

**POSIBILIDADES GEOQUIMICAS  
Y MINERAS DE LAS AGUAS  
TERMALES EN ESPAÑA**

EL PRESENTE TRABAJO HA SIDO REALIZADO POR LA EMPRESA  
GEOPRIN, S.A. EN REGIMEN DE CONTRATACION CON EL INSITITUTO  
GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA.

Madrid, Octubre 1.981

POSIBILIDADES GEOQUIMICAS Y  
MINERAS DE LAS AGUAS TERMA\_  
LES EN ESPAÑA.=====

## I N D I C E

	Pag.
1.- <u>INTRODUCCION.</u>	1
1.1.- ANTECEDENTES .	1
1.2.- OBJETO DEL PROYECTO.	1
2.- <u>CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS TERMALES.</u>	3
2.1.- DEFINICION DE AGUA TERMAL.	3
2.2.- LOCALIZACION DE LAS AGUAS TERMALES.	3
2.3.- ORIGEN DE LAS AGUAS TERMALES.	5
2.4.- COMPOSICION QUIMICA DE LAS AGUAS TERMALES Y PRESENCIA DE ELEMENTOS TRAZA.	9
2.4.1.- <u>Principales elementos encontrados                   en aguas termales.</u>	13
2.4.2.- <u>Constituyentes mayores y menores                   de las aguas de algunas áreas tipo.</u>	19
2.4.3.- <u>Origen de los elementos.</u>	20
2.4.4.- <u>Transporte de elementos en solucio-                   nes acuosas.</u>	21
3.- <u>RELACION DE LAS AGUAS TERMALES CON LOS DEPOSITOS MI-     NERALES.</u>	25
3.1.- DEPOSITOS DE MERCURIO Y ANTIMONIO.	26
3.2.- DEPOSITOS DE MANGANESO Y WOLFRAMIO.	28
3.3.- DEPOSITOS DE ORO Y PLATA.	29
3.4.- DEPOSITOS DE FLUORITA.	30
3.5.- DEPOSITOS DE ARSENICO.	31

	Pag.
3.6.- DEPOSITOS DE SULFATO DE BARIO Y PLOMO	31
3.7.- DEPOSITOS DE FOSFATO Y JAROSITA.	31
3.8.- OTROS DEPOSITOS.	32
4.- <u>ZONAS ESTUDIADAS.</u>	33
4.1.- SELECCION DE ZONAS Y TOMA DE MUESTRAS.	33
4.2.- ZONA S.E.	43
4.2.1.- <u>Estudio geoquímico de las aguas.</u>	43
4.2.2.- <u>Relación de las aguas con la geología y los depósitos minerales.</u>	47
4.3.- ZONA N.E.	59
4.3.1.- <u>Estudio geoquímico de las aguas.</u>	59
4.3.2.- <u>Relación de las aguas con la geología y los depósitos minerales.</u>	61
4.4.- ZONA N.O.	64
4.4.1.- <u>Estudio geoquímico de las aguas.</u>	64
4.4.2.- <u>Relación de las aguas con la geología y los depósitos minerales.</u>	68
4.5.- ZONA DE CIUDAD REAL.	72
4.5.1.- <u>Estudio geoquímico de las aguas.</u>	72
4.5.2.- <u>Relación de las aguas con la geología y los depósitos minerales.</u>	75
5.- <u>ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS ZONAS ESTUDIADAS.</u>	79
6.- <u>CONCLUSIONES.</u>	85
7.- <u>BIBLIOGRAFIA.</u>	87

## 1.- INTRODUCCION.

### 1.1.- ANTECEDENTES.

Ante la escasez y carestía de los recursos energéticos, el Instituto Geológico y Mínero de España comenzó en el año 1973 una campaña de investigación de recursos geotérmicos centrándose en las áreas de Granada-Murcia y Ciudad Real. Posteriormente en el año 1976 se confeccionó un "Inventario general de manifestaciones geotérmicas en territorio nacional" que sirvió de base a trabajos posteriores que han estado centrados en las áreas de interés. Estas áreas han sido fundamentalmente el S.E. peninsular, Cataluña, Galicia, Canarias y Madrid.

Así pues, los trabajos llevados a cabo sobre las aguas termales han sido realizados desde el punto de vista de su aprovechamiento energético. Sin embargo desde el punto de vista de su aprovechamiento minero o de su relación con los depósitos minerales, no se había realizado ningún proyecto.

Asimismo, tampoco en cuanto a los elementos analizados se habían tenido en cuenta en los trabajos anteriores, la mayoría de los elementos traza disueltos en aguas termales.

### 1.2- OBJETO DEL PROYECTO.

El objeto del proyecto se resume en dos puntos principales que son: el estudio del potencial minero de las aguas termales y la relación de las mismas con los depósitos minerales.

Asimismo son objeto del proyecto: la caracterización geoquímica de las aguas termales españolas, la confección de un inventario de

elementos traza y por último la selección de posibles zonas de inte  
rés por su contenido anómalo en algún elemento.

## 2.- CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS TERMALES.

### 2.1.- DEFINICION DE AGUA TERMAL.

Un agua puede ser considerada termal cuando su temperatura está marcadamente por encima de la media anual del aire en la misma localidad.

Otro criterio también válido es el de considerar que la temperatura del agua sea mayor que la más frecuente en las aguas subterráneas de la misma región climática.

Entre las aguas europeas que son explotadas comercialmente, sólo aquellas que están por encima de los 20° C. son consideradas aguas termales.

En Estados Unidos son consideradas termales aquellas aguas cuya temperatura es como mínimo 15° F. por encima de la temperatura media anual del aire en la zona.

### 2.2.- LOCALIZACION DE LAS AGUAS TERMALES.

La primera característica a destacar en la distribución de las fuentes termales en el mundo, es su asociación a los principales cinturones y áreas de volcanes en actividad o que lo han estado en un tiempo geológicamente reciente (Fig. 2.1.).

Las fuentes termales son comunes en extensas áreas de coladas de lava de edad terciaria y posterior, por ejemplo, en el Parque Nacional de Yellowstone en Wyoming y en extensas áreas de Idaho, este de Oregón y norte de California. En las áreas volcánicas de -



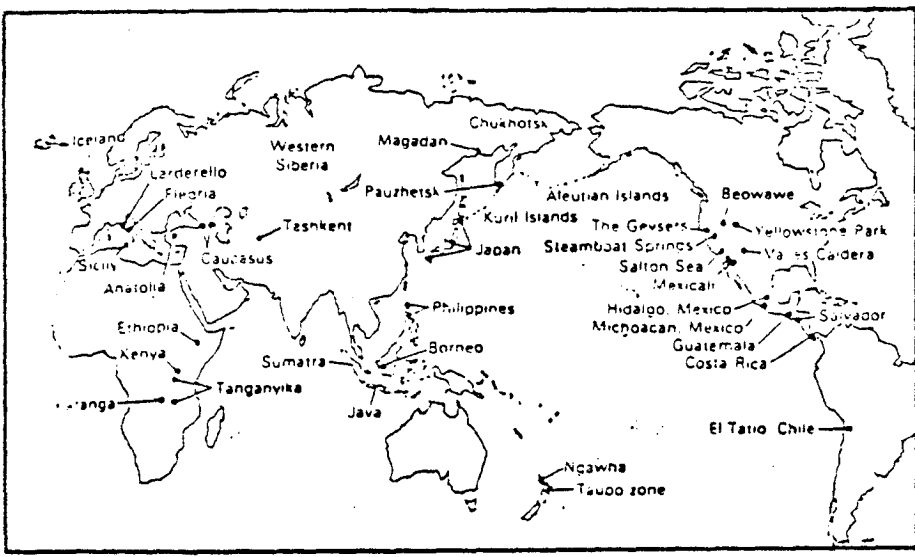


Fig. 2.1.- Mapa mundial de las principales áreas hidro-  
termales de alta temperatura. (Holt, Rinehart  
and Winston, 1967).

Italia y Francia las aguas termales son más comunes que en otras zonas de estos países.

Pero sin embargo las aguas termales no están restringidas a estas zonas. Es significativo destacar cómo gran parte de las fuentes termales se encuentran asociadas a zonas de inestabilidad de la corteza. Se localizan en zonas donde las rocas, independientemente de su origen, composición o edad, han sido fuertemente fracturadas y plegadas en un tiempo geológicamente reciente. Así, por ejem-

plo, existe una estrecha relación entre puntos de agua termal y - regiones montañosas intensamente deformadas como son los Alpes y los Pirineos. También en Estados Unidos se localizan numerosas - fuentes termales en zonas de fallas importantes.

En España existen ejemplos de los dos tipos de localización; así se encuentran fuentes termales en regiones volcánicas y en zonas que han sufrido fuertes plegamientos como son las zonas béticas, pirenaicas o gallegas. Este último tipo de fuentes termales - es mucho más numeroso.

### 2.3.- ORIGEN DE LAS AGUAS TERMALES.

Muchas fuentes termales parecen ser independientes del volcanismo a juzgar por su situación (alejadas de zonas volcánicas) y en efecto en muchos casos la simple circunstancia de la circulación de aguas en profundidad basta para explicar su carácter. La realidad de la existencia de aguas calientes que no tienen relación con los volcanes ni con masas ígneas interiores, nos la presentan las aguas de pozos artesianos profundos que alumbran aguas con temperaturas superiores a la normal o incluso de alta termalidad, sin que la perforación haya encontrado ningún aporte de fumarolas, lavas o cualquier otra manifestación a la que pueda atribuirse el calentamiento del agua; en cambio esa temperatura está en concordancia con el gradiente geotérmico, lo que obliga a - admitir que el calor propio de la zona profunda alcanzada por el agua es el que calienta a ésta.

La acción combinada de la gravedad y de la capilaridad permiten al agua de lluvia penetrar en el subsuelo hasta gran profundidad mientras encuentre espacios libres que rellenar. El agua de

lluvia que logra alcanzar los 1.000 metros de profundidad y formar allí una capa acuífera, podrá salir a la superficie con una temperatura de unos 40° C.

Por la ley del grado geotérmico normal en Europa, a los 2.000 metros de profundidad tendría que existir una temperatura de unos 30° C, y bastaría llegar a los 3.000 metros para superar los 100° C, y no hay dificultad para admitir que el agua de lluvia pueda llegar a esas profundidades y salir a la superficie gracias a las grietas y fisuras existentes en el terreno.

Sin embargo la mineralización del agua en muchos casos no puede explicarse solamente por la composición del terreno o roca que ésta atraviesa, puesto que ciertos elementos químicos no pueden provenir de estas rocas y sólo pueden proceder de aguas que no son de infiltración meteórica sino de origen magmático o metamórfico.

Parece clara pues la existencia de estas aguas juveniles en profundidad, donde están asociadas con gases, los cuales, así como el agua, corresponden al residuo de la consolidación magmática, lo que explica la abundancia de esta clase de fuentes en las regiones volcánicas. En el curso subterráneo de esta masa de agua, por el enfriamiento progresivo, así como por la disminución de presión a medida que asciende y se va aproximando a la superficie, se produce sucesivamente la sobresaturación de varios de los cuerpos disueltos, con la consiguiente cristalización de minerales que revisten las paredes de los conductos, grietas o diaclasas de las rocas que atraviesan, llegando a veces a llenar completamente el paso del agua.

Asimismo hay que tener en cuenta además del agua juvenil resultante de la consolidación de los magmas intrusivos y de la que emiten las erupciones volcánicas, la gran cantidad de agua que ponen en libertad los fenómenos metamórficos y la existencia de aguas connatas, esto es, agua "fossil" que ha estado fuera del contacto con la atmósfera al menos una parte importante de un periodo geológico.

Por tanto, resumiendo, se observa que las aguas termales pueden tener su origen en las aguas juveniles, aguas de origen metamórfico, aguas connatas y aguas de circulación meteórica profunda. Es muy corriente que el origen sea mixto, pudiendo el agua estar formada por dos ó más tipos de agua diferentes.

Los estudios isotópicos sobre el H y el O de las aguas termales han demostrado un alto predominio de aguas de origen meteórico en las mismas.

Las diversas situaciones posibles se pueden resumir en dos modelos simplificados A y B (Fig. 2.2.).

En A un cuerpo magmático no consolidado proporciona calor y fluídos residuales magmáticos con sustancias disueltas y agua que circula en profundidad (circuito 1). Los elementos químicos son entonces recogidos al mismo tiempo de la cámara magmática y de las rocas recalentadas que la rodean. Pasado un periodo de tiempo después de la recristalización magmática, otro circuito (2) de circulación puede también distribuir ciertos elementos. Parece estar bien demostrada en este caso una contribución magmática, como indican los estudios de isótopos realizados, para el S del  $\text{SH}_2$ , pirrita y pirrofinina de Wairakei, Nueva Zelanda.

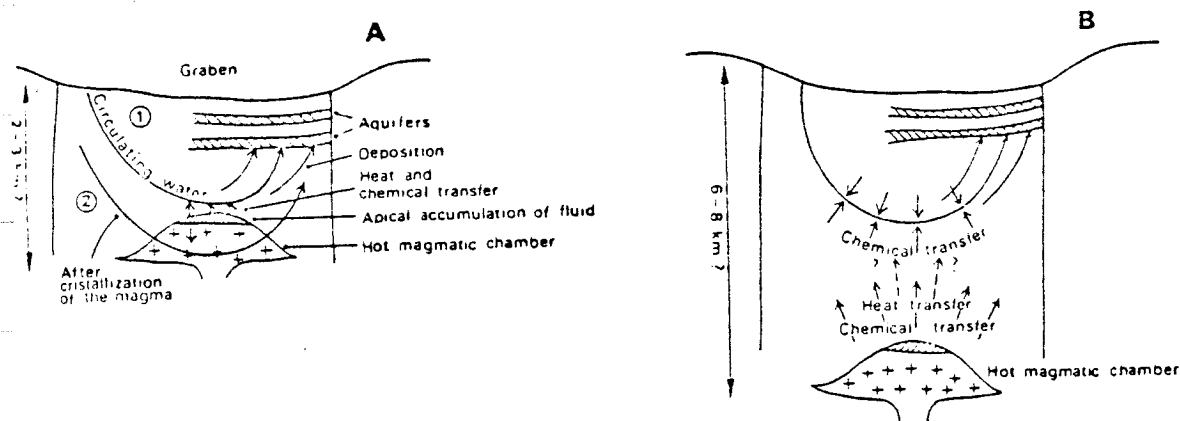


Fig. 2.2.- Dos modelos simplificados para el origen -  
del calor y elementos en aguas termales.  
(ELLIS and MAHON, 1977).

En B las transferencias geoquímicas se hacen a expensas de -  
rocas de todas clases, no magmáticas, y el calor no proviene nece -  
sariamente de forma directa de la cámara magmática, aquí más pro -  
funda (6 a 8 Km.), sino de un gradiente geotérmico elevado p.e. en -  
una región fallada (graben). Ciertas reacciones en el seno de las  
rocas pueden ser también fuentes de calor. La desvitrificación de  
las rocas volcánicas vítreas, muy abundantes en numerosos campos -  
geotermiales, puede liberar de 40 a 80 cal/g en un acuífero de -  
agua profunda estacionaria, con una porosidad de tales rocas volcá -  
nicas del 10% , la temperatura podría elevarse a 200-250° C.

D.E. WHITE ha simplificado en un cuadro (tabla n° 2.1.) algu -  
nos criterios por los cuales se podrían diferenciar los principa -

les tipos de agua de diversos orígenes.

#### 2.4.- COMPOSICION QUIMICA DE LAS AGUAS TERMALES Y PRESENCIA DE ELEMENTOS TRAZA.

La composición química de las aguas termales está íntimamente ligada a la constitución geológica de la zona donde surgen. Tanto es así que en algunos casos podemos predecir cual es la composición de las mismas. En los terrenos sedimentarios las aguas encuentran generalmente muchas sustancias fácilmente solubles, como son las sales de los metales ligeros y oxidables, sales alcalinas y alcali-notérricas que en ellos se encuentran en condiciones muy apropiadas para su redisolución y movilización. Las aguas de estos terrenos poco o nada dislocados serán frías y bastante mineralizadas; en cambio en las zonas plegadas pueden ser además termales.

La composición química está en relación con las condiciones geológicas y sobre todo tectónicas del lugar donde nacen.

Así se observa como la composición de las aguas es diferente según surjan en cuencas terciarias o en zonas paleozoicas plegadas.

Se ha podido asimismo establecer cierta relación entre la mineralización y la termalidad de las aguas. Normalmente un aumento de temperatura del agua hace a ésta más capaz de disolver ciertas sustancias minerales.

Por otra parte también se observa una interdependencia entre la salinidad y el contenido en metales pesados.

de diferentes orígenes (D.E. WHITE, 1957)

	Composición química	Composición isotópica	Calor
Agua meteórica	Controlada por las aguas superficiales, rocas encajantes.	La misma o muy similar a la de las aguas superficiales.	Casi "normal"
Agua de mar	Igual o muy similar a la del océano (muy baja en I y otros nutrientes).	La misma o muy similar a la de las aguas oceánicas.	Casi "normal" o algo inferior a lo normal.
Agua connata (tipo clorurado)	Enriquecida en I, B, SiO <sub>2</sub> , N combinado, Ca, componentes orgánicos solubles y baja en SO <sub>4</sub> y Mg con respecto a la oceánica.	D/H $\approx$ oceánica, O <sup>18</sup> /O <sup>16</sup> > oceánica.	"Normal" a moderadamente termal.
Agua metamórfica	Poco conocida. Alta en CO <sub>2</sub> combinado y B, baja en Cl con respecto a la oceánica?	Poco conocida. D/H $\approx$ oceánica? O <sup>18</sup> /O <sup>16</sup> > oceánica?	"Normal" a moderadamente termal.
Agua magmática (tipo volcánica clorurada sódica)	Relativamente alta en Li, F, SiO <sub>2</sub> , B, S, CO <sub>2</sub> , baja en Ca, Mg, N combinado (?)	Poco conocida. D/H $\approx$ oceánica? O <sup>18</sup> /O <sup>16</sup> > oceánica	Fuertemente termal en sistemas activos.

En aguas termales de escasa salinidad el contenido en metales pesados excede raramente las 10 ppb ( $10^{-8}$ ). Estos contenidos empiezan a ser apreciables en las aguas fuertemente salinas, incluso a temperaturas muy moderadas ( $80^{\circ}$  C). Esta relación entre salinidad y el contenido en metales pesados podría estar expresada por la fórmula  $m^2 Na$ . Las aguas juveniles o de origen magmático se caracterizan habitualmente por su contenido en metales pesados, mientras que la concentración de éstos en las de origen superficial es pequeña.

La mineralización de las aguas depende fundamentalmente de tres factores: en primer lugar, de la temperatura y presión existente en donde ha tenido lugar la mineralización original; en segundo, de la composición de las sustancias minerales que en ella se encuentran, y, en tercer lugar, de los gases disueltos que modifican el pH y el rH de las aguas.

La mineralización de las aguas termales puede producirse de tres maneras: por simple disolución de sustancias directamente solubles en el agua, como el cloruro sódico, el sulfato sódico, el sulfato cálcico, etc.; por reacciones químicas entre cuerpos ya existentes en el agua sobre los minerales de los terrenos atravesados o también sobre otros compuestos del agua misma; así, la oxidación de las piritas origina sulfatos fácilmente solubles, la acción del bióxido de carbono produce bicarbonatos solubles, la descomposición de los feldspatos deja libres sales sódicas, potásicas y cálcicas solubles; por aporte gaseoso de origen profundo, sea en las regiones volcánicas, sea en las regiones profundas por los magmas graníticos o por los fenómenos de granitización y de metamorfismo de alto grado.



