonda geotérmica

Fuente: Llopis Trillo, G.; Rodrigo Angulo, V. *Guía de la Energía Geotérmica*. Comunidad de Madrid. 2008.

## 4. POTENCIAL DE LOS RECURSOS GEOTÉRMICOS SUPERFICIALES

### 4.1 Recursos de muy baja entalpia superficiales contenidos en las rocas en todo el área PROMOEENER

Los recursos geotérmicos de muy baja temperatura contenidos en las rocas del subsuelo a poca profundidad pueden ser extraídos y utilizados gracias al empleo de la bomba de calor y a la capacidad de extracción o cesión de cada tipo de roca.

Las propiedades térmicas de las rocas del subsuelo son muy variables y dependen de una multitud de parámetros físicos, geológicos y geográficos. Para proyectos de aprovechamiento importantes es necesario calcular dichas propiedades mediante ensayos denominados "Test de Respuesta Térmica" que se realiza en un sondeo perforado para dicha finalidad y que posteriormente puede ser utilizado para extracción de calor. Estos test suelen ser caros debido a su duración y al coste de la perforación, por lo que en los estudios preliminares de diseño de instalaciones se suele utilizar valores estandarizados de las propiedades del terreno. Estos valores sirven de guía para un primer cálculo estimativo del número de sondeos necesarios, si bien posteriormente antes del diseño final de la instalación debe realizarse el ensayo mencionado.

Las tablas 1 y 2 presentan una serie de valores estandarizados de la capacidad de extracción de calor y de la conductividad térmica de las rocas, que se pueden tomar como indicativos en terrenos similares.

Tipo de Roca	Potencia Térmica Superficial (W/m)
Gravas y arenas secas	< 25
Arcillas y margas húmedas	35-70
Calizas y dolomías masivas	55-70
Areniscas	60-80
Granitos	60-85
Rocas básicas (basaltos)	40-65
Rocas metamórficas (gneises)	70-85
Gravas y arenas saturadas de agua	65-80
Gravas y arenas con gran circulación de agua	80-100

**Tabla 1.** Capacidad de extracción de calor de las rocas (Potencia térmica superficial)

Fuente: VDI4640 Parte 2

TIPO DE ROCA	Conductividad térmica (W/m K)
Arenas y gravas secas	< 1,5
Arcillas y limos secos	
Turba	
Arcillas y limos húmedos	1,5 - 2
Gravas saturadas en agua	
Micasquistos	2 - 2,5
Esquistos	
Mármoles	
Margas	
Arenas saturadas en agua	
Areniscas	
Gneises	2,5 - 3
Calizas	
Dioritas	
Granitos	> 3
Peridotitas	
Cuarcitas	
Riolitas	
Sal (halita)	
Dolomía	

**Tabla 2.** Conductividad térmica de las rocas

Fuente: VDI4640 Parte 2

A partir de esta información y teniendo en cuenta las rocas existentes en el área PROMOEENER-A se ha elaborado un Mapa de Potencia Térmica Superficial (capacidad de extracción de calor) y otro de Conductividad Térmica de las rocas aflorantes en el área de estudio.

En esta área existe la siguiente información geológica digital:

- Mapa Geológico de Portugal a escala 1:500.000 (LNEG)
- Mapa Geológico de Extremadura a escala 1:250.000 (Gobierno de Extremadura)

- Cartografía Geológica continua a escala 1:50.000 del PLAN GEODE del IGME. Provincias de Cáceres y Badajoz.

De estas opciones se considera como más apropiadas las siguientes:

- Para Extremadura la cartografía continua GEODE a escala 1:50.000 elaborada por el IGME.
- Para Portugal la única disponible para toda la zona que es la cartografía geológica a escala 1:500.000 del LNEG.

Partiendo de las litologías presentes en el área de estudio (cartografías anteriormente descritas) y de las tablas 1 y 2, presentadas anteriormente se ha asignado a cada litología o grupo de litologías un rango de valores de potencia térmica superficial y de conductividad térmica superficial.

De esta forma, asignando a cada litología un atributo correspondiente al grupo en el que se ha clasificado, el mapa de unidades litológicas (conjunto de polígonos en el SIG correspondiente) queda transformado en un Mapa de Potencia Térmica Superficial y en un Mapa de Conductividad Térmica Superficial que se presentan en las figuras 4 y 5, que pueden ser utilizado en una primera aproximación para el diseño preliminar de sistemas de aprovechamiento geotérmicos de muy baja temperatura. En la interpretación de estos mapas hay que tener presente que son mapas referidos a los materiales aflorantes y por lo tanto existentes en superficie. El valor asignado de potencia térmica o conductividad térmica puede variar en profundidad y lateralmente con las variaciones que se producen en una misma litología. Por ello su uso es para diseño preliminar. Para elaboración de un proyecto concreto será necesario realizar estudios de mayor detalle.

## 4.2 Recursos geotérmicos superficiales contenidos en los acuíferos del área portuguesa de PROMOEENER-A

La viabilidad de la explotación geotérmica de un acuífero es función de dos aspectos básicos: potencia térmica extraíble y factores económicos del aprovechamiento (inversiones y costes de operación).

La potencia térmica es función directa del caudal extraíble y del salto térmico. El caudal que se puede extraer de un pozo o sondeo depende del acabado del sondeo y de las características hidrogeológicas del acuífero especialmente transmisividad y por lo tanto permeabilidad y espesor. El salto térmico depende del tipo de bomba de calor seleccionado y es función de la temperatura del agua en el acuífero y de la temperatura de retorno del agua desde la bomba de calor al acuífero.

La potencia térmica será para un sondeo  $P = Q (T_p - T_i)$ , siendo P potencia en termias/hora, Q caudal en m<sup>3</sup>/h, y T<sub>p</sub> temperatura producción pozo de extracción y T<sub>i</sub> temperatura de rechazo en pozo de inyección.

Guía del Potencial de Recursos Geotérmicos de Extremadura (España), Alentejo y Región Centro (Portugal)

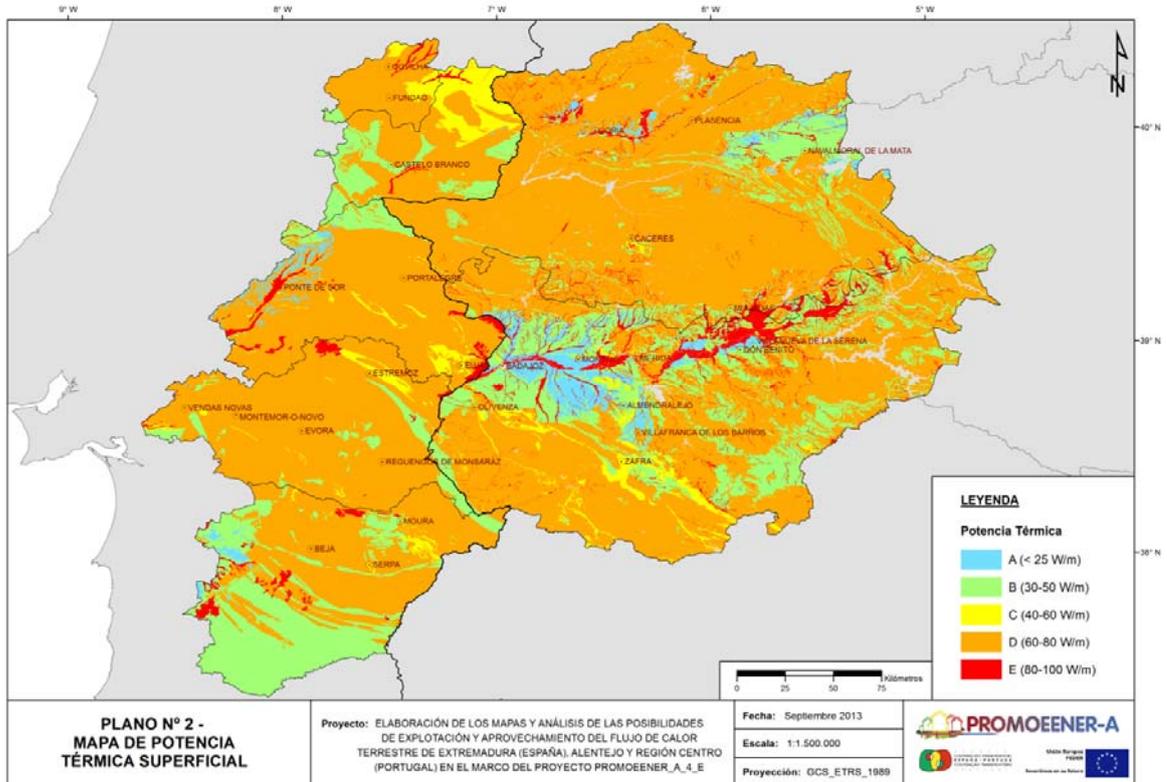


Figura 4

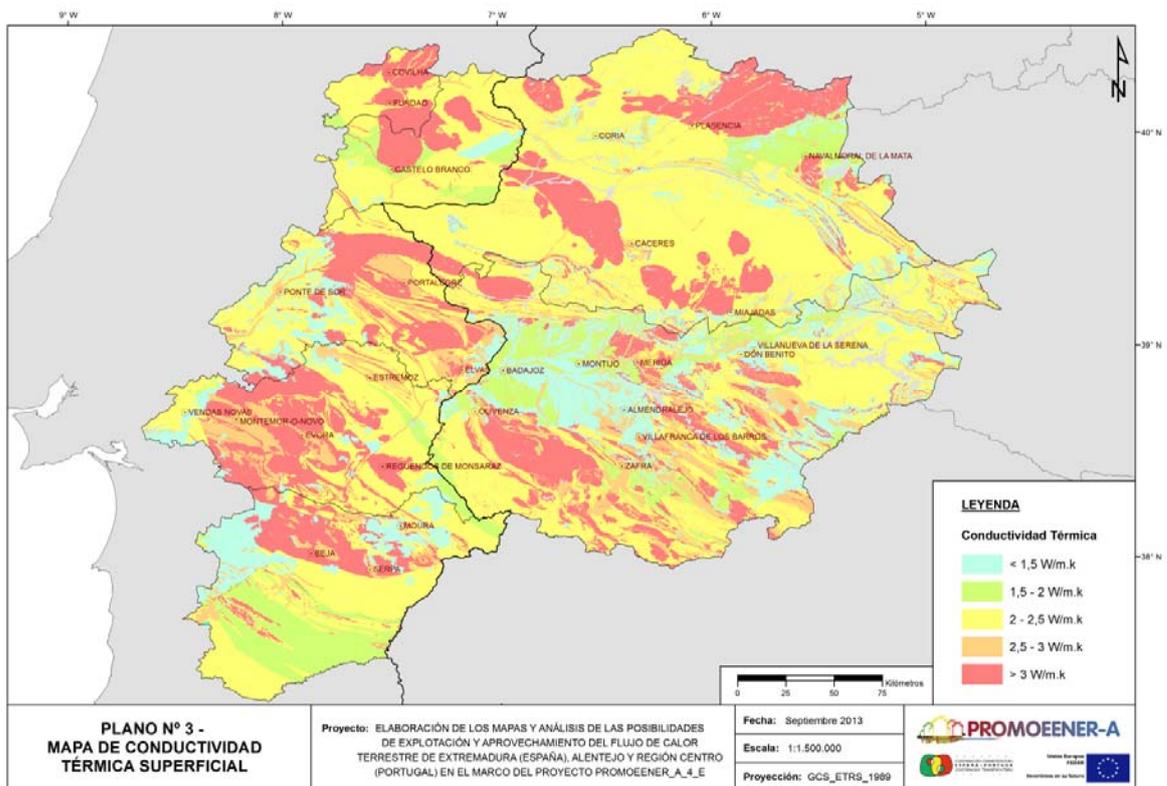


Figura 5.

