



FORO INTERNACIONAL PELIGROS GEOLÓGICOS

“Volcanes, sismos y movimientos
en masa”

LIBRO DE RESUMENES

COMITÉ EDITOR

Marco Rivera
Bilberto Zavala
Patricio Valderrama
Edu Taipe

ERUPCIÓN DEL VOLCÁN COPAHUE (ARGENTINA): EVOLUCIÓN, PRODUCTOS E IMPACTO SOCIAL Y AMBIENTAL

Alberto T. Caselli (1), María L. Vélez (2-4), Mariano Augusto (2), Pablo Forte (2), Juan M. Albite (2), Romina Daga (3-4)
1 :GESVA-Inst. de Invest. en Paleobiología y Geología. Universidad Nacional de Río Negro.

E-mail: atcaselli@unrn.edu.ar

2 GESVA-Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires

3 Laboratorio Analisis por Activación Neutronica (CAB-CNEA)

4 CONICET

INTRODUCCIÓN

El volcán Copahue ($37^{\circ}45'S$ - $71^{\circ}10.2'O$, 2977 msnm.), emplazado en el borde occidental de la Caldera de Caviahue, es un estratovolcán activo de composición principalmente andesítica basáltica que se localiza en la Zona Volcánica Sur (33.3° - 46° S) en el límite entre Argentina y Chile (Fig. 1). Presenta un registro de erupciones históricas de las cuales, las más recientes han sido en los años 1960, 1992, 1994, 1995 y 2000. El último ciclo eruptivo, que tuvo lugar en julio del 2000, involucró emisión de gases, ceniza, bombas volcánicas y fue considerado la actividad más importante en los últimos 60 años (Naranjo y Polanco, 2004). La erupción más reciente, ocurrida en diciembre de 2012, tiene semejanza con la

erupción del año 2000, aunque de corta duración y con la emisión de mucho menor volumen de material.

El volcán Copahue permanecía desde el año 2004, o incluso antes, en continuo proceso de desgasificación. Desde el año 2004 se realizan estudios de sismología, deformación superficial y geoquímica de fluidos (gases y aguas termales) con la finalidad de caracterizar el sistema volcánico (Ibáñez et al. 2008; Caselli et al. 2009; Velez et al. 2011; Augusto et al. 2012, 2013; entre otros). Estas investigaciones han permitido detectar procesos de desgasificación de la cámara magmática asociados al enfriamiento del sistema magmático, a partir de cambios químicos de gases y aguas, sismicidad en la periferia del volcán y a procesos superficiales deflacionarios (Caselli et al. 2009; Vélez et al. 2011).