En la tabla n° 2.2. se ofrece una lista de elementos encontrados en aguas minerales con su grado de frecuencia.

Cationes		Aniones	
Hidrógeno. ... ..	H <sup>+</sup>	Oxidrilo. ... ..	OH <sup>-</sup>
Amonio ... ..	NH <sup>+</sup> (f)	Fluor ... ..	F <sup>-</sup> (af)
Litio ... ..	Li <sup>+</sup> (f)	Cloro ... ..	Cl <sup>-</sup> (ff)
Sodio ... ..	Na <sup>+</sup> (ff)	Bromo... ..	Br <sup>-</sup> (f)
Potasio... ..	K <sup>+</sup> (ff)	Iodo ... ..	I <sup>-</sup>
Rubidio... ..	Rb <sup>+</sup> (nf)	Sulfúrico ... ..	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (ff)
Cesio ... ..	Cs <sup>+</sup> (nf)	Hidrosulfúrico... ..	SO <sub>3</sub> H <sup>-</sup> (nf)
Plata ... ..	Ag <sup>+</sup> (nf)	Tiosulfúrico.. ..	S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (nf)
Cobre ... ..	Cu <sup>2+</sup> (af)	Azufre... ..	S <sup>0</sup> (r)
Berilio... ..	Be <sup>2+</sup> (r)	Hidrosulfúrico... ..	HS <sup>-</sup> (f)
Magnesio... ..	Mg <sup>2+</sup> (ff)	Nitríco.. ..	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (f)
Calcio ... ..	Ca <sup>2+</sup> (ff)	Carbónico... ..	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (ff)
Estroncio... ..	Sr <sup>2+</sup> (f)	Hidrocarbónico.. ..	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ff)
Bario ... ..	Ba <sup>2+</sup> (af)	Silícico ... ..	SiO <sub>4</sub> <sup>4-</sup> (f)
Radio ... ..	Ra <sup>2+</sup> (r)	Hidrosilícico. ... ..	HSiO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (f)
Mesotorio... ..	MsTh <sup>2+</sup> (rr)	Tetrabórico. ... ..	B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> (nf)
Cinc... ..	Zn <sup>2+</sup> (af)	Metabórico... ..	Bo <sub>3</sub> <sup>-</sup> (nf)
Cadmio... ..	Cd <sup>2+</sup> (nf)	Hidrofosfórico. ... ..	HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (af)
Mercurio ... ..	Hg <sup>2+</sup> (rr)	Dihidrofosfórico. ... ..	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (af)
Manganeso (-oso) ... ..	Mn <sup>2+</sup> (ff)	Arsénico ... ..	AsO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (nf)
Hierro (-oso).. ..	Fe <sup>2+</sup> (ff)	Dihidroarsénico.. ..	H <sub>2</sub> AsO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (nf)
Cobalto, ... ..	Co <sup>2+</sup> (nf)	Hidroarsénico ... ..	HAsO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (nf)
Niquel ... ..	Ni <sup>2+</sup> (nf)	Arsenioso (meta).. ..	AsO <sub>3</sub> <sup>3-</sup> (nf)
Aluminio ... ..	Al <sup>3+</sup> (ff)	Antimónico ... ..	SbO <sub>3</sub> <sup>3-</sup> (nf)
Itrio. ... ..	Y <sup>3+</sup> (rr)	Dihidroantimónico.. ..	H <sub>2</sub> SbO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (r)
Gallio ... ..	Ga <sup>3+</sup> (rr)	Hidroantimónico .. ..	HSbO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (r)
Hierro (-ico) ... ..	Fe <sup>3+</sup> (f)	Antimosiono (meta)... ..	SbO <sub>2</sub> <sup>2-</sup>
Cromo ... ..	Cr <sup>3+</sup> (rr)	Selénico. ... ..	SeO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (rr)
Oro... ..	Au <sup>3+</sup> (rr)	Aniones de acs. org.	(af)
Bismuto ... ..	Bi <sup>3+</sup> (r)		
Talio. ... ..	Tl <sup>3+</sup> (rr)		
Germanio... ..	Ge <sup>4+</sup> (rr)		
Thorio... ..	Th <sup>4+</sup> (rr)		
Vanadio ... ..	V (?)		
Uranio ... ..	U (?)		

ff = frecuentísimo;      nf = no frecuente;  
 f = frecuente;          r = raro;  
 af = bastante frecuente;      rr = muy raro.

Tabla n° 2.2.- Frecuencia de elementos encontrados en aguas termales.

#### 2.4.1.- Principales elementos encontrados en aguas termales.

Las principales sustancias minerales encontradas en las aguas de las fuentes termales son las mismas que las comunes en otras - aguas naturales.

El sodio (Na) y el potasio (k) son constituyentes comunes de muchos minerales, principalmente de feldespatos de sodio y potasio. Puesto que muchos de sus componentes son altamente solubles, estos constituyentes pueden aparecer en cantidades importantes en aguas altamente mineralizadas. En las aguas naturales el sodio es mucho más abundante que el potasio. La razón Na/K decrece rápidamente - con el incremento de temperatura. Las aguas de áreas basálticas y andesíticas en las cuales aquellas no están en equilibrio con las fases minerales potásicas pueden mostrar una razón Na/K bastante - superior a las aguas de áreas riolíticas.

El litio (Li) es similar al sodio en la acción química pero - raramente está presente en cantidades importantes. El litio tiende a decrecer su concentración en las soluciones termales ascendentes debido a su inclusión en productos de alteración hidrotermal.

Las aguas de origen volcánico son las que presentan el mayor contenido en Li.

El calcio (Ca) y el magnesio (Mg) se derivan fundamentalmente de calizas y dolomías y de algunos feldespatos. En las aguas termales el contenido en calcio es generalmente dos o tres veces el de magnesio, mientras que en el agua de mar el contenido en magnesio sue le ser superior al del calcio. Las aguas ascendentes tienden a presentar una razón Ca/Mg menor que las descendentes. El calcio y el

magnesio son los principales causantes de la dureza del agua.

El bario (Ba) y el estroncio (Sr) tienen una acción similar - al calcio, pero, si están presentes, su cantidad es pequeña. El bario se considera como propio de las aguas profundas.

El hierro (Fe) y el aluminio (Al) son escasamente solubles - a no ser que la solución sea ácida. El agua de muchas fuentes con tiene varias partes por millón de hierro. Generalmente el contenido en aluminio es inferior al del hierro. Si la concentración en - hierro es superior a 1,5 ppm. el agua puede tener cierto sabor.

El manganeso (Mn) no es común pero en aguas naturales puede estar presente asociado con el hierro en cantidades de algunas - partes por millón. El dióxido de manganeso ( $Mn O_2$ ) ha sido depositado en algunas aguas termales en cantidad suficiente como para ser explotado comercialmente.

El arsénico (As) raramente ha sido encontrado en cantidad men surable en aguas naturales, pero se ha podido identificar en algunas fuentes minerales, tanto calientes como frías. Normalmente se presenta como arsénico (As), trióxido de arsénico ( $As_2 O_3$ ) o como pentóxido de arsénico ( $As_2 O_5$ ). También se han encontrado cantidades mínimas de oro (Au), plata (Ag), cobre (Co), plomo (Pb), zinc (Zn) y otros metales.

El cloro (Cl) es uno de los constituyentes más común y abundante en las soluciones. Se deriva en gran parte del cloruro sódico (ClNa) y en mucha menor proporción del cloruro magnésico ( $Cl_2Mg$ ) que está presente en pequeñas cantidades en algunas rocas.

El sulfato ( $\text{SO}_4$ ) resulta de la disolución del yeso y la anhidrita y está presente en cantidad importante en muchas aguas naturales. Puede derivarse también de la oxidación de sulfuros, fundamentalmente de la piritita y la marcasita. Asimismo pueden darse altas concentraciones de sulfato sódico (thenardita) y sulfato magnésico (epsomita).

En aguas que contienen azufre (S), éste puede estar presente en forma de distintos sulfuros. Estos se derivan fundamentalmente de la reducción del ión sulfato ( $\text{SO}_4$ ) y de minerales sulfurados y sulfatados, proceso que produce  $\text{SH}_2$ ; pueden derivarse también de la disolución de fluidos naturales.

El bicarbonato ( $\text{HCO}_3$ ), resultante de la acción de disolver el dióxido de carbono en calizas, dolomías y muchas otras rocas, constituye la mayor parte del contenido aniónico de muchas aguas. El carbonato ( $\text{CO}_3$ ) sin embargo está raramente presente, y resulta de la disolución de carbonatos más solubles o de la descomposición del carbonato. En muchos análisis el bicarbonato y el carbonato vienen dados como "alcalinidad" la cual es expresada como carbonato cálcico ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ).

El bromo (Br) y el iodo (I) se encuentran en muy escasa proporción en algunas aguas salinas que han sido mineralizadas por la disolución de depósitos marinos.

El boro (B) está presente en cantidades apreciables en muchas aguas naturales. Como borato ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ) es común en vapores de fumarolas. El contenido en B de aguas volcánicas clorurado-sódicas es del orden de 100 ppm. En sedimentos de origen marino su presencia es del orden de 30 a 1.000 ppm. con lo que parte del mismo pasa -

en disolución a las aguas connatas.

El flúor aparece en pequeñas cantidades en muchas fuentes -  
termales. Generalmente la concentración es inferior a 2 ppm.

El fosfato ( $PO_4$ ) no suele ser común, pero puede ir en diso-  
lución proviniendo de los minerales fosfatados, fundameltalmente  
apatito. Normalmente la cantidad no excede de algunas partes por  
millón.

El amonio ( $NH_4$ ) y el nitrato ( $NO_3$ ) pueden derivarse de mate-  
riales orgánicos y por tanto indicar contaminación en el agua. -  
Cuando las aguas emergen en áreas sedimentarias la proporción de  
amonio en las mismas es superior a si éstas lo hacen en áreas -  
volcánicas.

La sílice ( $SiO_2$ ) está presente en casi todas las rocas. No -  
se disuelve fácilmente en agua, pero generalmente está presente -  
bajo formas solubles o coloidales en proporciones comparativamen-  
te pequeñas, a menudo inferior a 100 ppm. En forma coloidal puede  
hacer que el agua sea opalescente.

La presencia de ácido sulfúrico ( $SO_4H_2$ ) libre en el agua ha-  
ce que ésta tenga un sabor amargo. Casi todas estas aguas contie-  
nen cantidades relativamente importantes de sulfatos de hierro y  
de aluminio. Algunas aguas termales contienen ácido clorhídrico -  
(ClH) libre.

El agua de muchas fuentes termales lleva una determinada pro-  
porción de gases en disolución. Uno de los principales es el dióxi-  
do de carbono ( $CO_2$ ) que puede proceder de la acción química sobre

Tabla n° 2.3.- Constituyentes mayores en las aguas de áreas hidrotermales mundanas.  
(BOUL, RINEHART AND WINSTON, 1967)

Fuente	Profund. (metros)	Temp. (° C)	pH (20°)	Concentración expresada en ppm.														Total					Razones atómicas						
				Li	Na	K	Rb	Cs	Hg	Ca	F	Cl	Br	I	SO <sub>4</sub>	As	SiO <sub>2</sub>	HBO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	Cl/B	Cl/F	Cl/Br	Cl/As	Na/K	Na/Li	Na/Ca	
Hveragerdi Islandia	650	216	9,6	0,3	212	27	0,04	0,02	0,0	1,5	1,9	197	0,45	0,0	61	480	2,5	0,1	55	7,3	97	55	800		13	200	250		
Reykjavik, Islandia	600	100	8,6	0,1	95	1,5	0,02	0,02		0,5		31			16	155	0,1	0,1	58		400			110	300	330			
Onikoba Japón	Superf.	100 (superf)	8,4		269	14			1,7	16		397			75	201			38	1,2				33		29			
Mairakei Nueva Zelanda	695	260	8,4	14,2	1,320	225	2,8	2,5	0,03	17	8,3	2,260	6,0	0,3	36	690	117	0,15	19	1,0	23,9	145	850	990	10,0	28	135		
Maiorapu, Nueva Zelanda	915	275	8-9	6,6	860	155	2,4	0,8	0,06	10	7,5	1,450	4,7	0,2	52	470	56	0,9	65	2,0	32	105	690	990	9,4	39	150		
Kamchatka, U.S.S.R.	300- 400	190	8,9		Na + K 940				7	119	0,7	1,470	2,8	0,0	164	170	127	0,7	61		14,3	1,100	1,180	3,100			12		
Campi Italia	1,440- 1,840	286							15	11		16,00			550												1,600		
Steamboat Springs, Nevada	175	160	8,8	5,7	655	73	1,2	1,9	n11	4,4	1,0	871	1,5	0,7	132	146		0,0	125	1,1	7,4	470	1,300	680	15,3	35	260		
Salton Sea, California	1,600	340	5,5	320	54,000	23,800	100	20	100	40,000		184,000	700		10		2,100	500			108		590		3,9	51	2,35		
Ngaula, Nueva Zelanda	Superf.	83 (superf)	6,4	8,0	830	63	0,3	0,6	2,5	8	0,3	1,250	2,5		347	178	3,690	140	490	6	0,42	2,200	1,120	13,000	22	31	185		

Concentración expresada en ppm.

Fuente	Temp. (° C)	Cl	Fe	Al	Sr	Ba	Zn	Pb	Ag	Mn	Cu	Ni	Mo	W
Wairakei (media de los sondeos) Nueva Zelanda	250	2200	0,1	0,05	0,1	0,01	.012	.002	-	.02	.08	.001	.07	.02
Salton Sea California	340	205000	2500	-	2000	200	600	85	2,7	2000	6	2	-	-
Spring, Upper Basin Yellowstone Park	94	405	.06	0,2	.004	0,1	<0,1	<.01	<0.1	.003	-	.06	0.1	
Blue Spring Hveravellir, Islandia	90,5	63	0,1	0,55	.003	.01	-	-	.0006	.007	.006	.03	-	
Champagne Pool, Waiotapa, Nueva Zelanda	98	2000	0,5	0,1	0,1	-	.006	.001		.05	.14	.002	.001	.02

calizas, de la atmósfera o también de los suelos. El ácido sulfúrico también es muy común en las aguas termales y puede ser producido por la reducción del yeso y otros sulfatos o por la descomposición de la materia orgánica. Otros gases presentes en las aguas termales son el  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $CH_4$ , Ar, Ne, etc....

#### 2.4.2.- Constituyentes mayores y menores de las aguas de algunas áreas tipo.

En la tabla n° 2.3. se ofrecen las concentraciones de los constituyentes mayores en las aguas de algunas áreas termales expresadas en partes por millón.

Las características generales de las aguas son función tanto de la temperatura como de la roca encajante. El pH de las aguas es normalmente neutro o ligeramente alcalino cuando pueden expulsar vapor a la presión atmosférica. El litio, rubidio y cesio se concentran en las aguas de ambientes riolíticos. En Ngawha, que se sitúa en un área de basaltos y sedimentos, es una excepción aparente con respecto al contenido en litio, pero sin embargo el contenido en el mismo en los sedimentos locales es similar al de la media de las riolitas. Las concentraciones en sulfato son generalmente más bajas en las aguas de mayor temperatura.

En la tabla n° 2.4. se puede observar el contenido en elementos menores de algunas aguas termales. Normalmente los metales pesados aparecen en concentraciones inferiores a 0,01 ppm. En las aguas de Salton Sea la concentración de metales pesados es particularmente alta.



El bajo contenido de Mg, Fe, Al y Mn en las aguas cloruradas de áreas volcánicas comparado con el que presentan en las rocas encajantes, puede estar condicionado por el producto de solubilidad o el equilibrio de cambio iónico con los minerales de las rocas adyacentes. La alta concentración iónica de cloruros en Salton Sea le da a sus aguas propiedades de solvente de alta temperatura, en contraposición a las soluciones diluídas, y ésto es importante a la hora del transporte de elementos metálicos.

#### 2.4.3.- Origen de los elementos.

Como ya se ha indicado anteriormente, por medio de estudios isotópicos se ha podido comprobar que incluso en las áreas volcánicas existe en las aguas un tanto por ciento de las mismas de diferente origen. Como origen de elementos tales como el boro, flúor, litio, potasio, rubidio y cesio, que se encuentran en concentraciones anormalmente altas en muchas aguas termales, la mayoría de los autores dan el magmático, pues se sabe que aquellos son concentrados en los fluidos residuales de la cristalización magmática. Esto sugiere que el agua realiza un ciclo de convección profundo en el cual es calentada y recibe una contribución de un pequeño porcentaje de agua magmática rica en típicos elementos hidrotermales.

Se ha pensado durante mucho tiempo que la concentración en aguas termales de los elementos mayoritarios que componen las rocas, tales como álcalis, alcalinotérreos y sílice está controlada por el equilibrio entre minerales y agua. Sin embargo no se tiene información sobre las reacciones químicas entre rocas y soluciones relacionadas con constituyentes hidrotermales importantes tales como el cloro, boro, flúor, dióxido de carbono, azufre,

etc... Tampoco hay evidencia suficiente como para atribuir el origen de muchos elementos al lavado de las rocas.

Se han realizado (ELLIS AND MAHON, 1964) experimentos interesantes sobre el equilibrio entre minerales y soluciones. Se ha comprobado que la composición de las aguas naturales termales puede conseguirse por la interacción de agua caliente con diferentes rocas a temperaturas moderadas.

El tipo de agua clasificada comunmente como magmática, y generalmente asociada con la separación de una fase acuosa de una roca parcialmente cristalizada, puede también conseguirse mediante la reacción de agua y rocas sólidas a temperaturas mucho más bajas. Durante la recristalización de los minerales que forman las rocas la fase acuosa concentra constituyentes tales como cesio, cloro y boro que no han entrado fácilmente en las estructuras de los silicatos. Dada una serie de iones complejos adecuados en solución, muchos otros elementos pueden ser atraídos hacia el lado del equilibrio, y así, las concentraciones iónicas y la composición de las soluciones naturales pueden llegar a ser tan importantes como la propia roca a la hora de decidir si un elemento metálico particular será portado en solución o no durante el metamorfismo o alteración. Por tanto la presencia de determinados elementos en las soluciones termales naturales viene determinada tanto por la existencia de dicho elemento en las rocas locales como por el equilibrio de las soluciones.

#### 2.4.4.- Transporte de elementos en soluciones acuosas.

El pH de las aguas es el factor que condiciona la forma en que son transportados los elementos. En la tabla n° 2.5. se apre-

cian los diferentes tipos de compuestos que forman los elementos dependiendo del pH de las soluciones.

La observación de las aguas estrechamente asociadas con depósitos de metales pesados sugiere que los fluídos que transportan estos metales, así como la plata, son soluciones muy salinas, ricas en Na, Ca y Cl y de débilmente alcalinas a ligeramente ácidas.

Los datos parecen indicar que el contenido en metales pesados está directamente relacionado con la temperatura y el contenido en Cl, y tiende a crecer con el contenido en Ca.