Los factores económicos (inversiones y costes de operación) dependen también de parámetros técnicos ligados al acuífero. Ambos términos económicos dependen del tipo de bomba de calor utilizada y de la profundidad de captación del acuífero (por su incidencia en la profundidad de los sondeos a construir). El tipo de bomba de calor depende básicamente de dos factores ligados al agua geotérmica: la temperatura de la misma y su composición o calidad química. La primera incide en el modelo de bomba utilizable y en la determinación del coeficiente de rendimiento del sistema. La segunda, afecta a la elección de los materiales más adecuados para el intercambiador o para el evaporador por posibles problemas de incrustación y corrosión que pueda causar.

En síntesis, la viabilidad técnica y económica de una operación de aprovechamiento geotérmico de aguas subterráneas mediante bomba de calor depende de los siguientes parámetros hidrogeológicos:

- Profundidad de captación del acuífero, y por lo tanto de los sondeos.
- Caudal extraíble, y por lo tanto transmisividad y espesor del acuífero.
- Temperatura del agua subterránea.
- Composición química del agua subterránea que habitualmente en estudios preliminares se concreta con la conductividad eléctrica.

Por lo tanto para evaluar el potencial geotérmico de un acuífero, es necesario conocer el rango de variación de estos parámetros en dicho acuífero.

La información hidrogeológica de Portugal en forma digital es la siguiente:

- Distribución de las Unidades Hidrogeológicas del Portugal Continental (Fuente: SNIRH)
- Distribución de Sistemas Acuíferos en Portugal Continental (Fuente: SNIRH)

Esta segunda es la más apropiada para la elaboración del mapa.

Una vez obtenida la distribución de los sistemas acuíferos, los datos que hay que conocer sobre el recurso agua para elaborar cuando se desee, un estudio económico de la utilización de las aguas subterráneas como fuente de calor, son como se ha mencionado, fundamentalmente: profundidad de la obra de extracción de agua, el caudal extraíble, la temperatura del agua, su calidad química y su transmisividad (si bien este último puede ser sustituido por el caudal). A veces es muy útil también conocer la profundidad del nivel piezométrico para estimar los costes de bombeo.

Estos datos se han obtenido principalmente del Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) (<http://snirh.pt>), también de informes técnicos realizados por el Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) ([www.lneg.pt](http://www.lneg.pt)), del proyecto ERHSA (Estudo dos Recursos Hídricos Subterráneos do Alentejo), de otros informes técnicos realizados por diferentes organismos, y de algunos artículos publicados.



## 5. TERMOMETRIA, GRADIENTE GEOTÉRMICO Y FLUJO DE CALOR SUPERFICIAL EN EXTREMADURA (ESPAÑA), ALENTEJO Y REGIÓN CENTRO (PORTUGAL)

### 5.1 Mapas de temperatura a 50, 100 y 500 metros

En el proyecto denominado “*Investigación de los Recursos Geotérmicos de Extremadura (España), Alentejo y Región Centro (Portugal)*” realizado por el Gobierno de Extremadura en el marco del proyecto PROMOEENER-A, se llevó a cabo un total de 150 registros termométricos en otros tantos sondeos. Estos 150 sondeos están distribuidos más o menos homogéneamente en toda el área de estudio. Son de diferentes profundidades, si bien, la mayoría de ellos, igual o superior a 100 metros, excepto 6 cuya profundidad es de 95 metros.

Los resultados de las termometrías realizadas en el proyecto mencionado anteriormente, en 150 sondeos, ha permitido la elaboración de diferentes mapas termométricos.

Los mapas de temperatura a 50 y 100 metros se han realizado con los datos de las medidas termométricas, mientras que el de 500 m se ha realizado por extrapolación a partir del último dato de temperatura medida, utilizando el gradiente medio calculado.

El cálculo del gradiente medio se ha realizado para cada sondeo, estudiando la evolución de las medidas de temperatura y solo considerando los datos a partir de la profundidad en que se establece un aumento progresivo de la misma sin considerar las zonas superficiales de fluctuación de temperatura o de gradientes negativos debidos a las elevadas temperaturas superficiales, así como alteraciones puntuales del gradiente debido a factores muy específicos como fracturas o acuíferos que lo modificaran sensiblemente.

En la elaboración del mapa de temperatura a 500 metros se ha tenido en cuenta información bibliográfica (M. Fernández et al,1998) de 19 puntos en el área portuguesa.

En las figuras 7, 8 y 9 se presentan estos mapas de termometrías.

### 5.2 Mapa de gradiente geotérmico

Como se ha señalado anteriormente, a partir de los datos de mediciones de temperatura en los 150 sondeos estudiados, se ha calculado el gradiente medio en cada uno de los sondeos, teniendo en consideración sólo el tramo del sondeo en el que el gradiente es positivo, y que no presente grandes fluctuaciones, ni comportamientos anómalos.

A estos 150 puntos con valor del gradiente geotérmico, se le ha añadido los valores de un total de 19 puntos incluidos en el área PROMOEENER-A, zona portuguesa, provenientes de la publicación de Tectonophysics (M. Fernández, I. Marzán, A. Correia y E. Ramalho) de 1998 antes citada. La representación de estos valores del gradiente geotérmico medio (°C/m), ha permitido elaborar el mapa de gradiente geotérmico medio que se presenta en la figura 10.

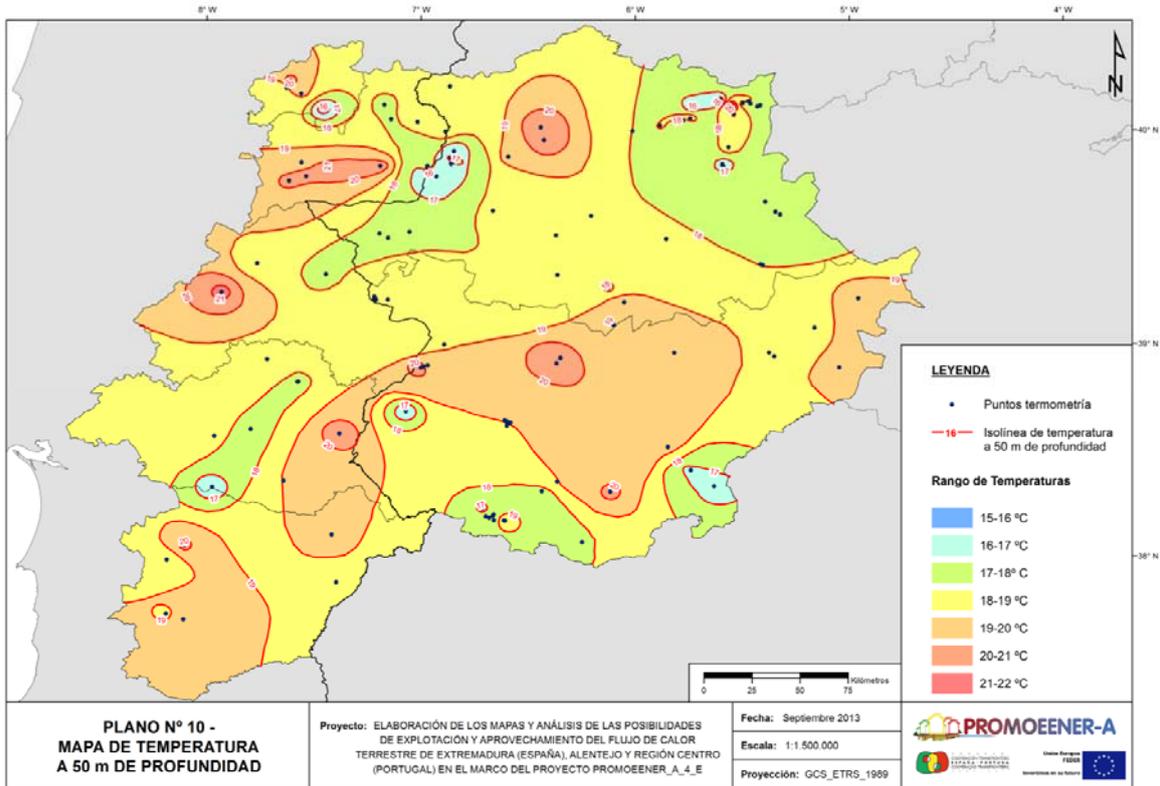
*Guía del Potencial de Recursos Geotérmicos de Extremadura (España), Alentejo y Región Centro (Portugal)*


Figura 7

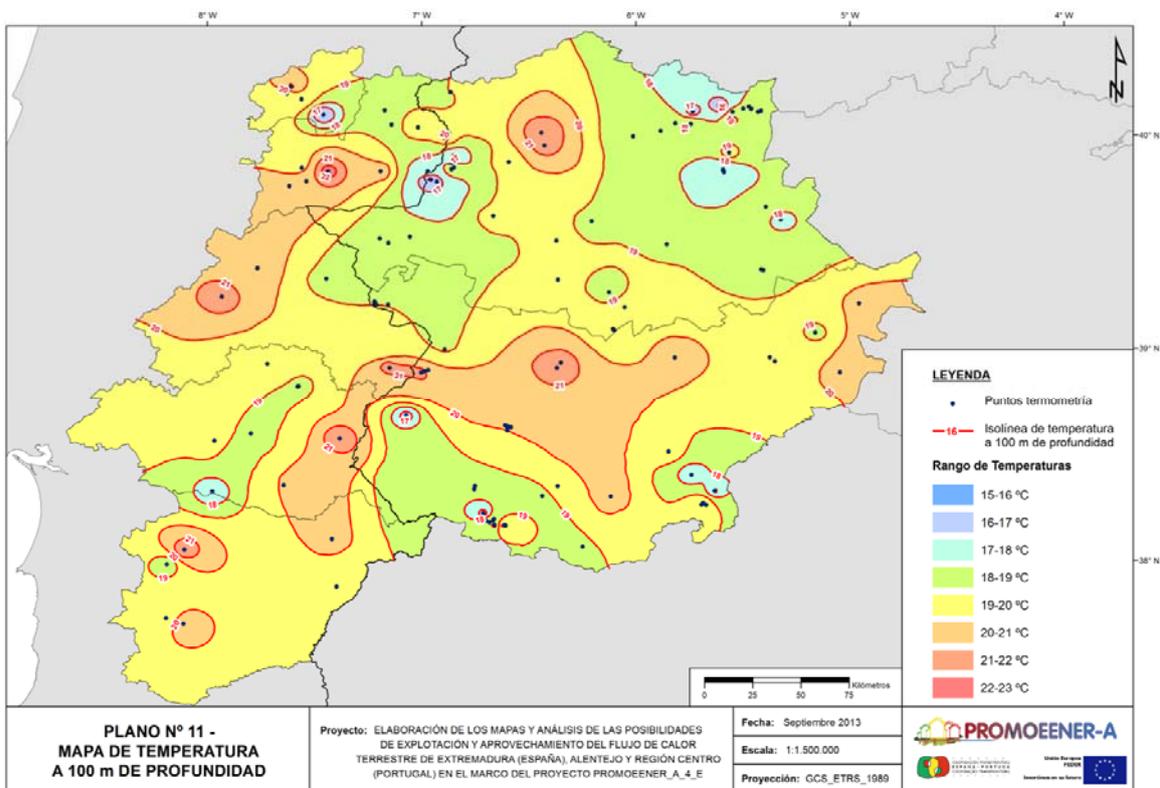


Figura 8.

