

TEMAS 8

INVESTIGACION
y
CIENCIA

Edición española de **SCIENTIFIC AMERICAN**

Volcanes



Sumario



El Vesubio 2
Roberto Scandone y Massimo Cortini

Río de barro 13

El Etna 14
Letterio Villari

La erupción de Krakatoa 20
Peter Francis y Stephen Self

Las erupciones del monte Santa Elena 32
Robert Decker y Barbara Decker

Dinámica del volcán Kilauea 46
John J. Dvorak, Carl Johnson y Robert I. Tilling

Caliente, caliente 54

Calderas volcánicas gigantes 56
Peter Francis

Hielo y fuego. Una erupción volcánica bajo un glaciar 67

Hundimiento de los volcanes 69
Peter Francis y Stephen Self

Volcanes submarinos 77
Roger Hékinian

Fuentes termales del fondo del océano 86
John M. Edmond y Karen Von Damm

Riesgo volcánico 100
Juan Carlos Carracedo

El Vesubio

Roberto Scandone y Massimo Cortini

A pesar del medio siglo que dura su actual reposo, el Vesubio sigue siendo un volcán con peligro

Plinio el Joven describió a Tácito los sucesos dramáticos de agosto del 79 d.C. que provocaron la destrucción de las ciudades de Pompeya, Herculano, Stabia y Oplontis, y la muerte de su tío, el célebre naturalista Plinio el Viejo, con las siguientes palabras:

“La nube se elevaba, no se sabía con certeza de qué monte, visto desde tan lejos, aunque luego se supo que era el Vesubio. Su forma era más parecida a la de un pino que a la de ningún otro árbol, pues ascendía como un enorme

tronco y luego se desparramaba como si fuesen ramas, lo que, en mi opinión, se debería a que disminuyese el fuerte viento que la había hecho ascender o a la influencia de su propio peso. A ratos relucía de un blanco immaculado, mientras que en otros parecía sucia y salpicada de manchas, dependiendo de la cantidad de ceniza y de tierra que hubiese levantado consigo. [...] Las cenizas caían ya sobre las naves, más calientes y más espesas a medida que se acercaban; caían también trozos de piedra pómez, y piedras

ennegrecidas, quemadas y partidas por el fuego; de pronto aparecieron escollos, resultado del derrumbe del monte, que impedían alcanzar la orilla. [...] Frecuentes y violentos terremotos sacudían las casas, haciéndolas ir de acá para allá, como si estuviesen desprendidas de sus cimientos.”

El relato es dramático, pero muy preciso, y puede ser considerado como el primer documento de la vulcanología moderna. Las erupciones que presentan características similares a la descrita reciben el apelativo de plinia-



1. ESQUEMA TRIDIMENSIONAL que representa el complejo Somma-Vesubio y los principales centros históricos de la zona.

Toda la zona costera situada entre Nápoles y Castellammare di Stabia está ahora urbanizada.



2. FOTOGRAFIA OBTENIDA durante una fase explosiva de la erupción de 1872, que cerraba uno de los numerosos ciclos de actividad histórica del Vesubio. En esa ocasión la pluma volcánica alcanzó una altura de al menos cinco kilómetros y fue empujada hacia el este por los vientos reinantes. Las

columnas de vapor que se ve expandirse en su base se deben o bien a una colada de lava, o al fenómeno que ahora se denomina onda de choque. La imagen está extraída del volumen *Giorgio Sommer, fotografo a Napoli* de la editorial Electra Editrice.

nas, en honor de los dos Plinios. Se trata de erupciones explosivas de excepcional violencia, en las que se arrojan materiales piroclásticos (piedra pómez, bombas volcánicas, lapilli y cenizas), que puede llegar hasta decenas de kilómetros de distancia y cubrir zonas de centenares de kilómetros cuadrados.

