

Utilización del Geotermómetro Na-K-Ca en la prospección preliminar de áreas geotérmicas

Por C. PANICHI (*) y E. R. BADIOLA (**).

RESUMEN

Se presentan los resultados obtenidos mediante la aplicación del geotermómetro Na-K-Ca a las manifestaciones termales del territorio Italiano, efectuándose un análisis crítico del método mediante el estudio en detalle de las zonas de "Campi Flegrei" y de "Abano", planteándose los condicionamientos requeridos en la aplicación de esta tecnología.

ABSTRACT

This paper shows the results obtained by the application of Na-K-Ca geothermometer to thermal manifestations in Italy. A critical analyses of the method using the geochemical data of the "Campi Flegrei" and "Abano" areas is included, regarding the conditions required during the application of these techniques.

INTRODUCCION

El primer objetivo en la explotación de un sistema geotérmico es obtener en el menor tiempo posible una valoración del campo para la producción de energía geotérmica. Entre los factores que se precisan conocer para la realización de esta primera fase de valoración, la temperatura de "base" del reservorio es sin lugar a dudas el de mayor importancia, seguido en orden de importancia por las dimensiones del reservorio, permeabilidad eficaz del mismo, efectos de "self-sealing", posibilidad de utilización de subproductos, etcétera.

La experiencia obtenida en la explotación geotérmica de sistemas hidrotermales convectivos, indica que la mayor parte de estos sistemas contienen agua en fase líquida, como fluido dominante, que controla la presión en las fracturas y poros del reservorio geotérmico (hot water systems); solamente en casos particulares, como Larderello

(Italia), The Geysers (California) y Matsukawa (Japón), el vapor constituye la fase continua en el reservorio que controla la presión, con una fase líquida limitada a los poros de la roca y a la superficie de las fracturas (vapour dominated systems).

En el primer caso, los sondeos profundos producen normalmente una mezcla de agua en fase líquida y una fracción de vapor que varía del 10 al 30 por 100, que es originado en el interior del pozo por la disminución de presión como consecuencia del movimiento ascensional del fluido; mientras que en los sistemas de fase vapor dominante, la producción es de vapor a partir del momento en el cual el aporte térmico es suficientemente elevado para evaporar más agua que la que puede ser proporcionada por la recarga. En igualdad de condiciones de los diferentes factores (temperatura, dimensiones del reservorio, permeabilidad, etc.), los sistemas de vapor dominante son de mayor rendimiento que los de agua en fase líquida, debido a que en el primer caso toda la producción de vapor se utiliza directamente en la generación de energía eléctrica, mientras que los segundos producen una determinada cantidad de agua de la que

(*) Instituto Internazionale per le Ricerche Geotermiche, C. N. R. Pisa, Italia.

(**) Departamento de Petrología y Geoquímica Instituto "Lucas Mallada", C. S. I. C. Madrid, España

solamente el 10-30 por 100 es utilizable en la producción de electricidad. La utilización del remanente (90-70 por 100 del volumen total) constituye uno de los temas actuales de investigación de recursos geotérmicos en consonancia con el desarrollo de nuevas técnicas de aprovechamiento de recursos termales de menor entalpía.

SISTEMAS HIDROTERMALES

La temperatura de los sistemas de agua caliente varía desde valores próximos al ambiental, hasta cerca de 360°C, observados en los sistemas de Salton Sea (California) y de Cerro Prieto (México); desde el punto de vista práctico es conveniente dividir los sistemas de agua en tres grupos principales en función de las diferentes temperaturas de base:

1. Sistemas con temperaturas superiores a 150°C, que pueden tomarse en consideración para la producción de energía eléctrica.
2. Sistemas con temperaturas comprendidas entre los 90-150°C, que pueden utilizarse para procesos de calefacción ambiental, desalinización de agua salobre, plantas frigoríficas, etc.
3. Sistemas con temperaturas inferiores a 90°C, que pueden utilizarse localmente y solamente en circunstancias muy favorables.

Desde el punto de vista exploratorio, la problemática se traduce fundamentalmente en establecer las circunstancias por las que un sistema hidrotermal presenta en superficie las temperaturas observadas en las manifestaciones naturales (manantiales termales, fumarolas, etc.) y el establecer si la temperatura anómala es el resultado de una circulación profunda en regiones de gradiente geotérmico normal o la surgencia puede haber alcanzado temperaturas más elevadas que las observadas y haya sufrido un enfriamiento durante su circulación hacia la superficie.

Bajo este aspecto, la investigación geoquímica ha dirigido su atención al problema de valoración de la temperatura subsuperficial tanto de los sistemas de agua caliente como de vapor. En los sistemas de vapor se ha utilizado hasta el momento la composición isotópica de los componentes gaseosos de los fluidos geotérmicos, debido a que el vapor es extremadamente pobre en los elementos químicos que se utilizan en la valoración de la temperatura

en los sistemas de agua caliente, técnica que es ampliamente utilizada desde el punto de vista exploratorio en la prospección de zonas extensas. En este trabajo se presentan y discuten las ventajas y limitaciones de una prospección preliminar efectuada mediante la aplicación del geotermómetro Na-K-Ca a partir de datos analíticos preexistentes de las manifestaciones termominerales de Italia.