Guía del Potencial de Recursos Geotérmicos de Extremadura (España), Alentejo y Región Centro (Portugal)

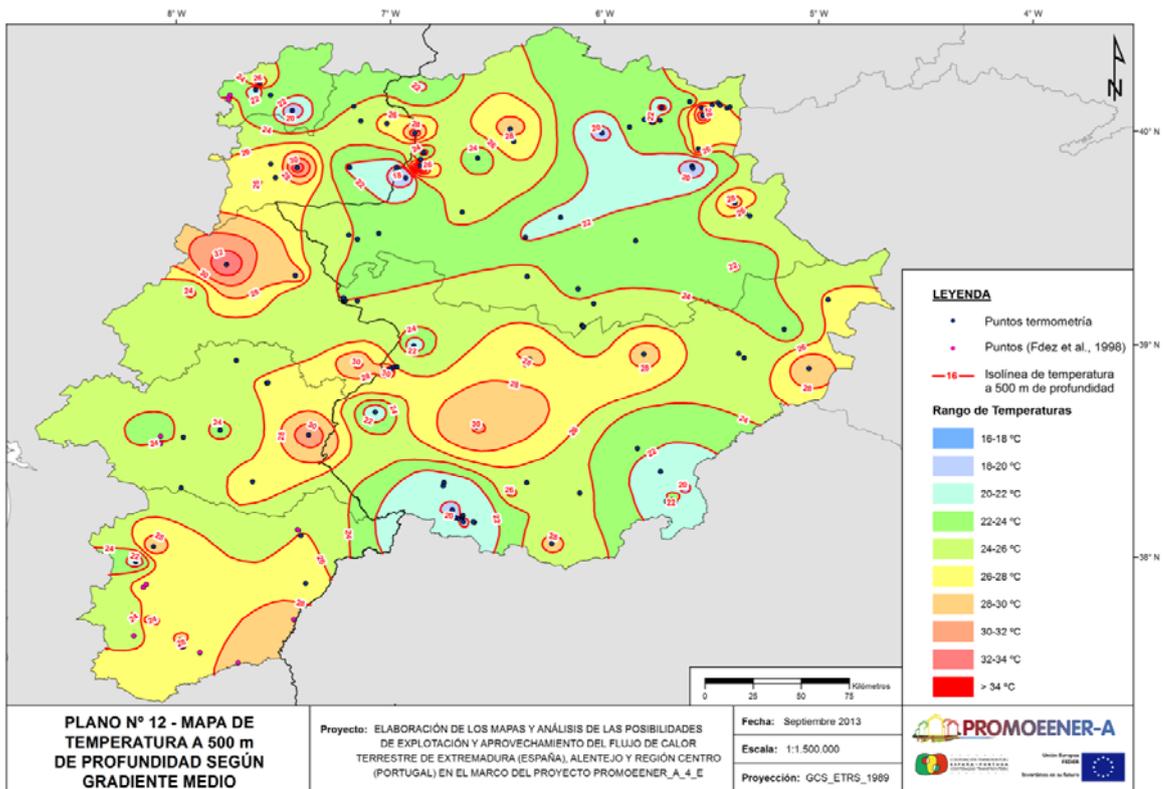


Figura 9

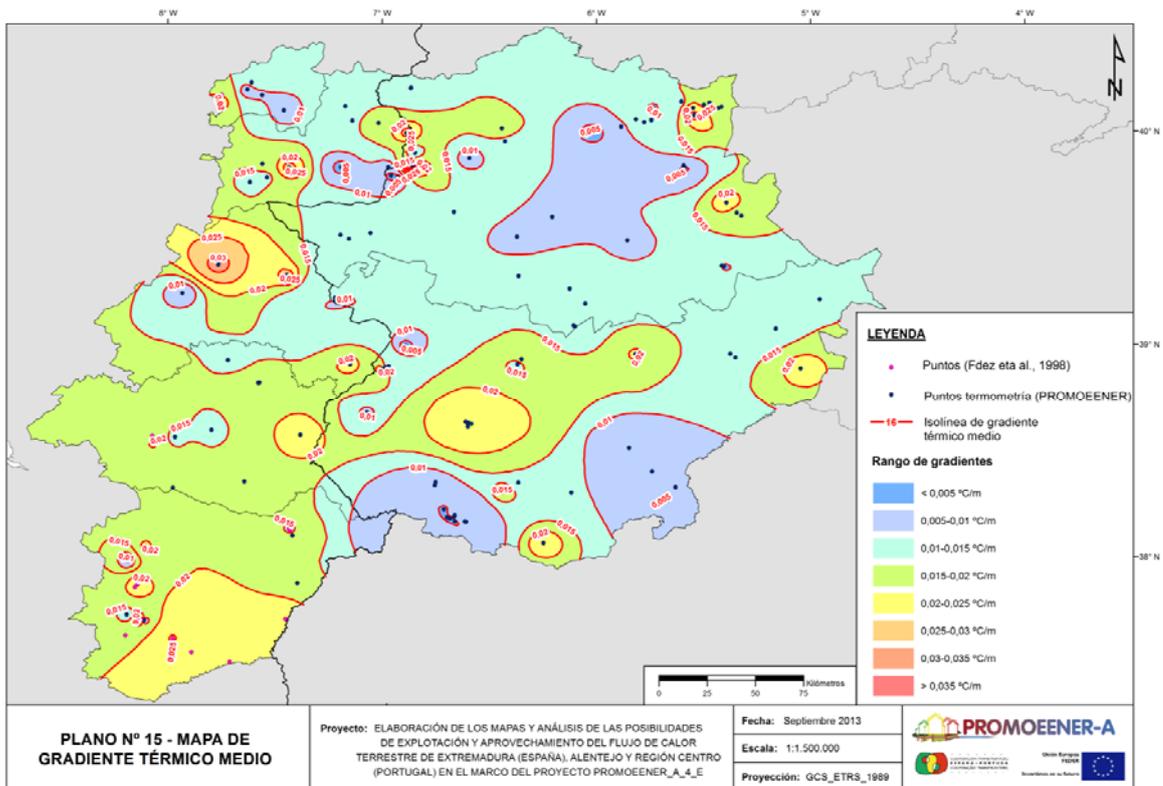


Figura 10

### 5.3 Mapa de flujo de calor superficial

El flujo de calor superficial en un punto es igual al producto del gradiente geotérmico en ese punto por la conductividad térmica de los materiales presentes en el subsuelo de la zona:

$$\phi \left( \frac{\text{mW}}{\text{m}^2} \right) = \text{gradiente} \left( \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{m}} \right) \cdot k \left( \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}} \right) \cdot 1000$$

El gradiente geotérmico ha sido calculado, como se acaba de exponer, a partir de las termometrías realizadas en 150 sondeos.

Respecto a la conductividad térmica –k–, puesto que no se realizó en el proyecto PROMOEENER medidas de este parámetro, los datos a emplear son bibliográficos. Existen numerosas referencias o fuentes de información sobre valores de la conductividad térmica en W/m.°C ó W/m.°K. En el presente proyecto se ha elaborado un cuadro de valores como promedio de valores bibliográficos obtenidos a partir las siguientes fuentes de información:

- R. Haenel, L. Rybach y L. Stegena (1988). Handbook of Terrestrial Heat-Flow Density Determination. KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS.
- O. Kappelmeyer and R. Haenel (1974). Geothermics with Special Reference to Application. GEOEXPLORATION NOMOGRAPHS Series 1-Nº4.
- VDI 4640 – Parte 2. Thermal Use of Underground. Dusseldorf (2001).
- Ignacio Marzán (2000). Régimen Térmico de la Península Ibérica. Estructura Litosférica a través del Macizo Ibérico y el Margen SurPortugues. TESIS DOCTORAL. UNIVERSIDAD DE BARCELONA.
- M. Fernández, I. Marzán, A. Correia y E. Ramalho (1998). Heat flow, heat production, and lithospheric thermal regime in the Iberian Peninsula. TECTONOPHISICS 291(29-53).

El cuadro de valores obtenidos es el siguiente:

Litología	K (W/m.°C)
Granito	3,22
Cuacita	5,27
Pizarra	2,16
Esquisto	2,00
Gneiss	2,95
Gabro	2,26
Diorita	2,75
Anfibolita	2,46
Lutita	2,12
Grauvaca	2,20
Caliza, dolomía	2,50
Conglomerado	2,35
Arenisca	2,23
Arena	2,00
Yeso	4,50
Grava	1,65
Arcilla	1,90
Limo	1,61

A partir de este cuadro y de la descripción de columna litológica de los sondeos de medidas termométricas, se ha asignado un valor de la conductividad térmica en cada sondeo  $k(W/m \cdot ^\circ C)$

Con el valor de la conductividad térmica y del gradiente medio calculado ha sido posible calcular el flujo de calor superficial para cada punto.

A estos 150 puntos con valor del flujo de calor, se le ha sumado los valores de un total de 19 puntos incluidos en el área PROMOEENER-A, provenientes de la publicación antes mencionada.

Con el conjunto de puntos mencionados se ha elaborado la figura 11 que representa el Mapa de Flujo de Calor superficial en toda el área de estudio. Una gran parte de la zona de estudio se encuentra englobada en los rangos de  $20-40 \text{ mW/m}^2$  y  $40-60 \text{ mW/m}^2$ . Existen zonas menos extensas del rango superior  $60-80 \text{ mW/m}^2$  que definen, para el area estudiada, anomalías relativas del flujo. Dentro de estas zonas, localmente se alcanza y supera el rango de los  $80 \text{ mW/m}^2$  en zonas muy concretas al sur del Baixo Alentejo, al noroeste del Alto Alentejo y al este de Badajoz.