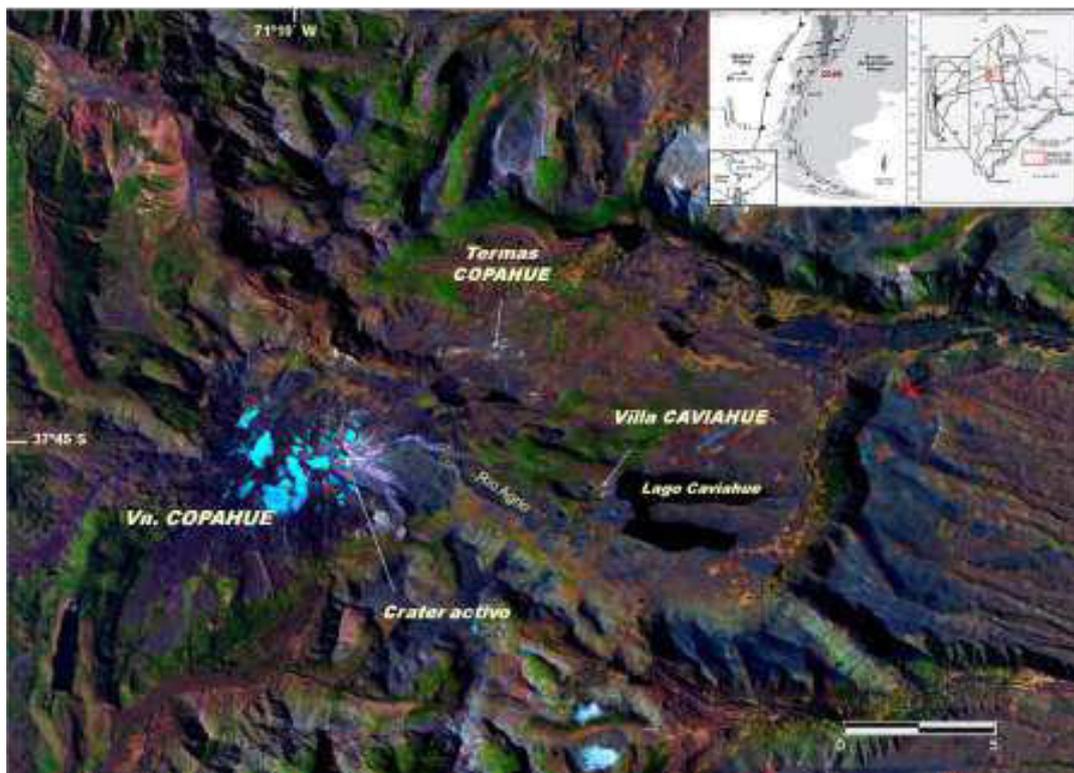


Figura 1: Mapa de ubicación indicando la localización de las Villa Caviahue y Termas Copahue

Con posterioridad al terremoto del Maule, ocurrido en Chile el 27/2/10 (Mw8.8), se detectaron cambios significativos en la actividad sísmica del volcán Copahue, con incremento de señales de alta y baja frecuencia (VT, LP, Tremores). Pero recién a fines del año 2011 se observó una serie de parámetros anómalos en el comportamiento del volcán (aumento del flujo gaseoso del cráter, aumento de temperatura en la laguna cratérica y manantiales que emergen del volcán, y un proceso de inflación acelerada del edificio volcánico (Caselli et al. 2012), con el desencadenamiento de una erupción freática ocurrida en el mes de julio de 2012 y una erupción freatomagmática-magmática en diciembre de 2012. En el presente trabajo se describen las características principales de la actividad eruptiva del volcán Copahue del año 2012, sobre la base de observaciones de campo y de distintas técnicas geofísicas-geodésicas y geoquímicas. Además se describen las características de los productos emitidos y el impacto en la comunidad, en especial a partir de la crisis sísmica vivida en mayo de 2013 donde fue necesario evacuar a la población.

LA ERUPCIÓN DEL AÑO 2012

Primer pulso - manifestación freática: A partir del 09/07/2012 comienza a observarse un aumento de actividad sísmica con eventos volcano-tectónicos (VT) y Largo Periodos (LP) y tremores de baja frecuencia (datos proporcionados por el Instituto Nacional de Prevención Sísmica - INPRES). Durante este periodo se registró un marcado descenso del nivel de agua de la laguna cratérica. Asociado a este proceso se registra un intenso burbujeo (1-2 m de altura) en el sector SO de la laguna del cráter (figura 2 a y b), observados a intervalos de 1 a 3 minutos, desprendiendo importantes plumas verticales de vapor y gas que alcanzan los 200-300 m de altura.

Un evento extraordinario (17/07/2012) semejante a una manifestación freática de pequeña escala, arrojó agua, gas y lodo del fondo del lago, elevándose aproximadamente a más de 10 m de altura (figura 2 c). El colapso sobre la superficie del lago genera una oleada basal pequeña en forma radial.