GEOTERMOMETRO Na-K-Ca

La concentración de Na y K en las aguas termales, está estrechamente relacionada a la presencia de rocas silicatadas en el reservorio donde tiene lugar la circulación, atribuyéndose la concentración de solutos a las reacciones de intercambio agua-roca almacén dependientes de la temperatura de reacción. Las observaciones experimentales de la relativa facilidad del agua para alcanzar el equilibrio con rocas silicatadas, ha inducido a ELLIS y MAHON (1967) a considerar la relación Na/K en las aguas naturales como índice de la temperatura profunda de equilibrio, relación que ha sido aplicada por la mayor parte de los geoquímicos que trabajan en campos geotérmicos (ELLIS, 1970; MERCADO, 1970; TONANI, 1970), con resultados satisfactorios.

Recientemente FOURNIER y TRUESDELL (1973) han demostrado que la reacción de la plagioclasa cálcica con el agua puede ser competitiva con la de los feldespatos sódicos y potásicos, por lo que solamente la relación Na/K puede no ser suficientemente representativa para establecer las condiciones de un sistema natural, habiendo desarrollado una relación empírica entre el Na-K-Ca y la temperatura de equilibrio mediante la expresión:

$$\log \frac{\text{Na}}{\text{K}} + \beta \log \sqrt{\frac{\text{Ca}}{\text{Na}}} = -2.24 + \frac{1647}{T} \quad [1]$$

en la que las concentraciones iónicas son expresadas en moles por litro, la temperatura en grados Kelvin y la constante β adquiere el valor de 0,33 en el caso de que el agua haya alcanzado el equilibrio a temperaturas superiores a 100°C o de 1,33 cuando el equilibrio se haya alcanzado a temperaturas inferiores a los 100°C.

Una importante limitación de la metodología puede deberse a la presencia en solución de proporciones elevadas de CO₂ (PACES, 1974), componente que

regula los equilibrios entre carbonatos y bicarbonatos que determinan variaciones del contenido del ion calcio, originando procesos de desalinización o de precipitaciones sucesivas en el equilibrio alcanzado con los silicatos. Sin embargo, a pesar de estas limitaciones de aplicabilidad de este geoter-

APLICACION DEL GEOTERMOMETRO Na-K-Ca A LAS MANIFESTACIONES TERMALES DE ITALIA

A partir de datos químicos de la bibliografía o referidos en informes del Istituto Internazionale per le Ricerche Geotermiche, se ha efectuado la valoración de la temperatura de equilibrio de 104 manifestaciones termales correspondientes a diferentes localidades, mediante la aplicación de la fórmula [1] utilizándose valores de $\beta=0,33$ cuando el $\log. \sqrt{Ca/Na} > 1$ o de $\beta=1,33$ cuando $\log. \sqrt{Ca/Na} < 1$ y la temperatura calculada es menor de $100^{\circ}C$. Los resultados obtenidos se presentan en la figura 1, con cinco intervalos diferentes de temperatura desde los valores inferiores a $50^{\circ}C$ hasta los superiores a $200^{\circ}C$; estos resultados adquieren evidentemente un carácter preliminar debido a que los datos disponibles (fig. 2) constituyen aproximadamente la mitad de las manifestaciones con temperaturas superiores a $20^{\circ}C$, sin embargo, los resultados obtenidos son de gran interés y de la distribución de los valores calculados (fig. 1) se des-