Las soluciones con alta proporción de Fe y Mn, pueden tener también en proporción elevada Zn, Pb, Cu y Ag. Las soluciones salinas naturales que presenten un contenido elevado en metales pesados muestran una proporción tan baja en S total que son fuertemente deficientes en S. Las aguas de Salton Sea ponen en evidencia que estos fluídos aunque contengan algún sulfuro en su ambiente natural de alta temperatura no tienen la cantidad necesaria de S como para que todos los elementos siderófilos disueltos precipiten como sulfuros. Si esta deficiencia en S se comprueba es un fenómeno común en los fluídos que transportan los metales pesados, sería necesario encontrar una fuente de S para que estos fluídos dieran lugar a los depósitos que potencialmente pueden formar. Se han ofrecido distintas teorías que no se van a exponer aquí sobre el mecanismo que podría procurar el S necesario para formar depósitos metálicos. Si realmente esa insuficiencia de S se prueba como cierta, alguna de esas teorías podría ser interesante a la hora de localizar dichos depósitos.

Las relaciones geológicas y geoquímicas parecen indicar que

las soluciones de Cl-Na-Ca capaces de disolver metales pesados pueden formarse al menos de tres modos diferentes:

1.- Soluciones magmáticas tardías. Durante la diferenciación magmática el Ca precipita en gran parte para formar los primeros minerales, especialmente plagioclasa. Después de que el magma haya cristalizado casi en su totalidad y quizás después de que la mayor parte del  $H_2O$ ,  $CO_2$  y  $SH_2$  se haya separado, una reacción deutérica como puede ser la albitización de la plagioclasa enriquece el fluido residual en Ca.

Los metales pesados concentrados en los primeros minerales ferromagnesianos pueden en este momento volver a la solución debido a mecanismos deutéricos.

2.- Aguas connatas de rocas sedimentarias suficientemente calentadas después de un profundo enterramiento o por estar cercanas a una anomalía termal local.

3.- Aguas meteóricas que han disuelto minerales evaporíticos reaccionando después con otras rocas en un ambiente geotermal. Este se supone es el mecanismo dominante en el sistema geotermal de Salton Sea.

Estos tres tipos de aguas pueden ser geoquímicamente similares en muchos aspectos. Si las condiciones físicas son también similares y el aporte de metales de las rocas es el adecuado, cada una de estas aguas sería capaz de llevar en disolución metales pesados y plata.

Tabla n° 2.5.- Transporte de elementos en soluciones acuosas (GUNLACH, 1964)

Modo de transporte	Soluciones ácidas (pH < 6)	Soluciones neutras (pH 6-8)	Soluciones alcalinas (pH > 8)
Iones simples, Iones hidratados, complejos con O.	Ag, Al, As, Ba Be, Bi, Ca, Cd Co, Cr, Cu, Fe Hg, Mg, Mn, Mo Ni, Pb, Sb, Sn Sr, Ti, Tl, U V, Zr.	As, Ba, Ca, Mg Mo, Sb, Se, Sr V, W.	Al, As, Ba, Ca Cr, Mo, Nb, Sb Sn, Sr, Ta, Ti Tl, U, V, W, Zn, Zr
Isopoliácidos y heteropoliácidos	As, Mo, Nb, Sb Sn, Ta, Te, V, W	-	-
Haluros y oxihaluros.	Ag, Au, Be, Bi Cd, Cu, Fe, Ga Ge, Hg, In, La Mo, Nb, Pb, Pt Re, Sb, Sn, Ta Th, Ti, U, V V, Zn, Zr	como en soluciones ácidas. (En soluciones salinas: CO <sub>3</sub> Ca SO <sub>4</sub> Ca, SCu, SPb, SO <sub>4</sub> Sr, SZn)	-
Otros complejos aniónicos (sobre todo sulfatos, carbonatos, fosfatos).	Cr, La, Th, Ti, Tl, U, V, Zr	Ag, Be, Cr, Cu La, Mn, Mo, Sb Th, Ti, U, V Zr	Ag, Be, Cu La, Mo, Th U
Hidrocarbonatos	-	Ba, Ca, Co, Fe Mg, Mn, Sr	-
Complejos sulfatohidratados y sulfuros	Ag, Ca, Cu, Fe Hg, Ni, Pb, Zn	Ag, Cu, Fe, Hg Ni, Pb, Zn	Ag, As, Au, Bi Cu, Ga, Ge, Hg In, Mo, Ni, Pb Pt, Re, Sb, Se Sn, Te, Tl, W Zn
Sulfatos y sulfonatos	-	Ag, Au, Cu, Hg In, Pb, Zn	Ag, Au, Cu, Hg In, Pb, Zn
Coloidal	Au, Fe, Ni	Au, Fe, Ni	Au, Fe, Ni

### 3.- RELACION DE LAS AGUAS TERMALES CON LOS DEPOSITOS MINERALES.

Se pueden utilizar algunos criterios para relacionar las aguas termales con los depósitos minerales, aunque en ocasiones son difíciles de aplicar si no se propone un origen para el agua termal.

Cuando un componente metálico es encontrado en un depósito de un área termal activa y el agua transporta dicho elemento, la evidencia de una relación parece concluyente.

La fuente última del componente metálico y el modo de transporte y deposición pueden ser dudosos, pero no el hecho de la deposición.

Si ya no existen fuentes activas cerca de un depósito claramente similar a depósitos termales conocidos y faltan otro tipo de explicaciones razonables, el depósito y cualquier componente metálico asociado se suponen relacionados a fuentes termales.

Si los elementos metálicos están concentrados en rocas cuaternarias en las cuales emergen aguas termales, es casi seguro que son éstas las que han introducido el elemento metálico. Esto es cierto incluso cuando las aguas no están depositando dicho elemento en la actualidad.

Si los componentes metálicos se encuentran en una veta por la cual fluye el agua termal, la evidencia de una relación genética no es concluyente puesto que una actividad anterior de tipo no especificado puede haber introducido dichos elementos. La relación entre veta y agua termal podría ser puramente estructural más que genética.

La alteración profunda de sistemas de aguas termales muestra una zonación con la profundidad, y asimismo se pueden encontrar formas similares en algunos depósitos. Las dudas pueden ser importantes, excepto para aquellos depósitos con escasa erosión bajo el nivel de agua original. Las rocas cercanas a la superficie de sistemas de aguas termales extinguidos pueden mostrar escasa alteración, pero la intensidad de la misma puede crecer marcadamente con la profundidad si las rocas encajantes eran las adecuadas y las temperaturas de las soluciones eran suficientemente altas.

Algunos depósitos hidrotermales están caracterizados por temperaturas altas que no son explicables por oxidación de sulfuros. Las relaciones de temperatura pueden ser relictos de un estado anterior de formación del depósito, o soluciones termales tardías sin relación con el depósito pueden simplemente utilizar las mismas vías de salida. Otros depósitos metálicos están caracterizados por cantidades anormales de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SH}_2$  y metano; y, aunque la presencia anormal de gases y la temperatura en exceso no tiene por qué indicar una relación con fuentes termales, caracterizan una notable proporción de depósitos de mercurio y epitermales de oro-plata.

### 3.1.- DEPOSITOS DE MERCURIO Y ANTIMONIO.

Se conocen en el mundo algunos depósitos de mercurio y antimonio relacionados con aguas termales, especialmente en E.E.U.U. y Nueva Zelanda.

En Sulphur Bank (California) fueron explotados depósitos de mercurio. Las rocas del área consisten en argilitas y grauwacas que están cubiertas en algunos puntos por coladas de lavas andesí

ticas. Las aguas termales de la zona son particularmente ricas en bicarbonato sódico y boro. El pH en 1946 variaba entre 6,62 y 7,35, y las temperaturas eran de 55,1 a 79,8° C.

El cinabrio está ausente de la zona de lavado y empieza a ser significativo hacia la base de esta zona. Está asociado con sílice amorfa y azufre entre capas concéntricas de ópalo rodeando "bolos" de andesita. Los cuerpos más ricos se encuentran en la parte inferior de la colada de andesita, con abundante pirita, algo de marcasita, ópalo y sílice cristalina. El cinabrio impregna sedimentos y a mayor profundidad se encuentra restringido a las zonas de fallas y brechas. También se ha citado la presencia de estibina, asociada con sulfatos y sulfuro nativo en los orificios de las fumarolas y cerca de las fuentes calientes.

En Steamboat Springs (Nevada) aparte de los depósitos silíceos existen otros de cinabrio que también fueron explotados en otro tiempo. No se ha detectado todavía mercurio en las aguas, aunque una evidencia indirecta indica su presencia en pequeñas cantidades. Se encontró hasta un 0,02 % de Hg en los lodos silíceos, precipitado en su mayor parte a poca profundidad en el sistema termal y transportado a la superficie en suspensión. El cinabrio parece tener una distribución completamente superficial. También se ha encontrado estibina en venas y cavidades a escasa profundidad.

En Ngawha (Nueva Zelanda) los depósitos de mercurio están íntimamente asociados con un grupo de fuentes termales.

Las aguas están caracterizadas por la presencia de cloruros alcalinos y bicarbonatos, mostrando una temperatura que va de 30°



a 81° C. Alguna muestra de agua contiene hasta 2,1 ppm. de  $\text{SH}_2$ , 0,13 ppm. de  $\text{As}_2\text{O}_3$  y la elevada cantidad de 3,2 ppm de Hg; también se ha encontrado en una muestra 0,000083 ppm de Au. El mercurio parece depositarse con depósitos silíceos. El cinabrio va asociado a mercurio nativo, azufre, marcasita, materia bituminosa, hidrocarburos, calcedonia y algo de estibina. La producción total del área es posiblemente pequeña.

Otros depósitos de mercurio y antimonio asociados generalmente a depósitos silíceos se encuentran en Puhipuhi (Nueva Zelanda), Sulphur (Nevada), Coso District (California), Boiling Springs (Idaho), Skaggs Springs (California), Huitzucó (Méjico) y Urumiri (Bolivia).

### 3.2.- DEPOSITOS DE MANGANESO Y WOLFRAMIO.

El manganeso ha sido depositado en algunas áreas termales y con frecuencia asociado a wolframio.

En Uncia (Bolivia) la temperatura de emergencia es de 60° C. Existen depósitos horizontales de travertino que contienen lentes de ópalo marrón que se encuentran asociados a pequeñas masas de tonos marrón oscuro de dióxido de manganeso con algún cristal de baritina y calcita. El mineral de manganeso es la psilomelana, que se presenta con textura coloidal. Se asocian a la psilomelana, wolframio, bario y pequeñas cantidades de cobre y litio.

En Abraham Hot Springs (Utah) las aguas termales, cuya temperatura va de 43° a 83,3° C, dan lugar a la formación de depósitos travertínicos. El manganeso va asociado a estos depósitos y no parece estarse formando en la actualidad.

En cinco análisis de aguas la presencia de Mn varía de 0,3 a 1,20 ppm., lo cual es considerablemente superior a la media en aguas termales.

En East Range Deposits (Nevada) se encuentran también depósitos travertínicos que en algunos puntos contienen el 9% de Mn y el 0,3% de  $WO_3$ . Las venas de manganeso con wolframio van asociadas a calcita y óxidos de Fe, y en menor proporción cuarzo, calcedonia y yeso.

Asimismo aparecen en Sodaville Deposits (Nevada) vetas de calcedonia, cuarzo y calcita conteniendo psilomelana con wolframio. El agua emerge en una zona travertínica a un tercio de milla al E. de los depósitos. La temperatura máxima en la actualidad es de 38°C.

Otros depósitos de manganeso y wolframio, relacionados con aguas termales, se encuentran en Evans Line Quarry (Utah), Deposits Near Mayer (Arizona), Galconda (Nevada), etc....

### 3.3.- DEPOSITOS DE ORO Y PLATA.

En algunos depósitos de aguas termales se han encontrado pequeñas cantidades de Au y Ag, a menudo asociadas a depósitos travertínicos como en Ojo Caliente (Nuevo Méjico), Steamboat Springs (Nevada) o Whakarewarewa (Nueva Zelanda).

El distrito minero de Comstock (Nevada) está a sólo 7 millas de Steamboat Springs. Los minerales de plata y sulfuros aparecen en venas de cuarzo y carbonato, siendo la relación Au/Ag aproximadamente de 1/40.

El gradiente geotermal es importante y la temperatura del agua encontrada en las labores mineras va de 46° a 81° C y contiene una alta proporción de  $\text{SH}_2$ . Estos datos hacen que se piense que los depósitos estén relacionados más con la actividad cuaternaria en la zona de Steamboat Springs que con la actividad volcánica del Terciario.

Se pueden mencionar también los depósitos de Goldfield (Nevada), Flathead mine (Montana) y Getchell mine (Nevada).

### 3.4.- DEPOSITOS DE FLUORITA.

En algunos puntos existen fuentes termales que depositan fluorita; estas vetas, se piensa, han sido originadas por antiguas aguas termales genéticamente relacionadas con las presentes. La mineralogía de algunas de las localidades sugiere que, si existe una relación genética, ha debido tener lugar una intensa erosión y transcurrir un periodo de tiempo.

En Ojo Caliente (Nuevo Méjico), se encuentran depósitos antiguos travertínicos que están topográficamente por encima de las actuales aguas con fluorita. En una muestra reciente se han encontrado 16 ppm. de fluor y 25 ppm. de calcio. La fluorita es relativamente alta para fuentes termales de este tipo.

En Poncha Springs (Colorado) los depósitos de fluorita se encuentran por encima de la salida del agua termal. Esta presenta una temperatura de 67° C y contiene alrededor de 12 ppm. de F y 17 ppm. de Ca.

En el distrito de Browns Canyon (Colorado) las aguas contienen 13 ppm. de F y su temperatura es de 19,5° C.

También se encuentran depósitos de fluorita en Wagon Wheel - Gap (Colorado) y Bruffeys Hot Springs (Nevada) y aparecen asociados a formaciones travertínicas. Junto con la fluorita se puede observar la presencia de baritina.

### 3.5.- DEPOSITOS DE ARSENICO.

Los minerales de arsénico parecen ser característicos de algunas áreas de aguas mixtas, que son aguas bicarbonatadas-cloruradas acidificadas cerca de la superficie por oxidación de  $\text{SH}_2\text{O}$ . El arsénico está presente bajo la forma de rejalgar y oropimente, y en parte de escorodita, en el área del Yellowstone Park (Wyoming). Asimismo se encuentra en Steamboat Springs (mencionado anteriormente), las Islas Aleutianas y Argelia.

### 3.6.- DEPOSITOS DE SULFATO DE BARIO Y PLOMO.

En Hokuto (Formosa) se han localizado depósitos de sulfato de bario y plomo. Las aguas contienen 7 ppm de  $\text{SO}_4\text{Ba}$  y trazas de  $\text{SO}_4\text{Pb}$ . En el depósito termal de Shikayu, en Akita (Japón), el agua contiene 1,1 ppm. de  $\text{SO}_4\text{Ba}$  y 0,9 ppm. de  $\text{SO}_4\text{Pb}$ .

### 3.7.- DEPOSITOS DE FOSFATO Y JAROSITA.

En las fuentes termales de Tjiater (Java) se han descrito depósitos de jarosita y óxido de hierro, los cuales han sido ampliamente explotados. Cerca de la superficie del depósito existe una -

zona de alrededor de un metro de potencia que consiste en un 20% - de  $P_2O_5$ , 45% de  $Fe_2O_3$ , 3% de  $As_2O_3$  y 4% de  $SO_3$ . Probablemente los depósitos fueron formados por aguas termales ácidas de origen volcánico.

### 3.8.- OTROS DEPOSITOS.

Por último se pueden citar depósitos de sulfuro de plomo, sulfuro de hierro, plomo metálico y sílice en Matsao (Taiwan); óxidos de hierro, óxidos de magnesio y sílice en Reykjavick (Islandia); - sulfuro de hierro, boratos, silicatos y sílice en Larderello (Italia); sulfuros de plomo y cobre, óxidos de hierro hidratado y sílice en Salton Sea (Estados Unidos), etc.....

#### 4.- ZONAS ESTUDIADAS.

##### 4.1.- SELECCION DE ZONAS Y TOMA DE MUESTRAS.

El Instituto Geológico y Minero de España ha llevado a cabo una serie de proyectos de investigación geotérmica en los últimos años, que han dado como resultado el conocimiento de la distribución de gradientes geotérmicos en España y de las zonas con más posibilidades desde el punto de vista de la energía geotérmica.

Las zonas más interesantes, exceptuando las Islas Canarias son: Cordilleras Béticas (Granada, Murcia), Ciudad Real, Galicia, Cordilleras Costero-Catalanas, Pirineos, Región Astur-Leonesa y otras.

Existe un "Inventario general de manifestaciones geotérmicas en territorio nacional" confeccionado por el I.G.M.E. en 1976, en el cual se describen los principales puntos de agua termal en España. En dicho inventario se encuentra un fichero de puntos termales en el que se puede hallar la situación geológica de cada punto, datos sobre temperatura, caudal, pH, etc..... de las aguas, así como análisis químicos de los elementos mayores de cada muestra de agua.

En el presente trabajo se ha creído interesante tomar como base del mismo dicho inventario y utilizar la información ya acumulada.

Así se han elegido cuatro zonas (Sureste, Noreste, Noroeste y Ciudad Real) que potencialmente presentan un interés desde el punto de vista geotérmico, así, si desde el punto de vista minero exclusivamente un agua no es aprovechable, pudiera ser que a modo de subproducto con respecto a la energía geotérmica sí lo fuera.

MAPA N° 1

MAPA GENERAL DE SITUACION  
DE LAS ZONAS ESTUDIADAS Y  
LOCALIZACION DE LAS MUESTRAS





Sentadas estas bases, ya ciñéndose a las zonas seleccionadas, también se ha seguido un criterio en la elección de los puntos, - puesto que éste no pretende ser un trabajo exhaustivo y, por tanto, no se pensaba analizar las aguas de todos los puntos inventariados.

Así pues se tomaron aquellas muestras que presentaban una mayor temperatura, puesto que en principio son las que pueden mostrar una mineralización más elevada. Asimismo dentro de estos puntos se eligieron aquellos que también tenían un caudal superior.

En la "Relación de Muestras" que se ofrece seguidamente, se puede observar cómo las denominaciones y numeraciones de las muestras corresponden a las empleadas en el "Inventario" anteriormente citado. Del mismo modo los caudales, temperaturas y pH expresados corresponden también al "Inventario", y han sido medidos en el año 1972 ó 1975.

La situación de estas muestras se puede encontrar en el mapa n° 1 y con mayor detalle en los mapas de muestras de cada zona - n particular.

Se han analizado 22 elementos de cada muestra, presentándose la mayoría de ellos como trazas. En cada punto se han tomado dos - muestras, una se conservó en su estado natural y a la otra se le - añadieron 5 ml. de  $\text{NO}_3\text{H}$  para evitar que se formaran precipitados.

Los resultados de los análisis se presentan en tablas que pueden ser localizadas en los capítulos correspondientes a cada zona n particular. Los análisis expresados son los que corresponden a la muestra acidulada.

Los elementos Na, K y Rg han sido analizados por el método de absorción atómica, el resto, por espectrometría de emisión con excitación plasma (D.C.P.).

Las muestras tomadas suman un total de 116, y se encuentran distribuídas de la siguiente manera: 41 muestras en la zona S.E., 22 muestras en la zona N.E., 41 muestras en la zona N.O. y 11 muestras en la zona de Ciudad Real.

Fueron visitados más puntos de los indicados, pero por distintos motivos no pudieron ser tomadas las muestras.

En la zona de León cercana a Valencia de Don Juan existen varias fuentes que han sido agotadas, y otras funcionan sólo unos meses al año.