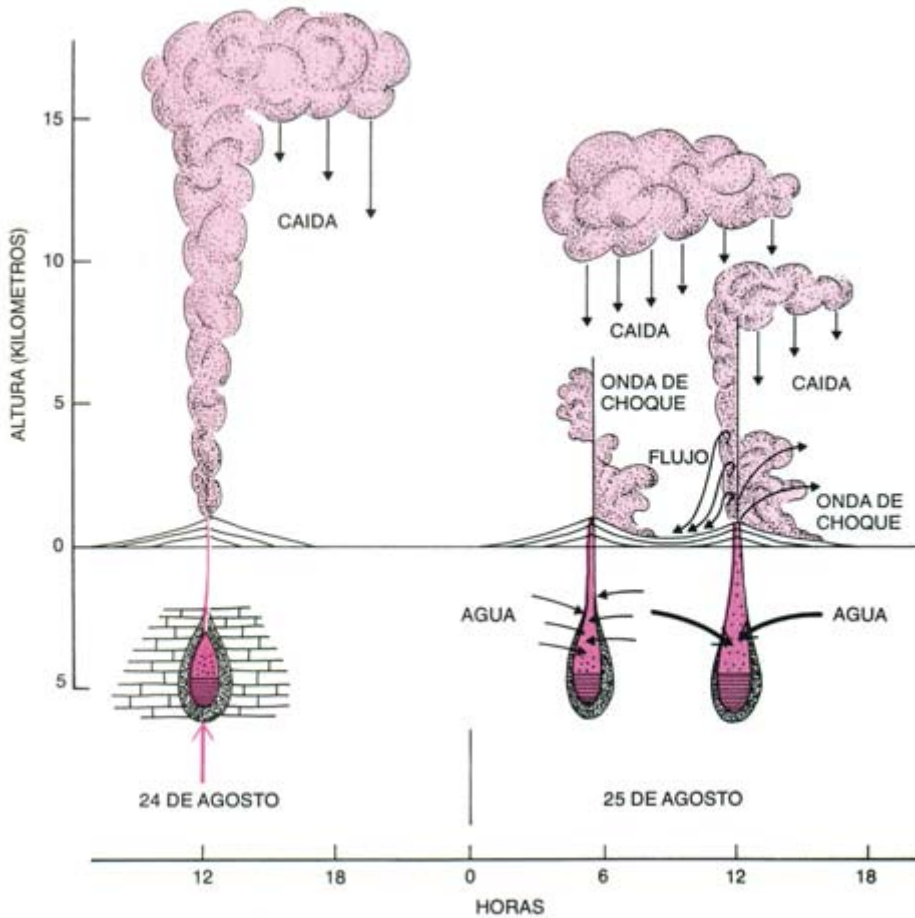
Estas erupciones son las más violentas y peligrosas que pueda tener un volcán como el Vesubio, aunque no se hayan repetido tras la relatada. Las sucesivas erupciones conocidas en los tiempos históricos han sido de diferente naturaleza y de efectos menos catastróficos. En este artículo vamos a describir los fenómenos que ocurren durante las erupciones plinianas del

Vesubio y sus causas; nos ocuparemos también de las erupciones recientes y de los mecanismos que las determinaron. Daremos, en fin, una valoración de los riesgos asociados a los varios tipos de actividad volcánica del Vesubio.

Las erupciones plinianas

En los últimos 25.000 años el Vesubio ha sufrido al menos siete erupciones plinianas; a todas ellas les siguieron períodos de actividad menos explosiva, durante los que probablemente el volcán expulsó lava, y por otros períodos de reposo. La duración de estos últimos es del orden de siglos. Los materiales expulsados durante la

última erupción pliniana, la de 79 d.C., se pueden estudiar con detalle en Pompeya, Herculano y Oplontis. Los materiales situados en la base del afloramiento de Pompeya (los expulsados primero) se componen fundamentalmente de piedra pómez. Es ésta una roca volcánica de poca densidad, llena de huecos, derivada de un magma que contiene mucho gas y se enfría rápidamente. Podría comparársela a espuma de leche en ebullición que se congelase instantáneamente. Mezclados con ella se encuentran fragmentos de otras rocas de naturaleza diversa, transportados por el magma durante la explosión. Capas finas de cenizas volcánicas se hallan depositadas sobre la piedra pómez. La



3. ESQUEMA DE LA ERUPCION pliniana del año 79, elaborado por M. P. Sheridan y sus colaboradores. En la primera fase hay emisión de piedra pómez por la ascensión del magma profundo y por la fracturación del conducto. Después de la disminución ocasional de la presión del gas en el conducto, la columna de piedra pómez se desplomó, dando origen a un flujo piroclástico. Hacia las seis de la mañana siguiente hubo una fuerte disminución de la actividad, debida al vaciamiento parcial de la cámara magmática. Las primeras infiltraciones de agua en la cámara produjeron explosiones freatomagmáticas. Durante la fase final el agua penetró abundantemente en la cámara magmática y resultó inmediatamente vaporizada, provocando la elevación del suelo. En seguida se produjo una explosión violentísima, acompañada de un fuerte terremoto y de ondas de choque, flujos piroclásticos y coladas de barro. Esta fase fue la que provocó el mayor número de víctimas en Pompeya.

