

EL VOLCÁN COPAHUE

Patricia Sruoga¹ y Vanesa Carolina Consoli²

1. CONICET - Servicio Geológico Minero Argentino, Buenos Aires. patysruoga@gmail.com
2. REPSOL-YPF vanesa.consoli@ypf.com

RESUMEN

El volcán Copahue, ubicado en el segmento central de la Zona Volcánica Sur (ZVS), forma parte de un complejo volcano-tectónico desarrollado bajo un régimen transtensional en el extremo norte de la Zona de Falla Liquiñe-Ofqui. Representa el exponente más reciente de un volcanismo persistente y químicamente homogéneo desde tiempos miocenos. Durante su evolución se distinguen etapas pre, sin y post-glacial, además de la actividad precursora. El registro histórico abarca 12 erupciones en los últimos 250 años, incluyendo explosiones freáticas y freatomagmáticas. La última erupción ocurrió en el año 2000. El desarrollo creciente de las localidades de Caviahue y Copahue impone la necesidad de continuar con los estudios de base y monitoreo con el fin de contribuir a la prevención del riesgo volcánico.

Palabras clave: Copahue, volcán activo, Zona Volcánica Sur, evolución

ABSTRACT

The Copahue volcano - Copahue volcano, located in the South Volcanic Zone (SVZ) belongs to a transtension dominated volcano-tectonic complex at the northern Liquiñe-Ofqui Fault Zone. It represents the most recent of a persistent and homogeneous volcanic activity since miocene times. During Copahue evolution, prior volcanism and pre-, sin- and postglacial stages may be distinguished. The historic record encompasses 12 events during the last 250 years, including phreatic and phreatomagmatic explosive eruptions. The last one occurred in 2000. Due to the increasing development of Caviahue and Copahue towns, it is very important to continue studying and monitoring this volcano in order to prevent the volcanic risk.

Key words: Copahue, active volcano, South Volcanic Zone, evolution

INTRODUCCIÓN

El volcán Copahue (2.977 m s.n.m.) se encuentra situado en los Andes del Sur (37° 51' 21,28" S, 71° 09' 38,80" O) a una distancia de 360 km de la ciudad de Zapala (Argentina) y 380 km de Temuco (Chile). La localidad de Caviahue, ubicada a 9,5 km del volcán y a orillas del lago homónimo (Fig. 1), constituye la zona mayormente amenazada por los diferentes productos volcánicos tal como se ha puesto de manifiesto en las últimas erupciones de 1992, 1995 y 2000. Si bien la población estable es escasa, se incrementa significativamente durante la temporada invernal debido a la afluencia de turistas al centro de esquí. Del mismo modo, la localidad de Copahue, situada a sólo 17 km de Caviahue, atrae a gran cantidad de visitantes durante la temporada estival en procura de las aguas termales de origen volcánico.

Este volcán corresponde a la expresión reciente de una actividad volcánica persistente durante los últimos ~20 millones de años y muy homogénea en su composición química. Posee un nutrido registro de erupciones en tiempos históricos y se encuentra actualmente en estado fumarólico. Forma parte del un sistema volcano-tectónico desarrollado bajo un régimen transtensional, el cual abarca eventos dominados por derrames lávicos y emisiones piroclásticas fisurales y construcción de aparatos volcánicos de baja altura. En virtud de la discrepancia existente entre los resultados radimétricos disponibles, la ubicación cronoestratigráfica precisa de estos eventos y su interpretación constituyen tema de debate entre los distintos autores.

Los estudios previos son numerosos y han abordado distintos aspectos, a saber: la reconstrucción volcanológica y geoquímica del centro eruptivo (Niemeyer & Muñoz 1983; JICA 1992; Pesce 1989; Delpino & Bermúdez 1993; Mazzoni & Licitra 2000; Polanco, 2003; Sruoga & Consoli, 2004), el estudio geocronológico (Linares *et al.* 1999), la evaluación y zonificación de los peligros potenciales (Delpino & Bermúdez 1994, 1995), los eventos eruptivos recientes (Delpino & Bermúdez 1993, 2002; Bermúdez *et al.*, 2002; Naranjo & Polanco, 2004), el campo geotermal asociado (Mas *et al.* 1996; Martini *et al.* 1997; Varekamp *et al.* 2001), su geomorfología (González Díaz 2003, 2004) y el control estructural del volcanismo (Folguera & Ramos, 2000; Melnick *et al.* 2006; Rojas Vera *et al.* 2009). A partir del año 2004 el Grupo de Estudio y Seguimiento de Volcanes Activos de la Universidad de Buenos Aires lleva adelante un plan de monitoreo sísmico y geoquímico de aguas y gases con el fin de contribuir a la evaluación de su peligrosidad (Caselli & Vélez, este volumen).