AL-1	Baños de Alhama	15 l/s	41-43 °C	8,10	25-5-81
AL-2	Fuente de Alicún	14 l/s	30-32 °C	8,05	26-5-81
AL-6	Baños de S <sup>a</sup> Alhamilla	14 l/s	55-57 °C	8,30	26-5-81
AL-12	Fuente Marbella	748 l/s	26 °C		28-5-81
AL-13	La Juaida n° 1 (Viator)	40 l/s	21 °C	9,86	28-5-81
AL-18	El Alámico	100 l/s	29 °C	8,08	27-5-81
AL-19	Instinción (Cra de Alcora)	50 l/s	22-24 °C	8,16	27-5-81
AL-21	Los Canarios (El Ejido)	70 l/s	21-24 °C	0,38	27-5-81
AL-23	Sondeo n° 3 Sector I, - IRIDA (Campo de Nijar)	40 l/s	19-29 °C	7,84	28-5-81
AL-24	Los Lobicos (Campo de Nijar)	22 l/s	29-31 °C	8,44	28-5-81
AL-31	La Juaida-2 (Viator)	43 l/s	21 °C	9,36	28-5-81
AL-37	Barranco del Toro (Jara via)	27 l/s	34 °C	7,52	29-5-81
GR-3	Baños de S <sup>a</sup> Elvira	160 l/min	31-33 °C	7,42	25-5-81
GR-6	Alhama de Granada	250 l/s	45-49 °C	7,45	25-5-81
GR-7	Baños de Malá	1,5 l/s	26-29 °C	7,30	25-5-81
GR-8	Urquizar Sur (Dúrcal)	10 l/s	24 °C	7,48	25-5-81
GR-9	Urquizar Norte (Dúrcal)	10 l/s	24 °C	7,74	25-5-81
GR-16	Manantial del Río (Albuñol)	150 l/s	27 °C	7,16	26-5-81
GR-17	El Molino (Albuñol)	10 l/s	27'9 °C	7,3	26-5-81
GR-20	El Espeñao (Albuñol)	0,3 l/s	26 °C	7,20	26-5-81
GR-21	La Alberca (Albuñol)	6 l/s	25-27 °C		26-5-81
GR-23	Baños de Graena	8 l/s	40-44 °C	7,40	29-5-81

GR-35	Baños de Alías de las Torres	10-20 l/s	30°C		29-5-81
GR-37	Baños de Zujar	110 l/s	38°C	7,35	29-5-81
GR-38	Fuente del Agua Amarguilla	4 l/s	30°C	7,45	29-5-81
A-1	Baños de Busot	50 l/s	34°C	7,35	3-6-81
A-3	Baños de S. Antón	50 l/s	25°C	7,15	3-6-81
V-7	Balneario de Bellús	20-25 l/s	27°C		3-6-81
MU-1	Ermida de Camachos		40°	8,36	1-6-81
MU-4	Los Moroños de Camacho -- (Torrepacheco)		35°C	8,20	1-6-81
MU-5	(Torrepacheco)		51'5°C	8,32	1-6-81
MU-6	(Torrepacheco)		37'5°C	8,9	31-6-81
MU-7	(Torrepacheco)		45°C	8,32	1-6-81
MU-9	Los Soler (Torrepacheco)		27°C		31-5-81
MU-10	(Torrepacheco)		37°C	7,80	30-5-81
MU-11	(Mazarrón)		37°C	8,32	30-5-81
MU-13	(Mazarrón)		35°C	7,87	30-5-81
MU-18	Balneario de Archena	15 l/s	40°48°C	7,4	2-6-81
MU-19	Balneario de Fortuna		44°C	7,85	2-6-81
MU-22	Baños de Mula	250 l/s	36°C	8,00	2-6-81
MU-23	Llano de Beal		30°C		31-5-81
B-2a	Hotel Blancafort (La Garriga)	10 l/min	52°C	8,7	15-6-81
B-2b	Balneario Victoria (La Garriga)		43°C	8,6	15-6-81
B-3a	Fuente El León (Caldas de Montbuy)	1 l/s	70°C	8,4	15-6-81

B-3r	Hotel Lloquelles (Caldas de Montbuy)		62°C	8	15-6-81
B-3x	Fuente pública (Caldas de Montbuy)				15-6-81
B-5a	Baños de Caldetas (Caldas de Estrach)	30 l/min	37°C	8,00	15-6-81
HU-3	Balneario de Benasque	12 l/min	32°C		16-6-81
L-1	Fuente termal de Tredós	15 l/min	32°C	9,9	17-6-81
L-2	Baños de Artiés	1 l/s	37°C	9,7	16-6-81
L-3	Baños de Lés	15 l/min	32°C	10	16-6-81
L-4	Sanillés (Traverseres)	10 l/min	25°C	10,1	18-6-81
L-5a	Fuente Tartera (Caldas de Bohí)	5 l/min	35°C	8,6	17-6-81
L-5d	Fuente Santa Lucía (Caldas de Bohí)	20 l/min	40°C	9,1	17-6-81
L-5e	Fuente del Canem (Caldas de Bohí)	4 l/s	37°C	7,4	17-6-81
L-5f	Titus I (Caldas de Bohí)	10 l/min	30°C	6,7	17-6-81
L-5g	Fuente Avellaner (Caldas de Bohí)	15 l/min	31°C	7,3	17-6-81
L-5h	Fuente Bou (Caldas de Bohí)	4 l/s	40°C	7,7	17-6-81
L-6	Baños de San Vicente --- (Aristot)	1 l/s	38°C	10	18-6-81
GE-1	Termas de Sta. Coloma de Farnés		36°C	7,9	19-6-81
GE-2a	Agua de Vichy (Caldas de Malavella)	6 l/min	52°C	7,1	19-6-81
GE-4	Lavadero de S. Clemente de Sabesas	8 l/min	27°C	9,3	18-6-81

Id.	Nombre	Caudal	T	P <sub>10</sub>	Fecha
GE-14	Font Picant (Bell-Lloch)	1 l/min	10 °C		6-
O-1a	Las Caldas de Oviedo	140 l/min	23 °C	8,34	29-6-81
O-1b	Tres Caños (Caldas de - Oviedo)	2 l/s	19 °C	8,08	29-6-81
O-2a	Balneario Fuensanta (Bu- yeres de Nava)	35 l/min	25 °C	7,85	29-6-81
O-2b	Fuente del Director (Bu- yeres de Nava)	8 l/min	21 °C	7,91	29-6-81
LE-1	Caldas de Cofiñal	15 l/s	18 °C	8,4	30-6-81
LE-3	Agua de Cármenes	5 l/s	26 °C	8,1	29-6-81
LE-4	Fuente de la Calda (Valde- castillo)	0,5 l/s	23 °C	7,5	30-6-81
LE-5	Caldas de Nocedo			8,3	30-6-81
LE-7	Caldas de S. Adrián	10 l/s	28 °C	8,4	30-6-81
LE-10	Caldas de Luna	3 l/s	26 °C	8,5	30-6-81
LE-11	Pobladura de G <sup>a</sup> Pelayo	18 m <sup>3</sup> /h	25 °C	8,5	1-6-81
LE-13	Pajares de los Oteros	79,2 m <sup>3</sup> /h	30 °C	8,4	1-6-81
LE-18	Villivañe	18 m <sup>3</sup> /h	25 °C		1-6-81
LE-20	Sta. M <sup>a</sup> del Páramo	25 m <sup>3</sup> /h	26 °C		1-6-81
ZA-1	Baños de Calabor	10 l/min	26 °C	8,5	2-6-81
OR-1	Fuente de S. Pedro de Brues	15 l/s	26 °C	8,1	7-6-81
OR-2	Balneario de Carballino	15 l/min	25 °C	9,0	7-6-81
OR-3	A Rañoa (Maside)	8 l/min	20 °C	8,3	7-6-81
OR-4a	Caldas de Partovia	1,5 l/s	34 °C	9,1	7-6-81
OR-4b	Caldas de Portovia	12 l/min	30 °C	9,1	7-6-81
OR-5	Balneario de Berán	5 l/s	28 °C	7,7	7-6-81
OR-7	Fuente Tintero (Orense)	6 l/min	60 °C	8	8-6-81

denominacion	caudal	temperatura	litros	fecha	
OR-6	Las Burgas (Ortense)	5 l/s	30°C	7,5	6-6-81
OR-12a	Baños de Prexigueiro	15 l/s	40°C	8	7-6-81
OR-12b	Fuente de Prexigueiro	2 l/min	49°C	8,7	7-6-81
OR-13	Baños del Monte (Corte gada)	10 l/min	29°C	9,3	3-6-81
OR-14a	Baños de Molgas	50 l/min	54°C	7,5	3-6-81
OR-15	Fuente Bañiño (Junquera de Ambía)	20 l/min	24°C	7,75	3-6-81
OR-17	Balneario de Requejo	15 l/min	21°C	6,4	
OR-20	Balneario de Sousas -- (Verín)	18 l/min	22°C	6,70	3-6-81
PO-1b	Caldas de Reyes	4 l/s	47°C		6-6-81
PO-1c	Balneario Acuña (Caldas de Reyes)				6-6-81
PO-2a	Balneario El Castro (Cun tis).	2 l/s	39°C		6-6-81
PO-2b	Balneario La Virgen (Cun tis).				6-6-81
PO-4	Baños de La Toja	2 l/s	42°C		6-6-81
PO-6	Balneario Puente Caldelas	8 l/min	21°C	8,7	6-6-81
PO-9	Baños de Brea (Fontao)	4 l/min	21°C	8,1	8-6-81
PO-10	Caldelas de Tuy	65 l/min	47°C		7-6-81
C-1	Arteijo	2140 l/min	36°C	8,2	8-6-81
C-2	Baños Viejos (Carballo)	90 l/min	32°C	10	8-6-81
LU-1	Balneario de Lugo	75 l/min	43°C	7,25	9-6-81
CR-12	Fuencaliente (Telégrafos)	0,04 l/s	16°C	4,5	21-7-81
CR-19	Balneario de Fuencaliente	0,7 l/s	36°C	6,5	21-7-81

CR-20	Casa Blanca (Poblete)		15°C	6,9	20-7-81
CR-21	Baños de Fuentillejo (Poblete)	0,1 l/s	17°C	6,4	20-7-81
CR-25	Fuente Agría (Piedra- buena)	0,2 l/s	18°C	5,9	20-7-81
CR-26	La Mina (Piedrabuena)	1 l/s	23°C	6,0	20-7-81
CR-34	Hervideros del Villar (Villar del Pozo)	1 l/s	24°C	6,3	21-7-81
CR-35	Hervideros de Villa- franca	0,1 l/s	20°C		21-7-81
CR-36	Balneario de Fuensanta				20-7-81
CR-39	El Chorrillo (Pozuelo de Calatrava)	0,01 l/s	17°C	6,4	21-7-81
CR-54	Baños de Trujillo		20°C	7,2	21-7-81



## 2.- ZONA S.E.

### 2.1.- Estudio geoquímico de las aguas.

Si se observan los pH de las aguas de esta zona en la "relación de muestras", podemos ver cómo éstos oscilan entre los valores de 7,1 a 8,9, por lo que se las puede considerar en términos generales como aguas ligeramente alcalinas.

Las temperaturas y caudales de los puntos estudiados son, como se ha dicho anteriormente, los más altos de la zona. Como se puede comprobar, y ya lo apuntaban CRUZ-SANJULIAN y GARCIA ROSSELL (1975), estos puntos de mayor caudal y temperatura se sitúan en las zonas Internas (Zona Bética s. str.) y en sectores próximos al contacto tectónico con las zonas Externas (zona Subbética) (Mapa de Muestras. Zona S.E.). En estas zonas también se comprueba una mayor frecuencia de facies sulfatadas y cloruradas. En las aguas de más baja temperatura, existe una mayor diversidad de facies hidroquímicas, con predominio de la facies bicarbonatada que es la más común en los acuíferos no termales.

Pasando al contenido geoquímico de las muestras, el primer hecho que llama la atención al contemplar la tabla I es la presencia o ausencia de determinados elementos en todas las muestras, lo que de alguna manera puede caracterizarlas. Los elementos que aparecen en todas las muestras son: Na, K, Mg, B, Ca, Ba y Sr. Aquellos que no se encuentran en ninguna son: Zn, As, Sb, Fe, Sn, Ag, V, Cr, Ti, L, Cd, W, Co, Nb, Be e Y.

La proporción de Na en el agua puede considerarse como la indicadora de la salinidad de la misma. Desde ese punto de vista las










POSIBILIDADES GEOQUIMICAS Y MINERAS  
DE LAS AGUAS TERMALES EN ESPAÑA

MAPA DE MUESTRAS

ZONA S. E.



LEYENDA

-  Neógeno posttectónico y Cuaternario
-  Terrenos deformados fundamentalmente entre Mioceno Inferior y Superior. Prebético
-  Terrenos deformados durante el Eoceno-Oligoceno y, en parte trasladados gravitatoriamente Subbético S. L.
-  Terrenos mono y polimetamórficos complejos Nevado-Filabride y Alpujarride
-  Rocas ígneas neógenas y cuaternarias
-  Áreas de cobertura poco o nada deformadas apoyadas sobre un zócalo hercínico
-  Nº de muestra

Base geológica del Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares ( JULIVERT y FONTBOTE, 1.972, simplificado ).

ESCALA 1:1.000.000

ANEXO N.º 5. Contenido de elementos en disolución expresado en ppb ó ppm (e)

	Na	K	Mg	B	Zn	As	P	Sb	Fe	Sn	Ca	Pb	Ni	Cu	Ag	U	Ba	Cr	Mn	Ti	Al	Mo	Cd	Hg	Bi	Co	Se	Cs	Rb			
	40	4	99	168	-	-	-	-	-	-	98	-	-	-	-	-	47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	30	3	109	217	-	-	-	-	-	-	90	-	-	-	-	-	41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	561	14	53	410	-	-	-	-	-	-	54	-	-	-	-	-	54	-	-	-	-	-	-	-	1,3	-	1,6	-	-	-		
	308	17	125	266	-	-	-	-	-	-	126	-	-	-	-	-	20	-	23	-	-	-	-	-	2,1	-	3,7	-	-	-		
	110	10	133	4,3	-	-	-	-	-	-	591	358	-	-	-	-	26	-	104	-	-	-	108	-	-	1,6	-	7,3	-	-	-	
	23	3	116	25	-	-	-	-	-	-	114	-	-	-	-	-	26	-	-	-	-	-	-	-	2	-	2,9	-	-	-		
	22	2	121	54	-	-	-	-	-	-	90	-	-	-	-	-	41	-	-	-	-	-	-	-	2,5	-	1,3	-	-	-		
	639	35	103	380	-	-	-	-	-	-	41	-	-	-	-	-	42	-	-	-	-	-	-	-	2,5	-	2	-	-	-		
	350	23	106	1,1	-	-	-	-	-	-	50	-	-	-	-	-	31	-	-	-	-	-	-	-	2,7	-	2,1	-	-	-		
	601	10	83	708	-	-	-	-	-	-	31	-	-	-	-	-	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,3	-	-	-		
	493	39	131	4,7	-	-	-	-	-	-	180	-	-	-	-	-	22	-	52	-	-	-	-	-	-	-	5,7	-	-	-		
	298	12	155	328	-	-	-	-	-	-	470	329	-	-	-	-	11	-	94	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-		
	439	17	233	147	-	-	-	-	-	-	278	279	-	-	-	-	26	-	62	-	-	-	100	-	-	769	-	7	-	-	-	
	10	2	77	69	-	-	827	-	-	-	51	-	-	-	-	-	-	-	62	-	-	-	-	-	522	-	702 <sup>ppb</sup>	-	-	-	-	
	11	17	246	184	-	-	-	-	-	-	327	333	412	27	-	-	14	-	71	-	-	-	76	-	-	523	-	29	-	-	-	
	119	10	164	72	-	-	-	-	-	-	122	123	465	-	-	-	37	-	20	-	-	-	69	-	-	-	-	4	-	-	-	
	120	3	144	15	-	-	-	-	-	-	86	-	480	-	-	-	33	-	-	-	-	-	78	-	-	-	-	3,3	-	-	-	
6	38	5	224	56	-	-	-	-	-	-	550	-	369	24	-	-	10	-	104	-	-	-	177	-	-	919	-	20	-	-	-	
7	36	5	236	38	-	-	-	-	-	-	555	-	442	31	-	-	11	-	101	-	-	-	144	-	-	1	-	20	-	-	-	
0	106	5	240	-	-	-	-	-	-	-	549	411	453	-	-	-	9	-	96	-	-	-	160	-	-	348	-	20	-	-	-	
1	109	5	251	51	-	-	-	-	-	-	536	-	498	32	-	-	60	-	99	-	-	-	157	-	-	408	-	20	-	-	-	
5	46	12	203	120	-	-	-	-	-	-	485	384	-	-	-	-	18	-	222	-	-	-	123	-	-	-	-	20	-	-	-	
5	37	8	220	128	-	-	-	-	-	-	317	-	-	-	-	-	21	-	60	-	-	-	108	-	-	-	-	11	-	-	-	
7	1.939	25	256	400	-	-	-	-	-	-	486	400	-	-	-	-	20	-	93	-	-	-	107	-	-	448	-	20	-	-	-	
8	1.053	42	239	695	-	-	-	-	-	-	565	565	454	-	-	-	18	-	84	-	-	-	102	-	-	539	-	20	-	-	-	
	341	5	183	189	-	-	-	-	-	-	228	338	-	-	-	-	16	-	51	-	-	-	31	-	-	794	-	21	-	-	-	
>5.000	36	288	645	-	-	-	-	-	-	-	221	218	-	-	-	-	15	-	42	-	-	-	-	-	-	781	-	8	-	-	-	
	170	3	91	74	-	-	-	-	-	-	53	-	-	-	-	-	30	-	-	-	-	-	-	-	-	765	-	667 <sup>ppb</sup>	-	-	-	-
	76	4	112	131	-	-	-	-	-	-	56	-	-	-	-	-	25	-	-	-	-	-	37	-	-	117	-	1	-	-	-	-
1	1.425	29	262	1,1	-	-	-	-	-	-	536	423	-	-	-	-	-	-	105	-	-	-	123	-	-	-	-	20	-	-	-	-
3	1.274	50	282	1,54	-	-	-	-	-	-	414	379	-	-	-	-	31	-	111	-	-	-	160	-	-	300	-	20	-	-	-	-
6	132	7	135	168	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,7	-	-	-	-
7	76	4	110	122	-	-	-	-	-	-	56	-	-	-	-	-	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	113 <sup>ppb</sup>	-	-	-	-
9	1.155	27	242	369	-	-	-	-	-	-	387	329	-	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	-	-	-	-
10	797	12	294	1,35	-	-	-	-	-	-	783	487	-	-	-	-	23	-	-	-	-	-	137	-	-	-	-	20	-	-	-	-
11	517	17	253	395	-	-	-	-	-	-	644	429	-	-	-	-	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	-	-	-	-
13	579	19	263	1	-	-	-	-	-	-	642	407	-	-	-	-	23	-	-	-	-	-	172	-	-	-	-	20	-	-	-	-
14	1.202	31	137	1,36	-	-	-	-	-	-	258	312	-	-	-	-	63	-	-	-	-	-	38	-	-	-	-	20	-	-	-	-
15	1.311	15	138	200	-	-	-	-	-	-	250	176	-	-	-	-	37	-	50	-	-	-	125	-	-	-	-	5,6	-	-	-	-
22	135	13	148	231	-	-	-	-	-	-	224	156	-	-	-	-	23	-	44	-	-	-	124	-	-	-	-	4	-	-	-	-
2	315	7	208	298	-	-	-	-	-	-	220	-	-	-	-	-	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,3	-	-	-	-
9	10	3	53	15	-	-	-	-	-	-	31	123	369	24	-	-	7	-	20	-	-	-	31	-	-	448	-	302 <sup>ppb</sup>	-	-	-	-
10 >5.000	99	294	4,3 <sup>ppb</sup>	-	-	-	-	-	-	-	783	565	498	32	-	-	63	-	222	-	-	-	177	-	-	2,7	-	20	-	-	-	-

guas de esta zona pueden ser tomadas como bastante salinas, especialmente las de la muestra A-3 que presenta un contenido en Na superior a 5.000 ppm. y las muestras AL-13, AL-31, Gr-37, Gr-38, Mu-4, Mu-5, Mu-9, Mu-18 y Mu-19 en las cuales el contenido es superior a 1000 ppm. Estas muestras, como puede comprobarse, son más susceptibles de transportar metales pesados, a causa de su mayor salinidad. Tomadas en su conjunto las aguas del área de Murcia son las más salinas.

