

# **CONTENIDO**

## **INTRODUCCION GENERAL**

### **1.- OBJETIVOS DEL RECONOCIMIENTO DE INDICIOS GEOTERMICOS**

### **2.- PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO. METODOLOGIA**

### **3.- MARCO GEOLOGICO GENERAL**

#### **3.1. ESTRATIGRAFIA**

##### **3.1.1. Paleozoico**

##### **3.1.2. Mesozoico**

###### **3.1.2.1. Buntsandstein**

###### **3.1.2.2. Muschelkalk**

###### **3.1.2.3. Keuper**

###### **3.1.2.4. Trías superior-Lías inferior**

###### **3.1.2.5. Lías medio-superior**

###### **3.1.2.6. Dogger a Cretácico inferior en facies Purbeck**

###### **3.1.2.7. Cretácico inferior en facies Weald**

###### **3.1.2.8. Aptiense-Albiense inferior calizo**

###### **3.1.2.9. Aptiense-Albiense detrítico**

###### **3.1.2.10. Albiense-Cenomaniense calizos**

###### **3.1.2.11. Albiense-Cenomaniense arenoso**

###### **3.1.2.12. Cretácico superior septentrional margoso**

###### **3.1.2.13. Rocas volcánicas**

###### **3.1.2.14. Cretácico superior meridional margoso**

###### **3.1.2.15. Cenomaniense-Turonense calizo**

###### **3.1.2.16. Coniaciense-Campaniense calizo**

###### **3.1.2.17. Cretácico superior terminal detrítico**

##### **3.1.3. Terciario**

###### **3.1.3.1. Terciario flyschoides**

###### **3.1.3.2. Terciario marino calizo-dolomítico**

###### **3.1.3.3. Terciario continental**

##### **3.1.4. Cuaternario**

#### **3.2. TECTONICA**

##### **3.2.1. Franja móvil de la Sierra de Cantabria**

##### **3.2.2. Sinclinal de Miranda-Treviño**

##### **3.2.3. Estructura de Sobrón**

##### **3.2.4. Unidad de Urbasa-Montes de Vitoria**

##### **3.2.5. Anticlinorio vizcaino**

##### **3.2.6. Sinclinorio de Vizcaya**

##### **3.2.7. Estructura de Navarniz**

##### **3.2.8. Estructura de Aralar**

##### **3.2.9. Cadena costera guipuzcoana**

##### **3.2.10. Estructuras guipuzcoanas de dirección NW-SE**

##### **3.2.11. Estructuras guipuzcoanas de dirección NE-SW**

### **4.- INVENTARIO Y MUESTREO**

#### **4.1. PLANTEAMIENTO GENERAL**

#### **4.2. RESULTADOS**

## **5.- CARACTERISTICAS DE LAS MANIFESTACIONES ESTUDIADAS**

### **5.1. VIZCAYA**

- 5.1.1. Molinar de Carranza
  - 5.1.1.1. Situación actual
  - 5.1.1.2. Entorno geológico
  - 5.1.1.3. Características hidrogeológicas
  - 5.1.1.4. Naturaleza geoquímica de los fluidos
- 5.1.2. Agua de Larrauri (Munguia)
  - 5.1.2.1. Situación actual
  - 5.1.2.2. Entorno geológico
  - 5.1.2.3. Características hidrogeológicas
  - 5.1.2.4. Naturaleza geoquímica de los fluidos
- 5.1.3. Urberuaga de Ubilla
  - 5.1.3.1. Situación actual
  - 5.1.3.2. Entorno geológico
  - 5.1.3.3. Características hidrogeológicas
  - 5.1.3.4. Naturaleza geoquímica de los fluidos
- 5.1.4. Ceberio y Guezala
  - 5.1.4.1. Situación actual
  - 5.1.4.2. Entorno geológico
  - 5.1.4.3. Características hidrogeológicas
  - 5.1.4.4. Naturaleza geoquímica del agua
- 5.1.5. Balneario de Cortézubi
  - 5.1.5.1. Situación actual
  - 5.1.5.2. Entorno geológico
  - 5.1.5.3. Características hidrogeológicas
- 5.1.6. Manantial sulfhídrico de Elorrio
  - 5.1.6.1. Situación actual
  - 5.1.6.2. Entorno geológico
  - 5.1.6.3. Características hidrogeológicas
  - 5.1.6.4. Naturaleza geoquímica del agua