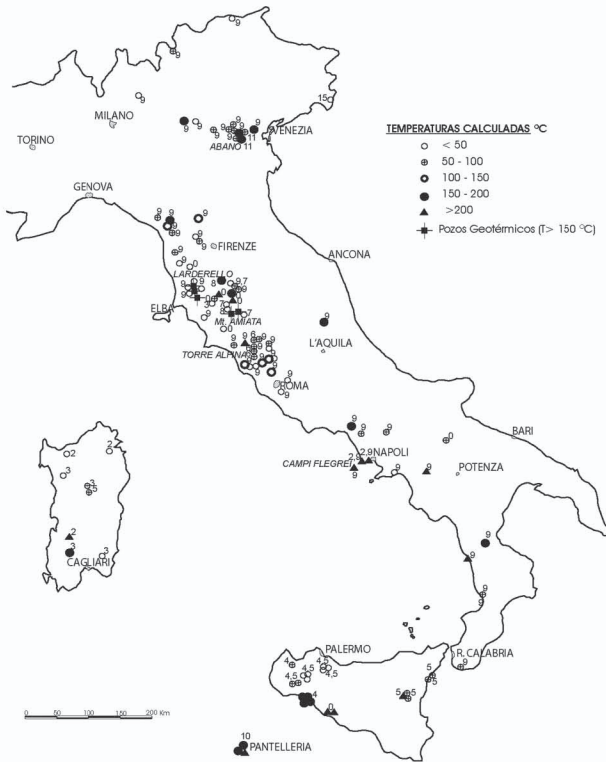


Figura 1

Distribución geográfica de los valores de temperatura calculados a partir del geotermómetro Na—K—Ca. La numeración corresponde a las referencias bibliográficas: \emptyset Informe inédito del C.N.R.—IIRG; 1) BALDI, et al. (1973); 2) BALDI, et al. (1975); 3) BIONDUCCI y RATTU (1960); 4) DALL'AGLIO (1970); 5) DALL'AGLIO y TEDESCO (1968 a); 6) DALL'AGLIO y TEDESCO (1968 b); 7) FANCELLI y NUTI (1974); 8) FANCELLI y NUTI (1975); 9) FANELLI (1972); 10) PANICHI, et al. (1969); 11) PANICHI, et al. (1976); 12) PUXEDDU (1951).

mómetro es más generalizado que el fundado en las relaciones Na/K y el que utiliza la concentración de la sílice disuelta. El grado de imprecisión en la valoración de la temperatura puede ser tabulado alrededor de $20^{\circ}C$ tanto para las bajas como altas temperaturas.

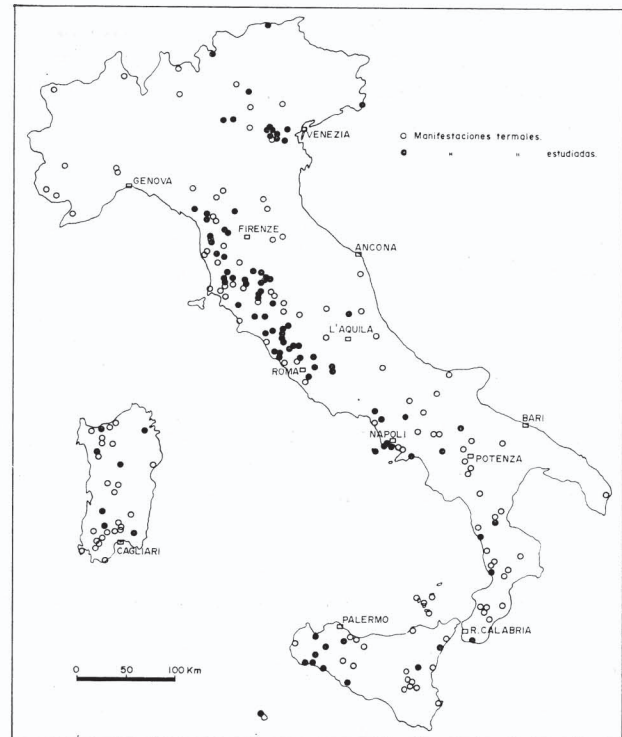


Figura 2

Localización de las manifestaciones termales italianas con $T > 20^{\circ}C$ y relación de las manifestaciones estudiadas.

prende que numerosas zonas son susceptibles de estudios de detalle dirigidos a establecer una valoración de su potencial geotérmico.

De las manifestaciones estudiadas el 60 por 100 presentan como resultado temperaturas inferiores a 100° C de las cuales aproximadamente la mitad son coincidentes con las temperaturas observadas en superficie, y el resto derivarían de sistemas con temperaturas entre 30-50° C superiores a la observada; el 40 por 100 restante de las manifestaciones estudiadas presentan temperaturas calculadas comprendidas entre 100 y 270° C de las cuales el 8 por 100 con valores entre 100-150° C, el 22 por 100 entre 150-200° C y el 10 por 100 con temperaturas superiores a 200° C.

Estos resultados obtenidos son altamente significativos y se circunscriben a zonas de la Toscana y el Lazio (donde la prospección geotérmica desarrollada por el ENEL y por el CNR han definido los sistemas geotérmicos de Larderello, Monte Amiata, Torre Alfina y Cesano) y algunas áreas de la Campania, Sicilia y Sardegna, zonas que requieren estudios detallados tanto geoquímicos como geológico-estructurales y geofísicos.

Bajo el aspecto hidrogeológico del estudio de sistemas geotérmicos, las recientes investigaciones realizadas mediante la aplicación de modelos químicos, isotópicos y termodinámicos de mezclas en sistemas convectivos (FOURNIER y TRUESDELL, 1974; PANICHI et al., 1976; BALDI et al., 1975) ponen en evidencia que es totalmente necesario que estos sistemas de valoración sean sometidos a una rigurosa revisión y control preciso. En particular los fenómenos de mezcla entre aguas caliente y fría y el establecer el estado de equilibrio entre el agua y las rocas del reservorio deben ser objeto de estudios detallados. Con muestreos apropiados de fuentes y de pozos poco profundos es posible obtener indicaciones de la temperatura a niveles más profundos, siempre que el tiempo de circulación del agua mezclada sea suficientemente corto para evitar un reequilibrio a niveles más próximos a la superficie y a temperaturas inferiores.