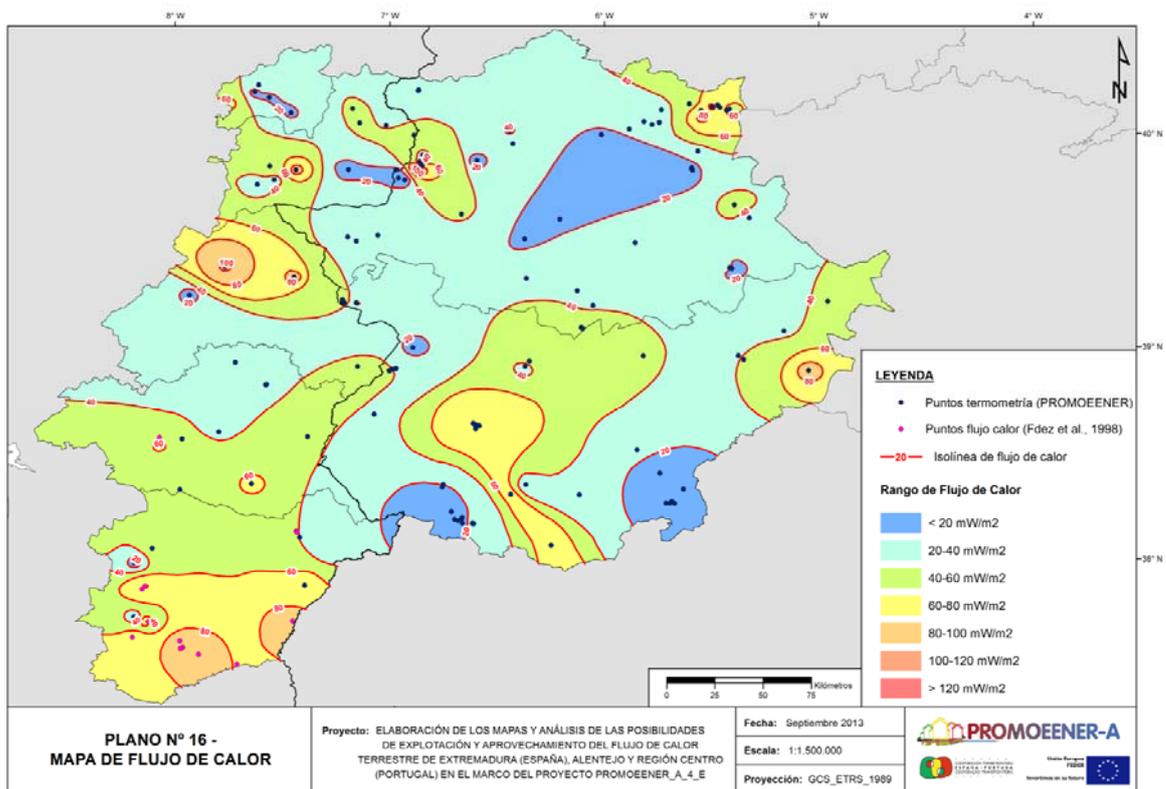


Figura 11

## 6. POTENCIAL DE RECURSOS GEOTÉRMICOS PROFUNDOS EN EXTREMADURA

La metodología empleada en el estudio correspondiente ha planteado la existencia de dos tipos de yacimientos geotérmicos profundos en Extremadura. Por un lado los yacimientos constituidos por formaciones permeables profundas, que pueden contener y transmitir los fluidos geotérmicos y por otro lado los yacimientos de roca caliente seca –HDR– cuya localización se realiza por medios geológicos o geofísicos.

A continuación se exponen las áreas seleccionadas para cada uno de ellos y sus características geotérmicas más importantes.

### 6.1 Yacimientos en potenciales acuíferos profundos

Los únicos materiales de la Comunidad Autónoma de Extremadura susceptibles de constituir acuíferos profundos son los pertenecientes al zócalo ígneo-metamórfico, pues las coberteras neógenas no alcanzan profundidades suficientes como para ser objeto de investigaciones.

Los materiales del zócalo ígneo-metamórfico que por su permeabilidad pueden presentar posibilidades de captación en zonas profundas de aguas geotérmicas, son por un lado las cuarcitas ordovícicas (cuarcita armoricana) de la ZCI, y del Dominio Obejo-Valsequillo, y las secuencias carbonatadas de la ZOM. Estos son los únicos materiales que presentan significativos valores de permeabilidad por fisuración y carstificación los primeros, y exclusivamente por fisuración los segundos, al ser rocas frágiles.

Para abordar la localización de acuíferos termales profundos, se ha consultado la bibliografía geológica del área (Mapas geológicos a escala 1/50.000 MAGNA, Síntesis geológica de Extremadura escala 1/250.000 etc.), lo que ha permitido seleccionar aquellas formaciones que presentan mayores posibilidades hidrogeológicas, y que además alcancen las profundidades apropiadas para los objetivos marcados.

Los datos de profundidad de las formaciones seleccionadas se han obtenido, cuando ello ha sido posible, mediante la ejecución de cortes geológicos seriados orientados convenientemente sobre cartografía geológica a escala 1/50.000 (MAGNA).

### YACIMIENTOS EN EL HORIZONTE CUARCÍTICO (Cuarcita Armoricana)

La Cuarcita Armoricana, es una formación detrítica de edad Arenig, que caracteriza la ZCI y el Dominio Obejo-Valsequillo, dando un resalte morfológico de gran continuidad, que caracteriza dichas zonas. Los afloramientos de esta formación en la ZCI, presentan gran continuidad y se relacionan con estructuras que se siguen en cientos de kilómetros. En el Dominio Obejo-Valsequillo, esta formación aparece en estructuras más fragmentadas, pues todo este dominio está afectado por grandes fallas de desgarres izquierdas de edad varisca. Desde el punto de vista de la investigación, se ha dado prioridad a la investigación de la Cuarcita Armoricana en la ZCI, si bien cabe señalar que algunas de las estructuras del Dominio Obejo-Valsequillo en la

que queda implicada dicha formación, presentan ciertas posibilidades, como es el caso del Anticlinal de Monterrubio-Sierra de la Lapa.

Conjugando amplitud de las estructuras variscas, y espesor de la Cuarcita Armoricana, se han seleccionado tres estructuras aptas para contener yacimientos geotérmicos: Sinclinal de Herrera del Duque, el Sinclinal de Almadén y el Sinclinal de Guadarranque.

Además se han incluido el Sinclinal de la Sierra de San Pedro, pese a que las cuarcitas armoricanas cuentan con menor espesor, y el Sinclinal de Cáceres, que pese a preverse profundidades menores pudiera ser de interés, dada su proximidad a la ciudad de Cáceres.

A continuación se describe brevemente cada una de estas zonas.

### **Sinclinal de Herrera del Duque**

El Sinclinal de Herrera del Duque es una estructura varisca de dirección NO-SE, poco evolucionada, y poco fracturada, de bastante amplitud, que acumula una secuencia paleozoica bastante completa desde el Ordovícico hasta el Devónico Superior. En esta estructura la potencia estimada para la Cuarcita Armoricana es del orden de unos 300-350 metros y el espesor de la secuencia paleozoica a techo de dicha cuarcita es de 1.600-1.700 metros. Los cortes geológicos permiten situar la posición de la base de la Cuarcita Armoricana en su zona central, a profundidades superiores a los 2.000 metros. En la estructura se aprecian numerosas fallas de dirección NNO-SSE, cuya orientación es compatible con fracturas abiertas o con posibilidades de reactivación mediante fracturación artificial. La temperatura del fluido en formación se estima en 80-100 °C.

### **Sinclinal de Almadén**

Esta estructura es muy similar a la del Sinclinal de Herrera del Duque, con la particularidad de que el flanco sur de la estructura está afectado por una zona de cizalla izquierda, que lamina y verticaliza la estructura (Cizalla de Garlitos). La zona de cizalla es amplia, ocupa una anchura de 3 kilómetros y afecta a materiales paleozoicos y a los del Grupo Ibor.

Los espesores de la Cuarcita Armoricana son los mayores reconocidos, en la memoria del mapa geológico a escala 1/50.000 (MAGNA) Hoja de Siruela (871), se estima unos espesores mínimos de 200 metros, si bien en los cortes geológicos de la referida Hoja se representan espesores de hasta 400 metros. El espesor de la secuencia paleozoica a techo de la Cuarcita Armoricana es del orden de 1.600 metros.

La temperatura estimada para el fluido de formación es de unos 80 °C.

El sinclinal coincide con una zona de anomalía negativa gravimétrica que probablemente corresponda con un granítico no aflorante, probablemente un granito hercínico de similares características a los existentes en el entorno.

La existencia de un plutón granítico bajo los materiales grauváquicos y lutíticos precámbricos sobre los que se instaura el sinclinal, podría condicionar la existencia de una anomalía geotérmica en la zona que pudiera incrementar la temperatura estimada de las aguas.

### **Sinclinal de Cáceres**

Se trata de una estructura sinclinal simple, asimétrica, con el plano axial inclinado hacia el noreste, que se encuentra en general poco fracturada; en ella las cuarcitas armoricanas presentan un espesor más reducido del orden de 60-75 m y los recubrimientos paleozoicos suprayacentes presentan un espesor del orden de 1100 m.

En el caso más positivo, es decir, de mayor profundidad de la formación, la temperatura del acuífero podría alcanzar los 115 °C, aunque la escasa fracturación evidenciada hace que los caudales esperables sean bajos.

Pese a estas incertidumbres la cercanía de este posible acuífero termal a la ciudad de Cáceres refuerza el interés geotérmico de esta zona.

### **Sinclinal de Guadarranque**

Se trata de una estructura sinclinorial situada al NE de Castañar de Ibor, en la que las cuarcitas armoricanas presentan espesores bajos del orden de 50 metros pero que alcanzan en su núcleo septentrional profundidades superiores a 2000 m.

El escaso espesor de las cuarcitas armoricanas, junto con la escasa fracturación apreciable, hace pensar que los caudales esperables del acuífero sean moderados. Considerando un gradiente geotérmico normal, en las zonas situadas bajo la isobata 1000 podrían localizarse flujos hídricos con temperaturas del orden de 50 °C, pudiendo llegar a alcanzar en la zona centroseptentrional del núcleo del sinclinal, donde el acuífero de cuarcitas armoricanas se sitúa a más de 2000 m de profundidad, temperaturas del orden de 80 °C.

### **Sinclinal de la Sierra de San Pedro**

El sinclinal de la Sierra de San Pedro, está dividido por una falla paralela a la estructura, que parece que condiciona la sedimentación a uno y otro lado. Al NE de la falla son más potentes las series cuarcíticas ordovícicas y silúricas, mientras que al Sur son más potentes las series del Devónico Medio-Superior. Realmente en este sinclinal los niveles cuarcíticos ordovícicos y silúricos presentan mayor espesor que las cuarcitas armoricanas, por lo que dichos tramos pueden ser de interés hidrogeológico, aunque no alcanzan profundidades adecuadas para un posible aprovechamiento geotérmico. Los niveles más profundos de las cuarcitas pueden alcanzar los 2.000 metros.

Las temperaturas esperables en las zonas más favorables podrían alcanzar, considerando un gradiente geotérmico normal, los 80°C; aunque dado el reducido espesor de las cuarcitas armoricanas en esta zona los caudales esperables son reducidos.

## **YACIMIENTOS EN EL HORIZONTE CARBONATADO (Calizas Cámbricas de la ZOM)**

Las secuencias carbonatadas cámbricas en la ZOM no son uniformes; en unos puntos se trata de una alternancia detrítico-carbonatada en bancos de potencia decimétrica-métrica, como sucede por ejemplo en Fuente de Cantos, y en otros son secuencias carbonatadas masivas,

como sucede en la Sierra de San Miguel en Llerena, en la antiforma de Fuentes del Maestre, en el sinclinal de Puebla del Maestre, junto al embalse del Pintado, en el sinclinal de Alconera etc. Por la simplicidad de la estructura y por el espesor de la secuencia carbonatada, se han considerado dos posibles estructuras favorables: el sinclinal de Alconera y la antiforma de Fuentes del Maestre.

### **Sinclinal de Alconera**

El sinclinal de Alconera es una estructura varisca situada en el flanco septentrional de la antiforma de Olivenza-Monesterio. El flanco norte de la estructura está parcialmente laminado por una falla subparalela a las estructuras que lamina parte del núcleo del sinclinal. La estructura se pierde igualmente hacia el SE contra una falla de dirección NNE-SSO.

El espesor del horizonte carbonatado (calizas de Alconera) excluyendo los niveles de facies rizadas del techo de la secuencia, es del orden de 400-450 metros en el centro y extremo meridional de la estructura. Hacia el NO se observa una clara disminución del espesor del horizonte carbonatado. Las secuencias detríticas que se superponen a las calizas, son de edad Cámbrico Inferior-Medio, y acumulan un espesor del orden de 2.200 metros.

