

ESTUDIO HIDROGEOQUIMICO DEL VOLCAN ARENAL

CONTRIBUCION A LA ACTIVIDAD ERUPTIVA

*Serge Bigot**
*Jorge Barquero***

INTRODUCCION:

Desde el mes de abril de 1980, se estableció una cooperación entre el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica, Universidad Nacional y el Programa Interdisciplinario de Investigaciones para la Previsión y la Vigilancia de Erupciones Volcánicas (PIRPSEV - CNRS), de Francia para asegurar una vigilancia hidrogeoquímica del volcán Arenal, en relación con su actividad eruptiva.

El estudio presentado está basado sobre los datos recogidos durante la misión de muestreo realizada en noviembre de 1982.

El interés hidrogeoquímico del volcán Arenal reside en el hecho de que sólo la mitad norte-oeste y sur del cono está afectado por la erupción actual. El costado noreste representa, en cierto modo, el estado del sistema ante las profundas modificaciones surgidas por la erupción iniciada el año 1968 (fig. 1). Las aguas que circulan pueden, de algún modo, servir de referencia para un estudio comparado del sistema (fig. 2). Por otro lado, se produjeron modificaciones hidrogeoquímicas antes de la erupción (2): elevación de la temperatura, cambio de caudal, concentración de partículas suspendidas. Estas manifestaciones de pre-erupción son la prueba de una respuesta del sistema a la evolución de la actividad del volcán.

CONTEXTO HIDROGEOLOGICO:

El estudio de estratigrafía del edificio (3) muestra que los últimos niveles históricos y prehistóricos, están compuestos alternativamente de cenizas, tobas y suelo. Estos materiales, muy sensibles a la alteración climática, constituyen niveles impermea-

bles que limitan la penetración de las aguas que se filtran. Predomina principalmente, la circulación de subsuperficie. Las lavas que se producen desde 1968 son poco permeables, pero las coladas de tipo Aa, poseen una permeabilidad de intersticios muy alta. Las aguas meteóricas se filtran fácilmente y alcanzan rápidamente los paleovalles. Las nuevas nacientes se sitúan en la base del frente de las coladas actuales. La red hidrográfica muestreada comprende un total de 8 fuentes: cuatro situadas sobre el costado inactivo, tres en la base de las coladas y una en la periferia del cono.

ESTUDIO HIDROGEOQUIMICO:

El conjunto de los resultados de los análisis se muestra en una tabla. Las composiciones químicas relativas obtenidas, muestran una discrepancia muy clara entre las aguas que circulan en las vertientes de las cuencas no afectadas por la erupción, que son frías, de tipo bicarbonatado cálcico, y las aguas afectadas más o menos directamente por la actividad volcánica, que son calientes, de tipo cloruro sódico.

* Laboratoire de Géochimie Comparée et Systematique, Laboratoire Associé, La No. 196. Instituto de Physique de Globe de Paris. Université Pierre et Marie Curie. Tour 16-26. 4 place Jussieu, 75230 Paris, Francia.

** Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica, Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica.

TABLA
ANÁLISIS QUÍMICOS DE LAS FUENTES DEL ARENAL

VERTIENTE INACTIVA	T	Ph	HCO ₃	Cl	SO ₄	Na	K	Ca	Mg	‰
AR 1 Quebrada Platanillo	23	7,11	0,86	0,10	0,01	0,21	0,04	0,31	0,08	5,1
AR 2 Río Agua Caliente	19	7,83	1,13	0,10	0,01	0,21	0,04	0,37	0,14	1,5
AR 3 Quebrada Palma	22	7,87	2,01	0,16	0,06	0,37	0,08	0,62	0,31	0,8
AR 4 Quebrada Guillermina	24	7,64	3,80	0,20	0,19	0,75	0,14	0,99	0,86	4,7
VERTIENTE ACTIVA										
AR 5 Fuente Doris	39	6,27	5,16	3,85	2,54	4,55	0,52	2,12	2,30	1,3
AR 6 Quebrada Tabacón	24	5,57	7,82	12,31	0,97	6,85	0,40	4,29	3,70	5,2
AR 7 Río Tabacón	48	6,35	7,10	10,39	4,70	10,90	0,61	3,76	3,25	5,3
AR 8 Quebrada Lava	58	6,01	7,44	45,82	0,91	26,10	1,80	8,53	4,10	3,6

Las concentraciones dadas en términos de 10^{-3} M/l. ‰ es la diferencia relativa de cambios de equilibrio.