La segunda fase de prospección geotérmica requiere el estudio en detalle de los diversos sistemas individuales puestos de manifiesto por los termómetros químicos por medio de la interpretación de levantamientos geofísicos (termométricos, magnetotélúricos, sísmicos, etc.) dirigidos a la definición de los parámetros físicos como volumen y contenido térmico de las rocas que caracterizan cada sistema.

De forma indicativa se presentan los resultados de dos estudios de detalle relativos a las zonas termales de Campi Flegrei y de Abano, que ponen en evidencia respectivamente una errónea interpretación de los valores de las temperaturas calculadas y una correcta e interesante utilización de los geotermómetros químicos en el planteamiento de un sistema termal complejo.

ZONA DE "CAMPI FLEGREI" (NAPOLIS)

Una extensa zona situada al Norte de Nápoles ha sido estudiada en detalle desde el punto de vista geológico-estructural y geofísico (CAMELI et al., 1975) y geoquímico (BALDI et al., 1975). Dentro de esta área, la zona de "Campi Flegrei" es la más indicada para una sistemática prospección geoquímica dada la presencia de numerosas manifestaciones termales con salinidad variable desde 1 g/l a 26 g/l y temperaturas comprendidas entre 20 y 88° C,

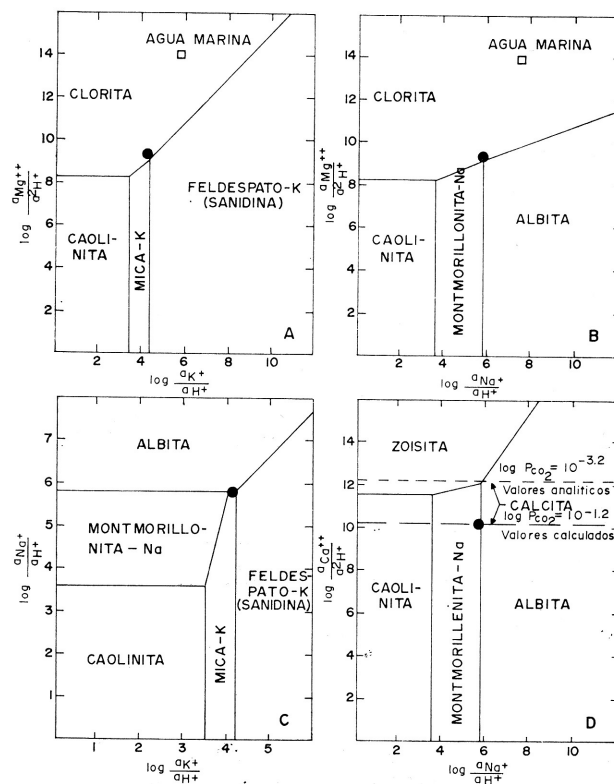


Figura 3

Diagrama de actividad referente a la fase líquida del sistema geotérmico de Campi Flegrei, según BALDI, et al. (1975). El punto proyectivo corresponde a la manifestación número 5 de la tabla I.

con fumaroles como la de Pozzuoli con temperatura en superficie próxima a los 150° C.

Los resultados obtenidos por BALDI et. al. (1975) indican que las manifestaciones naturales de esta zona están conectadas a la presencia de agua de origen marino en la serie predominantemente volcánica (pliocena-cuaternaria) que conjuntamente con la serie miocena marina constituyen los 2.000-2.500 metros de la unidad litoestratigráfica local. El agua marina modifica su composición química como consecuencia de las reacciones de intercambio iónico a elevadas temperaturas con las rocas volcánicas, tendiendo a salir hacia la superficie a través de fracturas; una de las surgencias denominada "Stufe di Nerone" alcanza la superficie sin que tengan lugar procesos de mezcla con las aguas de infiltración local, presentando los valores de salinidad y temperatura (26 g/l y 88° C) más elevados de la zona, la concentración iónica de sus componentes individuales se presenta en equilibrio a 170° C con la mica potásica, feldespato potásico, montmorillonita sódica, albita, clorita y cuarzo como se observa en la figura 3. En el resto de las surgencias se ponen de manifiesto procesos de mezclas entre el agua termal profunda y la de infiltración local de menor salinidad, siendo el resultado de la mezcla de ambos

tipos con proporciones que varían desde el 10 al 80 por 100 del componente profundo. Bajo estas condiciones la aplicación de termómetros químicos basados en las concentraciones de sílice y en las relaciones de Na-K-Ca conducen a valoraciones erróneas de la temperatura profunda. En la tabla I se presentan conjuntamente los resultados obtenidos de los valores de fraccionación del agua caliente y algunas de las relaciones iónicas deducidas de los datos analíticos presentados por BALDI et. al. (1975) conjuntamente con las características químicas más significativas de las surgencias frías de la zona, que pueden considerarse como representantes del agua de infiltración local.