Marco Geológico

El volcán Copahue forma parte del segmento central de la Zona Volcánica Sur (ZVS, Fig. 2) (Stern 2004), el cual se halla caracterizado por una corteza relativamente delgada (~45 km) y magmas de composición andesítica y andesítico-basáltica predominante (Hildreth & Moorbath 1988). Se halla situado a ~30 km al este del eje principal del arco volcánico actual y la persistencia en su actividad estaría obedeciendo a causas tectónicas ya que su ubicación coincide con el cruce de estructuras regionales mayores de alcance cortical (Melnick *et al.* 2006).



Figura 1: Vista del volcán Copahue desde la villa de Caviahue, a orillas del lago homónimo

A esta latitud el arco volcánico, vinculado a la subducción oblicua de la Placa de Nazca, se halla controlado por la Zona de Falla Liquiñe-Ofqui (ZFLO) en su extremo norte. Esta megaestructura comprende un sistema de fallas de rumbo con orientación N-S a NNE-SSO que se extiende por ~ 1200 km, a lo largo del cual se reconocen variaciones morfológicas y cinemáticas (Lavenu & Cembrano, 1999). Por una parte, el segmento sur ($39^{\circ} 30' - 46^{\circ} S$) se halla dominado por transpresión en la zona de intra-arco, con numerosos conos monogenéticos alineados y estratovolcanes elongados. En cambio, el segmento norte ($39^{\circ} - 37^{\circ} 30' S$) corresponde a un sistema transtensional con desplazamiento dextral, representado por una ZFLO discontinua, con formación de grábenes y desarrollo de estructuras con geometría de «cola de caballo» y atravesada por segmentos ortogonales con orientación E-O, NO-SE y NE-SO, como es el caso del lineamiento volcánico Callaqui-Copahue-Mandolegüe (Folguera & Ramos 2000; Melnick *et al.* 2006) (Fig. 2). Estudios estratigráficos y estructurales en la cuenca de Curamallín (Radic *et al.* 2002) permiten plantear que este lineamiento actuó como una zona de transferencia durante el Oligoceno al Mioceno temprano (Melnick *et al.* 2006). Posteriormente, luego de la inversión de la cuenca en el Mioceno tardío, esta estructura controló el emplazamiento magmático, en forma de derrames lávicos fisurales, migración de cráteres y conos y construcción de aparatos volcánicos de baja altura.

A partir del Mioceno el registro de actividad volcánica en la región ha sido casi ininterrumpido. La Fm. Curamallín (Niemeyer & Muñoz 1983) abarca una secuencia sedimentaria inferior y coladas andesíticas en su porción superior y alcanza un espesor máximo de 4.000 metros. Ha sido interpretada como una cuenca de intraarco, cuyo desarrollo tuvo lugar en el Mioceno Temprano (26 a 22 Ma, Burns y Jordan, 1999). Algunos autores propusieron la denominación de Fm. Trapa Trapa para los términos volcánicos de esta unidad, restringiendo el término original para las litofacies sedimentarias (Suárez & Emparán 1995).

Por encima de esta unidad se dispone en discordancia una espesa pila volcánica conocida como Fm. Cola de Zorro (González & Vergara 1962) en Chile y Fm. Hualcupen

(Pesce 1989) en Argentina. Se extiende a modo de faja meridiana al este del arco volcánico actual entre los 36° y $39^{\circ} S$. Abarca coladas de lava con brechas autoclásticas asociadas, depósitos piroclásticos y epiclásticos, cuerpos intrusivos subvolcánicos y domos (Rovere *et al.* 2004). De composición andesítica a basáltico andesítica esta pila volcánica alcanza 1800 m de espesor en Chile y 400 m en Argentina (Pesce 1989). De acuerdo con las dataciones K/Ar disponibles (Muñoz *et al.* 1989; Linares *et al.* 1999) el emplazamiento de este volcanismo tuvo lugar en el Plioceno superior (edad media mínima: $4,3 \pm 0,2$ Ma) bajo un régimen tectónico extensional (Folguera *et al.*, 2003).