mayor parte de los cadáveres hallados en Pompeya se encontró en el más bajo de estos niveles. Los productos piroclásticos de esta erupción se distribuyen por un área de forma casi elíptica, situada al sudeste del Vesubio, que tiene una extensión de centenares de kilómetros cuadrados. La dirección de

los vientos estratosféricos fue la responsable de tal dispersión, pues se ha calculado que la gigantesca nube de gas y de polvo de piedra pómez tuvo que alcanzar los 17.000 metros de altura.

Los residuos que forman la base en Herculano son niveles de cenizas como

los de Pompeya, seguidos por depósitos desordenados de piedra pómez, mezclada con cenizas y con fragmentos de otras rocas, y cubierto todo ello por una colada de barro de más de diez metros de espesor.

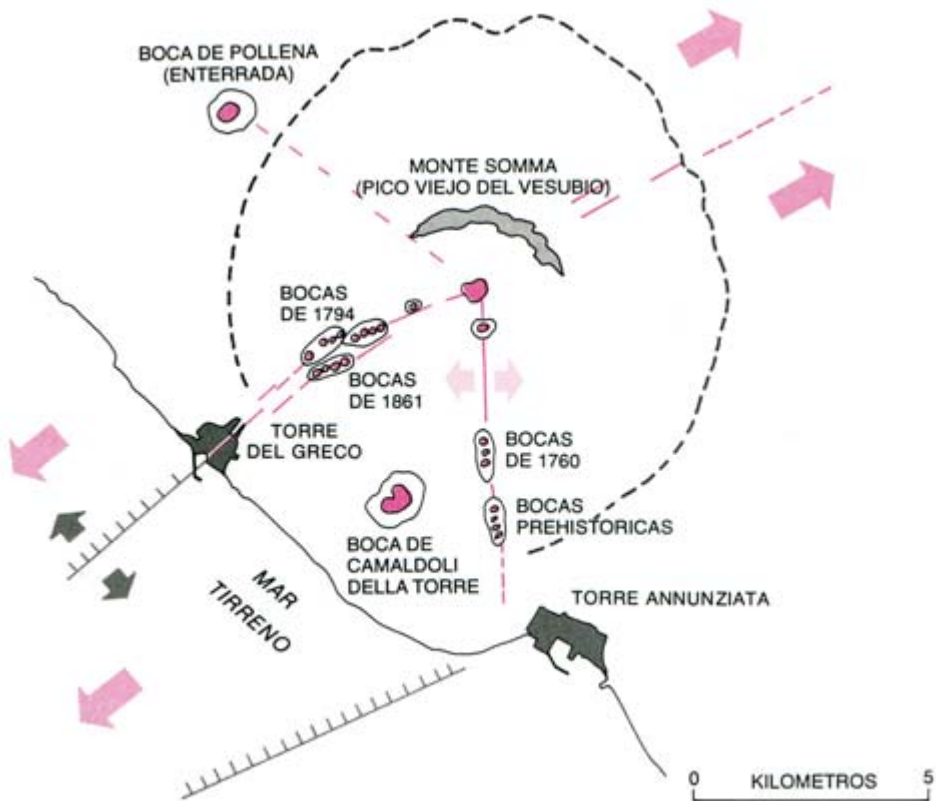
La composición química de la piedra pómez y de las cenizas producidas en estas erupciones es fonolítica y es diferente de la de otras lavas, como pueden ser las lanzadas entre 1631 y 1944 (tefritas leucíticas). Los magmas de las primeras tienen más sílice y elementos alcalinos (sodio, potasio) y menor proporción de calcio y de magnesio. La mayoría de los investigadores explica esta diferencia mediante un modelo en el que la diferenciación de los magmas de las erupciones plinianas se realiza a baja presión. En otras palabras, mientras que la emisión de las lavas es rápida, el magma de las erupciones plinianas se mantiene estacionado a varios kilómetros de profundidad durante cientos de años, enfriándose lentamente hasta alcanzar una temperatura de unos 850 grados centígrados. Al lugar donde el magma se encuentra retenido se le denomina cámara magmática.