El 19/07/2012, en medio de una tormenta, ocurrió una erupción freática (freatomagmática?) con emisión de material piroclástico, generando una pequeña pluma, de aproximadamente 18 km de longitud, que luego se orientó en dirección E-SE. Escasos bloques, de hasta 20 cm de diámetro, la mayoría con indicios de azufre fundido y enfriado (figura 2 d), fueron arrojados alrededor del cráter junto a material tamaño ceniza gruesa y lapilli. De acuerdo con las evidencias de azufre líquido en los bloques arrojados durante la manifestación de julio 2012, existirían altas concentraciones de estos compuestos en la boca del conducto, confirmando por primera vez la presencia de un "sulphur pool" en la boca del volcán. La muestra obtenida del evento eruptivo, en el borde del cráter, está compuesta principalmente por partículas de azufre, y en menor proporción por trizas vítreas, escorias muy vesiculadas y

poco vesiculadas, fragmentos irregulares 'arcillosos' de color blanco, fragmentos accesorios y/o accidentales. Las partículas más abundantes en la muestra corresponden a las partículas de azufre (90%), de coloración gris-verdosa, morfología globular, con presencia de vesículas en su interior. Posteriormente a estos eventos, el lago cratérico continuó con altos valores de temperatura del agua (60°C en la costa), altos valores de acidez (pH<0) y de conductividades extremadamente altos.

Segundo pulso - erupción freatomagmática – magmática: la actividad fumarólica y las masas de lodo burbujeantes en forma cíclica en el lago cratérico continuaron en forma continua desde julio hasta diciembre de 2012. La superficie del lago por momentos permanece completamente oculta por las nubes de gas y vapor, que producen un intenso olor a azufre y rápida irritación de vías respiratorias y ojos. El nivel del lago fue descendiendo paulatinamente y fueron observadas esférulas de azufre flotando sobre la superficie del lago (figura 2a), que luego se depositaba sobre la costa.

El inicio de la erupción se produce el día 22 de diciembre a las 9:05 hrs con la emisión de una columna de vapor, color blanca, que alcanzó aproximadamente 800 m de altura, recostada hacia el SE por efecto del viento. Minutos después, esta columna de vapor adquiere una coloración blanca amarillenta. Las primeras columnas fueron producto de la manifestación freática con la que se inicia el proceso eruptivo, ocasionando la violenta evaporación del lago cratérico y el sistema hidrotermal somero del edificio volcánico. A las 9:48 horas se comienza a observar la formación de una columna de color gris oscuro, vertical, con la eyección de material incandescente con trayectoria balística formando un "cock's tail jet". Este fue el inicio de un proceso de interacción agua-magma correspondiente a una etapa o fase freatomagmática. A partir de este momento se comienza a observar una columna eruptiva moderadamente convectiva, de color gris oscuro y blanco, conteniendo material piroclástico que alcanzó una altura aproximada de 5500 m (figura 3a). Posteriormente, la columna pasa a ser totalmente de color gris oscuro y con material piroclástico incandescente que es emitido con trayectoria balística desde la misma columna (figura 3b). El material piroclástico que viajaba en la pluma se depositó por gravedad en el flanco SE del volcán, con tamaños que varían de ceniza gruesa a lapilli grueso y bombas escoriadas, muy vesiculadas y livianas. Fueron observados varios flujos piroclásticos diluidos (pyroclastic surge) descendiendo del cráter por el vertedero (sector topográfico más bajo del borde del cráter) y fluyendo por el valle del río Agrío. A las 3:30 horas comienza a observarse la emisión de nubes gris oscuras convectivas e incandescentes con continua emisión de piroclastos desde la boca del cráter (figura 3c). Estas nubes incandescentes corresponderían a una mezcla de material piroclástico incandescente y gases encendidos, favorecidos por la presencia de oxígeno atmosférico. Este fenómeno se produciría por la ausencia de agua, e indicaría la transición del estilo eruptivo hidromagmático a uno de características magmáticas, de tipo vulcaniano. Por la noche se observó la

proyección balística de material juvenil incandescente (figura 3d), que dejó gran cantidad de cráteres de impacto a una distancia de hasta 1 kilómetro.

Al ascender al cráter, días después a la erupción, se observó una gran cantidad de piroclastos escoriáceos, bloques y bombas de diversos tamaños, reconociendo un gran número de cráteres de impacto. Un rasgo peculiar es la presencia de bloques de rocas del conducto con glóbulos de azufre.