En el extremo oriental de la estructura el acuífero calcáreo supera los 2000 m de profundidad, por lo que considerando un gradiente geotérmico normal, la temperatura podría superar los 80 °C.

La elevada permeabilidad por fisuración y carstificación de estos materiales, sobre todo con las elevadas temperaturas previstas en profundidad, junto con la elevada presión hidrostática de una posible captación en la zona favorable, hace pensar que los caudales de explotación en condiciones favorables puedan superar los 25 l/s.

### **Antiforma de Fuentes del Maestre**

Se trata de una estructura poco conocida y de difícil interpretación. Se trata de una antiforma que cierra perianticlinalmente hacia el ONO, que hacia el norte está laminada por una falla subparalela a las capas.

El núcleo de la antiforma lo ocupa una secuencia de calizas masivas de espesor desconocido (no aflora el muro), que son recubiertas primero por una monótona secuencia de tobas volcánicas básicas, y después por la Serie Negra. La estructura se ha interpretado como una antiforma de segunda fase que afecta a unos materiales cámbricos cabalgados por materiales precámbricos del tipo Serie Negra, antes de la formación de la referida antiforma.

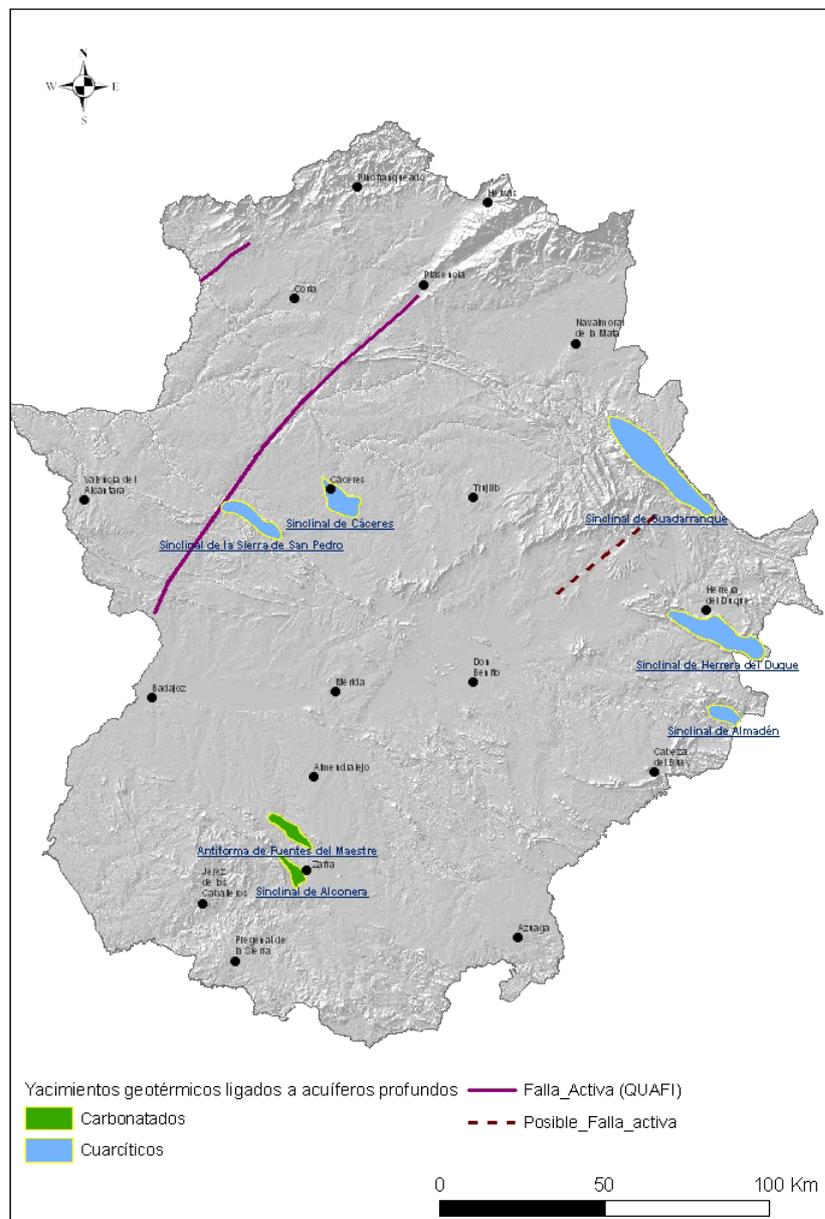
El acuífero calcáreo se hunde hacia el oeste y noroeste superando los 2000 m de profundidad y pudiendo incluso llegar a alcanzar profundidades próximas a los 3000 metros en las zonas más septentrionales y en la zona próxima a la falla occidental que limita la estructura.

Considerando un gradiente geotérmico normal, la temperatura de base estimada en 103 °C es compatible con profundidades del orden de 2.800 m, similares a las que pudieran preverse en las zonas septentrionales y próximas a la falla oriental de la estructura.

La elevada permeabilidad por fisuración y carstificación de los niveles calcáreos, hacen pensar que mediante una correcta captación a profundidades de 2800 m podrían obtenerse caudales significativos con temperaturas del orden de 100 °C.

## RESUMEN

Como resumen, se puede decir que los acuíferos geotérmicos profundos identificados en Extremadura pueden proporcionar agua a temperaturas del orden de 80°C en la mayor parte de las zonas seleccionadas, a profundidades estimadas de 2.000 metros. Los caudales explotación serían mayores en los horizontes carbonatados de Alconera y Fuentes del Maestre. En la figura 12 se presenta la localización de las zonas descritas anteriormente.



**Figura 12.** Yacimientos geotérmicos ligados a acuíferos profundos.

## 6.2 Yacimientos en Roca Caliente Seca (HDR) deducidos por documentación geológica y gravimétrica

A partir de la correlación entre información geológica e información gravimétrica se han identificado 25 áreas con anomalías negativas que pueden ser producidas por granitos no aflorantes o semi-aflorantes, y que constituyen potenciales yacimientos geotérmicos, cuyas características se recogen en la siguiente tabla 3.

Nº	Intensidad anomalía 1 min y 5 max	Potencial yacimiento	Dominio geológico	Comentarios
1	2	Granito no aflorante	Rocas sedimentarias y metasedimentarias paleozoicas y precámbricas, intercalaciones volcánicas	Afloramientos granitos cercanos
2	3	Granito semi- aflorante	Rocas sedimentarias y metasedimentarias e intercalaciones volcánicas entre afloramientos graníticos	Geología compleja
3	2	Granito no aflorante	Rocas sedimentarias del paleozoico con intercalaciones volcánicas	Coincide con identificación nº 4 por métodos geoquímicos.
4	1	Granito no aflorante	Rocas sedimentarias del paleozoico	la anomalía puede estar asociada a los sedimentos
5	1	Granito no aflorante	Rocas sedimentarias del paleozoico y vulcanosedimentarias del precámbrico	Afloramientos granitos cercanos
6	1	Granito no aflorante	Rocas sedimentarias y metasedimentarias, menores afloramientos graníticos	Aparente continuidad con la 7
7	2	Granito no aflorante	Sedimentos terciarios, menores afloramientos graníticos al sur	Alineación de terremotos que parece marcar el límite de un posible batolito granítico no aflorantes.
8	4	Granito semi- aflorante	Rocas sedimentarias y metasedimentarias del paleozoico y terciario, grandes afloramientos graníticos	Coincide con identificación nº 3 por métodos geoquímicos.
9	2	Granito semi- aflorante	Rocas sedimentarias y metasedimentarias precámbricas, menores afloramientos paleozoicos y terciarios	Grandes afloramientos graníticos cercanos
10	1	Granito no aflorante	Rocas sedimentarias y metasedimentarias precámbricas, paleozoicas y terciarias, menor afloramiento granítico	la anomalía puede estar asociada a los sedimentos
11	1	Granito no aflorante	Rocas sedimentarias y metasedimentarias paleozoicas	La anomalía puede estar asociada a los sedimentos
12	1	Granito no aflorante	Rocas sedimentarias precámbricas	la anomalía puede estar asociada a los sedimentos
13	3	Granito semi- aflorante	Rocas sedimentarias precámbricas y terciarias; en su zona central aparece una aureola de metamorfismo	Cerca de las identificaciones nº 5 y 7 por métodos geoquímicos.

**Tabla 3.** Identificación y caracterización de posibles Yacimientos Geotérmicos profundos (HDR)

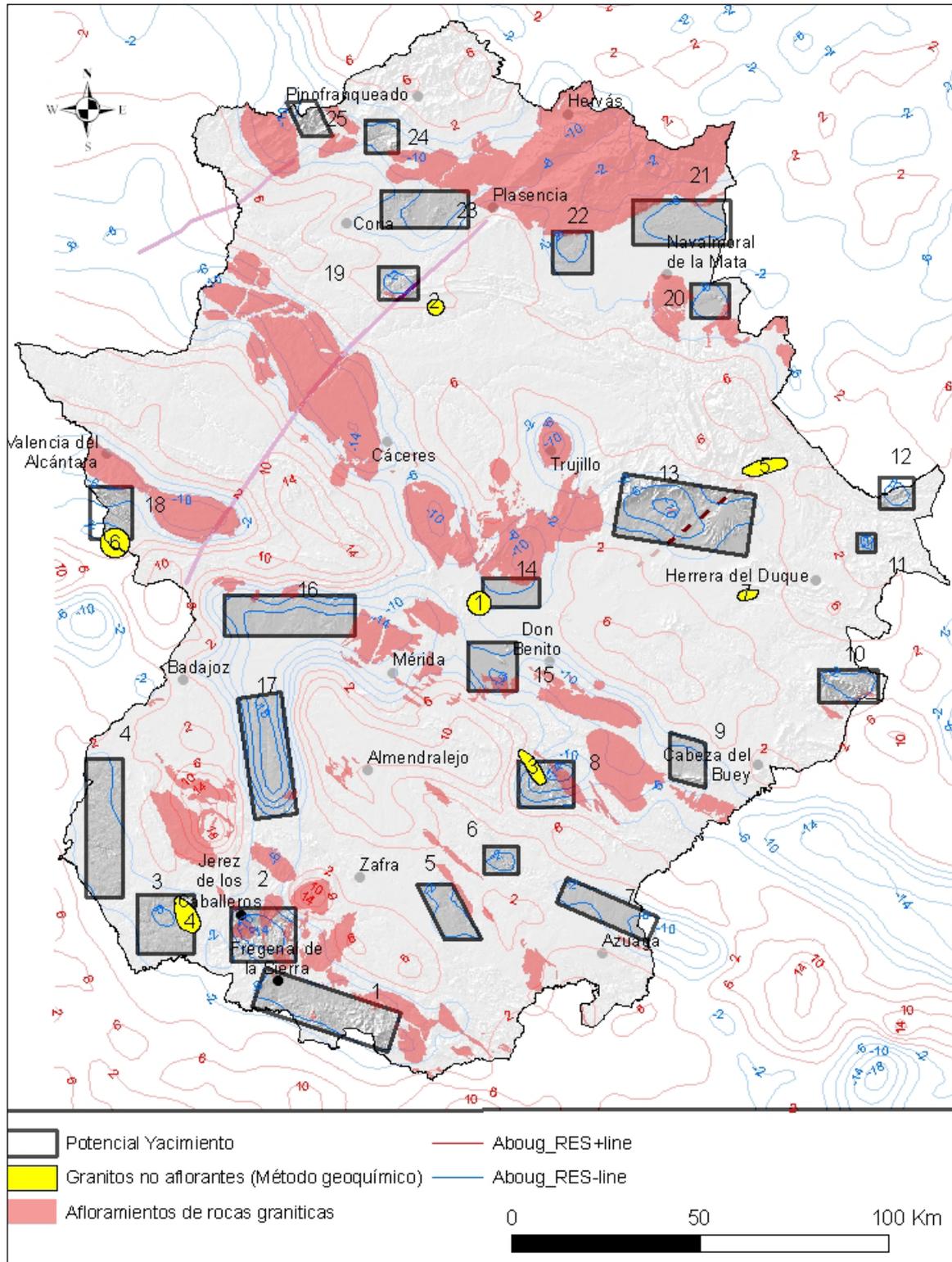
Nº	Intensidad anomalía 1 min y 5 max	Potencial yacimiento	Dominio geológico	Comentarios
14	2	Granito semi-aflorante	Rocas sedimentarias terciarias cobertera de basamento granítico	Coincide con identificación nº 1 por métodos geoquímicos.
15	2	Granito semi-aflorante	Rocas sedimentarias cuaternarias y terciarias cobertera de basamento granítico	Entorno con grandes afloramientos graníticos
16	4	Granito semi-aflorante	Rocas sedimentarias cuaternarias y terciarias con afloramientos graníticos	Grandes afloramientos graníticos cercanos
17	5	Granito no aflorante	Extremo sur de la cuenca del Guadiana	La cobertera sedimentaria terciaria parece insuficiente para la intensidad de la anomalía
18	2	Granito semi-aflorante	Rocas sedimentarias y metasedimentarias paleozoicas y precámbricas sobre basamento granítico	Coincide con identificación nº 6 por métodos geoquímicos.
19	1	Granito no aflorante	Rocas sedimentarias y metasedimentarias terciarias y precámbricas, paleozoicas y granitos hacia el sur	Cercana identificación nº 2 por métodos geoquímicos.
20	2	Granito semi-aflorante	Rocas sedimentarias terciarias cobertera de basamento granítico	Límite de grandes masas graníticas aflorantes
21	2	Granito semi-aflorante	Rocas sedimentarias terciarias cobertera de basamento granítico	Límite de grandes masas graníticas aflorantes
22	2	Granito semi-aflorante	Rocas sedimentarias terciarias cobertera de basamento granítico	Límite de grandes masas graníticas aflorantes
23	2	Granito semi-aflorante	Rocas sedimentarias terciarias cobertera de basamento granítico	Límite de grandes masas graníticas aflorantes
24	2	Granito semi-aflorante	Rocas sedimentarias paleozoicas	Entorno con grandes afloramientos graníticos
25	3	Granito semi-aflorante	Rocas sedimentarias paleozoicas y precámbricas	Entorno con grandes afloramientos graníticos