Cuando el magma se encuentra a



4. ESTA PIROXENITA, arrojada por el Vesubio en 1944, está formada por dos rocas diferentes soldadas entre sí. La más oscura se compone esencialmente de piroxeno y biotita (mica negra); la de color más claro, de piroxeno y olivino. Rocas de este tipo han sido arrojadas durante las fases explosivas de varias erupciones y suministran indicaciones muy útiles sobre la profundidad de la que provienen los magmas.

5. ESQUEMA ESTRUCTURAL del Vesubio. Las líneas continuas de color indican las fracturas del edificio volcánico; allí donde las líneas son de trazos, las fracturas son coledidas. En la misma tonalidad de color están representadas las principales bocas de emisión, históricas y prehistóricas. Las grandes flechas de color representan los esfuerzos de distensión que actúan sobre las fracturas principales; las más pequeñas y de color más claro indican los esfuerzos locales. El movimiento en dirección sudoeste del bloque limitado por tales fracturas es probablemente el responsable de la actividad histórica del volcán. Las líneas de fractura identificadas en el mar con métodos sísmicos de reflexión están indicadas en gris; los "peines" muestran las partes sumergidas.



poca profundidad, formando una cámara, el enfriamiento provoca la cristalización. Los minerales que se forman (piroxenos, es decir, silicatos de aluminio, hierro y magnesio) son más pesados y se van depositando lentamente en el fondo de la cámara; también tienen mayor abundancia de calcio y de magnesio y menor de silicio y de elementos alcalinos. Esta es la causa de que vaya cambiando lentamente la composición química del residuo y de que disminuyan en él tales elementos químicos. Investigadores de la Universidad de Pisa han calculado que tiene que cristalizar cerca del 70 por ciento del magma inicial para que la composición química del remanente, que en su origen es como la de la lava, se parezca a la de la piedra pómez de la erupción del año 79.

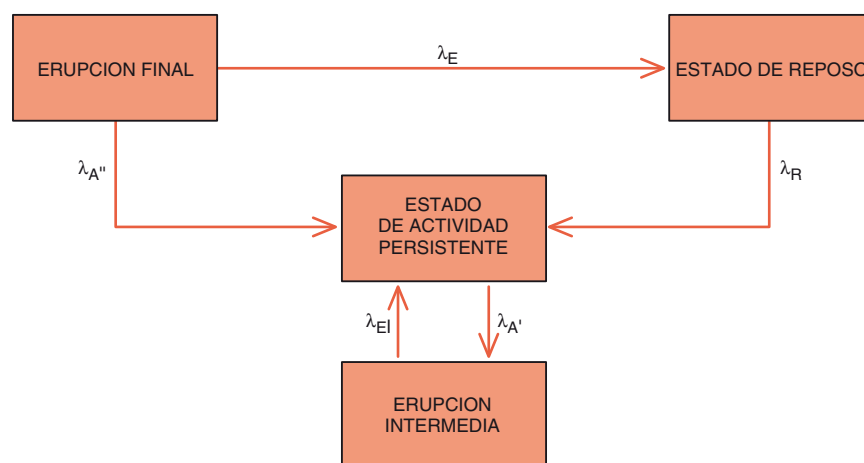
Al conocerse el volumen de los materiales expulsados, se ha podido calcular el de la cámara magmática, que debió estar comprendido entre 2 y 2,5 kilómetros cúbicos. Otros datos mineralógicos permiten establecer que tuvo que encontrarse a una profundidad de entre tres y cinco kilómetros. La temperatura de la piedra pómez lanzada debió estar en torno a los 850 °C. Con todos estos datos y conociendo la conductividad térmica de las rocas, se ha calculado que el período de tiempo necesario para que la cámara magmática pasara de la temperatura inicial, entre 1200 y 1100 °C, a la de erupción tuvo que ser de unos 700 u 800 años, espacio de tiempo cuya magnitud concuerda con el período de reposo que precedió a la erupción del año 79.