Estos datos ponen en evidencia que solamente la muestra número 5 (Stufe di Nerone) resulta con temperaturas calculadas coincidentes con los dos geotermómetros, mientras que las manifestaciones frías presentan la mayor dispersión, con valores más elevados en lo que respecta al geotermómetro Na-K-Ca; el resto de las manifestaciones termales alcanzan valores de temperaturas intermedias entre estos extremos.

Tomando en consideración los valores relativos a la fraccionación del agua caliente contenida en cada surgencia (tabla I), y que la mayor tempera-

T A B L A

Características químicas de las aguas termales de Campi Flegrei a partir de los datos analíticos de BALDI et al. (1975)

Número muestra	TQA (1)	TQC (1)	T 1/3 (1)	log Na/K	Log $\sqrt{\text{Ca/Na}}$	x (caliente) (2)			Media
						1	2	3	
7	87	92	227	1,082	— 0,09	0,11	0,16	0,40	0,10
6 D	116	123	217	1,30	0,26	0,17	0,27	0,12	0,19
12	151	163	299	0,64	— 0,01	0,13	0,30	0,80	0,17
3 B	111	119	218	1,14	— 0,07	0,23	0,24	0,15	0,21
6 B	87	90	200	1,28	— 0,11	0,29	0,23	0,20	0,24
6 A	85	90	198	1,31	— 0,14	0,27	0,28	0,24	0,26
2 C	134	143	185	1,44	— 0,27	0,27	0,41	0,26	0,31
14	153	163	243	1,09	— 0,43	0,45	0,41	0,25	0,37
3 A	129	137	200	1,40	— 0,48	0,63	0,64	0,57	0,61
1	146	159	199	1,40	— 0,44	0,46	0,66	0,51	0,54
4	148	158	160	1,76	— 0,59	0,74	0,86	0,78	0,79
5	161	171	167	1,70	— 0,60	1,00	1,00	1,00	1,00
47	84	91	344	— 0,034	1,40				
51	77	86	323	0,226	0,90				
6 C	91	97	221	0,920	0,53				
48	112	115	366	0,105	0,70				

(1) La temperatura se ha valorado sobre la concentración de la sílice considerada en equilibrio con el cuarzo, (TQA) enfriamiento adiabático, (TQC) enfriamiento por conducción, y sobre las relaciones molares de Na/K y Ca con valores de la constante $\beta=1/3$ (T 1/3).

(2) Las diferentes fracciones de agua caliente profunda (x caliente), se han calculado a partir de los diagramas $\delta D/^{18}O$ (1), $Cl/\delta^{18}O$ (3) y de los valores de T, SiO_2 y Cl (2) de las diferentes manifestaciones.

tura valorada corresponde a la manifestación que representa el 100 por 100 del componente profundo es aproximadamente de 170° C, se plantea que el resto de las temperaturas calculadas para las otras surgencias es puramente casual, y que derivan del hecho de que las concentraciones relativas de potasio y magnesio respecto al sodio aumentan progresivamente como consecuencia del enriquecimiento relativo de estos elementos en el agua que circula por las rocas volcánicas vítreas superficiales, este aumento relativo de concentraciones de potasio y calcio en confrontación con el Na tiende a simular temperaturas profundas tanto más elevadas cuanto mayor es la fracción del agua fría local.

ZONA TERMAL EUGANEO-BERICIA

En contraposición al caso precedente, en la zona termal de Colli Euganei y Berici, situada a unos 50 kilómetros al Oeste de Venecia, se presenta una clara concordancia entre las conclusiones deducidas mediante análisis químicos e isotópicos y las valoraciones realizadas mediante el geotermómetro Na-K-Ca.

El sistema hidrotermal de toda el área (PANICHI et al., 1975) comprende tanto la zona termal sometida a explotación de agua caliente de Abano, Montegrotto y Battaglia, como las manifestaciones termales ($T > 20^{\circ}\text{C}$) del área circundante y en especial la zona situada al Oeste-Noroeste hasta Barbarano-Vicentino, donde se ponen de manifiesto la existencia de dos aguas de circulación profunda con características químicas diferentes (figuras 4 y 5). Estas manifestaciones aún teniendo prácticamente composiciones isotópicas similares, indicativo de su procedencia de áreas de recarga con altimetrías similares, afectan a dos reservorios diferentes que pueden individualizarse respectivamente en la potente serie carbonática subyacente a los materiales volcánicos cuaternarios, y en la parte más baja de la serie calcárea con el techo del basamento metamórfico.