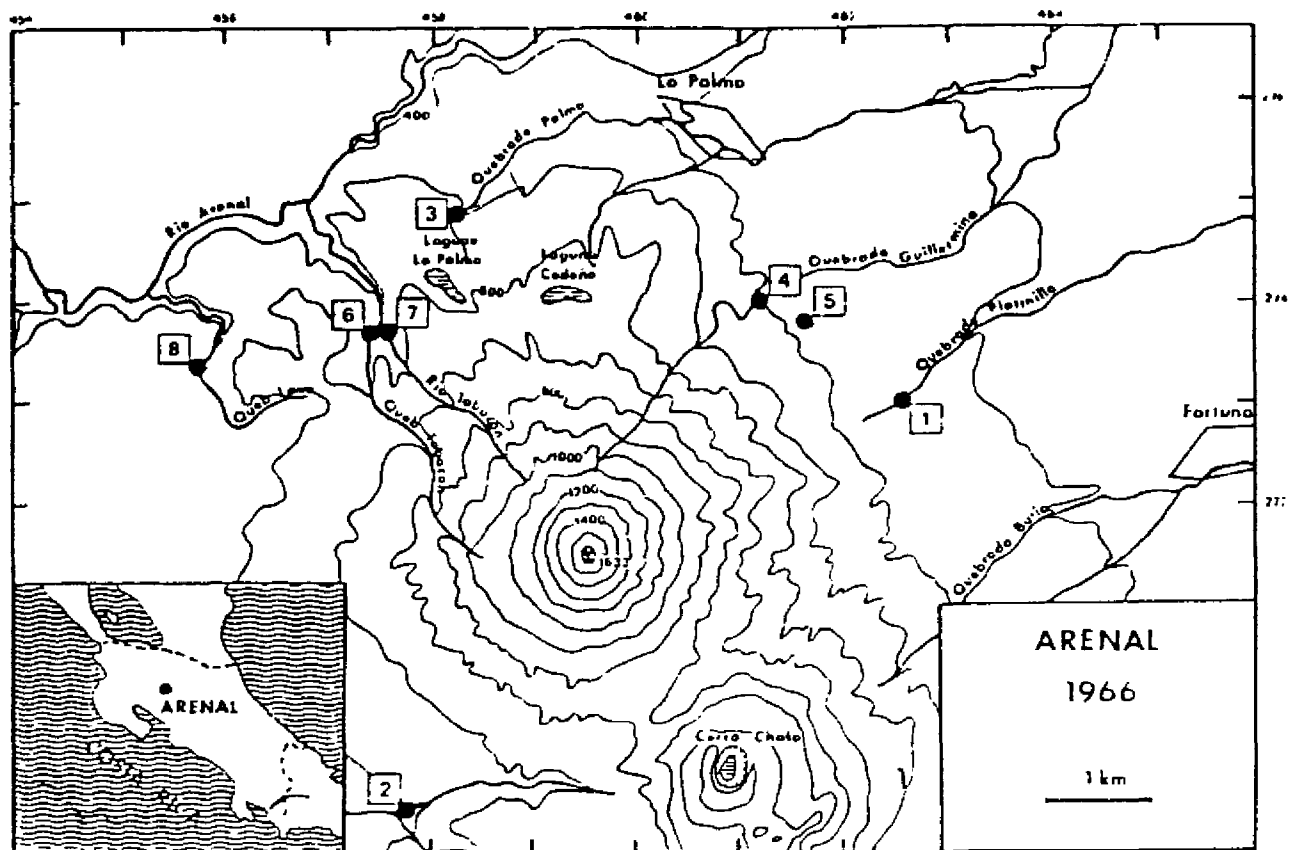


Fig. 1: Mapa topográfico del volcán Arenal antes de la erupción de 1968. Localización de las fuentes estudiadas.