En términos generales la presencia de K parece algo baja, comparada con otras aguas termales; con lo que la razón Na/K (tabla V) resulta ser alta. En el área de Murcia el contenido es algo superior.

El Mg muestra una proporción francamente elevada, con valores entre 53 y 294 ppm.

A título de ejemplo se puede citar el caso de Salton Sea, que conteniendo 54.000 ppm de Na lleva 100 ppm de Mg.

En líneas generales la presencia de Ca es normal, siendo únicamente en algunos puntos de Granada y Murcia algo elevada.

El contenido en B se puede considerar como muy bajo para este tipo de aguas.

El Ba no presenta variaciones de unas zonas a otras y muestra en general una proporción baja.

La presencia de Bi no es corriente en aguas termales.

En esta zona aparece en casi todas las muestras y en una pro-

orci3n bastante alta.

El Sr. muestra proporciones importantes si se comparan con los contenidos normales en aguas volc3nicas que son del orden de ,1 - 10 ppm; si se comparan con los de otros tipos de aguas, pueden ser bajos.

El Pb aparece en bastantes muestras, predominantemente en las 3reas de Murcia y Granada. Comparando los contenidos con los que se presentan en otras aguas termales portadoras de Pb, aquellos se pueden considerar ligeramente superiores a lo normal.

La presencia de Ni se circunscribe exclusivamente a la zona sur de Granada (Gr-7, 8, 9, 16, 17, 21), lo cual puede ser significativo. Las cantidades parecen algo superiores a lo normal para este tipo de aguas. El Cu se presenta en las mismas muestras, con una proporci3n m3nima.

El Mn se concentra fundamentalmente en las aguas de Granada, siendo las cantidades bastante bajas.

El Mo se encuentra en las aguas de Granada y tambi3n en algunas de Murcia. Los contenidos parecen algo superiores a lo normal.

#### 4.2.2.- Relaci3n de las aguas con la geolog3a y los dep3sitos minerales.

En esta zona se puede apreciar una alineaci3n de puntos termales seg3n una direcci3n aproximada N 60° E. Esta alineaci3n de manantiales termales corresponde a la direcci3n del plegamiento alpino.

POSIBILIDADES GEOQUIMICAS Y MINERAS  
DE LAS AGUAS TERMALES EN ESPAÑA

MAPA METALOGENETICO

ZONA S. E.

LEYENDA



Mineralizaciones de Pb - Zn



Mineralizaciones de Cu



Mineralizaciones de Bi



Mineralizaciones de Mn



Mineralizaciones de Ni



Dimensiones no cartografiables

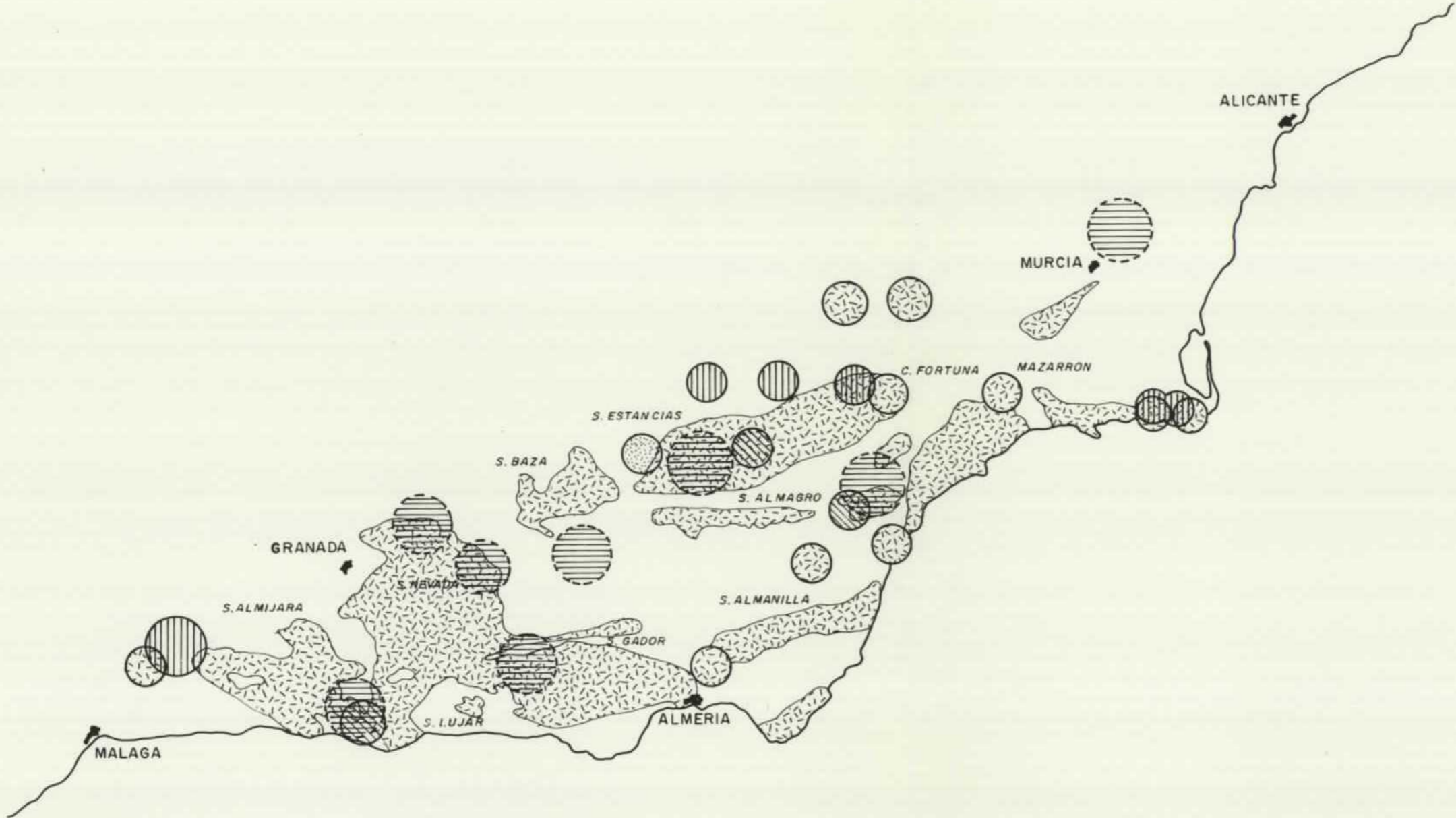


Limites imprecisos

POSIBILIDADES GEOC  
DE LAS AGUAS TEF

MAPA METALOG

ZONA S.E.



LEYENDA

-  Mineralizaciones de
-  Mineralizaciones de
-  Mineralizaciones de
-  Mineralizaciones de
-  Mineralizaciones de
-  Dimensiones no cartor
-  Limites imprecisos



También se observan alineaciones de dirección N 30-40° O. Por ejemplo, a lo largo de las líneas que unen Ciudad Real con Almería, o Jaén con Albuñol, paralelas entre sí, se localizan un buen número de surgencias; en el Mapa de Muestras (zona S.E.) del presente trabajo no se puede ver con tanta claridad, pues no están todas las aguas existentes representadas. Esta dirección N 30-40° O coincide con la dirección de fracturas de desgarre, transversas a la dirección de plegamiento de las Cordilleras Béticas.

Así vemos cómo las surgencias de aguas termales están en esta zona ligadas a estructuras de carácter regional.

Las anomalías térmicas positivas se localizan en la zona del contacto tectónico del Bético s. str. con el Subbético y a la de éste con el Prebético (dirección N 60°- 70° E), así como fracturas transversas a los mismos (dirección N 30°-40° O).

CRUZ-SANJULIAN y GARCIA-ROSSEL (1975) afirman que el primer tipo de estructuras parecen controlar la distribución de las facies hidroquímicas y el segundo la mayor frecuencia de surgencias. Esto induciría a pensar que las fracturas transversas sólo ofrecen un camino de salida para las aguas termales mientras que las unidades estructurales de la cordillera parecen controlar de algún modo su composición química y temperatura.

Pasando a comentar los contenidos en algunos elementos de interés, se puede ver en la TABLA I que las aguas estudiadas de esta zona presentan unos contenidos tan bajos que se hace impensable su explotación directa de las aguas, incluso aún pensando que en profundidad aquellos fueran superiores.

En cuanto a la relación de determinados elementos con depósi-

MAPA N° 2

PRESENCIA DE Mn  
EN AGUAS TERMALES

LEYENDA

- MUESTRA CON PRESENCIA DE Mn







MAPA N° 3

PRESENCIA DE Cu y Zn  
EN AGUAS TERMALES

LEYENDA

- ▲ MUESTRA CON PRESENCIA DE Cu
- MUESTRA CON PRESENCIA DE Zn













MAPA N° 3

PRESENCIA DE Cu y Zn  
EN AGUAS TERMALES

LEYENDA

- ▲ MUESTRA CON PRESENCIA DE Cu
- MUESTRA CON PRESENCIA DE Zn







MAPA N° 4

PRESENCIA DE Ni  
EN AGUAS TERMALES

LEYENDA

- MUESTRA CON PRESENCIA DE Ni



MAPA N° 5

PRESENCIA DE Mo  
EN AGUAS TERMALES

LEYENDA

- MUESTRA CON PRESENCIA DE Mo

MAPA N° 6

PRESENCIA DE Pb  
EN AGUAS TERMALES

LEYENDA

- MUESTRA CON PRESENCIA DE Pb

MAPA N° 6

PRESENCIA DE Pb  
EN AGUAS TERMALES

LEYENDA

- MUESTRA CON PRESENCIA DE Pb

MAPA N° 7

PRESENCIA DE Bi  
EN AGUAS TERMALES

LEYENDA

- MUESTRA CON PRESENCIA DE Bi

MAPA N° 7

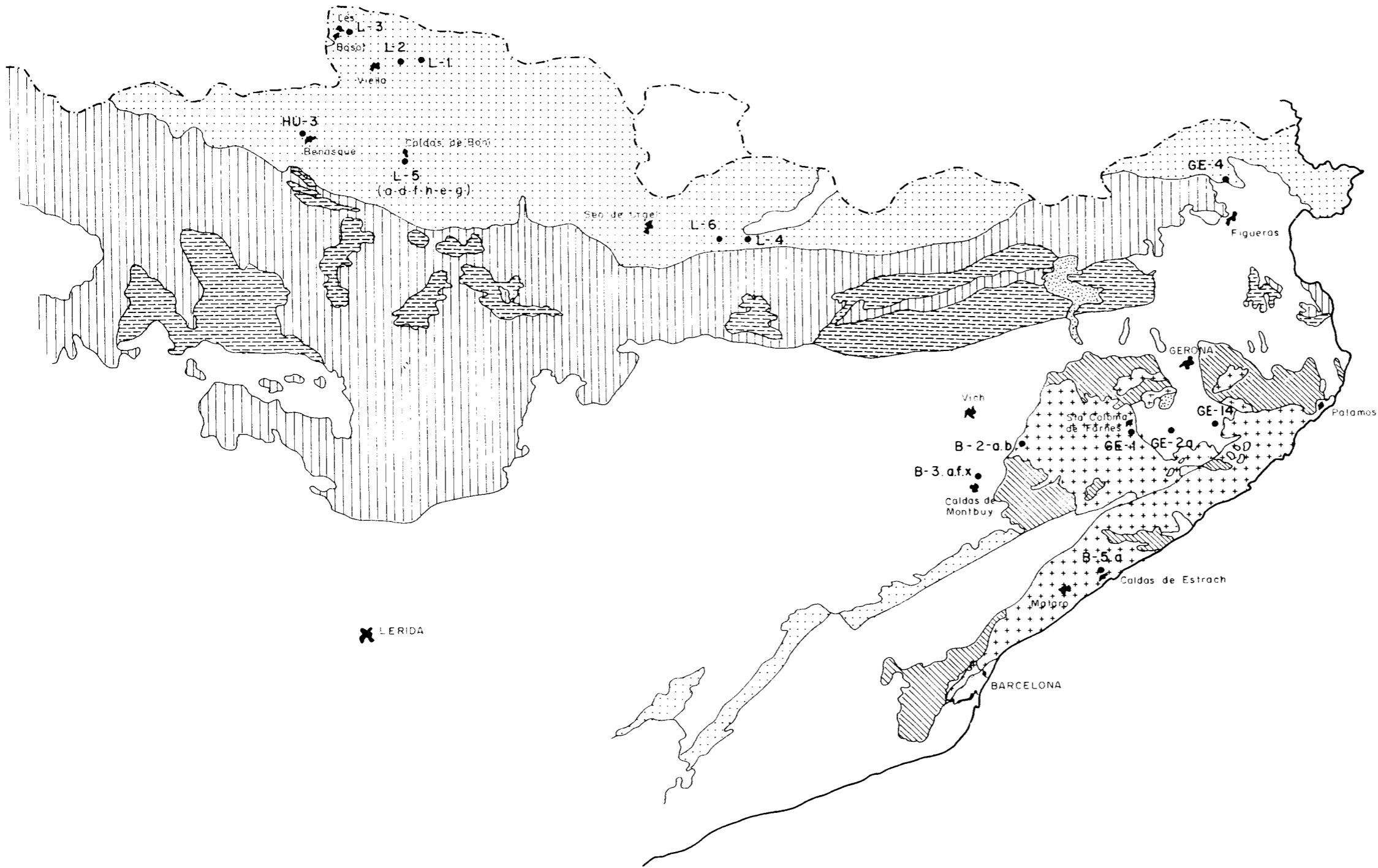
PRESENCIA DE Bi  
EN AGUAS TERMALES

LEYENDA


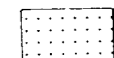


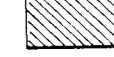
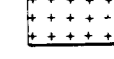


- MUESTRA CON PRESENCIA DE Bi

POSIBILIDADE  
DE LAS AGU

MAPA DE  
ZONA N.E



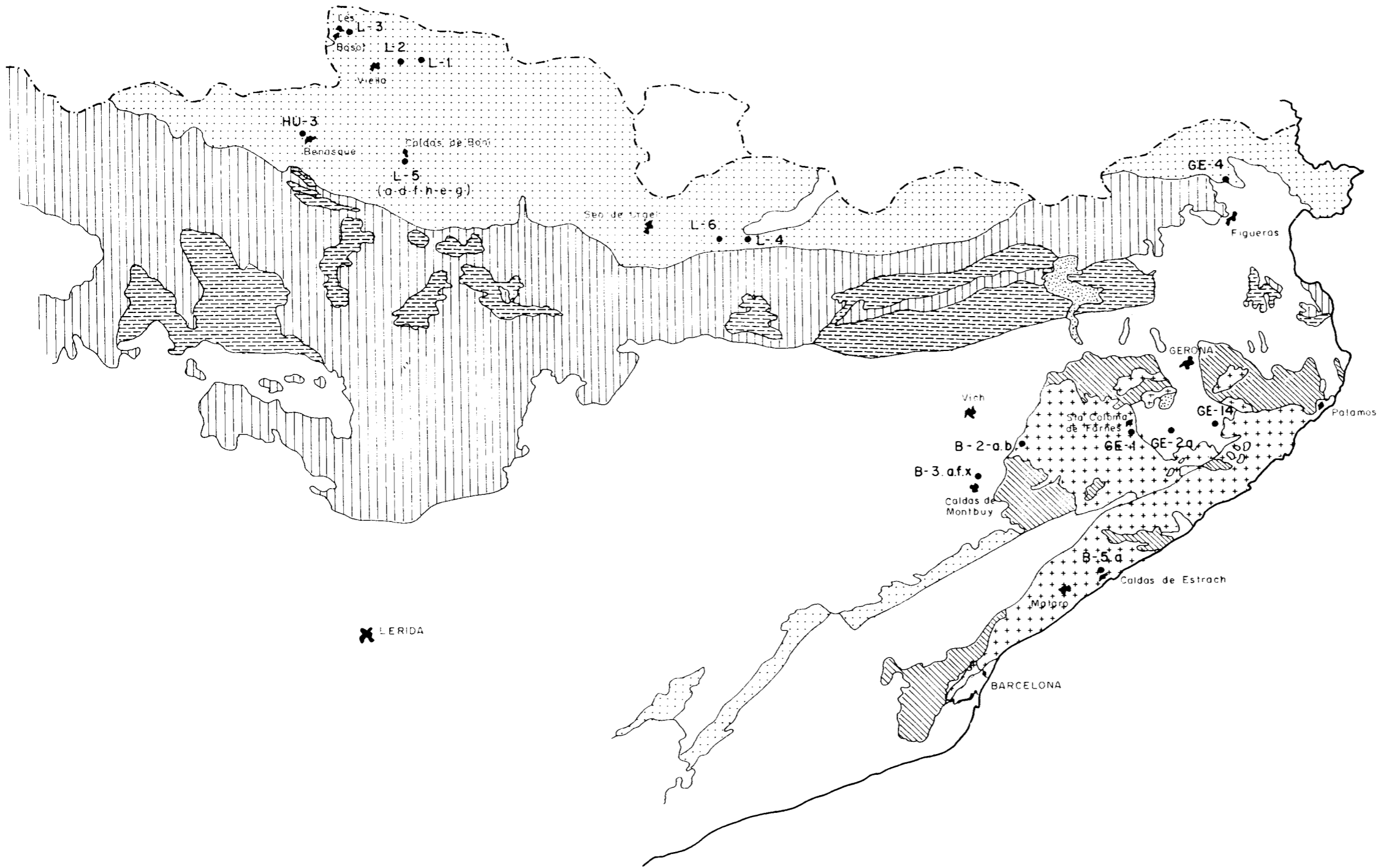
LEY

-  Areas
-  Terreno: al fina
-  Terreno: al fina
-  Terreno:
-  Terreno: las de
-  Rocas la def
-  Rocas
-  Nº de

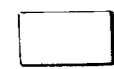
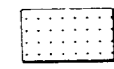



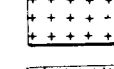


Base geológica  
y Baleares ( J.U

POSIBILIDADE  
DE LAS AGU

MAPA DE  
ZONA N.E



LEY

-  Areas
-  Terreno: al fina
-  Terreno: al fina
-  Terreno:
-  Terreno: las de
-  Rocas la def
-  Rocas
-  Nº de

Base geológica  
y Baleares ( J.U

## MAPA N° 8

### PRESENCIA DE Sn y W EN AGUAS TERMALES

#### LEYENDA

- MUESTRA CON PRESENCIA DE W
- ▲ MUESTRA CON PRESENCIA DE Sn
- ▲● MUESTRA CON PRESENCIA DE W y Sn



tos minerales de los mismos, si se examinan los mapas metalogenéticos y los mapas de contenidos, se pueden apreciar algunos detalles.