El primer acuífero está condicionado a una circulación relativamente poco profunda de agua procedente de áreas de recarga prealpina-alpina con enriquecimiento relativo de iones sulfato respecto a iones cloruro y bicarbonático, dando lugar a un sistema hidrotermal poco importante en las zonas de

Colli Berici. El segundo reservorio da lugar a una circulación de agua más profunda, que pudiendo tener origen de recarga similar al anterior se enriquece de iones cloruro respecto a los iones sulfato y bicarbonato, como consecuencia de las diferencias litológicas de los terrenos atravesados, emergiendo en la zona de Colli Euganei, dando lugar a las manifestaciones termales de Abano, Montegrotto y Battaglia, y una serie de surgencias localizadas al Sur y Suroeste de esta última localidad.

Las aguas de tipo sulfático originan toda una serie de manifestaciones (Berici y Euganei, grupo A), que son el resultado de mezclas en diferentes proporciones con el agua de circulación local, como se observa en las figuras 4 y 5. Un proceso similar tiene lugar con las aguas de tipo clorurado (Euganei, grupo B) pero que anteriormente a su mezcla con las aguas locales bicarbonatadas, entran en contacto en profundidad con aguas de tipo sulfático dando como resultado final una familia de aguas con características químicas e isotópicas intermedias.

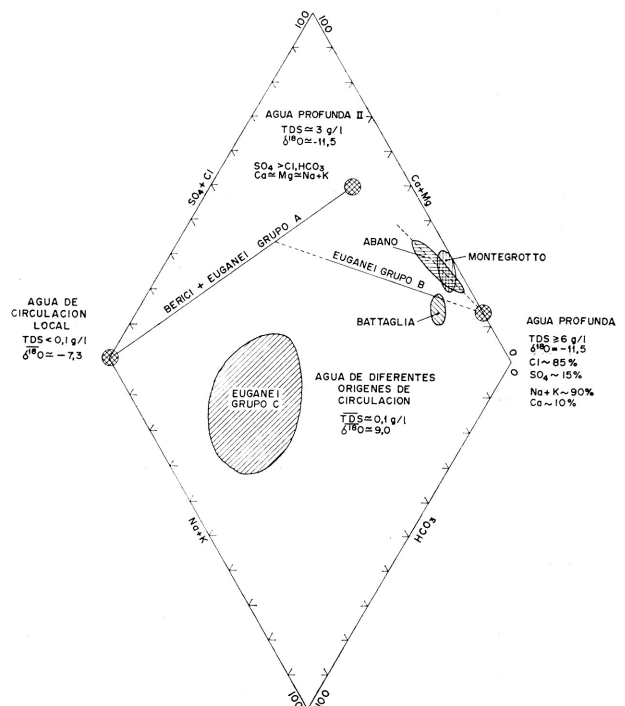


Figura 4

Diagrama de Piper conjunto de las manifestaciones y pozos termales de la zona Eugani-Berici, y características químicas e isotópicas de los diversos tipos de agua no afectados por procesos de mezcla. Las líneas rectas representan los fenómenos de mezcla.

El agua extraída de los pozos de explotación de las zonas termales presentan características químicas e isotópicas que excluyen la presencia de fenómenos de mezcla importantes con aguas superficiales, aún cuando las fuertes variaciones de salinidad observadas en la zona de Abano pudieran sugerir una interpretación de este tipo.

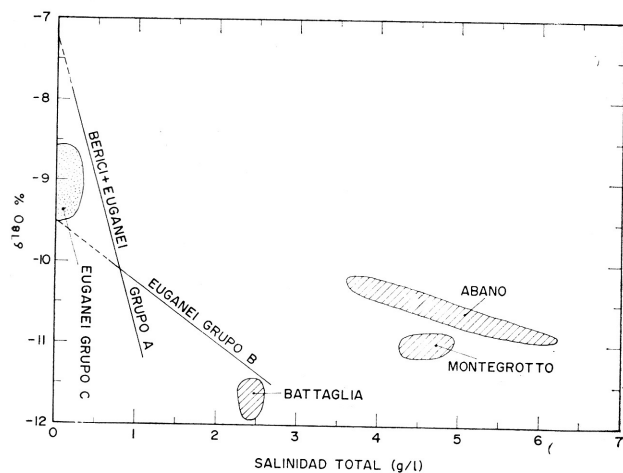


Figura 5

Relaciones entre ^{18}O y salinidad total de las manifestaciones y pozos termales del área Euganeo-Berica.

Otro grupo de manifestaciones termales, individualizado en los diagramas como Euganei, grupo C, está presente en la zona, aún cuando su interés desde el punto de vista geotérmico es escaso, y es el resultado de una circulación muy superficial y limitada a la cobertura de materiales volcánicos cuaternarios que se extienden en toda el área.

En este complejo sistema hidrológico e hidrotermal, la aplicación del geotermómetro refleja con exactitud la situación real puesta en evidencia por el estudio geoquímico; desde el punto de vista térmico las dos circulaciones profundas resultan totalmente diferentes, las de tipo sulfático se caracteriza por valores máximos de temperatura del orden de 80°C , mientras que las de tipo clorurado presentan valores comprendidos entre $120-180^{\circ}\text{C}$, cuya diversidad de magnitudes está plenamente justificada por la diferencia de profundidad alcanzada por los dos tipos de agua en su circulación profunda.