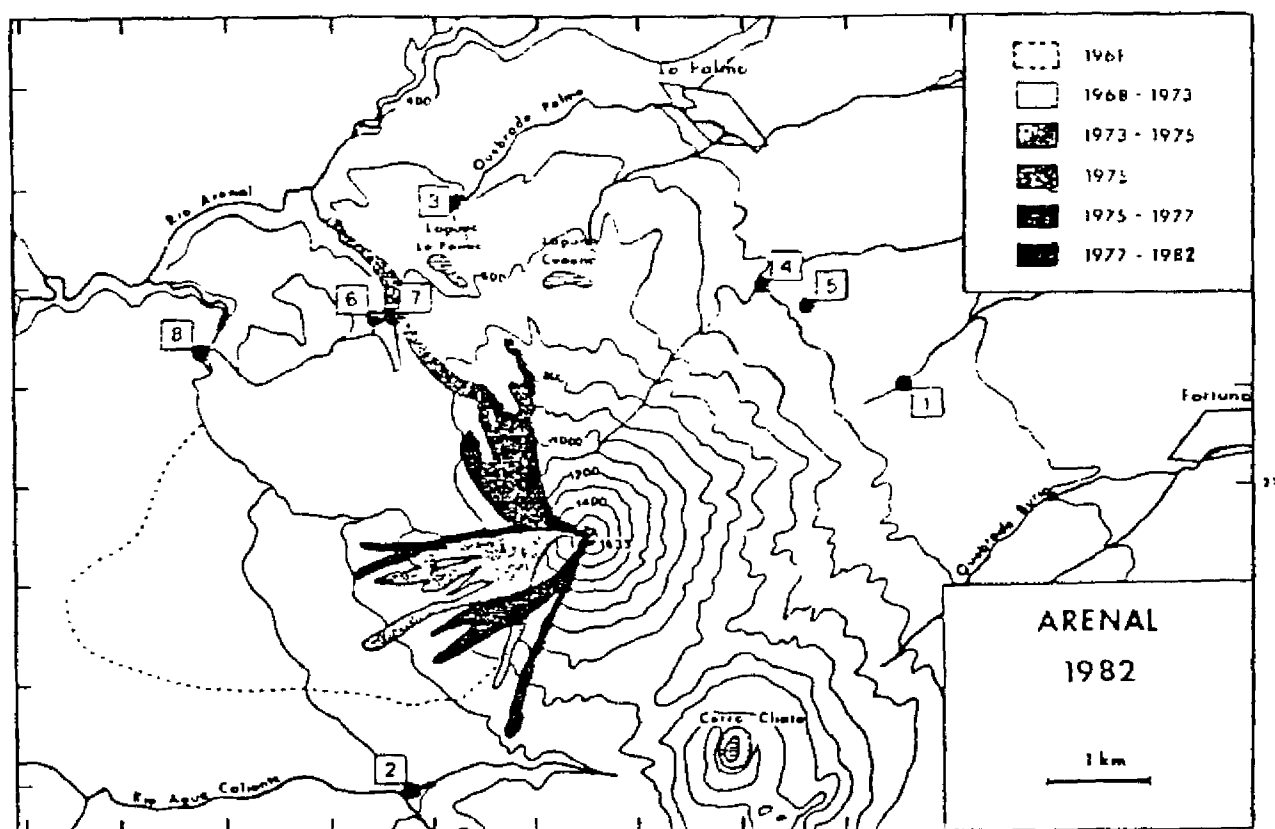


Fig. 2: Mapa esquemático de las coladas de lavas del volcán Arenal de 1968 a 1982.
1968: nube ardiente inicial.
1975: corrientes de lodo del río Tabacón.

FUENTES DE LA VERTIENTE INACTIVA

Este grupo se caracteriza por una gran unidad de fases, con una mineralización débil (fig. 4).