### **5.2. GUIPUZCOA**

- 5.2.1. Urberuaga de Alzola
  - 5.2.1.1. Situación actual
  - 5.2.1.2. Entorno geológico
  - 5.2.1.3. Características hidrogeológicas
  - 5.2.1.4. Naturaleza geoquímica del agua
- 5.2.2. Balneario de Cestona
  - 5.2.2.1. Situación actual
  - 5.2.2.2. Entorno geológico
  - 5.2.2.3. Características hidrogeológicas
- 5.2.3. Abastecimiento de Pasajes
- 5.2.4. Agua de Insalus (Lizarza)
  - 5.2.4.1. Situación actual
  - 5.2.4.2. Entorno geológico
  - 5.2.4.3. Características hidrogeológicas
  - 5.2.4.4. Naturaleza geoquímica del agua
- 5.2.5. Sta. Agueda, Aretxabaleta y Bolibar
  - 5.2.5.1. Situación actual
  - 5.2.5.2. Entorno geológico
  - 5.2.5.3. Características hidrogeológicas
  - 5.2.5.4. Naturaleza geoquímica del agua

- 5.3. ALAVA
  - 5.3.1. Aguas de Luyando
  - 5.3.2. Balneario de Zuazo de Cuartango
    - 5.3.2.1. Situación actual
    - 5.3.2.2. Entorno geológico
    - 5.3.2.3. Características hidrogeológicas
    - 5.3.2.4. Naturaleza geoquímica del agua
  - 5.3.2. Bafios de Sobrón
    - 5.3.3.1. Situación actual
    - 5.3.3.2. Entorno geológico
    - 5.3.3.3. Características hidrogeológicas
    - 5.3.3.4. Naturaleza geoquímica de las aguas
  - 5.3.4. Salinillas de Buradón
  - 5.3.5. Nanclares de La Oca
  - 5.3.6. Sondeos Treviño-2 y Treviño-3
    - 5.3.6.1. Situación actual
    - 5.3.6.2. Situación geológica
    - 5.3.6.3. Características hidrogeológicas
    - 5.3.6.4. Naturaleza geoquímica del agua

## **6.- SINTESIS GENERAL**

- 6.1. GEOLOGIA
- 6.2. HIDROGEOLOGIA
  - 6.2.1. Aguas termales
  - 6.2.2. Aguas frías de circulación profunda
  - 6.2.3. Aguas frías de circulación somera
- 6.3. HIDROQUIMICA
  - 6.3.1. Aguas termales
    - 5.3.1.1. Características Generales
    - 6.3.1.2. Justificación geoquímica
    - 6.3.1.3. Indicadores geotérmicos
  - 6.3.2. Aguas frías de circulación profunda
    - 6.3.2.1. Características generales
    - 6.3.2.2. Justificación geoquímica .
  - 6.3.3. Aguas de circulación somera
  - 6.3.4. Aguas de referencia
- 6.4. GEOQUIMICA DE GASES
  - 6.4.1. Clasificación de 10s gases
  - 6.4.2. Interpretación de resultados
- 6.5. ISOTOPOS
  - 6.5.1. Contenidos de tritio
  - 6.5.2. Isótopos estables
- 6.6. TERMOMETRIAS GEOQUIMICAS

## **7.- CONCLUSIONES**

## **8.- RECOMENDACIONES**

## **9.- TRABAJOS CONSULTADOS**

## **RELACIÓN DE CUADROS, FIGURAS, ANEXOS Y MAPAS**

## 7.- CONCLUSIONES

- Para el Estudio Geotérmico Preliminar del País Vasco se consideraron en principio 21 manifestaciones potencialmente termales, 7 en cada una de las tres provincias, de las cuales 5 no pudieron ser estudiadas adecuadamente por haber desaparecido, por encontrarse en un recinto cerrado o inaccesible, o por habérsenos negado la entrada, como es el caso del balneario de Cestona.
- De estas manifestaciones sólo 7 corresponden a surgencias de aguas termales:

Molinar de Carranza (Bi-1)  
Urberuaga de Ubilla (Ri-3)  
Urberuaga de Alzola (SS-1)  
Balneario de Cestona (SS-2)  
Baños de Sobrón y Soportilla (Vi-3 y Vi-31)  
Sondeo Treviño-2 (Vi-6)  
Sondeo Treviño-3 (Vi-7)

Las cinco primeras son manantiales, cuatro de los cuales se sitúan al norte de Euskadi y uno (Sobrón) en su extremo suroccidental. Las dos últimas corresponden a sondeos de reconocimiento petrolífero con agua termal surgente, situados dentro del Condado de Treviño. Son todas ellas emisiones de bajas temperaturas, oscilando entre los 18,10° C de Sobrón y los 31,7° C de Molinar de Carranza.