Algunos de estos fragmentos presentaban piroclastos juveniles adheridos, indicando que el azufre estaría en estado plástico durante la caída. En el interior del cráter se confirmó la desaparición de la laguna cratérica dejando expuesto grandes cráteres de explosión en su lugar, por donde surgen las densas emisiones fumarólicas. Tanto el interior del cráter como el borde oriental del mismo presentan fracturas con emisiones fumarólicas y depósitos de azufre, con temperaturas que oscilaban entre 180°-220°C y 420°C en el piso del cráter.

Las bombas volcánicas son moderadamente vesiculadas, de color negro con textura porfírica. Al microscopio presenta textura hialopilitica, y los fenocristales (25%) observados son de plagioclasa, clinopiroxeno y olivino. Las plagioclasas halladas son de dos generaciones, unas limpias y otras plagioclasas que se encuentran cribadas. Los fragmentos pumíceos son altamente vesiculados (>50%). Bajo el microscopio presenta textura porfírica con 1% de fenocristales, compuestos por plagioclasa y clinopiroxeno. La composición química de estas rocas corresponde al campo de las andesitas basálticas- traquiandesita basáltica (53,87-54,71 % SiO₂). De acuerdo a las observaciones de campo, los fragmentos pumíceos color castaño han sido emitidos desde la columna eruptiva mientras que las bombas corresponden a proyección balística desde el cráter. Teniendo en cuenta la composición similar, se puede inferir un magma de composición andesítica basáltica y los fragmentos pumíceos que corresponden a una fase inicial, vesiculada, acumulada en la parte superior del conducto.