Carbonatos:

Tienen un doble origen: la atmósfera y la materia orgánica. Debido a que su flujo es superficial, estas aguas están en sistema abierto frente a la atmósfera. Por otro lado, las vertientes de las cuencas no afectadas están recubiertas por una espesa vegetación (bosque primario). Esta representa una reserva de materia orgánica que libera CO_2 por descomposición.

Cloruros y sulfatos:

En las aguas menos mineralizadas, las cantidades que se observan son idénticas a las que se midieron en una muestra de agua de lluvia. En las aguas más mineralizadas, el enriquecimiento se debe a la naturaleza volcánica de su alrededor. La lixiviación de los depósitos de cenizas del antiguo edificio ex-

plica, por otro lado, el aumento preferencial en SO_4 , que tiende hacia una relación $\text{Cl}/\text{SO}_4 = 1$.

Cation:

La parte esencial de la mineralización de estas aguas sigue la ecuación general: roca + aporte atmosférico = roca alterada + solución. A partir de los resultados de los análisis petrográficos de las últimas erupciones históricas (4), (5) definimos una composición media de los niveles superficiales. La comparación con las cantidades de cationes de las aguas es satisfactoria. La disminución relativa del ión Ca para las aguas más mineralizadas se explica por su equilibrio en solución con la calcita.

Se desprende de este balance que la fuente más representativa de las circulaciones sobre la vertiente inactiva (muestra No. 4) posee una mineralización, en aniones, teniendo por origen: atmósfera y suelo = 87 %, productos volcánicos = 11 % y precipitaciones = 2 %.

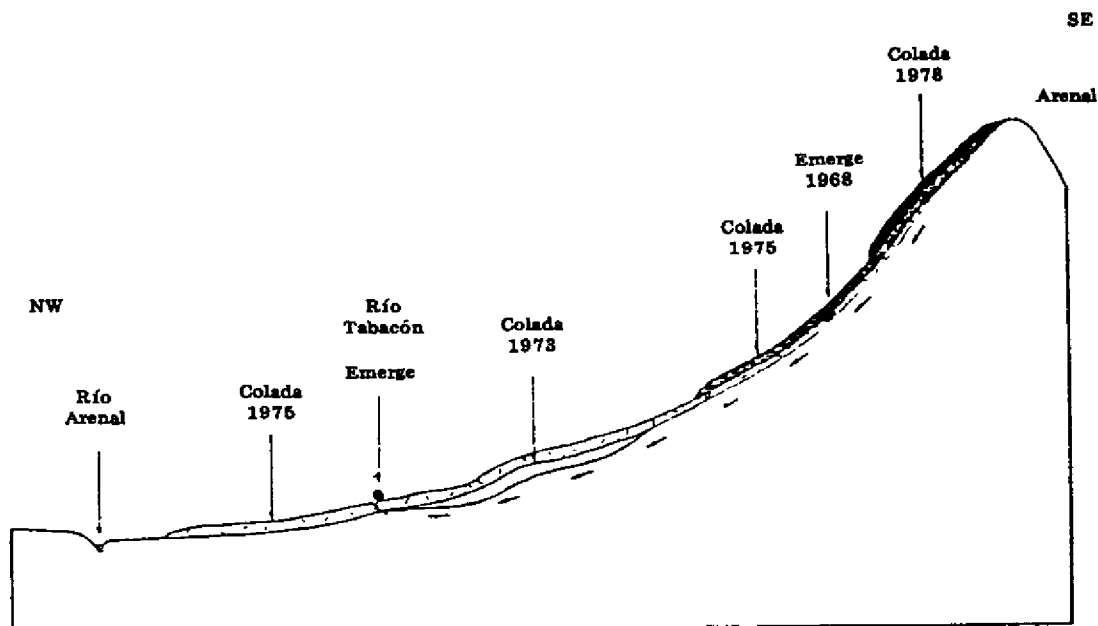


Fig. 3: Modificaciones experimentales por el valle del río Tabacón después de la erupción de 1968.