Entre los varios tipos de rocas que constituyen los materiales expulsados en las erupciones plinianas están las llamadas piroxenitas, constituidas principalmente de piroxeno, aunque también contengan otros minerales en

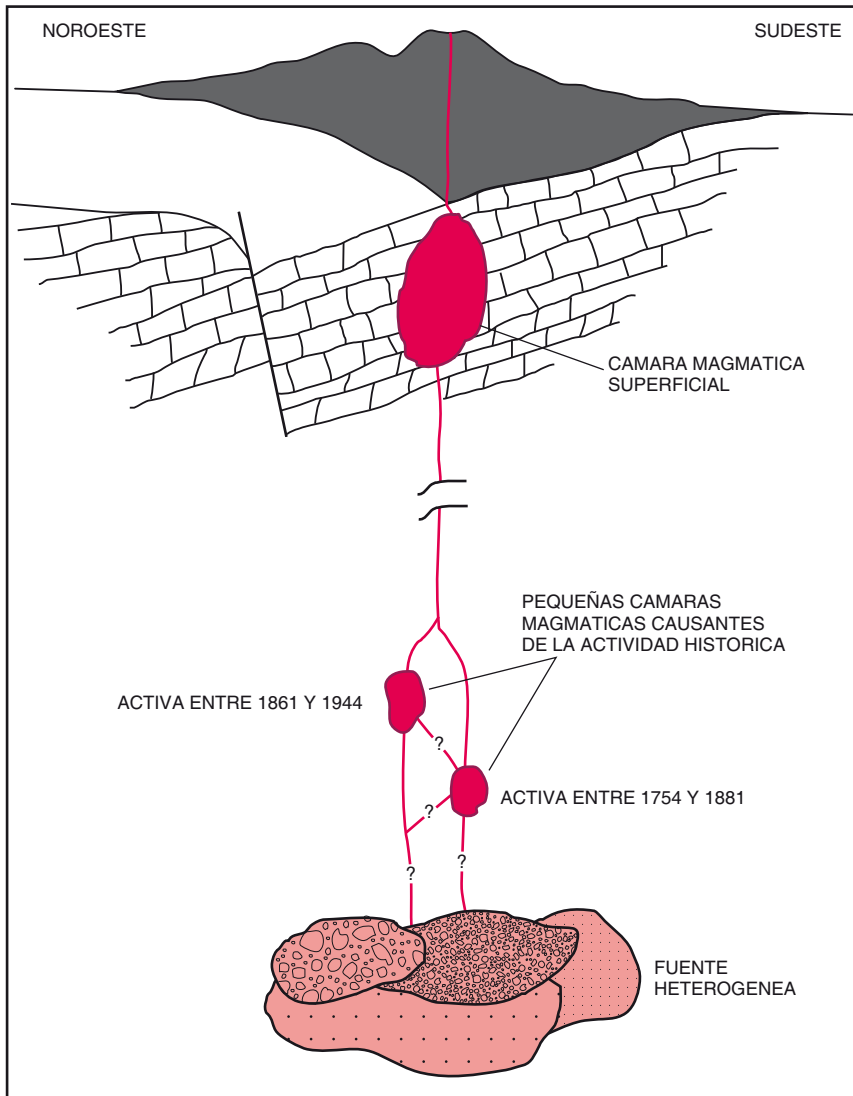
menores proporciones. Su importancia es grande a la hora de comprender el origen de los magmas y los mecanismos que provocan las erupciones plinianas. De hecho, entre los cristales de piroxeno se encuentra líquido enfriado muy rápidamente (vidrio volcánico), mientras que faltan los minerales que se forman a una profundidad de varios kilómetros (plagioclasa, leucita). Estas características, entre otras, indican que tales rocas se formaron a gran profundidad (varias decenas de kilómetros) y luego fueron expulsadas

rápidamente, sin estacionarse a poca profundidad. Este hecho implica que incluso en las erupciones plinianas hay aporte desde las profundidades de magma nuevo y más caliente, que se mezcla con el ya evolucionado que se encuentra en la cámara. Estos sucesos provocan desequilibrios que puede originar la erupción.

Tratemos por tanto de reconstruir los acontecimientos que provocaron la destrucción de las ciudades de Pompeya, Herculano, Stabia y Oplontis el año 79, basándonos en las cartas de



6. ESQUEMA DE BLOQUES de la actividad del Vesubio entre 1694 y 1944. Se puede describir a través de ciclos caracterizados por los estados de equilibrio indicados en los rectángulos. Las transiciones permitidas son sólo las indicadas por las flechas. Los parámetros λ reflejan la probabilidad de transición de un estado al otro.

