

# ASPECTO QUIMICO DE LA ACTIVIDAD DE FUMAROLAS EN NICARAGUA Y EL SALVADOR

A. R. McBirney

Albuquerque, N. México USA.

DC. 551.231

Desde hace mucho tiempo se suponía que la composición química de fuentes termales y fumarolas, como la de gases de emisiones volcánicas, deberían ofrecer buenos indicios respecto al estado de actividad y la naturaleza de procedencia de las emisiones. Se esperaba aún que el conocimiento más detallado de este ramo de la geoquímica, ofrecería un medio para predecir erupciones por el análisis comparado de gases de fumarolas y del agua de lagunas en cráteres, sobre un lapso considerable de tiempo. La aplicación más práctica de la volcanología química tal vez se encuentre en los problemas relacionados con el desarrollo de las riquezas naturales de vapor.

La investigación de este campo se había abandonado extrañamente. La mayoría de nuestros conocimientos están basados en la obra de ALLEN, DAY, ZIES y SHEPHERD, de hace unos 20 ó 30 años. En Centro América no se ha hecho prácticamente nada, a pesar del hecho de que esta región ofrece probablemente un campo tan rico para investigaciones como ningún otro en el mundo.

Durante los estudios de las reservas hidrotermales de Nicaragua realizados en 1952 y 1953, se hizo evidente que una cuestión de primera importancia para la tasación de la posibilidad del desarrollo de fuerza, es la determinación del origen del vapor. Sin entrar en detalles no necesarios, se puede decir que vapor natural en cantidades adecuadas con una razón alta de vapor-agua, es solamente posible desde fuentes magmáticas primarias. Aunque el vapor puede ser producido por otras fuentes, donde el agua subterránea se calienta pasando por formaciones calientes de rocas por ejemplo, tal vapor será pobre en calidad y muy probablemente bajará en producción.

Varios indicios posibles que pudieran indicar un origen magmático se sugieren. Son los siguientes:

1. Un alto contenido químico.
2. La presencia de elementos o compuestos característicos de gases magmáticos, y

3. La ausencia de elementos o compuestos de origen superficial.

Estos puntos se consideran individual y detalladamente.

## Contenido químico alto

Muestras coleccionadas en la superficie estarán naturalmente contaminadas por una cantidad más o menos grande de agua subterránea. El grado de contaminación dependerá de la configuración de la capa de agua, de la permeabilidad de las rocas subyacentes y de las lluvias. La mejor medida para la contaminación es la humedad del vapor: cuando el vapor seco llega a la superficie y no hay fuentes termales acompañantes, podemos estar bastante seguros que poco agua subterránea ha penetrado. Desgraciadamente la mayoría de las fumarolas está colocada de tal manera que estas condiciones se encuentran raramente. La mejor posibilidad para tener una idea de lo que serán los gases bajo condiciones ideales, se encuentra aparentemente en pozos de vapor taladrados hasta horizontes abajo del nivel del agua subterránea que produce vapor recalentado. Es probable que también éste, recoge cierta cantidad de agua, pero dos ejemplos desde Italia y California que parecen ser dignos de confianza, se incluyen en el cuadro I.

Para comparar dos condiciones posibles de procedencia, hay que considerar primeramente el vapor de las fumarolas del Valley of Ten Thousand Smokes, reconocido como original de los depósitos incandescentes del torrente de la erupción del Katmai en 1912 y definitivamente no de origen magmático primario. En segundo lugar hay que comparar una muestra de gas coleccionada del cráter de Kilauea, igualmente seguro de ser de origen magmático. Junto con éstos se incluyen muestras de las fumarolas de Ahuachapán en El Salvador, de las fumarolas de San Jacinto en Nicaragua y de los pozos de vapor taladrados en la vecindad de San Jacinto.