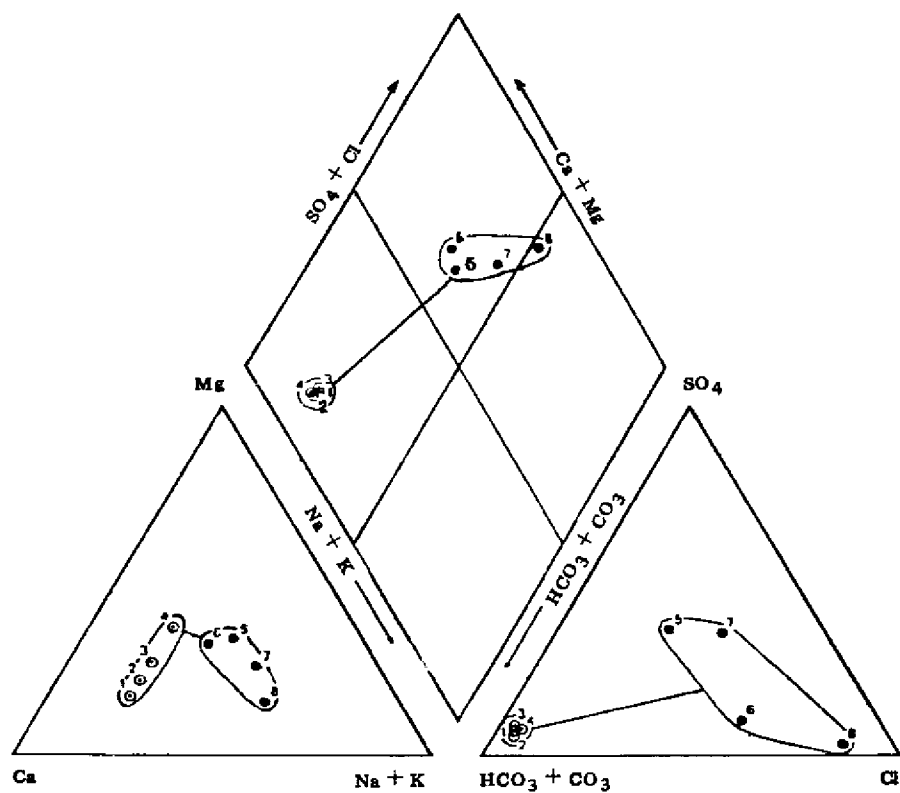


Fig. 4: Composición química de las aguas del volcán Arenal.
 ○ fuentes frías (vertiente inactiva)
 ● fuentes calientes (vertiente activa)

Fuentes de la vertiente activa:

La extrema mineralización de estas aguas traduce claramente la importancia de los repentinos cambios (Fig. 5). La comparación con la fuente de referencia (muestra No. 4) implica un aporte de elementos de origen magmático representando de un 68 % a 92 % de su composición.

Cloruros:

Estos iones se pueden considerar conservadores. Su concentración en solución no está limitada por la precipitación de ningún mineral. Experimentando un crecimiento considerable de 19 a 230 veces la concentración de referencia. La parte esencial de los compuestos clorados provienen de una solución de gases volcánicos y de incrustaciones fumarólicas. La contribución debida a la cola-

da de andesitas es prácticamente nula (6), (7). Las emanaciones volcánicas de alta presión están dominadas por halógenos alcalinos a las cuales están asociados ácidos de halógenos volátiles (8). De acuerdo a la clasificación de incrustaciones fumarólicas de los volcanes activos de América Central (9), los cloruros provendrían de la solubilización de la halita (NaCl), de la silvina (KCl) y un grado menos de cloruro de amonio (NH_4Cl) y de cloruro de aluminio ($\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Para la fuente más mineralizada (muestra No. 8) el cálculo de la composición estequiométrica: $\text{NaCl} = 57\%$, $\text{HCl} = 39\%$ y $\text{KCl} = 4\%$.

Las otras fuentes se diferencian por un aporte en HCl menos importante.