**Tabla 3 (Continuación).** Identificación y caracterización de posibles Yacimientos Geotérmicos profundos (HDR)

Estas zonas seleccionadas se presentan en la figura 13 superpuestas a información geológica y gravimétrica.

La potencialidad de los yacimientos de roca caliente seca (HDR) en Extremadura parece de interés según los modelos geotérmicos sintéticos realizados en el proyecto de investigación, que prevén la posible existencia de temperaturas de 150 ° C a 3.000 m de profundidad, que pudieran alcanzar los 180 °C a 4.000 metros.

La explotación de este tipo de yacimientos requiere incrementar direccionalmente la permeabilidad por fisuración y fracturación del granito mediante técnicas especiales de hidrofracturación. La existencia previa de evidencias de fracturación, sobre todo en direcciones paralelas al tensor de esfuerzos actual, debido a que pudieran encontrarse abiertas o abrirse mediante hidrofracturación, puede considerarse como un factor positivo para la posible explotación futura del yacimiento.



**Figura 13.** Áreas identificadas como potenciales yacimientos geotermiales profundos por correlación entre gravimetría y geología (enumeradas en negro). Se observan coincidencias con otras identificaciones hechas por métodos geoquímicos (resaltadas en amarillo).

De las 25 zonas deducidas por correlación entre información geológica e información gravimétrica, se aprecian abundantes fallas cartografiadas en direcciones favorables NNO-SSE (perpendiculares al tensor de distensión actual), en la nº 3 (NO de Oliva de la Frontera), 4, 5 y 18 (Área de la Codosera). Con fracturas menos abundantes en dirección favorable NNO-SSE se encuentran las zonas nº 1, 2, 6 y 16. Las zonas 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 17, 19, 24 y 25 presentan algunas fallas en otras direcciones; y no se aprecian fallas significativas en las zonas 14, 15, 20, 21, 22 y 23.

Como actualmente no existe información que permita determinar la profundidad y morfología del granito identificado, ni datos sobre parámetros térmicos locales, se ha decidido valorar el posible interés de las zonas identificadas fundamentalmente en base a la existencia de fracturación y previsible localización profunda del granito en alguno de sus sectores.

De esta manera, las zonas de yacimientos profundos HDR, potencialmente de mayor interés se muestran en la figura 14. De ellas corresponden a localizadas bajo depósitos metasedimentarios las siguientes:

- Zona 1 “Fregenal de la Sierra-Monesterio”.
- Zona 3 “Oliva de la Frontera”. Si bien aquí habría que determinar si realmente la aureola de contacto no está afectada, como se deduce de las cartografías del MAGNA, por las fallas de dirección NO-SE. Habría que determinar además si estas fallas no han rejugado posteriormente.
- Zona 8 “Valle de La Serena”. Esta zona se sitúa en el Dominio Obejo-Valsequillo que se encuentra muy fracturado.
- Zona 18 “San Vicente de Alcántara-La Codosera”. Esta anomalía situada igualmente en el Dominio Obejo-Valsequillo, se encuentra afectada por fallas NE-SO y NO-SE y se encuentra muy alterada.

Respecto a los potenciales yacimientos profundos HDR localizados en zonas cubiertas por depósitos neógenos se consideran de mayor interés las siguientes zonas:

- Zona 7 “Maguilla-Granja de Torrehermosa”, que se sitúa en el Dominio Obejo-Valsequillo y que se encuentra muy fracturado,
- Zona 16 “Villar del Rey-La Nava de Santiago”. Aunque el granito de Villar del Rey presenta baja fracturación, al oeste de la localidad de La Roca de la Sierra, se aprecian fallas favorables en dirección NNO-SSE, además en la zona existe una cierta concentración de sismos que pudieran estar relacionados con dichas fallas.
- Zona 17 “Talavera La Real-Santa Marta”, por la gran intensidad de la anomalía, su orientación y porque al situarse en el Dominio Obejo-Valsequillo que se encuentra muy fracturado,
- Zona 21 “Talayuela-Rosalejo”, que corresponde a granitos varísticos que se encuentran fracturados.
- Zona 22 “Toril”, que corresponde a granitos varísticos que se encuentran fracturados.

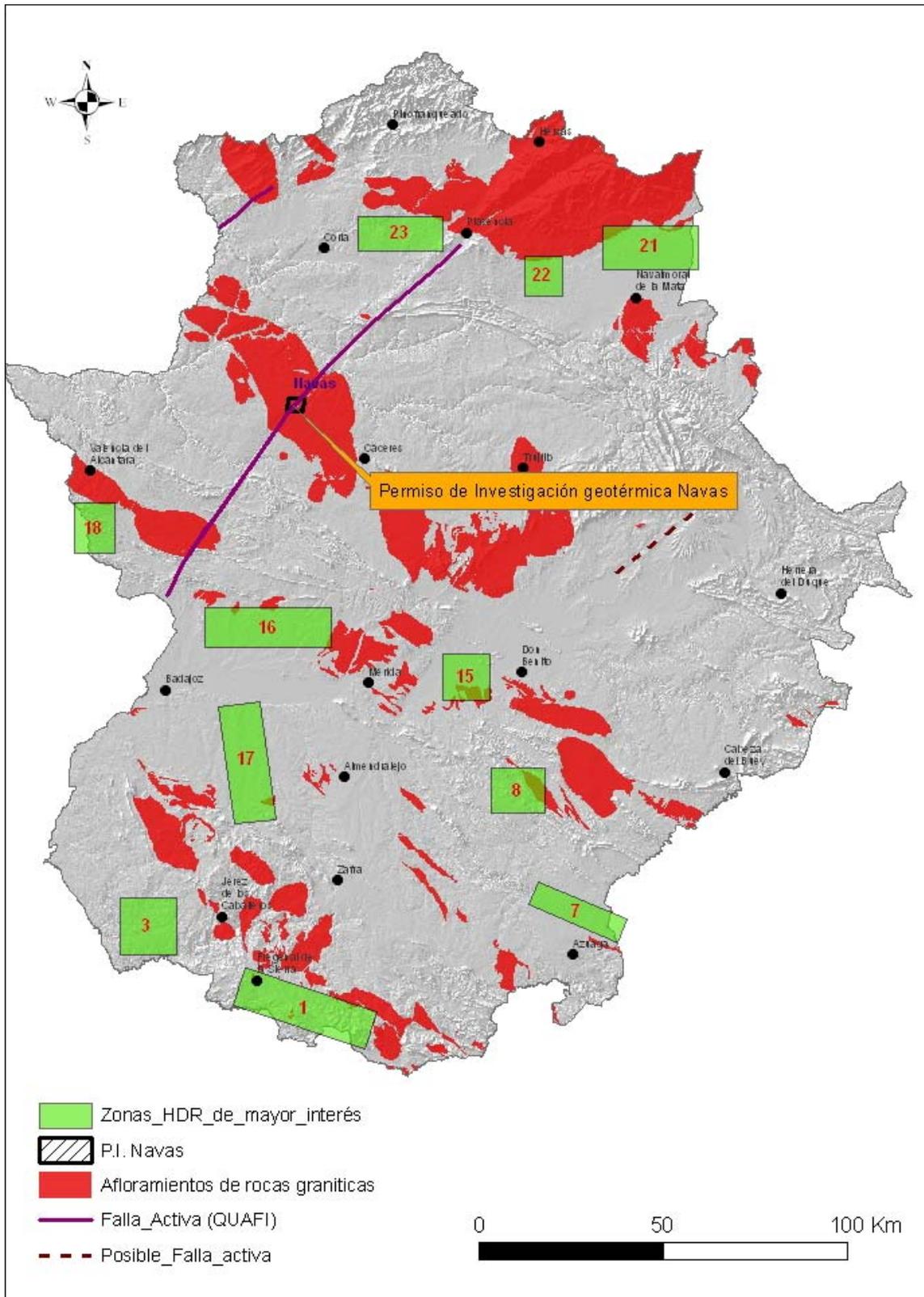


Figura 14. Yacimientos geotérmicos HDR potencialmente de mayor interés

- Zona 23 “Morcillo-Carcaboso”, que corresponde a granitos varísticos que se encuentran fracturados.

Además, podría tener interés también la zona 15 “Santa Amalia-Valdetorres-Medellín”, que corresponde a granitos tardivariscos, en la que podría requerirse mayor esfuerzo para estimulación de la fracturación inducida.

Los afloramientos graníticos como el de Cabeza de Araya que ha sido objeto de varias exploraciones geotérmicas, no se han considerado en principio favorables al carecer de una cobertera aislante, que además pueda por refracción mejorar las condiciones térmicas del posible yacimiento; no obstante pudiera ser posible que si la profundidad de algunos afloramientos graníticos fuera muy significativa pudieran constituir zonas de interés geotérmico.