Cuadro I

	%-H <sub>2</sub> O	% de otros gases
Pozos de vapor italianos	95.53	4.47
Pozos de vapor en California	98.87	1.13
Valley of 10.000 Smokes	99.95	0.05
Cráter del Kilauea	97.09	2.91
Fumarolas de Ahuachapán	99.75	0.25
Fumarolas de San Jacinto	99.89	0.02
Pozos de vapor de San Jacinto	99.87	0.13

Aunque las muestras supuestas de origen magmático son un poco más ricas en gases no condensables, la diferencia no es grande y H<sub>2</sub>O es el componente que predomina con frecuencia en todos los casos. La variación entre las dos condiciones extremas —los depósitos de torrente incandescente que enfriándose alrededor de 40 años habrán acabado casi de emitir vapor, a los fosos de lava del Kilauea que han sido activos durante cientos, si no miles de años, sin vestigios de agotamiento— es demasiado pequeña para servir de criterio seguro tratándose de fumarolas. Además se puede ver que el contenido de gas del vapor de San Jacin-

to aumentó en la profundidad relativamente reducida de la fuente de vapor (unos 300 pies), indicando el peligro de confiar en muestras de la superficie.

Si nos dirigimos a las propias rocas y examinamos su contenido de agua encontramos que éste es alto en relación con otros gases. El cuadro siguiente está recalculado según los análisis por H. S. WASHINGTON y R. T. CHAMBERLAIN, en las cuales muestras secas pulverizadas se calentaron hasta temperaturas altas en el vacío y se analizaron los gases expulsados:

Cuadro II

	% de H <sub>2</sub> O y gases en la roca (por peso)	% de H <sub>2</sub> O (por volumen)	% de gases (por volumen)
Granito	.64	86.7	13.3
Riolita	1.54	98.3	1.7
Sienita	.70	95.0	5.0
Traquita	1.01	—	—
Diorita	.99	88.2	11.8
Andesita	1.17	94.3	5.7
Gabro	1.01	88.8	11.2
Basalto	1.66	88.9	11.1

Encontramos otra vez que el agua es con frecuencia el componente más importante de los volátiles, y la proporción es del mismo orden

que aquella encontrada en los gases volcánicos del cuadro I. Rocas viejas, recalentadas por intrusión o un aumento del gradiente de tempe-

ratura, emitirían una mezcla de vapor y gas con componentes en la misma razón, más o menos, que el magma juvenil.

### Elementos de origen magmático

Hace unos 100 años, dos geólogos franceses, CHARLES DEVILLE y F. LEBLANC, después de estudios cuidadosos de la composición química de fuentes termales, fumarolas y gases volcánicos en el área mediterránea, establecieron la hipótesis de que la composición de las emanaciones volcánicas varía en relación con la distancia del centro eruptivo o con el ciclo evolutivo de la actividad volcánica. Describieron las características químicas de las emanaciones en varios estados y sostuvieron que los gases volcánicos en cualquier parte de la tierra se encontrarían adaptables a una de las diferentes clasificaciones, según la fase de actividad o la proximidad al centro. Aunque algunos de los detalles de la teoría se han refutado, el principio básico parece todavía cierto.

Dos factores ampliamente variables deben determinar la naturaleza química de las emanaciones. Tal como se dice que el carácter humano es el producto de la herencia innata y del ambiente de la vida posterior, la composición de las emanaciones volcánicas son primeramente el resultado de las condiciones en su centro

y en segundo lugar, expresan el efecto de las influencias de los medios que atraviesan.

Condiciones generales del centro parecen ser posibles:

1. Una masa de magma, líquida o cristalizada, que emite los gases disueltos en ella cuando la presión de vapor excede la carga estática.
2. Rocas sólidas recalentadas que liberan volátiles contenidos en ellos en el tiempo de la solidificación; y
3. Agua atmosférica llevada hacia abajo hasta un horizonte caliente por presión artesiana.

Una distinción entre los tres casos no es siempre evidente a base de la estructura superficial. Así mismo, no hay una diferencia grande entre los gases coleccionados desde cráteres volcánicos (caso 1) y desde rocas ígneas sólidas (caso 2), y es difícil distinguir entre las primeras dos condiciones, a base de información puramente química. Es cierto que  $H_2$  es generalmente más abundante en rocas recalentadas, pero como muestras de cráteres volcánicos están normalmente contaminadas con aire, el  $H_2$  debe ser oxidado a  $H_2O$ . El cuadro III contiene dos análisis típicos que representan estos casos y para comparación análisis de los gases de las fumarolas de Ahuachapán y de San Jacinto.