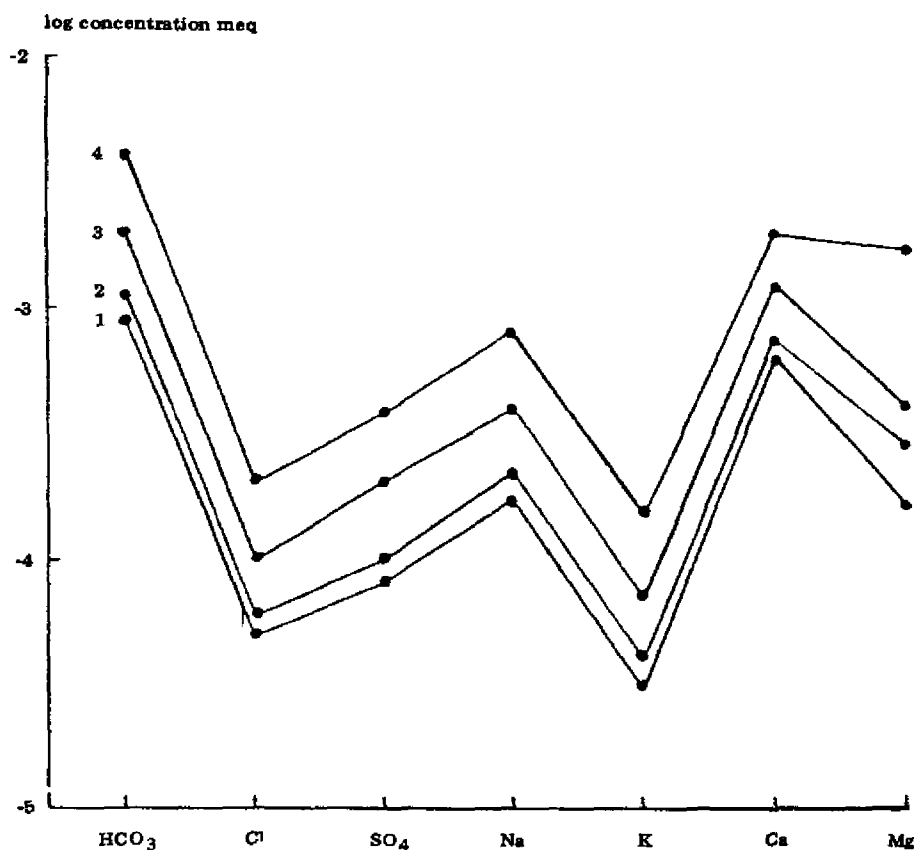


Fig. 5: Unidad de fases geoquímicas de las aguas frías de la vertiente inactiva del Arenal.

Sulfatos:

Igual que para los iones clorurados, los sulfatos provienen casi exclusivamente de las emisiones volcánicas. Se pueden distinguir dos tipos de aportes: los directos debido a la solución del gas magmático, bajo la fórmula de H_2SO_4 y los aportes indirectos unidos a la colada de depósitos sublimados obtenido por la interacción entre el gas y su alrededor (compuestos volátiles o rocas adheridas). Los compuestos de azufre los más frecuentes y las más abundantes de las mineralizaciones de origen fumarólico en los volcanes de la América Central son la tenardita (Na_2SO_4), la anidrita ($CaSO_4$) y el yeso ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$). La variación de la relación Cl/SO_4 se utiliza comúnmente como indicador para prever los períodos de erupción y seguir su evolución (10) al (13). La aplicación de esta relación a las aguas calientes del Arenal, da valores extremadamente heterogéneos. Esta dispersión, debida a los iones SO_4 , podría explicarse por una co-precipitación de $CaSO_4$ en solución sólida con los carbonatos.

Carbonatos:

La concentración de HCO_3 en solución está limitada, para el conjunto de las fuentes, por el equilibrio de la calcita. En ausencia de análisis isotópicos complementarios, es difícil estimar la proporción de carbonatos provenientes del CO_2 de origen magmático, no obstante el valor elevado en la fuente No. 5, considerada como aislada de la atmósfera, sugiere una participación de CO_2 de origen profundo.