En primer lugar es destacable la presencia de Ni en algunas muestras de Granada (Gr-7, 8, 9, 16, 17, 20, Mapa n° 4) todas ellas situadas al sur de la provincia y cercanas espacialmente a los depósitos de Ni de la Sierra de Itrabo y Motril.

Evidentemente puede existir alguna relación, si no genética - de otro tipo, entre estos depósitos y la presencia de níquel en estas aguas.

También coincidiendo con estos puntos se observa una mínima presencia de Cu (Mapa n°3), del cual existen asimismo depósitos.

La existencia de Mn (Mapa n° 2) en algunas muestras es muy poco significativa. Estas se concentran sobre todo en la provincia de Granada, y no parece existir relación alguna con depósitos conocidos.

El Pb aparece en proporciones similares en bastantes puntos de las provincias de Granada y Murcia. Como se puede ver en el Mapa Metalogenético y en el de contenidos en Pb (Mapa n°6), suelen coincidir dichos puntos con las zonas de los depósitos.

La presencia de Mo (Mapa n°5) no presenta grandes variaciones de unos puntos a otros. Aparece fundamentalmente en muestras de la provincia de Granada y Murcia. No existen mineralizaciones de Mo conocidas en la zona.

La mayor proporción en Bi (Mapa n°7) la presentan las aguas de la provincia de Almería. Esta distribución no guarda relación con depósitos conocidos de Bi, siendo los más cercanos los de la Sierra de Baza en Granada.

tos minerales de los mismos, si se examinan los mapas metalogenéticos y los mapas de contenidos, se pueden apreciar algunos detalles.

En primer lugar es destacable la presencia de Ni en algunas muestras de Granada (Gr-7, 8, 9, 16, 17, 20, Mapa n° 4) todas ellas situadas al sur de la provincia y cercanas espacialmente a los depósitos de Ni de la Sierra de Itrabo y Motril.

Evidentemente puede existir alguna relación, si no genética - de otro tipo, entre estos depósitos y la presencia de níquel en estas aguas.

También coincidiendo con estos puntos se observa una mínima presencia de Cu (Mapa n°3), del cual existen asimismo depósitos.

La existencia de Mn (Mapa n° 2) en algunas muestras es muy poco significativa. Estas se concentran sobre todo en la provincia de Granada, y no parece existir relación alguna con depósitos conocidos.

El Pb aparece en proporciones similares en bastantes puntos de las provincias de Granada y Murcia. Como se puede ver en el Mapa Metalogenético y en el de contenidos en Pb (Mapa n°6), suelen coincidir dichos puntos con las zonas de los depósitos.

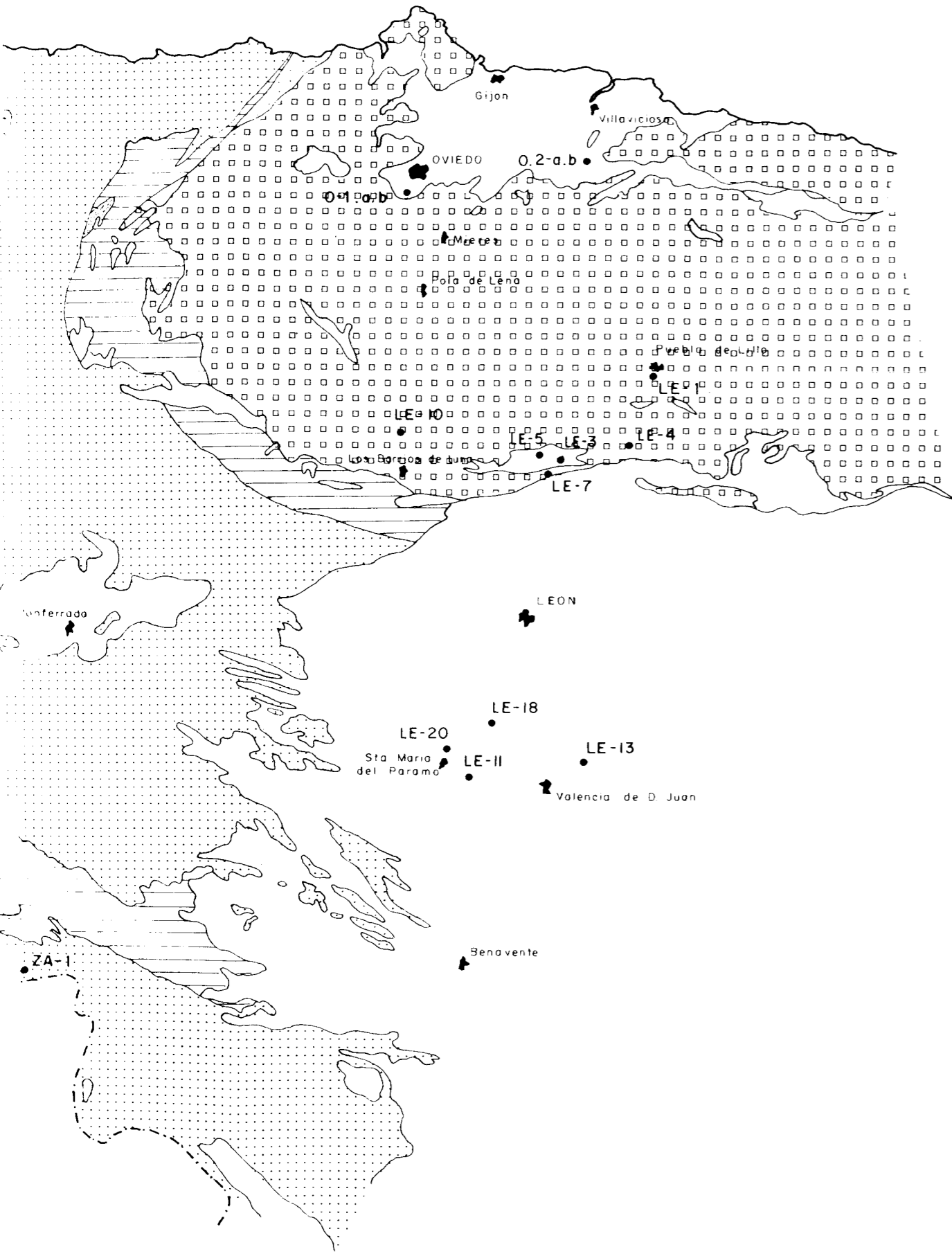
La presencia de Mo (Mapa n°5) no presenta grandes variaciones de unos puntos a otros. Aparece fundamentalmente en muestras de la provincia de Granada y Murcia. No existen mineralizaciones de Mo conocidas en la zona.

La mayor proporción en Bi (Mapa n°7) la presentan las aguas de la provincia de Almería. Esta distribución no guarda relación con depósitos conocidos de Bi, siendo los más cercanos los de la Sierra de Baza en Granada.









POSIBILIDADES GEOQUIMICAS Y MINERAS  
DE LAS AGUAS TERMALES EN ESPAÑA

MAPA DE MUESTRAS

ZONA N.O.



LEYENDA

-  Areas de cobertura poco o nada deformadas
-  Terrenos paleozóicos afectados por las deformaciones hercinianas. Zona Cantábrica.
-  Terrenos paleozóicos afectados por las deformaciones hercinianas.
-  Terrenos deformados con anterioridad al Ordovícico Inferior y afectados por la orogénesis herciniana.
-  Terrenos precámbricos en la cordillera herciniana.
-  Rocas magmáticas del ciclo herciniano.
-  Rocas magmáticas anteriores al ciclo herciniano.
-  N° de muestra.

Base geológica del Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares ( JULIVERT y FONTBOTE, 1972, simplificado ).

El Sr. se encuentra en cantidades importantes en casi todas -  
las muestras de la zona, especialmente en el área de Granada. En -  
esta zona precisamente existen varios indicios de estroncianita y  
celestina y explotaciones de Sr entre Gabia y La Malá.

#### 4.3.- ZONA N.E.

##### 4.3.1.- Estudio geoquímico de las aguas.

Si se observan los pH de las muestras de esta zona (Relación de Muestras), se puede comprobar como son en su mayoría alcalinas o muy alcalinas, especialmente las del Pirineo que llegan a alcanzar valores de 10; son excepción algunas muestras de Caldas de Bojí (L-5) que son neutras o ligeramente ácidas.

En cuanto a las temperaturas y caudales, ya ha quedado mencionado que se han elegido los puntos de valores más elevados, no obstante son de destacar los 70°C de temperatura que alcanza el agua de la Fuente del León en Caldas de Montbuy (Barcelona).

En el Mapa de Muestras se puede apreciar cómo los puntos de agua termal aparecen a lo largo de las cadenas costero-catalanas y de las cadenas pirenaicas.

Con respecto al contenido geoquímico, la característica más destacada es la pureza de estas aguas, pues la presencia de elementos es realmente escasa. Los elementos que aparecen en las muestras son: Na, F, Mg, B, Ca, Al, Bi, Sr y Fe, presentándose este último solamente en dos muestras.

Son aguas poco salinas (TABLA II) pues la concentración de Na es más bien baja, a excepción de la muestra GE-2a en la que el Na supera las 1000 ppm. Todas las muestras de la zona de Lérida y Huesca presentan un contenido en Na realmente escaso.

La presencia de K es acorde con la del Na siendo por lo tanto también baja, especialmente en Lérida y Huesca. Sin embargo la

TABLA II.- ZONA N.E. Contenido de elementos en disolución expresado en ppb ó ppm (•)

	Na <sup>•</sup>	K <sup>•</sup>	Mg <sup>•</sup>	B	Zn	As <sup>•</sup>	P <sup>•</sup>	Sb	Fe	Sn	Ca <sup>•</sup>	Pb	Ni	Cu	Ag	V	Ba	Cr	Mn	Ti	Al	Mo	Cd	W	Bi	Co	Sr	Nb	Be	Y
B-2a	149	5	< 1	119	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	293	-	-	-	475	-	14	-	-	-
B-2b	148	5	< 1	70	-	-	-	-	-	-	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	277	-	-	-	505	-	25	-	-	-
B-3a	414	18	< 1	904	-	-	-	-	-	-	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	357	-	-	-	464	-	65	-	-	-
B-3f	415	18	< 1	939	-	-	-	-	-	-	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	410	-	-	-	819	-	61	-	-	-
B-3x	412	26	< 1	1 <sup>•</sup>	-	-	-	-	-	-	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	108	-	-	-	585	-	67	-	-	-
B-5a	237	18	< 1	165	-	-	-	-	-	-	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	187	-	-	-	487	-	56	-	-	-
HU-3	44	< 1	< 1	213	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	210	-	-	-	431	-	-	-	-	-
L-1	10	1	< 1	-	-	-	-	-	-	-	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	900	-	-	-	435	-	-	-	-	-
L-2	68	2	< 1	260	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	433	-	-	-	363	-	-	-	-	-
L-3	29	1	< 1	28	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	256	-	-	-	256	-	-	-	-	-
L-4	42	0,5	< 1	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	262	-	-	-	374	-	-	-	-	-
L-5a	77	3	< 1	321	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	644	-	-	-	-	-	-	-	-	-
L-5d	83	4	< 1	400	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	299	-	-	-	423	-	-	-	-	-
L-5e	39	2	< 1	259	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	258	-	-	-	311	-	-	-	-	-
L-5f	37	2	0,1	545	-	-	-	-	-	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	717	-	-	-	299	-	-	-	-	-
L-5g	32	2	< 1	117	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	254	-	-	-	384	-	-	-	-	-
L-5h	42	2	< 1	460	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	286	-	-	-	311	-	-	-	-	-
L-6	52	0,8	< 1	110	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	248	-	-	-	285	-	-	-	-	-
GE-1	123	4	< 1	180	-	-	-	-	1,3 <sup>•</sup>	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	226	-	-	-	400	-	25	-	-	-
GE-2a	1171	72	< 1	1 <sup>•</sup>	-	-	-	-	-	-	37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	205	-	-	-	470	-	311	-	-	-
GE-4	88	1	< 1	123	-	-	-	-	222	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	238	-	-	-	420	-	37	-	-	-
GE-14	705	11	< 1	83	-	-	-	-	-	-	362	-	-	-	-	-	-	-	-	-	200	-	-	-	443	-	2,5 <sup>•</sup>	-	-	-
Valor mínimo	10	0,5	0,1	28					222		4										108				256		14			
Valor máximo	1171	72	< 1	1 <sup>•</sup>					1,3 <sup>•</sup>		362										900				819		2,5 <sup>•</sup>			

TABLA II.- ZONA N.E. Contenido de elementos en disolución expresado en ppb ó ppm (•)

	Na <sup>•</sup>	K <sup>•</sup>	Mg <sup>•</sup>	B	Zn	As <sup>•</sup>	P <sup>•</sup>	Sb	Fe	Sn	Ca <sup>•</sup>	Pb	Ni	Cu	Ag	V	Ba	Cr	Mn	Ti	Al	Mo	Cd	W	Bi	Co	Sr	Nb	Be	Y
B-2a	149	5	< 1	119	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	293	-	-	-	475	-	14	-	-	-
B-2b	148	5	< 1	70	-	-	-	-	-	-	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	277	-	-	-	505	-	25	-	-	-
B-3a	414	18	< 1	904	-	-	-	-	-	-	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	357	-	-	-	464	-	65	-	-	-
B-3f	415	18	< 1	939	-	-	-	-	-	-	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	410	-	-	-	819	-	61	-	-	-
B-3x	412	26	< 1	1 <sup>•</sup>	-	-	-	-	-	-	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	108	-	-	-	585	-	67	-	-	-
B-5a	237	18	< 1	165	-	-	-	-	-	-	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	187	-	-	-	487	-	56	-	-	-
HU-3	44	< 1	< 1	213	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	210	-	-	-	431	-	-	-	-	-
L-1	10	1	< 1	-	-	-	-	-	-	-	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	900	-	-	-	435	-	-	-	-	-
L-2	68	2	< 1	260	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	433	-	-	-	363	-	-	-	-	-
L-3	29	1	< 1	28	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	256	-	-	-	256	-	-	-	-	-
L-4	42	0,5	< 1	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	262	-	-	-	374	-	-	-	-	-
L-5a	77	3	< 1	321	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	644	-	-	-	-	-	-	-	-	-
L-5d	83	4	< 1	400	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	299	-	-	-	423	-	-	-	-	-
L-5e	39	2	< 1	259	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	258	-	-	-	311	-	-	-	-	-
L-5f	37	2	0,1	545	-	-	-	-	-	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	717	-	-	-	299	-	-	-	-	-
L-5g	32	2	< 1	117	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	254	-	-	-	384	-	-	-	-	-
L-5h	42	2	< 1	460	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	286	-	-	-	311	-	-	-	-	-
L-6	52	0,8	< 1	110	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	248	-	-	-	285	-	-	-	-	-
GE-1	123	4	< 1	180	-	-	-	-	1,3 <sup>•</sup>	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	226	-	-	-	400	-	25	-	-	-
GE-2a	1171	72	< 1	1 <sup>•</sup>	-	-	-	-	-	-	37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	205	-	-	-	470	-	311	-	-	-
GE-4	88	1	< 1	123	-	-	-	-	222	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	238	-	-	-	420	-	37	-	-	-
GE-14	705	11	< 1	83	-	-	-	-	-	-	362	-	-	-	-	-	-	-	-	-	200	-	-	-	443	-	2,5 <sup>•</sup>	-	-	-
Valor mínimo	10	0,5	0,1	28					222		4										108				256		14			
Valor máximo	1171	72	< 1	1 <sup>•</sup>					1,3 <sup>•</sup>		362										900				819		2,5 <sup>•</sup>			

relación Na/K se mantiene dentro de unos valores similares.

El Mg se presenta en todas las muestras con cifras inferiores a 1 ppm. Estos valores, aunque son bajos, se pueden considerar normales teniendo en cuenta la baja salinidad de las muestras.

El Ca también aparece en proporciones bajas, incluso con respecto al Na parecen valores inferiores a lo normal, siendo por tanto la razón Ca/Na (TABLA V) de las muestras bastante inferior a la unidad.

Todas las muestras contienen en mayor o menor proporción Al en cantidades apreciables.

Como se ha dicho ya, la presencia de Bi no es corriente en las aguas termales, apareciendo en esta zona en todas las muestras.

Asimismo el B se presenta en todos los puntos de agua, aunque su presencia es muy escasa para este tipo de aguas.

El Sr sólo se encuentra en las muestras de Barcelona y Girona en cantidades insignificantes, destacando del resto la muestra GE-14 con 2,5 ppm.

En las muestras GE-1 y GE-4 se puede apreciar la existencia de una pequeña cantidad de Fe.

#### 4.3.2.- Relación de las aguas con la geología y los depósitos minerales.

Los puntos de aguas termales de esta zona se encuentran formando alineaciones a lo largo de las cadenas costero-catalanas y



relación Na/K se mantiene dentro de unos valores similares.

El Mg se presenta en todas las muestras con cifras inferiores a 1 ppm. Estos valores, aunque son bajos, se pueden considerar normales teniendo en cuenta la baja salinidad de las muestras.

El Ca también aparece en proporciones bajas, incluso con respecto al Na parecen valores inferiores a lo normal, siendo por tanto la razón Ca/Na (TABLA V) de las muestras bastante inferior a la unidad.

Todas las muestras contienen en mayor o menor proporción Al en cantidades apreciables.

Como se ha dicho ya, la presencia de Bi no es corriente en las aguas termales, apareciendo en esta zona en todas las muestras.

Asimismo el B se presenta en todos los puntos de agua, aunque su presencia es muy escasa para este tipo de aguas.

El Sr sólo se encuentra en las muestras de Barcelona y Girona en cantidades insignificantes, destacando del resto la muestra GE-14 con 2,5 ppm.

En las muestras GE-1 y GE-4 se puede apreciar la existencia de una pequeña cantidad de Fe.

#### 4.3.2.- Relación de las aguas con la geología y los depósitos minerales.








Los puntos de aguas termales de esta zona se encuentran formando alineaciones a lo largo de las cadenas costero-catalanas y

# POSIBILIDADES GEOQUIMICAS Y MINERAS DE LAS AGUAS TERMALES EN ESPAÑA

## MAPA DE MUESTRAS

### ZONA N.E.

#### LEYENDA

-  Áreas de cobertura poco o nada deformadas.
-  Terrenos deformados por primera vez al final del Eoceno.
-  Terrenos deformados por primera vez al final del Oligoceno.
-  Terrenos antepaléocenos en la cordillera Pirenaica.
-  Terrenos paleozóicos afectados por las deformaciones hercinianas.
-  Rocas intrusivas ligadas a la deformación herciniana.
-  Rocas básicas neógenas y cuaternario.
- N° de muestra.

Base geológica del mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares ( JULIVERT y FONTBOTE , 1.972, simplificado ).

ESCALA 1: 1.000.000

El B aparece en líneas generales en proporciones muy bajas.

El Sb se presenta en casi la totalidad de las muestras en proporciones apreciables.

El Fe aparece en la mayoría de las muestras con valores relativamente altos, quizá debido a que al ser las aguas ácidas presentan mayor facilidad para llevar Fe en disolución.

Los contenidos en Mn son normales, destacándose únicamente la muestra CR-54 con 9,8 ppm.

El As también puede encontrarse en la mayoría de las muestras con unos valores que son normales en aguas de origen volcánico.

El wolframio se presenta en proporciones destacadas en casi todas las muestras.

El Sn aparece en cantidades insignificantes.