Hay que mencionar al respecto que se encuentra vigente en Extremadura un permiso de investigación geotérmica dentro del batolito de Cabeza de Araya; se trata del permiso de investigación Nava, que se localiza sobre la falla de Plasencia en un pequeño sector donde al parecer los granitos alcanzan profundidades significativas y tiene especial interés exploratorio para el titular del derecho minero.

## **7. POTENCIAL DE RECURSOS GEOTÉRMICOS PROFUNDOS EN ALENTEJO Y REGIÓN CENTRO (PORTUGAL)**

Para la zona portuguesa del área PROMOEENER, Alentejo y Región Centro, la descripción de los recursos geotérmicos profundos se ha realizado en función del nivel térmico o de entalpia, distribuyéndolos de acuerdo con las siguientes categorías:

- Recursos de baja entalpia profundos
- Recursos de media entalpia profundos
- Recursos de alta entalpia profundos
- Áreas de potencial EGS –Sistemas Geotérmicos Estimulados–

### **7.1 Recursos de baja entalpia profundos**

Los recursos geotérmicos de baja entalpia profundos son aquellos que estando a temperaturas de 30 °C a 100 °C, se encuentran en formaciones o ámbitos geológicos permeables a profundidades superiores a 200 metros.

Estos recursos de baja entalpia profundos pueden estar localizados en dos tipos de yacimientos: formaciones sedimentarias permeables extensas (cuencas sedimentarias) o en zonas de fracturación con circulación profunda de los fluidos.

### **Yacimientos en cuencas sedimentarias**

En el área de estudio, Alentejo y Región Centro de Portugal, existen cuatro cuencas sedimentarias con posibles recursos de baja entalpia, a saber:

- Bacia do Baixo Tejo-Sado
- Bacia de Alvalade
- Sector de Castelo Branco (valle interior del Tajo)
- Bacia de Moura

En todas ellas la profundidad máxima a la que se encuentran formaciones permeables (dentro del área PROMOEENER) no superan en ningún caso los 200 metros por lo que su temperatura es menor de 30 grados y se clasifican dentro de los recursos geotérmicos contenidos en acuíferos.

### **Yacimientos en zonas fracturadas**

Un carácter diferente tienen los recursos geotérmicos de baja temperatura que se encuentran en zonas de fracturación. Si bien no existe información de tipo geofísico que pueda confirmar la existencia de recursos de ese tipo, el conocimiento geológico, tectónico, termométrico e hidrogeoquímico adquirido en el proyecto PROMOEENER, permite seleccionar determinadas zonas como de posible existencia de yacimientos de baja temperatura.

Esta selección se realiza sobre todo por la evidencia de circulación profunda que muestran las aguas estudiadas en el proyecto. A las manifestaciones que están en su localización muy ligadas a fracturas, se pueden considerar como escapes de almacenes de fluidos calientes situados a gran profundidad.

La temperatura en profundidad se deduce de la geotermometría realizada a partir del contenido en sílice, mientras que la profundidad del almacén sólo puede deducirse a partir del mapa de gradiente geotérmico elaborado, a falta de información geofísica detallada (prospección geoelectrica, prospección sísmica o prospección gravimétrica de detalle).

Con este criterio se han seleccionado 6 áreas, ligadas a fracturas o zonas de fracturación. Para cada una de estas zonas se cumplen las siguientes condiciones:

- Existencia de fracturas de envergadura importante y actividad reconocida
- Presencia de indicios de circulación profunda de aguas: manifestaciones geotérmicas.

A continuación se enumeran las áreas seleccionadas con sus principales características geométricas y geotérmicas que se representan en la figura 15.

- Área A.** Situada al SE de Beja, próxima al límite sur de la zona de estudio  
Temperatura estimada de almacén: 55-100 °C  
Profundidad estimada: 1.600-4.000 metros

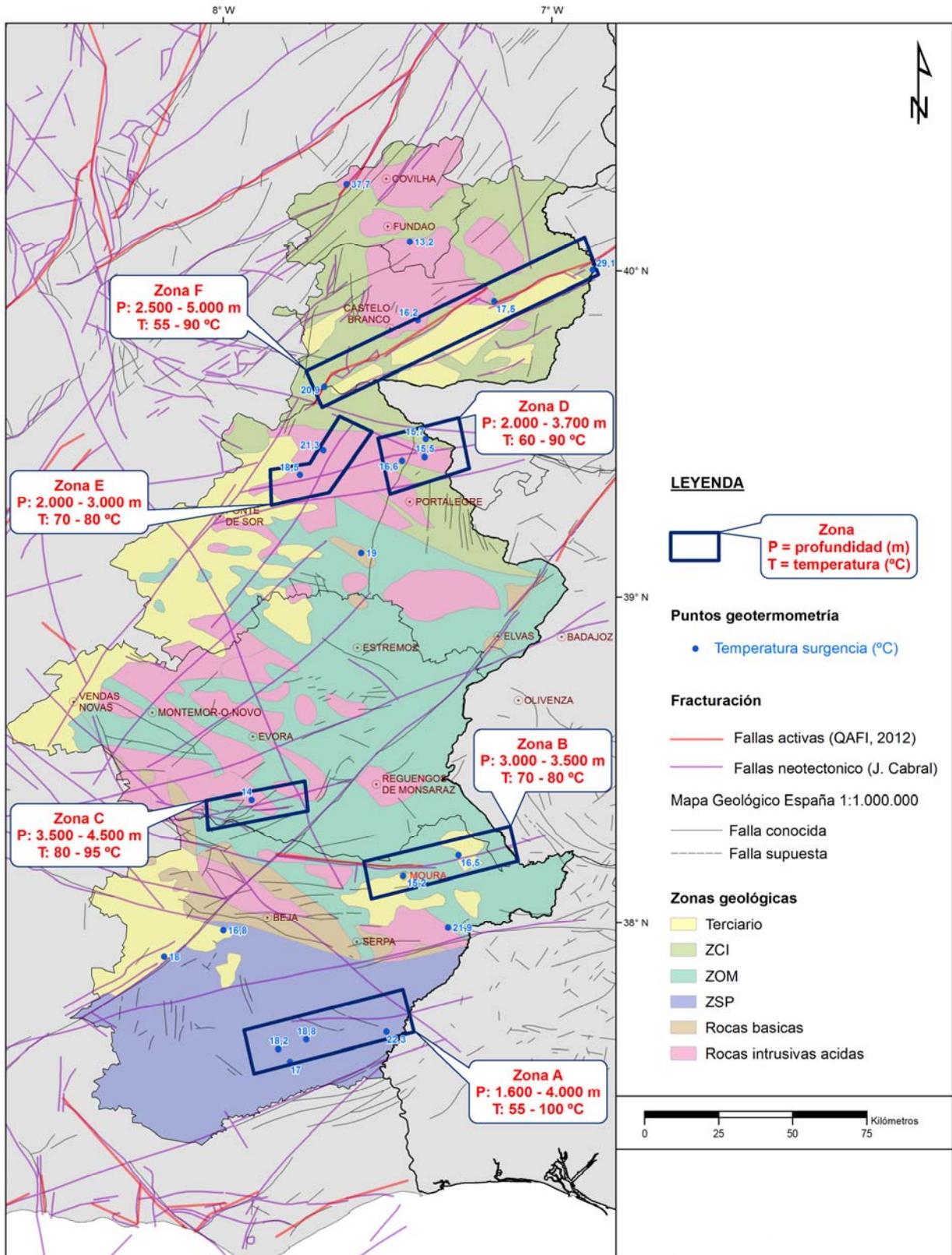


Figura 15. Áreas de baja entalpia profundas en zonas fracturadas

- Área B.** Situada al norte de Moura. Comprende un tramo significativo de la falla de Vidigueira-Moura.  
Temperatura estimada de almacén: 70-80 °C  
Profundidad estimada: 3.000-3.500 metros
- Área C.** Situada a unos 20-30 km al sur de Évora, en una falla de dirección ENE-OSO.  
Temperatura estimada de almacén: 90 °C  
Profundidad estimada: 3.500-4.500 metros
- Área D.** Situada al norte de Portalegre, en la confluencia de varias fracturas neotectónicas de direcciones NO-SE y NE-SO.  
Temperatura estimada de almacén: 60-90 °C  
Profundidad estimada: 2.000-3.700 metros
- Área E.** Situada a unos 30-35 km al noroeste de Portalegre, en la confluencia de falla de dirección NNE-SSO con otra de dirección NE-SO.  
Temperatura estimada de almacén: 70-80 °C  
Profundidad estimada: 2.000-3.000 metros
- Área F.** Ligada a la importante falla de Pónsul, que limita tectónicamente por el norte con la cuenca de Castelo Branco. Presenta manifestaciones en una longitud de casi 100 km. La falla pasa a menos de 10 km de Castelo Branco.  
Temperatura estimada de almacén: 55-90 °C  
Profundidad estimada: 2.500-5.000 metros

## 7.2 Recursos de media entalpia profundos

La única información disponible que puede permitir la asignación de recursos de media entalpia, temperatura comprendida entre 100 y 150 °C, a alguna zona del área PROMOEENER en Portugal, es la geotermometría de sílice realizada. Existen dos puntos: Termas de Unhais de Serra en el límite norte del área y Sao Domingos, en el límite sur del área, cuyas temperaturas calculadas exceden los 100 °C y se encuentran ligadas a fracturas de diferente origen.

El primero de ellos, situado en una fractura de gran envergadura y dirección NNE-SSO, presenta una temperatura de surgencias de 37,7 °C y la temperatura de almacén, estimada a partir de la geotermometría de sílice alcanza los 103,7 °C. La profundidad estimada para existencias de estas temperaturas, visto el valor del gradiente geotérmico en la zona es del orden de 6.500-7.000 metros.

El segundo de ellos se encuentra en una zona de confluencia de fracturas de direcciones NO-SE y ENE-OSO, de diferente envergadura. Su temperatura de surgencia es de 22,4 pero la temperatura estimada de almacén es de 127,1 °C, la más elevada en los cálculos geotermométricos del área de estudio. La profundidad estimada en este caso es de 4.500-5.000 metros. En la figura 16 se presenta la situación de estas áreas.

En ambos casos, a la vista del estado actual de las tecnologías, de extracción y conversión energética, estos recursos resultarían económicamente poco viables. Las inversiones a realizar en sondeo de captación serían muy elevadas para la potencia térmica disponible y consiguiente potencia eléctrica instalable.

### 7.3 Recursos de alta entalpia profundos

Los recursos de alta entalpia están ligados a la existencia de fenómenos geológicos muy anómalos, lo que da lugar a la presencia de gradientes geotérmicos muy elevados, del orden de 100-150 °C cada km. De forma que a profundidades de 1.500-2.500 metros las formaciones permeables contienen fluidos geotérmicos (agua y vapor) a temperatura siempre por encima de los 150 °C y muy habitualmente por encima de 200 °C.

La condición más importante para la existencia de este tipo de yacimiento es la presencia de un foco de calor activo y próximo a la superficie de la Tierra. Esta presencia de foco de calor activo lleva aparejada la existen de manifestaciones de tipo volcánico y/o plutónico en épocas geológicas recientes (Cuaternario-Plioceno). Este condicionante no tiene lugar, a la vista de todos los conocimientos geológicos de la geografía portuguesa, en el territorio continental.