- Las restantes manifestaciones estudiadas están distribuidas por todo el País Vasco. Corresponden a manantiales fríos, muchos de ellos sulfhídricos, con la particularidad común de que sus temperaturas de surgencia son generalmente inferiores a las citadas en la bibliografía, oscilando entre los 10° y 14°. Tan solo Luyando (Bi-2) y los sondeos Sobrón-1 y 2 (Vi-34 y Vi-35) superan los 17° C. Su estudio se ha realizado para patentizar su significación real, verificando su relación o no con fenómenos geotérmicos
- Desde el punto de vista geológico los manantiales termales se sitúan generalmente sobre estructuras anticlinales, relacionadas con los niveles calizos del Cretácico y con líneas de fracturación importante: los baños de Molinar se ubican en el núcleo anticlinal de Carranza, sobre el tránsito entre las calizas arrecifales y las facies margosas pararrecifales, en la prolongación de la gran falla de Ramales. Ubilla, Alzola y Cestona están situados sobre el Anticlinorio norte de Vizcaya, relacionados también con las facies arrecifales y pararrecifales, coincidiendo generalmente con alguna de las fallas que afectan esta estructura, cuyas trazas tienden a difuminarse en el entorno margoso de los materiales para y supraurgonianos. Finalmente, Sobrón se sitúa en el anticlinal del mismo nombre, sobre las Calizas con Lacazina del Cretácico superior, coincidiendo con una gran falla que afecta el flanco este del anticlinal.

Por su parte, los sondeos de Treviño se hallan en el centro de la cubeta terciaria del mismo nombre, cortando los materiales neógenos y paleógenos que constituyen su relleno, para penetrar a continuación en la serie mesozoica infrayente.

- La situación geológica de los manantiales fríos es lógicamente dispar, aunque hay un cierto predominio de los emplazados sobre materiales cretácicos de índole diversa en las proximidades de estructuras diapíricas triásicas, o junto a grandes fallas en las que es factible la presencia del Keuper intrusivo.
- Las manifestaciones termales que se han estudiado están asociadas a los niveles calizos más permeables de la serie cretácica (calizas arrecifales, calizas coniacienses y calizas con Lacazina) directa o indirectamente relacionadas con alguna línea de fractura que facilite la formación de circuitos hidráulicos suficientemente profundos como para justificar el carácter termal del agua.

Sin embargo, la propia permeabilidad de estos materiales, unida a la elevada pluviometría del sector, puede tener importantes efectos refrigerantes y diluyentes sobre el termalismo, justificando en cierta forma la atenuación de las manifestaciones termales en la zona. Es probable que muchos fenómenos termales aquí generados queden de esta forma diluidos antes de manifestarse en superficie. En este sentido es importante la acción de trampa impermeable realizada por las formaciones margosas adyacentes a las calizas, en el aspecto de evitar la dilución total del fenómeno termal.

Los manantiales termales corresponden su consecuencia a surgencias de tipo cárstico, con caudales relativamente elevados y acordes con la naturaleza de los - acuíferos. Oscilan entre los 2,5 l/s de Alzola o los 9 l/s de Ubilla.

- El agua termal de los sondeos de Treviño puede corresponder por sus características a acuíferos relativamente someros, probablemente paleógenos, de escaso interés geotérmico por sus bajas temperaturas. Los sondeos son en cambio interesantes en cuanto han puesto de manifiesto el potencial acuífero representado por las calizas del Cretácico superior, que junto con los datos térmicos aportados por los propios sondeos evidencian el interés geotérmico de las mismas. Los caudales actuales de los pozos no son significativos ya que corresponden a simples fugas de unos niveles acuíferos sellados durante la perforación.
- De las aguas frías estudiadas, Pasajes (SS-3) y Nanclares de la Oca (vi-S) corresponden a aguas de circulación somera sin otra particularidad que una temperatura de surgencia errónea en sus referencias bibliográficas. La primera drena un acuífero libre en las areniscas del terciario guipuzcoano y la segunda el acuífero libre constituido por las Calizas de Subijana en su afloramiento superficial.