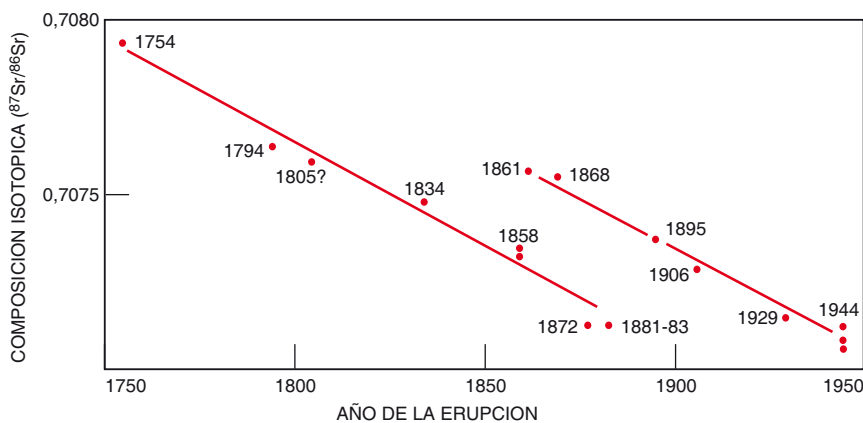


7. DISEÑO HIPOTETICO de la sección del Vesubio. Las cámaras magmáticas se encuentran a profundidad desconocida, pero que —al menos en lo que se refiere a las dos más pequeñas— se estima en torno a varias decenas de kilómetros. La profundidad, la estructura y las dimensiones de la fuente también se desconocen; es casi seguro que se encuentra en el manto superior. La cámara magmática de la superficie, que está insertada entre rocas calcáreas, es la de las erupciones plinianas. Las dos cámaras más pequeñas han originado la actividad histórica y han estado activas simultáneamente entre 1861 y 1881. Es probable que pequeñas cámaras magmáticas de este tipo hayan existido durante toda la historia del Vesubio.

apoyo de los gases, se derrumba por los flancos del volcán y se producen avalanchas de materiales hacia el valle. Así es como resultó sepultada Herculano. Mientras tanto, en Cabo Miseno, Plinio el Viejo decide observar el fenómeno de cerca, manda preparar una nave e invita a su sobrino a acompañarle. Este se excusa diciendo que tiene que estudiar un libro; de este modo salva la vida y nos proporciona la descripción de los acontecimientos. Con el viento mistral a favor, Plinio el Viejo llega pronto a Herculano, pero no consigue atracar: un bajo fondo que antes no existía impide que la nave se acerque. Bajo la lluvia de cenizas y todavía con viento favorable pone rumbo a Stabia, a donde llega casi al anochecer. La piedra pómez continúa cayendo durante toda la noche y violentos terremotos sacuden las viviendas del golfo. Al amanecer ya se han depositado varios metros de piedra pómez, pero parece haberse detenido su caída, aunque las sacudidas continúan. Los habitantes de Pompeya habían huido de la ciudad durante la primera fase de la erupción; algunos, sin embargo, aprovechando la aparente calma y caminando sobre la pómez, vuelven a ella para tratar de salvar algo de sus pertenencias. Mientras, el agua de la capa freática

Plinio el Joven y en los conocimientos científicos actuales. Es el 24 de agosto y la tierra hace ya varios días que tiembla; los habitantes de la zona no están especialmente asustados, pues se han habituado a este fenómeno. Es probable que el magma que proviene de gran profundidad se haya mezclado ya en la cámara magmática y se

esté abriendo camino hacia la superficie, lo que causa los terremotos. Hacia las 13 horas puede verse desde Cabo Miseno una enorme pluma volcánica: se ha iniciado la fase paroxística de la erupción. Empiezan a caer en Pompeya las primeras lluvias de piedra pómez y de cenizas. De vez en cuando el penacho volcánico, sin el



8. VARIACIONES de la composición isotópica del estroncio en las lavas vesubianas depositadas en época histórica. Los tres puntos disponibles para la erupción de 1944 y los dos puntos obtenidos sobre la lava de 1858 dan una idea de la reproducibilidad de las medidas. El hecho de que las rectas trazadas sean dos sugiere la existencia de dos cámaras magmáticas. En tales cámaras es probable que se produzca la mezcla progresiva de dos magmas de diferente composición isotópica.