Los contenidos en Pb pueden ser algo superiores a los normales en aguas termales que lleven dicho elemento.

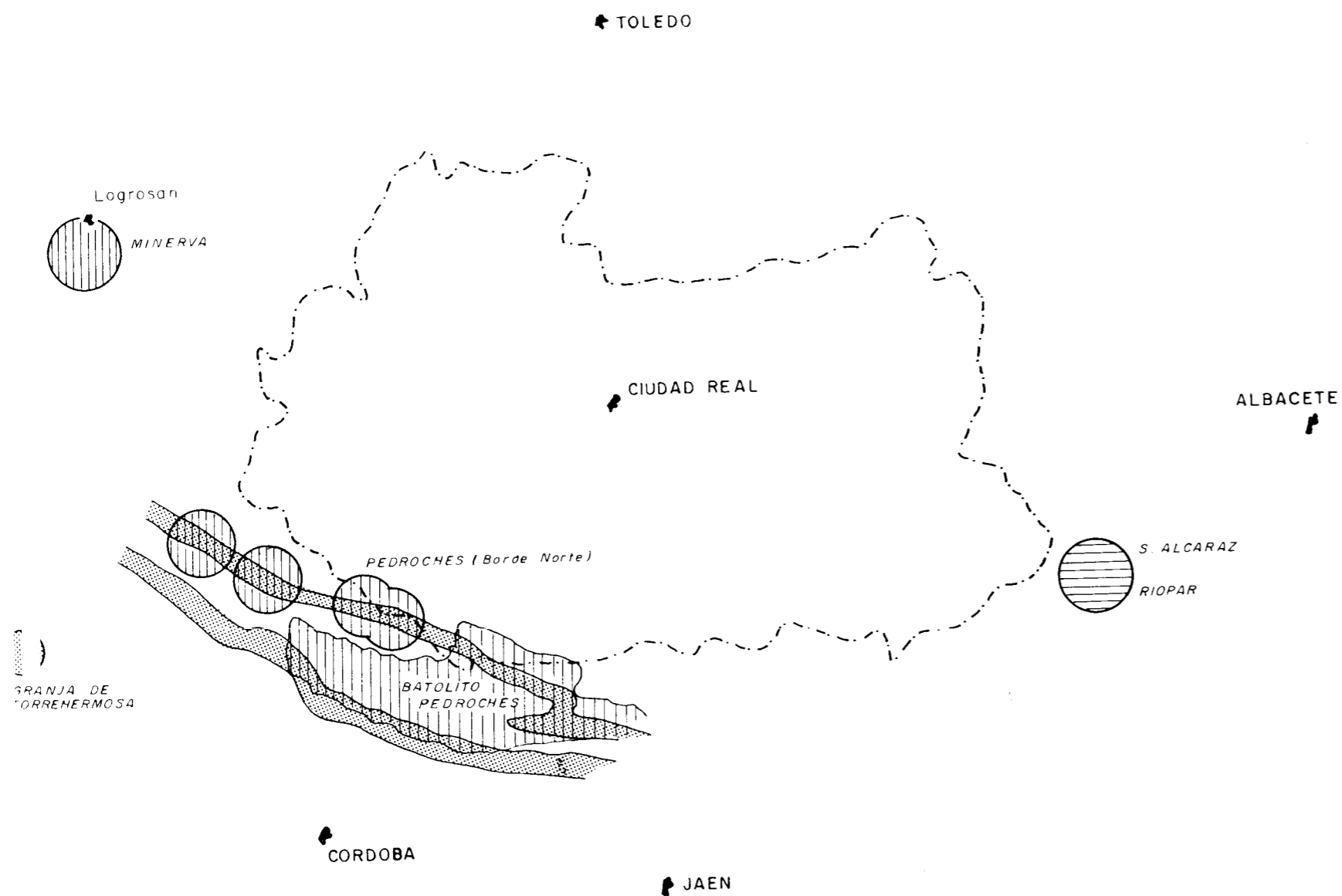
#### 4.5.2.- Relación de las aguas con la geología y los depósitos minerales.

Las aguas termales de la zona de Ciudad Real se encuentran localizadas en gran parte en áreas próximas a Ciudad Real en terrenos paleozoicos afectados por deformaciones hercínicas, en las cuales se encuentran diseminadas manchas de rocas volcánicas básicas neógenas y cuaternarias. Las aguas termales de Fuencaliente se hallan algo alejadas del resto y próximas al batolito de los Pedros.

POSIBILIDADES GEOQUIMICAS Y  
DE LAS AGUAS TERMALES EN

MAPA METALOGENETICO

ZONA DE CIUDAD REAL



LEYENDA

-  Mineralizaciones de Ni
-  Mineralizaciones de Pb-Zn
-  Mineralizaciones de Sn-W

de los datos conocidos, es de esperar que pueda ser viable la explotación de algún elemento a partir de las aguas termales.

## 5.- ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS ZONAS ESTUDIADAS.

Las aguas termales de las zonas estudiadas presentan unas medidas de pH que varían de unas a otras, aunque en líneas generales predominan las alcalinas. En la zona S.E. dominan las aguas ligeramente alcalinas, en la N.E. las alcalinas o muy alcalinas, en la N.O. las alcalinas y por último en la zona de Ciudad Real son generalmente ácidas.

Las aguas de Galicia son en conjunto las que tienen mayores temperaturas de surgencia, seguidas por las de la zona S.E.

Si se contempla la Tabla nº 4.1. comparativa de la presencia o ausencia de los distintos elementos en las cuatro zonas estudiadas, se aprecia la existencia de algunos elementos en todas ellas como pueden ser: Na, K, Mg, B y Ca; y otros que no están presentes en ninguna de ellas, como son: Ag, Ti, Cd e Y. El rastro puede aparecer en algunas zonas y no existir en otras.

La zona S.E. es la que da unos valores de salinidad en sus aguas más altos. En el N.O. y sobre todo en el N.E. son más bien bajos.

La razón Na/K aparece en todas las zonas con unos valores ligeramente altos, los cuales para algunos autores pueden ser índice de un origen mixto de las aguas.

La presencia de Mg es alta en todas las zonas, especialmente en la zona S.E. En las aguas de origen exclusivamente volcánico los contenidos suelen ser mucho más bajos que los que muestra esta última zona. Las razones Mg/Na en Andalucía son muy superiores a las de las otras zonas, quizá esto sea debido al paso de las aguas a

ZONA DE CIUDAD REAL

ZONA N.O.

ZONA N.E.

ZONA S.E.

Sample	Ca/Ra	Mg/Ca	Na/K	Ca/Ra	Mg/Ca	Na/K	Ca/Ra	Mg/Ca	Na/K	Ca/Ra	Mg/Ca	Na/K	Ca/Ra	Mg/Ca	Na/K
AL-1	2,45	1,01	10	B-2a	0,03	0,2	29,8	0-1a	1,52	0,38	17	CR-12	0,37	0,6	3,68
AL-2	3	1,21	10	B-2b	0,07	0,09	29,7	0-2a	0,67	-	8,2	CR-19	0,53	1,65	2,83
AL-6	0,09	0,98	60,07	B-3a	17,25	0,04	23	0-4b	2,25	0,08	24,6	CR-20	0,17	3,00	6,89
AL-12	0,40	0,99	18,11	B-3f	0,06	0,03	23,05	0-2b	0,65	0,33	8,3	CR-21	0,09	3,51	9,91
AL-13	0,41	0,22	15,66	B-3x	0,05	0,04	15,84	LE-1	3,63	0,2	169,2	CR-25	0,38	2,66	5,04
AL-18	4,95	1,01	7,66	B-5a	0,10	0,06	13,16	LE-3	2,15	0,71	19,8	CR-26	0,18	2,6	5,16
AL-19	4,09	1,34	11	III-3	0,09	0,25	44	LE-4	0,99	0,5	11	CR-34	0,21	2,64	7,8
AL-21	0,06	2,51	18,25	L-1	1,3	0,07	10	LE-5	6,5	0,30	10	CR-35	0,40	2,51	5,37
AL-23	0,05	2,12	36,9	L-2	0,06	0,33	34	LE-7	3	0,41	4,25	CR-36	0,07	3,29	14,2
AL-26	0,05	2,67	60,1	L-3	0,10	0,33	29	LE-10	3,125	0,76	26,6	CR-39	0,12	2,73	11,02
AL-31	0,45	0,19	15,08	L-4	0,07	0,33	84	LE-11	1,88	1,11	3	CR-54	0,54	0,13	5,28
AL-37	1,57	0,32	24,81	L-5a	0,05	0,25	25,6	LE-13	4,75	1	1,14				
CR-3	0,63	0,83	25,82	L-5d	0,04	0,25	20,7	LE-18	3,5	1,14	1,48				
CR-6	5,1	1,5	5	L-5e	0,15	0,16	19,5	LE-20	4,25	1,05	2,66				
CR-7	29,7	0,75	0,66	L-5f	0,32	0,008	18,5	2A-1	0,03	0,27	99,09				
CR-8	1,02	1,36	11,9	L-5h	0,12	0,25	16	OR-1	0,04	0,12	107				
CR-9	0,71	1,67	40	L-6	0,11	0,2	21	OR-2	0,007	19	96,9				
CR-16	6,25	0,40	17,5	GE-1	0,07	0,25	65	OR-3	0,02	0,1	142,8				
CR-17	6,45	0,42	17,2	GE-2a	0,06	0,125	30,7	OR-4a	0,018	61,5	138,7				
CR-20	5,17	0,43	21,2	GE-2a	0,03	0,02	585,5	OR-4b	0,018	-	157,1				
CR-21	4,91	0,46	21,2	GE-4	0,01	0,16	88	OR-5	0,02	0,166	117				
CR-23	10,54	0,41	3,83	GE-14	0,51	0,002	64,09	OR-7	0,014	-	44				
CR-25	3,26	0,69	12,12					OR-8	0,02	0,15	24,2				
CR-37	0,25	0,52	77,56					OR-12a	0,014	0,1	38,8				
CR-38	0,13	0,51	96,5					OR-12b	0,013	-	35,11				
A-1	0,66	0,80	68,2					OR-13	0,012	-	40,5				
A-3	0,04	1,30	138,8					OR-14a	0,035	0,33	24,77				
V-7	0,31	1,71	56,6					OR-15	0,05	0,61	21,23				
III-1	0,73	2	19					OR-17	0,05	0,67	6,91				
III-4	0,37	0,48	49,1					OR-20	0,03	1,09	7,65				
III-5	0,12	0,68	65,48					PO-1b	34,91	0,05	23,53				
III-6	0,15	1,15	18,8					PO-1c	0,02	0,06	23,18				
III-7	0,73	1,96	19					PO-2a	0,006	-	42,7				
III-9	0,33	0,62	42,77					PO-2b	0,006	-	41,6				
III-10	1,01	0,37	66,61					PO-4	0,171	0,181	4,09				
III-11	1,24	0,39	30,6					PO-6	0,018	0,04	69				
III-13	1,10	0,40	30,47					PO-9	0,020	0,05	18,15				
III-18	0,15	0,72	21,01					PO-10	0,038	0,05	25,77				
III-19	0,08	0,79	194,06					C-1	0,038	0,025	32,35				
III-22	1,65	0,66	10,48					C-2	0,017	-	38,5				
III-23	0,63	0,94	65					III-1	0,01	0,08	22,36				

1. Presencia de elementos en las zonas estudiadas.

	<u>S.E.</u>	<u>N.E.</u>	<u>N.O.</u>	<u>C.R.</u>		<u>S.E.</u>	<u>N.E.</u>	<u>N.O.</u>	<u>C.R.</u>
a	+	+	+	+	V	-	-	(+)	-
	+	+	+	+	Ba	+	-	+	-
g	+	+	+	+	Cr	-	-	(+)	-
b	+	+	+	+	Mn	+	-	(+)	+
z	-	-	(+)	+	Ti	-	-	-	-
As	-	-	(+)	+	Al	-	+	(+)	-
P	(+)	-	(+)	+	Mo	+	-	(+)	+
Sb	-	-	(+)	+	Cd	-	-	-	-
i	-	(+)	(+)	+	W	-	-	+	+
Sn	-	-	(+)	+	Bi	+	+	(+)	-
ai	+	+	+	+	Co	-	-	(+)	-
o	+	-	(+)	+	Sr	+	+	(+)	-
ni	(+)	-	-	(+)	Nb	-	-	(+)	+
u	(+)	-	-	-	Be	-	-	+	+
Ag	-	-	-	-	Y	-	-	-	-

+ Presencia del elemento en un número apreciable de muestras.

(+) Presencia del elemento sólo en alguna muestra.

- Ausencia del elemento en todas las muestras.



través de sedimentos de calizas y dolomías.

Los contenidos en B son muy bajos en todas las zonas.

La presencia de Ca en aguas de origen volcánico suele oscilar entre 1 y 100 ppm. Los valores de Ca en las zonas N.O., N.E. y Ciudad Real entran dentro de estos márgenes, mientras que en la zona S.E. aquellos son superiores.

La razón Ca/Na para las aguas termales suele ser de valores inferiores a la unidad. En las áreas de Galicia, Cataluña y Murcia estos se presentan por debajo de la unidad. Sin embargo en numerosas muestras de Almería, Granada y en alguna de León, estos valores son superiores a la unidad.

No se ha detectado Fe en las zonas N.O., N.E. y S.E. y sí en las muestras de la zona de Ciudad Real, quizá ello sea debido a que el Fe suele ser más soluble en aguas ácidas.

El Bi no es muy común en las aguas termales. En las áreas estudiadas se presenta en las aguas de Cataluña y con proporciones superiores en la zona del S.E. En el resto se encuentra ausente.

El Zn se encuentra en pequeñas proporciones únicamente en algunas muestras del N.O. y de Ciudad Real.

Se piensa que en aguas de origen volcánico los valores de As varían de 0,1 a 10 ppm; en aguas de otros orígenes se desconoce pero posiblemente la proporción es inferior. En la mayoría de las muestras de la zona de Ciudad Real el contenido en As se encuentra entre estos márgenes. En Galicia existe As en alguna muestra aislada, y en el resto de las zonas no se detecta.

El P sólo se encuentra en las aguas de Ciudad Real en cantidades apreciables. En las otras zonas sólo aparece en alguna muestra aislada.

El contenido en Ba suele ser indicativo de aguas de origen profundo. Existe bario en las muestras de las zonas N.O. y S.E. aunque la proporción es mínima.

Se encuentra Pb en bastantes fuentes termales del S.E. y de la zona de Ciudad Real. Los contenidos pueden ser algo superiores a los de otras aguas del mismo tipo y parecen estar relacionados con la existencia de depósitos minerales.

El Ni y el Cu como ya se ha visto sólo se encuentran en algunos puntos del sur de Granada y parecen estar también relacionados con depósitos minerales.

El Mn se localiza en muestras de aguas termales de las zonas S.E. y de Ciudad Real. En esta última las proporciones son superiores y pueden tener relación con indicios de Mn citados en la zona.

El Sr suele presentarse en aguas de origen volcánico entre valores de 0,1 y 10 ppm. En muestras de la zona S.E. especialmente de las provincias de Granada y Murcia las proporciones son bastante superiores, dato que podría indicar la existencia de otras aguas de origen distinto al magmático.

El W se encuentra en cantidades destacadas en las áreas de Ciudad Real y N.O. estando en posible conexión con yacimientos de dicho elemento.

El Nb se localiza en cantidades importantes en bastantes muestras de la zona de Ciudad Real donde no se conocen indicios de dicho elemento y en alguna de las de la zona N.O. que podrían tener que ver con algunos indicios de la zona.

## 6.- CONCLUSIONES.

El presente trabajo ha puesto de manifiesto la clara diferencia existente en las características geoquímicas de las aguas termales, dependiendo de la zona en que aparezcan, y cómo dentro de cada zona se pueden señalar una serie de características comunes a todas las aguas de la misma. Estas características afectan fundamentalmente a los elementos mayoritarios y en muchos casos también a los elementos traza.

Con los datos obtenidos sobre los contenidos en los diferentes elementos parece bastante utópico, en principio, esperar que alguno de éstos pueda ser explotado de las propias aguas termales de las distintas zonas, incluso aún suponiendo que en profundidad los contenidos fueran mayores. No obstante, si en algún punto el agua es explotada como recurso energético, pudiera ser rentable extraer algún elemento. En relación con este tema, el I.G.M.E. está llevando a cabo un proyecto de investigación en la Sierra de Almagrera, teniendo como objetivo la recuperación de sales de Li en aguas termales; dicho elemento no ha sido analizado en el presente proyecto.

A lo largo de este estudio también se ha puesto de manifiesto la relación, al menos espacial, entre el contenido en determinadas sustancias y la existencia de depósitos minerales de las mismas. Con lo cual dependiendo del tipo de elemento cabe esperarse que si se encuentra una acumulación anormal en algún elemento, este hecho pueda estar relacionado con la existencia de depósitos minerales.

Para la zona S.E. los contenidos en Sr, Ca, Na y Mg parecen confirmar el origen mixto para estas aguas.

Es interesante destacar asimismo la existencia de Ni en una serie de aguas termales del sur de la provincia de Granada, que pueden estar relacionadas con algún indicio de Ni encontrado en la zona. Este área podría ser estudiada con mayor detalle con objeto de ver las conexiones con los indicios conocidos u otros posibles no conocidos.

También en la zona de Granada llama nuestra atención la presencia de Pb y de Sr. en las aguas, que parecen asimismo estar en relación con depósitos minerales.

La zona del N.E. se caracteriza por la escasez de elementos encontrados en sus aguas, hecho que parece coincidir con la poca frecuencia de yacimientos metálicos en este área.

En la zona N.O. se puede destacar la presencia de W y por otro lado de Nb, especialmente a el área de Pontevedra, que podría asimismo estar relacionada con la existencia de indicios mineros. Dado el carácter general de este trabajo y la escasa densidad de las muestras tomadas, estas afirmaciones deberían ser comprobadas con estudios más detallados.

Por último en la zona de Ciudad Real se aprecia la aparición de pequeñas cantidades de P, Nb y As sin aparente relación con depósitos minerales y de Mn que podría tener que ver con la existencia de indicios mineros de Mn.

7.- BIBLIOGRAFIA

- CRUZ SANJULIAN, J.; GARCIA ROSSELL, L. (1975).- Termalismo en España meridional.  
Bol. Geol. y Min. T. LXXXVI-II, pp. 179-186.
- CRUZ SANJULIAN, J.; GARCIA ROSSELL, L.; GARRIDO BLASCO, J. (1972).- Aguas termales de la provincia de Granada.  
Bol. Geol. y Min. T. LXXXIII-III, pp. 266-275
- DESTOMBES, J.P. (1973).- Conditions Geologiques des Gisements d'eau thermominerals pyrénéennes et bas-languedociennes.  
Bull. Du B.R.G.M. (2<sup>a</sup> série), S. IV - n° 3, pp. 149-159.
- ELLIS, A.J.; MAHON, W.A.J. (1977).- *Chemistry and geothermal systems*.  
Academic Press.
- FEBREL, T. (1970).- *Criaderos y yacimientos minerales*.  
Fundación Gomez-Pardo.
- HOLT; RINEHART; WISTON. *Geochemistry of hidrothermal ore deposits*.  
Hubert Lloyd Barnes

I.G.M.E.

(1971).- Mapas Previsores de Minerali-  
zaciones de Bi, Pb-Zn, Cu, Sn, Fe, Mn,  
Ni y W. E. 1:1.500.000.

(1971).- Mapas Metalogenéticos -  
E. 1:200.000.