Sodio y potasio:

El estudio de los cloruros demostró que las emanaciones volcánicas y las incrustaciones que de ella resultaban, fueron dominadas durante mucho tiempo por los halógenos alcalinos ($NaCl$, KCl). La contribución de estos aportes representaría, según las fuentes, entre 90 y 97 % del contenido de sustancias alcalinas.

Calcio y magnesio:

Rasgo característico de las aguas en el dominio volcánico. El sistema es muy rico en magnesio, con relaciones Ca/Mg cerca de la unidad. Ningún compuesto de estos elementos son los suficientemente volátiles para ser despedidos cuando se efectúa la desgasificación del magma (14), (15) es posible pensar que los iones Ca y Mg se obtienen de una alteración de las rocas encajantes, por los gases volcánicos ácidos.

BALANCE DE LAS TRANSFERENCIAS EN SOLUCION LIGADAS A LA ACTIVIDAD ERUPTIVA

A partir del valor del aforo del caudal de las fuentes y de la concentración de sustancias disueltas, hemos calculado la cantidad de elementos puestos cotidianamente en solución por el sistema.

Las fuentes de la vertiente inactiva surcan una superficie de 6.24 km^2 . Estas aguas liberan, según las fuentes, entre 1,1 y 7,1 toneladas de elementos por día. Los carbonatos son los que dominan con una representación relativa, en peso, de 70 %, seguido por el calcio de 12 % la suma de los iones Cl y SO_4 no representa más que el 7.5 % del conjunto.

Sobre el costado activo, a pesar de que la superficie es ligeramente más reducida (5.53 km^2) las cantidades de elementos movilizados son más de 10 veces superiores. Estas aguas transfieren al medio, individualmente entre 10.3 y 77.7 toneladas de elementos por día. El elemento mayor es el ión Cl (48,3 toneladas/día) que representa 42 % de la masa total. Después siguen los carbonatos (23,3 toneladas/día) y el sodio (19.4 toneladas/día). La poca cantidad de SO_4 (10.0 toneladas/día) se debe a su limitación en solución por el equilibrio con el yeso. Los aportes de cloruros de las emisiones volcánicas al balance mundial de la hidrosfera están estimados en $8,4 \times 10^6$ toneladas/año (6). Con base en este dato, la contribución del Arenal (17.5×10^3 toneladas/año) representaría un 0.2 % del conjunto de cloro emitido en solución.