Por ello, es posible aventurar la imposibilidad de existencia de recursos geotérmicos de alta entalpia en el área geográfica ámbito del proyecto PROMOEENER.

### 7.4 Áreas de potencial EGS -Sistemas Geotérmicos Estimulados-

Los sistemas geotérmicos estimulados (EGS) constituyen una variedad en la evolución del concepto clásico de yacimientos de roca caliente seca (Hot Dry Rock – HDR), producido tras más de veinte años de investigación en este concepto de recurso geotérmico. La posibilidad de existencia previa de fracturación regional de gran envergadura y profundidad, con baja permeabilidad que impide la extracción de fluido, conduce al planteamiento del concepto de sistema geotérmico estimulado (EGS). En estas zonas con fracturación profunda pero baja permeabilidad pueden aplicarse conceptos de desarrollo de yacimientos de HDR, para estimular y mejorar la permeabilidad de la región fracturada, de forma que pueda crearse un circuito de extracción de calor mediante dobles inyección-extracción y utilización de un fluido externo. Así pues, se puede decir que un sistema geotérmico estimulado (EGS) es un yacimiento de roca caliente seca (HDR) en el que la fracturación ya existe y debe mejorarse la permeabilidad artificialmente (estimular).

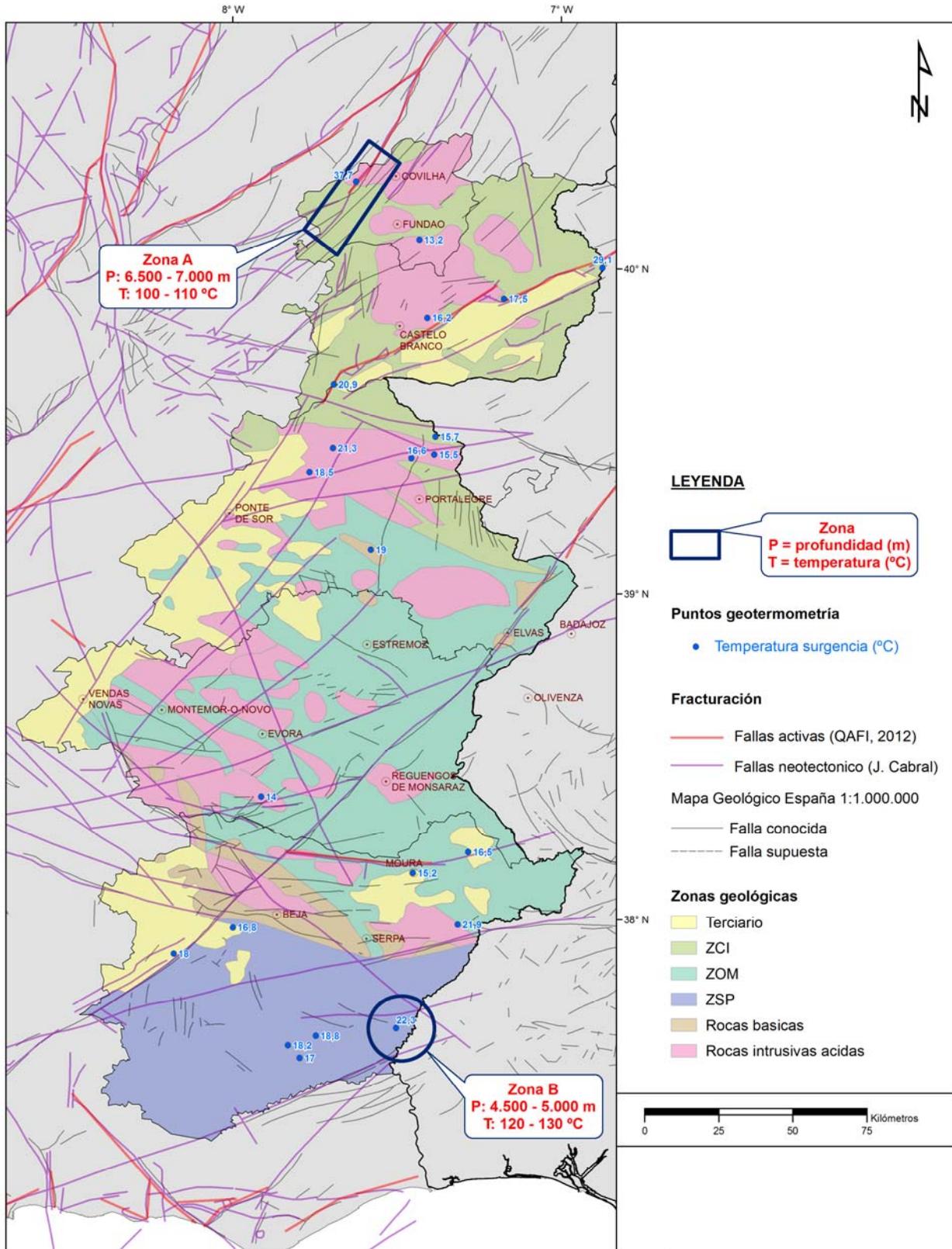


Figura 16. Áreas de media entalpia profundas en zonas fracturadas

De acuerdo con el modelo expuesto y con los criterios actuales de la tecnología, las condiciones para el desarrollo de un sistema geotérmico estimulado (EGS) se pueden resumir en lo siguiente:

1. Existencia de una masa de roca dura, preferentemente granítica, pero también metamórfica con baja permeabilidad en su matriz.
2. Existencia de fracturación regional, preferentemente de tipo distensivo y que afecte a la masa de roca. Si bien, hoy en día se contempla la posibilidad de desarrollo de proyectos EGS en áreas compresivas.
3. Existencia de un cierto grado de anomalía geotérmica.

En el área de estudio se puede decir que se cumple en gran parte de su ámbito las condiciones 1 y 2. Respecto a la fracturación hay que señalar que, es predominantemente compresiva, siendo mayoría las áreas elevadas tectónicamente como resultado de dicha compresión. Sólo algunas áreas marginales presentan carácter de hundimiento –graben– pero causados por los esfuerzos tangenciales (fallas en dirección).

Por todo lo anterior se podría seleccionar a la vista de los mapas de fracturación un elevado número de zonas. Sin embargo el estudio del gradiente geotérmico llevado a cabo en este proyecto no permite ser optimista en cuanto a la viabilidad del Sistema EGS. Para los gradientes medios encontrados, para alcanzar temperaturas favorables para el Sistema EGS (150-200 °C), sería necesario profundizar hasta más de 6 km para el desarrollo ingenieril de un Sistema EGS (fracturación y estimulación) lo que para el estado actual de la tecnología es prácticamente prohibitivo técnica y económicamente.

A pesar de lo anterior, superponiendo el mapa de gradiente geotérmico realizado a los mapas de fracturación, ha sido posible seleccionar dos áreas con presencia de batolitos graníticos, con fracturación de envergadura y gradiente geotérmico relativamente anómalo (0,025-0,03 °C/m) frente a los valores medios de 0,01-0,02 °C/m existente en toda el área estudiada.

Estas áreas se representan en la figura 17. La zona denominada A se encuentra al oeste de Portalegre, próximo al límite oeste del área del proyecto. Se trata de un batolito de granitos biotíticos con fractura de dirección NNE-SSO y NE-SO. El gradiente geotérmico en esta área alcanza valores de 0,025-0,035 °C/m.

El área B incluye la masa de granitos monzoníticos y moscovíticos-biotíticos, que sirve de límite por el norte a la cuenca de Castelo Branco, incluyendo la falla de Pónsul que podría ser ámbito en profundidad de un Sistema Geotérmico Estimulado. El valor del gradiente geotérmico en esta zona, en sus extremos supera los 0,02 °C/m.

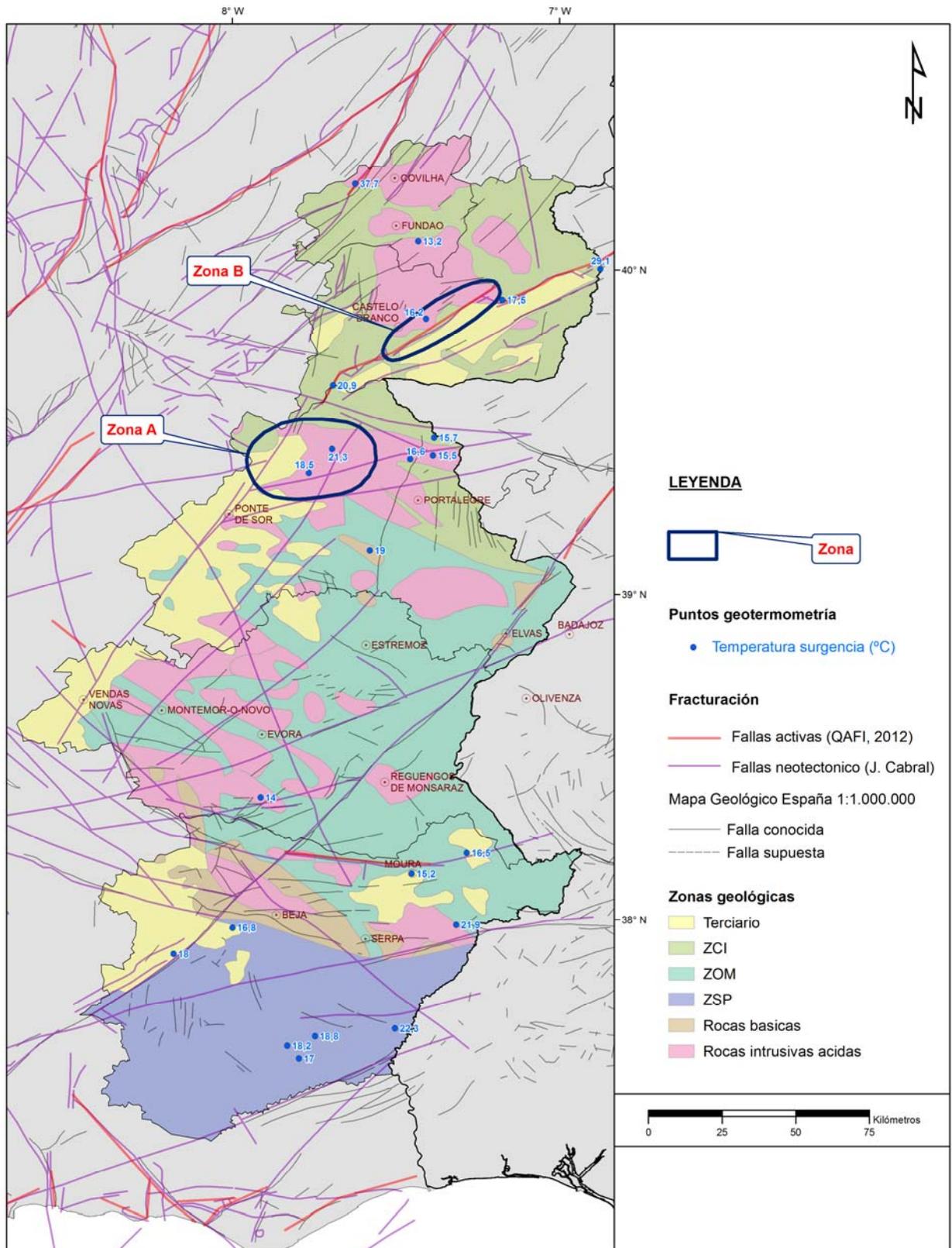


Figura 17. Áreas de potencial recurso EGS