Cuadro III

Centro	CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub> S	SO <sub>2</sub> S	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> A	Total
Cráter del Kilauea <sup>1</sup>	27.1	3.2	—	35.8	—	4.3	—	29.7	100.1
Basaltos recalentados <sup>2</sup>	53.8	6.0	2.6	—	1.6	34.5	—	1.5	100.0
Ahuachapán <sup>3</sup>	32.1	11.9	8.0	—	—	.8	9.4	37.8	100.0
San Jacinto <sup>3</sup>	11.7	1.4	8.4	—	.5	1.5	11.7	64.8	100.0

La presencia de SO<sub>2</sub> en los gases del Kilauea depende probablemente de la temperatura más alta que excluiría H<sub>2</sub>S. Como las condiciones de temperatura y presión bajo las cuales las muestras deben coleccionarse y analizarse, son sumamente diferentes de aquellas en su frente, apenas se puede esperar que las combinaciones encontradas se parezcan aún remotamente a los gases originarios del magma. Aunque el número de los elementos presentes no es grande, las reacciones posibles a temperaturas y presiones altas son numerosas y complejas, y cualquier ensayo de descripción sería

para especulación. Sin embargo, es posible ver una semejanza general de composición entre los análisis dados arriba, y probablemente se puede suponer que los gases fumarólicos posean las características esenciales de emanaciones magmáticas.

### Elementos de origen superficial

El agua subterránea que pasa a través de un espesor considerable de suelo y rocas, disolverá ciertos componentes que le dan un as-

pecto típico. Los principales entre las sustancias solubles son carbonatos y sulfatos de calcio y sodio. En general la razón Ca : Mg es más alta en tales aguas que en soluciones as-

cedentes. El cuadro IV da análisis de aguas de Ahuachapán y San Jacinto y para comparación un análisis promedio de aguas de numerosos lagos y ríos en todo el mundo.

Cuadro IV

	San Jacinto <sup>3</sup>	Ahuachapán <sup>3</sup>	Aguas superficiales <sup>4</sup>
CO <sub>3</sub>	--	--	35.15
SO <sub>4</sub>	53.7	44.5	12.14
Cl	2.0	.7	5.68
NO <sub>3</sub>	--	--	.90
Ca	20.8	17.8	20.39
Mg	7.0	8.6	3.41
Na	10.8	18.2	5.79
K	4.1	8.4	2.12
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.4	1.5	2.75
SiO <sub>2</sub>	.2	.3	11.67
	100.0	100.0	100.00
Salinidad, ppm	2156.0	873.0	146.0

Hay varias diferencias evidentes en estas aguas. Primero, los sulfatos son mucho más abundantes en las fumarolas, y los carbonatos están virtualmente ausentes. La razón Ca : Mg es considerablemente más baja. Sodio y potasio están algo más altos, y sílice es relativamente menos importante que en las aguas superficiales.

Se ha dicho que la presencia de metano (CH<sub>4</sub>) en los gases de San Jacinto es una indicación de formaciones sedimentarias subyacentes o del transporte de materia orgánica de la superficie hacia abajo a horizontes calientes. Parece que no hay incongruencia en la presencia de CH<sub>4</sub> en gases volcánicos, porque éstos se encuentran casi universalmente en gases fumarólicos en todo el mundo, aun en localidades donde no se conocen formaciones sedimentarias.

Las fumarolas de Ahuachapán tienen un valor pH de 3.1, mientras que aquellas de San Jacinto tienen unos 4.3. Esta acidez es otra indicación para el origen magmático, y parece que cuanto más bajos son el pH en tales emanaciones, tanto menos es la contaminación por

agua superficial. En Nicaragua las fuentes que brotan a lo largo de la línea de fallas, que se suponen conectan las dos fumarolas de San Jacinto y Tisate, muestran una relación notable entre la distancia desde los dos centros y la temperatura y el pH del agua. Los valores pH aumentan más o menos proporcionalmente con la distancia desde San Jacinto, hasta alcanzar un máximo de 8.1 aproximadamente a medio camino y luego bajan otra vez a medida que se acerca a Tisate. Este fenómeno se ha observado por otra parte, notablemente en Islandia, y parece sostener la teoría de que la composición química está relacionada con la distancia desde el centro.