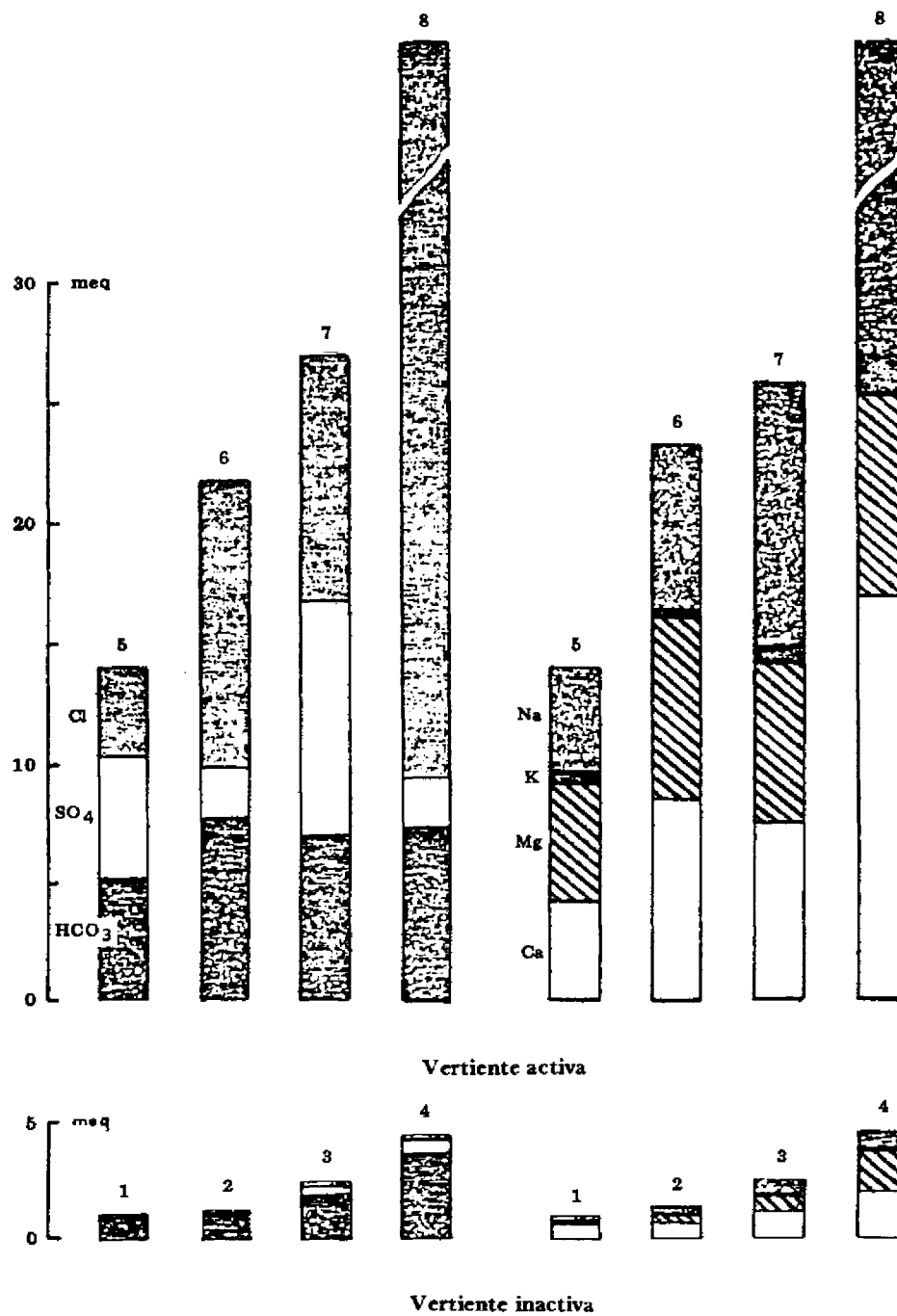


Fig. 6: Comparación, en valor absoluto, de la composición química de las aguas de las vertientes activas e inactivas del Arenal.

BIBLIOGRAFIA

1. S. Bigot, J. Barquero, E. Malavassi. Boletín de Vulcanología No. 5. 1983. p. 2.
2. H. Taylor, ICE. Report, Costa Rica. 1965.
3. E. Malavassi, Mr Thesis Univ. Hawai at Monoa, 111 p.
4. W. G. Melson et R. R. Sáenz, Bull Vulcanol., 37-3. 1973. p. 416-437.
5. H. Taylor et R. E. Stoiber, Geol. Soc. Amer. Bull., 84, 1973.
6. W. P. Keller et A. L. Reesmann, J. ed Petrology, 33, 1963. p. 426-437.
7. P. E. White, Geothermics, 1, Spec. Iss., 2, 1970, p. 58-80.
8. R. E. Stoiber et W. I. Rose Jr. Geochim., Cosmochim Acta, 38. 1974, p. 495-516.
9. R. E. Stoiber et W. I. Rose Jr. Geol. Soc. Amer. Bull. 81, 1970. p. 2891-2912.
10. I. A. Menyailov, Bull Volcanol. 39-1. 1975. p. 112-125.
11. Iwasaki, T. Ozawa. M. Yoshida et M. Kamada, Bull Volcanol., 39-1, 1975. p. 91-103.
12. W. F. Giggenbach, Bull. Volcanol., 39-1. 1975. p. 70-81.
13. S Oana, Bull. Volcanol., 24, 1962. p. 49-51.
14. I. Iwasaki, M. Hirayama, T. Katsura, I. Ozawa, M. Kamada et H. Matsumoto, Bull Volcanol. 27, 1964. p. 65-78.