(1973).- Investigación de recursos -  
geotérmicos de la España peninsular.

(1976).- Inventario general de mani-  
festaciones geotérmicas en territorio  
nacional.

(1976).- P.N.A.M.P.M. Programa de in-  
vestigación de recursos geotérmicos.

(1976).- Proyecto de investigación y  
evaluación de yacimientos y recursos  
geotérmicos en la España peninsular.  
Evaluación del potencial geotérmico -  
en la cuenca de Mula (Murcia).

(1977).- Fase preliminar de prospec-  
ción de recursos geotérmicos de baja  
entalpía en el Vallés (Barcelona).

(1977).- Informe sobre la concesión -  
de un perímetro de protección para -  
aprovechamiento de aguas termales en  
S. Cuyat del Vallés (Barcelona).

## 5.- ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS ZONAS ESTUDIADAS.

Las aguas termales de las zonas estudiadas presentan unas medidas de pH que varían de unas a otras, aunque en líneas generales predominan las alcalinas. En la zona S.E. dominan las aguas ligeramente alcalinas, en la N.E. las alcalinas o muy alcalinas, en la N.O. las alcalinas y por último en la zona de Ciudad Real son generalmente ácidas.

Las aguas de Galicia son en conjunto las que tienen mayores temperaturas de surgencia, seguidas por las de la zona S.E.

Si se contempla la Tabla nº 4.1. comparativa de la presencia o ausencia de los distintos elementos en las cuatro zonas estudiadas, se aprecia la existencia de algunos elementos en todas ellas como pueden ser: Na, K, Mg, B y Ca; y otros que no están presentes en ninguna de ellas, como son: Ag, Ti, Cd e Y. El rastro puede aparecer en algunas zonas y no existir en otras.

La zona S.E. es la que da unos valores de salinidad en sus aguas más altos. En el N.O. y sobre todo en el N.E. son más bien bajos.

La razón Na/K aparece en todas las zonas con unos valores ligeramente altos, los cuales para algunos autores pueden ser índice de un origen mixto de las aguas.

La presencia de Mg es alta en todas las zonas, especialmente en la zona S.E. En las aguas de origen exclusivamente volcánico los contenidos suelen ser mucho más bajos que los que muestra esta última zona. Las razones Mg/Na en Andalucía son muy superiores a las de las otras zonas, quizá esto sea debido al paso de las aguas a



de los Pirineos. Los manantiales de las cadenas costero-catalanas se encuentran en relación directa con las fallas según la dirección principal del plegamiento (N.E.-S.O.) así como con las fracturas transversales a ésta.

La característica más destacada de las aguas termales de esta zona es la escasa presencia de elementos en las mismas y al mismo tiempo su baja proporción, con lo cual pueden considerarse unas aguas excelentes para su consumo como aguas de mesa.

Así, desde el punto de vista de la explotación de algún elemento en sus aguas, éstas no ofrecen ningún interés. Asimismo dada la escasez de elementos presentes y sobre todo la ausencia de elementos metálicos, no es posible establecer una correlación entre las aguas y la existencia de probables depósitos minerales.

#### 4.4.- ZONA N.O.

##### 4.4.1.- Estudio geoquímico de las aguas.

En términos generales las aguas de esta zona se pueden considerar alcalinas, existiendo no obstante alguna de carácter neutro y alguna otra como puede ser el caso de las aguas de Carballo (C-2), con un pH=10, que son muy alcalinas.

Posiblemente sea una de las zonas de España en la que las temperaturas de surgencia sean en conjunto más elevadas. Destacan las de las muestras OR-7 y OR-8 de Orense que presentan unas temperaturas de 60° y 70°C respectivamente.

Las manifestaciones termales surgen en terrenos del macizo hespérico, o bien en materiales terciarios y cuaternarios, como es el caso de algunos puntos de León.

Las aguas de Galicia han sido clasificadas de la forma siguiente: Las de Orense como aguas bicarbonatado-sódicas, las de Pontevedra también como bicarbonatado-sódicas, las de La Coruña como bicarbonatado y clorurado-sódicas y las de Lugo como bicarbonatado-sódicas y bicarbonatado-cálcicas.

Si se observa la TABLA III se puede apreciar cómo en todas las muestras se hallan presentes el Na, K, Mg, B y Ca. El Ba, W y Be se localiza en áreas concretas. Por último el Zn, As, P, Sb, Fe, Sn, Pb, V, Cr, Mn, Al, Mo, Co y Sr aparecen en alguna muestra aislada.

En términos generales se puede decir que son aguas de una salinidad baja, con las excepciones de las muestras PO-4 con > 500 ppm de Na, y C-1 con 1.262 ppm. Las aguas de la provincia de Ponte



vedra son en su conjunto las más salinas, las de la provincia de Orense son menos salinas y las de la provincia de León son particularmente poco salinas.

El contenido en K es generalmente bajo, exceptuando la muestra PO-4 en la que es particularmente alto. Así, las razones Na/K suelen ser altas.

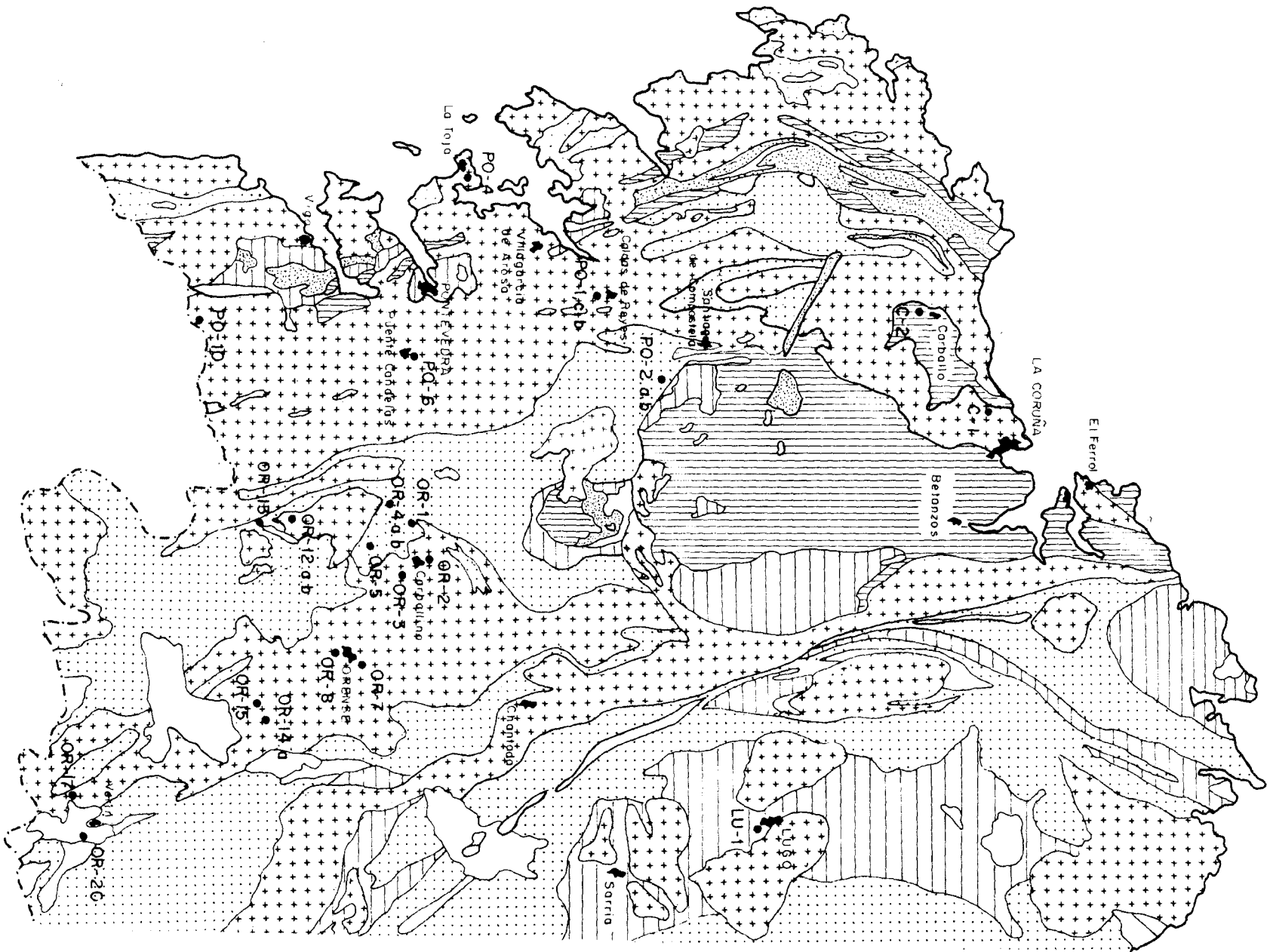
En cuanto a la presencia de Mg, se observa que las aguas de la zona de León y Oviedo muestran una proporción en Mg bastante alta, mientras que en el resto ésta es normal o baja, exceptuando la muestra PO-4 en la que es elevada.

Los valores de Ca son bajos si se comparan con soluciones capaces de transportar metales pesados; en éstas existe una relación directa entre la proporción de Ca y la capacidad de llevar en solución metales pesados. Sobre todo las aguas de Orense presentan unas cifras especialmente bajas. En el área de León si se tienen en cuenta los valores de Na, K y Mg, los de Ca se pueden considerar altos. La muestra PO-4 aparece con un contenido en Ca elevado.

El Ba sólo está presente en las muestras del área de León y Oviedo en proporciones bajas.

El W aparece en las áreas de Pontevedra y León en cantidades apreciables del orden de ppm, encontrándose ausente en el área de Orense.

El Be presenta proporciones importantes en algunos puntos de las provincias de Pontevedra y Orense, mientras que en las áreas de León y Oviedo está ausente.



Los contenidos en B son muy bajos. Las muestras de las aguas de Pontevedra ofrecen una mayor proporción y cabe destacar la presencia de 159 ppm. A modo de comparación se puede apuntar que las aguas volcánicas clorurado-sódicas llevan un contenido en B del orden de 100 ppm; el agua de mar da una media de 4,6 ppm. de B y sedimentos arcillosos marinos pueden contener de 30 a 1000 ppm. de B.

Existen algunos puntos aislados con presencia de Zn, As, Sb, Fe, Mn o Mo con valores más o menos normales para las aguas termales que llevan este tipo de elementos.

La muestra PO-4, como se ha visto en la descripción que se ha hecho hasta este punto, es una excepción con respecto a las demás muestras debido a su salinidad que acarrea consigo la posibilidad de transportar una mayor proporción de elementos. Así se puede observar que presenta contenidos elevados para este tipo de aguas con respecto a una serie de elementos.

#### 4.4.2.- Relación de las aguas con la geología y los depósitos minerales.

En esta zona N.O. se aprecia una tendencia de las manifestaciones termales a asociarse con fracturas N 30° y N70°, superponiéndose en ocasiones otras de dirección N-S. Existe no obstante una preferencia por las fracturas N 30°.

Se localizan dichas fuentes allí donde la recarga y descarga son favorables (valles o proximidad de los ríos Miño, Ulla, Caldo depresiones de Orense y Mondariz, cuencas terciarias como Macada, Monforte de Lemos, Guitiríz).

En el proyecto realizado por el I.G.M.E. "Selección de áreas

recubiertas con posibilidades mineras, en el N.O. de España", se afirma que las estructuras básicas hercínicas (N 160) apenas condicionan el desarrollo geotérmico y que no se puede pensar en una correspondencia de estas estructuras y sus correspondientes mineralizaciones con la distribución geotérmica actual. Se dice también que el desarrollo geotérmico se encuentra claramente determinado por fracturas alpinas características, aunque algunas son reactivaciones de otras hercínicas; solamente puede haber cierta proximidad espacial con algunas de ellas (Sn de Laza-Verín-Villardecios con las aguas termales de Verín; Sn de Ribadavia-Beariz-Monte Testeiro con las aguas de Orense-Ribadavia-Carballino; W de Las Sombras y aguas del río Calda).

La proximidad entre la presencia de manifestaciones termales y algunas áreas mineras puede o no tener una causa genética similar. Tanto las características geotérmicas como las metalogenéticas y tectónicas de la orogenia hercínica son bastante dispares de las de la alpina o de las de los momentos actuales, pero el que alguna de éstas sea reactivación de aquellas podría suponer que algunas condiciones de la metalogenia hercínica se prolongan hasta nuestros días, condicionado no obstante por fracturaciones con direcciones distintas a las hercínicas, quimismo diferente, centros activos próximos pero no coincidentes, etc... Estas afirmaciones de momento sólo se pueden tomar como hipótesis.

En el Mapa nº8 se aprecia la existencia de una serie de puntos más o menos próximos entre sí (PO-1b, 1c, 2a, 2b, 4, 6, 9) con presencia de W; esta presencia puede estar relacionada con las mineralizaciones de Fontao.

Puede ser interesante señalar la existencia de Nb en algunas muestras de Pontevedra (PO-4, 6, 9, 10), de las cuales las PO-6 y PO-9 se sitúan más próximas a la zona limítrofe entre Orense y Pontevedra donde se han señalado algunos indicios de niobio.

Existe algún elemento más presente en muestras aisladas que -  
no son significativos y no parecen relacionarse con yacimientos -  
existentes.

También en esta zona, con los datos conocidos, parece ser in-  
viable la explotación de algún elemento de las propias aguas terma  
les.



#### 4.5.- ZONA DE CIUDAD REAL.

##### 4.5.1.- Estudio geoquímico de las aguas.

Los valores de pH de esta zona oscilan entre 4,5 y 7,2 como se puede observar en la "Relación de Muestras", siendo por tanto ácidas o ligeramente ácidas.

Las temperaturas de surgencia son bajas comparándolas con las de las otras zonas estudiadas.

Observando los análisis realizados (TABLA IV) se contempla la existencia de algunos elementos (Na, K, Mg, B, As, P, Sb, Fe, Sn, Ca, Pb, Mn, W y Nb) en casi la totalidad de las muestras y de otros en alguna muestra aislada (Zn, Ni, Mo y Be).

En líneas generales las muestras presentan unos contenidos normales en Na, dando como resultado una salinidad media o ligeramente baja. En las muestras CR-12 y CR-19 la proporción de Na es especialmente baja.

Los valores de K suelen ser algo bajos, destacando los de las muestras CR-20 y CR-54 por ser más altos, coincidiendo con los valores más altos de Na.

Los contenidos en Mg son en general altos. En aguas termales la proporción de Ca suelen ser de dos a tres veces superior a la de Mg, sin embargo en este caso los valores de Mg son superiores o iguales a los de Ca.

La presencia de Ca se puede considerar normal, siendo bastante superior al resto el valor de la muestra CR-54.

#### 4.5.- ZONA DE CIUDAD REAL.

##### 4.5.1.- Estudio geoquímico de las aguas.

Los valores de pH de esta zona oscilan entre 4,5 y 7,2 como se puede observar en la "Relación de Muestras", siendo por tanto ácidas o ligeramente ácidas.

Las temperaturas de surgencia son bajas comparándolas con las de las otras zonas estudiadas.

Observando los análisis realizados (TABLA IV) se contempla la existencia de algunos elementos (Na, K, Mg, B, As, P, Sb, Fe, Sn, Ca, Pb, Mn, W y Nb) en casi la totalidad de las muestras y de otros en alguna muestra aislada (Zn, Ni, Mo y Be).

En líneas generales las muestras presentan unos contenidos normales en Na, dando como resultado una salinidad media o ligeramente baja. En las muestras CR-12 y CR-19 la proporción de Na es especialmente baja.

Los valores de K suelen ser algo bajos, destacando los de las muestras CR-20 y CR-54 por ser más altos, coincidiendo con los valores más altos de Na.

Los contenidos en Mg son en general altos. En aguas termales la proporción de Ca suelen ser de dos a tres veces superior a la de Mg, sin embargo en este caso los valores de Mg son superiores o iguales a los de Ca.

La presencia de Ca se puede considerar normal, siendo bastante superior al resto el valor de la muestra CR-54.

POSIBILIDADES GEOQUIMICAS Y MINERAS  
DE LAS AGUAS TERMALES EN ESPAÑA

MAPA METALOGENETICO

ZONA N.O.

LEYENDA



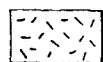
Mineralizaciones de Mn



Mineralizaciones de Pb-Zn



Mineralizaciones de Fe



Mineralizaciones de Sn-W



Dimensiones no cartografiadas

POSIBILIDADES GEOQUIMICAS Y MINERAS  
DE LAS AGUAS TERMALES EN ESPAÑA

MAPA METALOGENETICO

ZONA N.O.

LEYENDA



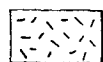
Mineralizaciones de Mn



Mineralizaciones de Pb-Zn



Mineralizaciones de Fe



Mineralizaciones de Sn - W



Dimensiones no cartografiadas

TABLA IV.- ZONA DE CIUDAD REAL. Contenido de elementos en disolución expresado en ppb ó ppm (e)

	Na <sup>o</sup>	K <sup>o</sup>	Mg <sup>o</sup>	B	Zn	As	P	Sb <sup>o</sup>	Fe <sup>o</sup>	Sn	Ca <sup>o</sup>	Pb	Ni	Cu	Ag	V	Ba	Cr	Mn	Ti	Al	Mo	Cd	W <sup>o</sup>	Bi	Co	Sr <sup>o</sup>	Nb <sup>o</sup>	Be	Y	
CR-12	5,3	1,44	1,2	-	-	-	-	3,5	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CR-19	10,2	3,6	9,1	-	250	-	-	-	-	-	5,5	-	-	-	-	-	-	-	300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CR-20	820	119	421	810	-	340	600	4	5	-	140	234	-	-	-	-	-	-	210	-	-	-	5	-	-	-	-	1	-	-	
CR-21	932	94	295	750	-	250	385	4	2	-	84	127	-	-	-	-	-	-	155	-	-	90	2	-	-	-	3	-	-	-	
CR-25	126	25	128	40	-	130	-	1,5	>10	40	48	78	-	-	-	-	-	-	96	-	-	-	2	-	-	-	2	-	-	-	
CR-26	129	25	130	48	-	278	1000	1,5	>10	62	50	94	-	-	-	-	-	-	118	-	-	203	1,5	-	-	-	-	1 <sup>o</sup>	-	-	
CR-34	117	15	66	96	33	-	483	1,7	3	50	25	-	-	-	-	-	-	-	247	-	-	-	1,5	-	-	-	1	852	-	-	
CR-35	86	16	88	56	-	-	461	1,5	3	89	35	75	-	-	-	-	-	-	302	-	-	-	1,5	-	-	-	1	789	-	-	
CR-36	895	63	234	415	100	278	207	2,3	3,8	-	71	-	-	-	-	-	-	-	280	-	-	242	1,2	-	-	-	0,543	-	-	-	
CR-39	452	41	156	390	-	672	626	3	-	60	57	127	-	-	-	-	-	-	158	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
CR-54	798	151	60	390	161	657	690	-	2	201	438	616	241	-	-	-	-	-	9,8 <sup>o</sup>	-	-	235	2	-	-	-	3	2 <sup>o</sup>	-	-	
Valor mínimo	5,3	1,44	1,2	40	33	130	207	1,5	2	40	2	75	-	-	-	-	-	-	96	-	-	90	1,2	-	-	-	0,5	789	-	-	
Valor máximo	895	151	421	810	250	672	1000	4	>10	201	438	616	-	-	-	-	-	-	9,8 <sup>o</sup>	-	-	242	5	-	-	3	2 <sup>o</sup>	-	-	-	