Pero la misma progresión de acidez hacia alcalinidad se puede observar cuando la actividad disminuye. Las aguas de varios lagos de cráteres en Nicaragua y El Salvador se han examinado y se ha encontrado que los valores pH varían desde 2.7 (Laguna de Alegría) hasta 9.9 (Lago Nejapa). Estas dos aguas se aproximan a los extremos más altos de acidez y alcalinidad encontrados en la naturaleza.

Cuadro V

	Lago Nejapa <sup>3</sup>	Laguna de Alegría <sup>3</sup>
HCO <sub>3</sub>	8302 ppm	--
CO <sub>3</sub>	1400	--
OH	--	--
Cl	9846	6
SO <sub>4</sub>	2112	360
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	--	--
Na	12750	630
K	3380	184
Ca	120	274
Mg	257	138
	38167 ppm	1592 ppm

En algunas áreas los cloruros predominan claramente sobre los sulfatos, como por ejemplo en el Lago Nejapa y en Tisate, pero no es evidente la razón por qué las aguas termales deberían ponerse bajo el tipo clorurado o sulfatado. Se debe considerar una fuente caliente cerca de Tisate con un contenido de cloruro de 2179 ppm y solamente vestigios de sulfato, mientras que a una distancia de solamente un kilómetro y medio, en San Jacinto, el valor para cloruros es solamente 16.7 ppm contra 453 ppm para sulfatos. La posibilidad de lechos de sal suministrando los cloruros parece remota en este área. Confrontados con un problema similar en el Parque Yellowstone, ALLEN & DAY averiguaron que aguas con cloruro provenían generalmente de centros profundos, mientras que aguas con sulfato se encontraron en áreas donde la circulación del agua parecía estar superficial. Esto podría interpretarse como prueba para la teoría basada en una separación por gravedad entre las cimas y las faldas de un anticlinal.

#### Resumen

En conclusión se puede decir que las áreas fumarólicas estudiadas muestran caracte-

rísticas que indican claramente el origen magmático. Los gases tienen una composición semejante a la de otros gases, y las aguas analizadas se ponen en el mismo esquema y contrastan con aguas de origen superficial. Hay una evidencia clara que indica una relación entre la acidez de las fumarolas más activas y la proximidad a un centro primario de vapor magmático. Las áreas estudiadas muestran capacidades como áreas productoras de vapor de importancia económica, y si se piensa taladrar, debería hacerse el estudio más amplio de las características químicas del vapor.

#### Fuentes de los análisis mencionados

1. SHEPHERD, E. S. en Bull. Hawaiian Volcano Observatory 7, p. 94, 1919.
2. CHAMBERLAIN, R. T. en Gases in Rocks.—Carnegie Inst. Washington Publ. 106, p. 27, tabla 13.
3. Análisis por el autor.
4. CLARKE, F. W. & H.S. Washington en The Composition of the Earth's Crust.—A. U. S. G. S. Prof. Pap. 127.

#### Literatura

ALLEN, E. T.: Chemical Aspects of Volcanism with a Collection of the Analyses of Volcanic Gases.—Carnegie Inst. Washington Publ. 440, 1922.

— — — & A. L. DAY: Hot Springs of the Yellowstone National Park.—Carnegie Inst. Washington Publ. 466, 1935.

- - - : Steam Wells and Other Thermal Activity at "The Geysers" California.- Carnegie Inst. Washington Publ. 378, 1927.
- BARTH, T.: Volcanic Geology, Hot Springs and Geysers of Iceland.- Carnegie Inst. Washington Publ. 587, 1950.
- MAZZONI, A.: The Steam Vents of Tuscany and the Larderello Plant.- Bologna, 1948.
- McBIRNEY, A. R.: Pre-drilling Investigations of the San Jacinto Thermal Area.- Managua, 1953.
- - - : An Appraisal of Hydrothermal Resources of the Ahuachapan Region of El Salvador.- An. Serv. Geol. Nac. El Salv. 2, San Salvador, en prensa 1956:

Trad. O. SCHUSTER-DIETERICHs.