Las restantes manifestaciones ofrecen además la particularidad de una mineralización especial (muchas son sulfhídricas) que hidrogeológicamente se corresponde con una circulación relativamente profunda aunque no necesariamente termal. Su circuito hidráulico está generalmente asociado a alguna falla local o regional y al menos parcialmente discurre en contacto con las formaciones evaporíticas del Keuper intruido a favor de las fracturas.

Los caudales y el régimen hidráulico de estos manantiales son evidentemente función de los sistemas acuíferos a los que están asociados.

- Las aguas termales estudiadas son de carácter neutro ó ligeramente alcalino, con pH comprendidos entre 7,0 y 8,0 y mineralización baja (321-432  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), excepto el caso de Molinar de Carranza (1160-1310  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). La dureza se sitúa en el rango 152-284 ppm  $\text{CO}_3\text{Ca}$ . Existe relativa uniformidad en la naturaleza hidroquímica, siendo clorurada sódica la de Molinar de Carranza y bicarbonatadas cálcicas el resto. En éstas se comprueba un equilibrio con calizas o dolomías, en algunos casos con influencia paralela de facies evaporíticas. Ello resulta de la interacción de los acuíferos calizos del Cretácico con los salinos del Keuper, lo que resulta aplicable a los manantiales de Urberuaga de Ubilla y Urberuaga de Alzola con predominio de los primeros, y a Molinar de Carranza, donde el Trías resulta claramente preponderante. Sobrón y Soportilla, así como los sondeos Treviño-2 y Treviño-3, reflejan un equilibrio con dolomías, que en la primera pareja de manantiales son mesozoicas, y en el caso de los sondeos corresponden a las existentes en la base del Paleógeno.
- Las concentraciones de los indicadores geotérmicos  $\text{SiO}_2$ , B y F en las aguas termales son bajas, por lo que no aportan información de especial relieve. El contenido en sílice se sitúa en el rango de 10-19 ppm, lo que está en consonancia con el predominio de acuíferos carbonatados. Estos valores son superiores a los de las aguas de referencia y del mismo orden e incluso inferiores que los de las aguas frías de circulación profunda. El litio tampoco aparece en concentraciones interesantes aunque, al igual que el flúor, son superiores a los de las aguas de referencia. Ambas especies muestran indicios de cierta correlación con la temperatura. Los valores del ión  $\text{NH}_4^+$  no son significativos.
- El grupo de aguas frías de circulación profunda se halla íntimamente relacionado con las facies evaporíticas del Keuper, con ligera influencia de acuíferos carbonatados en algunos casos. Exceptuando la salmuera de Salinillas de Buradón, se trata de aguas de pH comprendido entre 6,7 y 8,1, conductividades de 608-2730  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y durezas de 256-1345 ppm  $\text{CO}_3\text{Ca}$ . La facies hidroquímica predominante es la sulfatada cálcica, a la que suele ir asociada la presencia de  $\text{H}_2\text{S}$  de origen bacteriano. Dos de los puntos presentan facies cloruradas y bicarbonatadas asociadas.