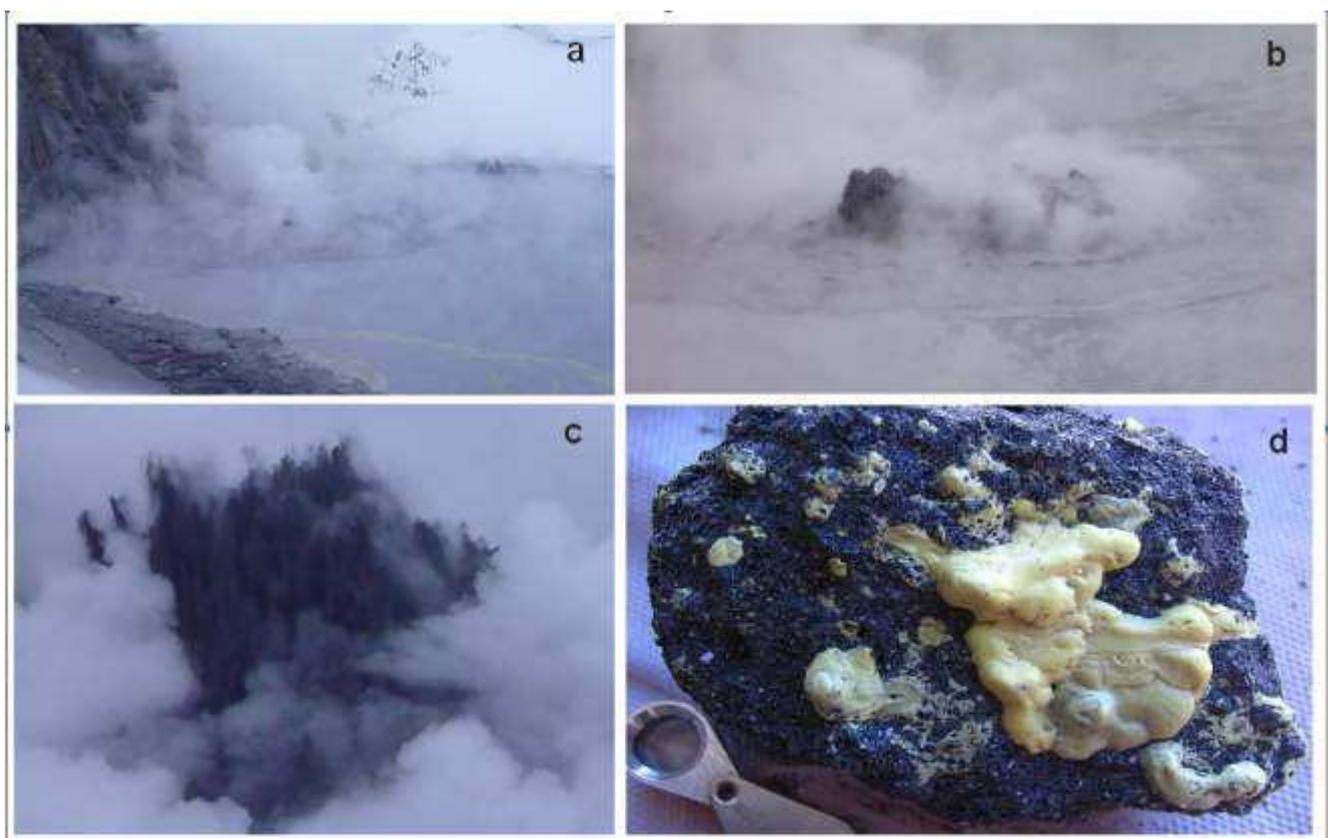


Figura 2: (a) masas de lodo, agua y gases burbujeantes y además se observa esférulas de azufre flotando sobre la superficie del lago; (b) detalle de fotografía "2 a", (c) manifestación freática de pequeña escala, que arroja una mezcla de gases-tefra-sedimentos a gran presión sobre la superficie del lago a más de 10 m de altura; (d) bloques con indicios de azufre fundido enfriado



Figura 3: Fotografías obtenidas por Nicolás Elguero donde se observa: (a) columna eruptiva moderadamente convectiva del 22/12/12; (b) material piroclástico (pumiceo) incandescente que es emitido con trayectoria balística desde la columna eruptiva; (c) explosiones con nubes incandescentes convectivas con emisión de piroclastos por proyección balística de bombas desde la boca del cráter; (d) erupción con emisión de bombas incandescentes

Algunos de estos fragmentos presentaban piroclastos juveniles adheridos, indicando que el azufre estaría en estado plástico durante la caída. En el interior del cráter se confirmó la desaparición de la laguna cratérica dejando expuesto grandes cráteres de explosión en su lugar, por donde surgen las densas emisiones fumarólicas. Tanto el interior del cráter como el borde oriental del mismo presentan fracturas con emisiones fumarólicas y depósitos de azufre, con temperaturas que oscilaban entre 180°-220°C y 420°C en el piso del cráter.

Las bombas volcánicas son moderadamente vesiculadas, de color negro con textura porfírica. Al microscopio presenta textura hialopilitica, y los fenocristales (25%) observados son de plagioclasa, clinopiroxeno y olivino. Las plagioclasas halladas son de dos generaciones, unas limpias y otras plagioclasas que se encuentran cribadas. Los fragmentos pumiceos son altamente vesiculados (>50%). Bajo el microscopio presenta textura porfírica con 1% de fenocristales, compuestos por plagioclasa y clinopiroxeno. La composición química de estas rocas corresponde al campo de las andesitas basálticas- traquiandesita basáltica (53,87-54,71 % SiO₂). De acuerdo a las observaciones de campo, los fragmentos pumiceos color castaño han sido emitidos desde la columna eruptiva mientras que las bombas corresponden a proyección balística desde el cráter. Teniendo en cuenta la composición similar, se puede inferir un magma de composición andesítica basáltica y los

fragmentos pumíceos que corresponden a una fase inicial, vesiculada, acumulada en la parte superior del conducto.

IMPACTO EN LA COMUNIDAD

Las localidades de Caviahue y Copahue basan su economía principalmente en la actividad turística (explotando fundamentalmente deportes de invierno sobre el flanco del volcán y aguas termales), con algunos pobladores transitorios (de comunidades originarias) que por medio de la trashumancia traen ganado durante el verano a la región.