La distribución espacial de los valores de temperaturas calculadas de todas las surgencias termales

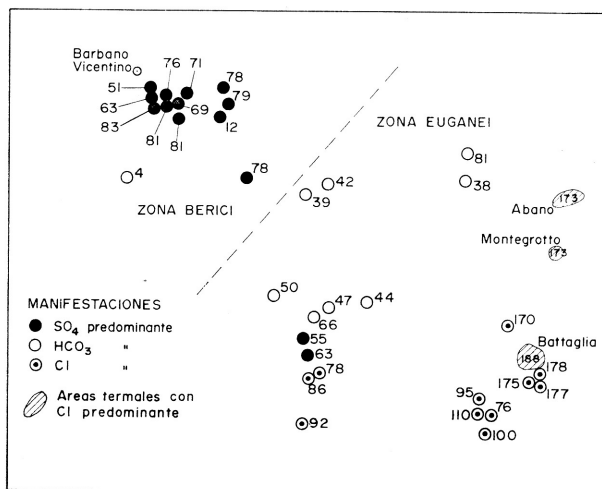


Figura 6

Distribución de las temperaturas calculadas con el geotermómetro Na—K—Ca en la región Colli Euganei y Berici. Los números subrayados representan los valores medios de las zonas termales.

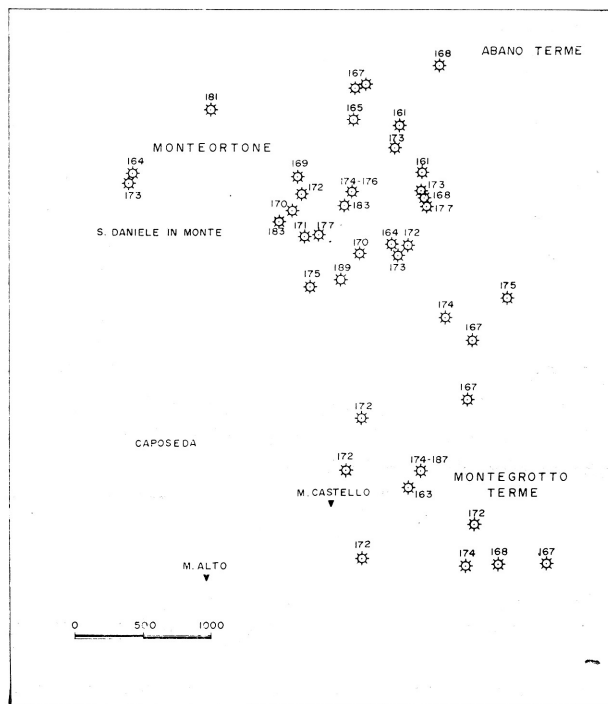


Figura 7

Distribución de temperaturas calculadas a partir del geotermómetro Na—K—Ca para la zona termal de Abano T. y Montegrotto T.

de la zona y los valores medios de los pozos termales (fig. 6) pone en evidencia que en los casos de mezcla entre los diferentes tipos de aguas, los valores de temperatura calculada varían entre los valores característicos de los dos componentes que originan la mezcla, este hecho se hace patente en las surgencias cloruradas que presentan valores semejantes a los de las aguas sulfáticas con las que entran en contacto en profundidad, por el contrario cuando los fenómenos de mezcla no existen o son de pequeña cuantía, las temperaturas calculadas son extremadamente homogéneas, como se observa en la figura 7 donde se presenta en detalle la zona de Abano y Montegrotto.

CONCLUSIONES

La utilización del geotermómetro Na-K-Ca en la fase preliminar de exploración geotérmica, se pone en evidencia como un método válido en la prospección a escala regional, aun cuando las temperaturas valoradas requieran siempre una verificación rigurosa, siendo necesario un conocimiento detallado de las características hidrológicas de cada cuenca. El significado y utilidad de los valores calculados están estrictamente condicionados a los siguientes factores: 1) Determinación química de los componentes mayores en solución, con el máximo grado de precisión sobre muestras de aguas termales y frías de la misma zona. 2) Realización de análisis isotópicos (^{18}O , D, T, ^{14}C) de los diferentes tipos de aguas para poner en evidencia eventuales fenómenos de mezclas. 3) Control de la existencia de equilibrio químico agua-roca silicatada mediante los diagramas de actividad iónica a la temperatura obtenida de los datos analíticos del Na-K-Ca. 4) Control de las condiciones de saturación respecto al sulfato y carbonato cálcico de la solución a la temperatura superficial y profunda. 5) Valoración de los valores de pH y P_{CO_2} en profundidad en las condiciones del último equilibrio alcanzado.