- El carácter bicarbonatado cálcico y poco salino de la mayor parte de las aguas de referencia es perfectamente normal, dado que generalmente corresponde a aguas subterráneas de circulación somera sobre materiales carbonatados.
- La carstificación de las vías de circulación preferente, inaccesibilidad de algunos manantiales y acondicionamiento de surgencias como plantas embotelladoras, motiva que la extracción de gas resulte negativa en la mayor parte de los casos, e incluso que en alguno sea imposible de realizar. En tales condiciones el posible aporte de gas endógeno se diluye en el aire atmosférico, hecho que se manifiesta claramente en las muestras obtenidas.
- Las 3 muestras de gas analizadas son de naturaleza nitrogenada (92-98% N<sub>2</sub>) con pequeños porcentajes de oxígeno (0,7-7,3%) y CO<sub>2</sub> (0,3-10%). Tales características corresponden a las del aire atmosférico reducido, con una ligera componente endógena, la cual resulta más apreciable en el caso de Molinar de Carranza. A su vez, el contenido de helio de esta manifestación es superior al de Larrauri y Urberuaga de Ubilla, lo que indica un mayor tiempo de tránsito de aquélla.
- Los análisis de isótopos estables (oxígeno-18 y deuterio), ponen de manifiesto que las aguas termales son aguas de lluvia que en ningún caso superan en profundidad los 110° C dado que no existe fraccionamiento isotópico por vaporización ni por intercambio con facies positivas.
- No ha resultado posible el cálculo de las zonas de infiltración de las aguas termales, dado que la única correlación isotópica válida ha sido la de fraccionamiento por efecto de altura. Los efectos de latitud y longitud quedan interferidos por la cordillera paralela a la costa.
- Los análisis de tritio revelan que las aguas de Molinar de Carranza, Ubilla, Alzola, Aretxabaleta, Bolibar, Zuazo de Cuartango, Treviño-1 y Treviño-3 tienen un tiempo de tránsito superior a 30 años y ausencia total de mezcla con otras aguas frías de infiltración reciente.

Las aguas de Sobrón, Insalus y Larrauri son susceptibles de modelos de mezcla. En el caso puntual analizado constituyen aguas cuyo tiempo de tránsito oscila entre 3 y 10 años con la posibilidad de un 1-2% de mezcla con aguas viejas de más de 30 años (tritio nulo).

- Las temperaturas de los potenciales acuíferos en profundidad deducidas por geotermometrías de fase líquida a partir de las aguas de los manantiales son:

- Molinar de Carranza ..... 62° C
- Urberuaga de Ubilla ..... 40° C
- Urberuaga de Alzola ..... 48° C

coherentes con el resultado isotópico que apuntaba hacia temperaturas inferiores a los 100° C.

El aporte gaseoso endógeno se genera a 90°-110° C a mayor profundidad. Su porcentaje volumétrico respecto al gas total del acuífero es del 0,4-1%, por lo que carece de importancia como indicio geotérmico.

El agua de Cestona no ha sido estudiada por los motivos expuestos en el texto.



## 8.- RECOMENDACIONES

El estudio realizado ha puesto de manifiesto el escaso desarrollo del termalismo en el País Vasco tanto desde el punto de vista cuantitativo como cualitativo. Las pocas manifestaciones existentes no corresponden en ningún caso a la presencia de anomalías geotérmicas próximas a la superficie. Son simples fugas de acuíferos más o menos profundos calentados por efecto de unos gradientes geotérmicos normales o incluso inferiores a la media peninsular, tal como se pone de manifiesto en el análisis de flujos del volumen 2.

Así pues, las posibilidades geotérmicas de Euskadi dependerán principalmente de la existencia de acuíferos productivos suficientemente profundos, relacionados o no con las manifestaciones visibles en superficie.

En este sentido, los grandes sinclinales constituyen las estructuras óptimas: El sinclinorio de Vizcaya al norte y la depresión de Miranda-Treviño en el sector meridional. En el primer caso las calizas arrecifales aptienses jugarán un papel fundamental, mientras que en el segundo caso serán los niveles calizos del Cretácico superior los principales sistemas acuíferos a considerar. En ambos casos existen manifestaciones termales que prueban sus posibilidades.

Los mayores inconvenientes, en ambos casos, residen en las dificultades exploratorias y de explotación de estos acuíferos, que por su profundidad y características escapan a las técnicas geoquímicas y geofísicas usuales en la prospección geotérmica, y exigen prácticamente técnicas petroleras cuyos costos son prohibitivos.

Dentro de las posibilidades actuales, el sector norte de Euskadi queda prácticamente fuera de toda posibilidad de actuación inmediata. El sector sur, por su parte, ofrece un mejor conocimiento de los potenciales acuíferos geotérmicos, fruto de las intensas campañas de prospección y perforación petrolíferas que allí se han realizado. La recopilación y análisis de esta información puede aportar nuevos criterios de cara a valorar las posibilidades de aprovechamiento de estos acuíferos termales y, en este sentido, se han orientado el estudio realizado en el volumen 2 y los estudios de mercado y viabilidad desarrollados en los volúmenes 3 y 4, en los cuales se ha realizado además una valoración de todas las manifestaciones termales estudiadas.