A partir de los cambios observados en diciembre 2011, y sugerido por nosotros desde la universidad pública, el gobierno municipal comenzó a trabajar en un plan de contingencia. El primer pulso de julio 2012 ocurrió durante la temporada invernal y se realizó desde la Universidad un seguimiento de la actividad volcánica sin alterar el normal desarrollo de la comunidad (no monitoreo). La actividad sísmica sentida continuó, así como los fuertes olores de azufre sobre la localidad, pero la erupción del 22 de diciembre no ha tenido señales precursoras, habiendo en dicho periodo previo, una baja tasa de actividad sísmica. Por la dirección de los vientos solo dio lugar a la evacuación precautoria de los habitantes transitorios de las comunidades originarias al SE del volcán, siguiendo normalmente la actividad en las localidades de Caviahue y

Copahue donde no hubo caída de piroclastos. Durante el verano, visitantes se acercaron para observar el volcán.

La actividad sísmica continuó en aumento hasta mayo 2013, asociada a explosiones o exhalación periódicas. Un aumento de la actividad sísmica, que según el Observatorio Vulcanológico de los Andes del Sur, alcanzó los 700 eventos por hora, obligó a la evacuación total de las poblaciones (27/05/13) por presentar la posibilidad de tratarse de un evento más explosivo. Según el Observatorio, podíamos estar en presencia de la intrusión de un domo de lava, y la posibilidad de flujos piroclásticos densos que ocurrían, según algunos investigadores, cada 500 años. La evacuación de la Villa se mantuvo por el lapso de ocho días, hasta que la crisis sísmica mermó. La actividad turística invernal se desarrolló con normalidad, con un 80% de ocupación, a partir de la situación del volcán. Sin lugar a dudas, la resolución de evacuar a la Villa, a pesar que no hubo erupción, resultó una acción de confianza de la comunidad hacia los científicos, notándose una relativa falta de confianza a las autoridades.

La actividad continúa en aumento, con pulsos de emisión de material alrededor del cráter acompañados de la visualización nocturna de resplandor en la cumbre. Observaciones visuales del cráter muestran la presencia de bocas con emisión de flamas rojizas por combustión de gases volcánicos. Actualmente, el gobierno de la Provincia de Neuquén (Argentina) está firmando un convenio con la Universidad Nacional de Río Negro para el asesoramiento, creación y gestión de un Observatorio Vulcanológico del Neuquén (OVNEU), con la finalidad de monitorear en tiempo real los volcanes andinos de la provincia.

CARACTERÍSTICAS DE LA ERUPCIÓN Y CONCLUSIONES

Las investigaciones realizadas en el volcán Copahue entre los años 2004 y 2008 (Caselli et al. 2009; Ibañez et al 2009; Vélez et al. 2011; Agosto et al 2012, 2013) son las que permitieron determinar relaciones entre la sismicidad, las variaciones geoquímicas y la deformación. Estas ofrecieron una base para comprender el comportamiento durante la fase de reposo, post eruptiva del año 2000, y la posible detección de condiciones anómalas en el futuro. Evidencias de cambios o perturbaciones del sistema fueron observadas a partir de diciembre de 2011, cuando se percibió: (i) mayor registro de actividad sísmica, (ii) cambios en el flujo de las emisiones (gas y vapor) de la laguna cratérica, (iii) aumentos de temperatura, (iv) aumento de la concentración de sales en la laguna cratérica y (v) cambios en la polaridad de la deformación (Caselli et al. 2012).

El proceso eruptivo del volcán Copahue comienza en el mes de julio con un primer pulso que dio lugar a las explosiones freáticas del día 19/07/12, expulsando material del fondo de la laguna cratérica y conducto. Sin lugar a dudas, el de

mayor importancia e impacto ha sido el pulso que se produjo el 22/12/12 comenzando con una fase eruptiva freática, que gradó en pocos minutos a freatomagmática, para culminar a las pocas horas (20 aproximadamente) en una fase puramente magmática.