Los resultados obtenidos en este trabajo mediante la aplicación del geotermómetro químico dirigido a la delimitación de áreas geotérmicas extensas y al estudio de sistemas hidrotermales individuales, ponen de manifiesto que esta tecnología puede aportar resultados satisfactorios siempre que se cumplan las premisas establecidas y exista un control riguroso de las características hidrogeológicas del sistema en estudio.

BIBLIOGRAFIA

- BALDI, P.; FERRARA, G. C.; MASSELLI, L. y PIERETTI, G.: *Hydrogeochemistry of the Region between Monte Amiata and Rome*. "Geothermics", 2, 124-141 (1973).
- BALDI, P.; FERRARA, G. C., y PANICHI, C.: *Geothermal research in western Campania (Southern Italy): Chemical and isotopic studies of thermal fluids in the Campi Flegrei*. Proc. of 2nd U. N. "Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources". San Francisco, 19-20, May (1975) (in press).
- BIONDUCCI, P., y RATTU, A.: *Acque minerali della Sardegna*. "Nota 1.^a R. C. Semin. Fac. Sci Univ. Cagliari", suppl., 30, 40 pp. (1960).
- CAMELI, G. M.; PUXEDDU, M.; RENDINA, M.; ROSSI, A.; SQUARCI, P., y TAFFI, L.: *Geothermal research in western Campania (Southern Italy): Geological and geophysical results*. Proc. of 2nd U. N. "Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources". San Francisco, 19-29 May (1975) (in press).
- DALL'AGLIO, M.: *Geochemistry of stream and Ground waters from Western Sicily. The changes in spring water chemism after the 1968 Earthquake*. "Convegno Intern. sulle Acque sotterranee". Palermo, 6-8 Dicembre (1970).
- DALL'AGLIO, M., y TEDESCO, C.: *Studio geochimico ed idrogeologico delle sorgenti della Sicilia*. "Rev. Miner. Siciliana", 112-114, 171-210 (1968 a).
- DALL'AGLIO, M., y TEDESCO, C.: *Rilievo Idrogeochimico dell'area dei Monti Cimini*. "RT/GEO" (68) 9 (1968 b).
- ELLIS, A. J. y MAHON, W. A. J.: *Natural hydrothermal systems and experimental hot water/rock interactions*. "Geochim. Cosmoch. Acta", 28, 519 pp. (1967).
- ELLIS, A. J.: *Quantitative interpretation of chemical characteristics of hydrothermal systems*. "Geothermics", Spec. Iss, 2, v. 2, pt. 1, 516-528 (1970).
- FANCELLELLI, R., y NUTI, S.: *Locating interesting geothermal areas in the Tuscany region by geochemical and isotopic methods*. "Geothermics", v. 3, n. 4, 146-152 (1974).
- FANCELLELLI, R., y NUTI, S.: *Studio sulle acque termali e minerali delle parte orientale delle provincie di Siena*. "Boll. Soc. Geol.", (1975).
- FANELLI, M.: *Acque calde Italiane. Inst. Intern. per le Ricerche Geotermiche*. Pisa (1972).

- FOURNIER, R. O., y TRUESDELL, A. H.: *Geochemical indicators of subsurface temperature. Part. 2. Estimation of temperature and fraction of hot water mixed with cold water.* "Jour. Research, U. S. Geol. Survey", 2, 263-270 (1974).
- MERCADO, S.: *High activity hydrothermal zones detected by Na/K, Cerro Prieto, México.* "Geothermics". Spec. Iss., 2, 1367-1376 (1970).
- PACES, T.: *A systematic deviation from Na—K—Ca geothermometer below 75° C and above 10⁻⁴ atm P_{CO₂}.* "Geochim. Cosmoch. Acta", 39, 541-544 (1974).
- PANICHI, C.; BARBIER, S., y TONGIORGI, E.: *Le acque termali di Pantelleria.* "V.º Congr. Inter. Ass. Ital. Tecnice idrotermale". Agnano Terme, 75-79 (1969).
- PANICHI, C.; FERRARA, G. C., y GONFIANTINI, R.: *Isotopic temperatures from CO₂—CH₄ and CO₂—H₂O systems in the Larderello geothermal field.* Proc. of IAEA Panel in "The application of nuclear techniques to geothermal studies". Pisa, 8-12 Sept. (1975) (en prensa).
- PANICHI, C.; TONGIORGI, E.; BALDI, P.; FERRARA, G. C.; GHEZZI, G., y MARCHETTI, P. P.: *Contributo allo studio del sistema idrotermale euganeo-berico* (1976) (en prensa).
- PUXEDDU, E.: *Le acque minerali della Sardegna* (Opera postuma a Cura di Anna Rattu). "R. C. Semin. Fac. Sci. Univ. Cagliari", 19, 15-107 (1951).
- TONANI, F.: *Geochemical methods of exploration for geothermal energy.* "Geothermics". Spec. Iss., 2, 492-515 (1970).

Recibido: diciembre 1976.