Dado el permanente proceso de desgasificación en la laguna del cráter entre julio y diciembre 2012, podemos suponer que durante el ascenso progresivo del magma se produjo una gran concentración de volátiles en el fundido, hacia la parte superior del conducto. El aumento del flujo térmico dio lugar a la fase eruptiva freática. El cuerpo magmático a alta temperatura en interacción con las aguas superficiales dio lugar a una fase eruptiva freatomagmática generando material piroclástico relacionado con la fragmentación hidromagmática. Al agotarse el agua del sistema, transicionalmente derivó en un estilo eruptivo netamente magmático tipo vulcaniano.

En el futuro cercano se intentará determinar las posibles causas de esta reactivación. En este sentido, con posterioridad al terremoto ocurrido en Maule (Chile) el 27/2/10 (Mw8.8), varios volcanes activos entraron en fase eruptiva (el volcán Planchón-Peteroa con erupciones a partir de septiembre 2010 hasta 2012, Cordón Caulle en junio 2011 y Hudson en octubre 2011). Teniendo en cuenta la correlación hallada entre erupciones andesíticas y terremotos de magnitud elevada (Linde y Sacks 1998; Watt et al. 2009, entre otros), es de esperar que varios volcanes de la región comenzaran un período de actividad. La sismicidad local anómala registrada en el volcán Copahue y sus alrededores durante el año 2010 podrían ser el indicio que el terremoto del Maule también afectaría a este sistema volcánico. Walter y Amelung (2007) sugieren, a partir de modelización numérica, que los terremotos de gran magnitud inducen la expansión volumétrica en las zonas donde los volcanes están activos. La descompresión brusca de una cámara magmática y/o su sistema de alimentación inicia procesos que llevan a un aumento de la sobrepresión de magma, y en última instancia, pueden dar lugar a una erupción.

Referencias:

- Agusto M., Caselli A., Tassi F., Dos Santos Alfonso M., Vaselli O., 2012. Seguimiento geoquímico de las aguas ácidas del sistema volcánico Copahue – Río Agrio: Posible aplicación para la identificación de precursores eruptivos. *Rev As Geol Arg* 689(4):481–495.
- Agusto M., Tassi F., Caselli A., Vaselli O., Rouwet D., Capaccioni B., Caliro S., Chiodini G., Darrah T., 2013. Gas geochemistry of the magmatic-hydrothermal fluid reservoir in the Copahue-Caviahue Volcanic Complex (Argentina). *J Volcanol Geotherm Res*, 257: 44 – 56.
- Caselli A., Vélez M.L., Agusto M.R., Bengoa C.L., Euillades P.A., Ibañez J.M., 2009. Copahue volcano (Argentina): A relationship between ground deformation, seismic activity and geochemical changes. Ed. Bean, Braiden, Lockmer, Martini and O'Brien. *The Volume Project. Volcanoes: Understanding subsurface mass movement. Printed by Jaycee*, pp. 309-318.
- Caselli A., Agusto M., Capaccioni B., Tassi F., Chiodini G., Tardani D. 2012. Aumento térmico y composicional de las aguas cratélicas del Volcán Copahue registradas durante el año 2012 (Neuquen, Argentina). XIII Congreso Geológico Chileno. Antofagasta, 2012. Actas: 441-442.
- Ibañez J.M., Del Pezzo E., Bengoa C., Caselli A., Badi G., Almendros J., 2008. Volcanic tremor and local earthquakes at Copahue volcanic complex, Southern Andes, Argentina. *Journal of South American Earth Science* 174, 284-298.
- Linde A.T., Sacks L.S., 1998. Triggering of volcanic eruptions. *Nature* 395, 888-890.
- Naranjo y Polanco, 2004
- Velez M.L., Euillades P., Caselli A., Blanco M., Martínez Díaz J., 2011. Deformation of Copahue volcano: Inversion of InSAR data using a genetic algorithm. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 202 (1–2):117-126.
- Walter T.R., Amelung F., 2007 Volcanic eruptions following $M \geq 9$ megathrust earthquakes: Implications for the Sumatra-Andaman volcanoes. *Geology*, 35(6), 539–542
- Watt SF, Pyle DM, Mather TA. 2009. The influence of great earthquakes on volcanic eruption rate along the Chilean subduction zone. *Earth and Planetary Science Letters*, 277 (3): 399-407.