Tentativamente, en el lapso Plioceno superior-Pleistoceno inferior tuvo lugar la formación de una depresión volcano-tectónica conocida como bajo de Caviahue (Groeber 1922) o Caldera del Agrio (Pesce 1989). En base a evidencias estructurales, algunos autores (Folguera & Ramos 2000; Melnick *et al.* 2006) la definen como una cuenca de tipo *pull-apart*, producto de movimientos transcurrentes dextrales vinculados a la ZFLO en su extremo norte. De esta forma, la actividad volcánica durante el Cuaternario habría estado fuertemente controlada por el sistema de fallas principales que limitan la depresión (N $70^{\circ} O$ y N $30^{\circ} E$) y aquellas de orientación ONO que marginan los grábenes de Trolope y Caviahue (Fig. 4) (Melnick *et al.* 2006). Por otra parte, algunos autores (Pesce 1989; Delpino & Bermúdez 1993; Mazzoni & Licitra, 2000) proponen para esta depresión un origen por colapso con emplazamiento simultáneo de flujos ignimbríticos. Sruoga & Consoli (2004), sobre la base de relevamientos detallados de las unidades, estudios geoquímicos comparativos y obtención de edades Ar/Ar, descartan un origen por colapso y recomiendan abandonar el término «caldera» para la depresión subcuadrangular del Agrio (Fig. 3) ya que no reúne las evidencias diagnósticas que avalen esa interpretación.

Evolución del volcán Copahue

El estudio geocronológico de Linares *et al.* (1999) dotó de precisión a los diversos esquemas estratigráficos propuestos (Pesce 1989; Delpino & Bermúdez 1993; Mazzoni &



Figura 2: Marco tectónico esquemático. Se distinguen los tres segmentos de la ZVS y los segmentos ortogonales al eje principal del arco volcánico.

Licitra 2000; Polanco 2003; Sruoga & Consoli 2004). Sin embargo, al compararlo con otros resultados radiométricos (Thiele *et al.* 1987, en Polanco 2003; Sruoga & Consoli 2004) surgen discrepancias que ponen de manifiesto no solo la necesidad de realizar una revisión geocronológica global sino también el carácter provisorio de los estudios previos.

Actividad volcánica precursora

Se consideran como tal las manifestaciones de actividad volcánica controladas por el desarrollo de la depresión volcano-tectónica del Agrio y conocidas como Fm. Las Mellizas, Derrames de Fondo de Valle y Domos Pucón Mahuida y Cerro Bayo (Fig. 4).

La Fm. Las Mellizas (Pesce 1989) presenta amplia distribución en todo el ámbito de la estructura. Se han diferenciado tres litofacies (Sruoga & Consoli 2004): Lavas andesíticas inferiores (LAI), Ignimbritas dacíticas (IG) y Lavas andesíticas superiores (LAS). Sin base expuesta, la litofacies LAI abarca una espesa sucesión de coladas de composición andesítica, con buen desarrollo de disyunción

columnar e intercalación de depósitos de lahar inversamente gradados. La litofacies IG comprende ignimbritas vítreas con alto grado de soldadura y reoignimbritas. Exhibe bruscas variaciones de espesor y acentuados cambios texturales, desde eutaxítica hasta vitrofírica por homogeneización del vidrio y pseudofluidal en la variedad reoignimbritica (Figs. 5A y 5B). La litofacies LAS se dispone por encima de IG, presenta distribución areal restringida (Fig. 4) y su composición es equivalente a la de la litofacies LAI. La asociación litofacial puede ser vinculada a la actividad de un antiguo estratovolcán (Pesce 1989; Delpino & Bermúdez 1993; Melnick *et al.* 2006; Caselli *et al.* 2008). En este escenario, y sin evidencias concluyentes, el emplazamiento de las ignimbritas densamente soldadas podría estar asociado al colapso de una caldera de pequeñas dimensiones. Esta unidad ha sido datada por K/Ar en $0,4 \pm 0,3$ (Polanco 2003) y $2,6 \pm 0,05$ Ma (Linares *et al.* 1999) y por Ar/Ar en 125 ± 9 ka (Sruoga & Consoli 2004).

La unidad denominada Derrames de Fondo de Valle (Pesce 1989) reúne las coladas traquiandesíticas de la zona deprimida de Trolope (Fig. 4). Su distribución areal y la

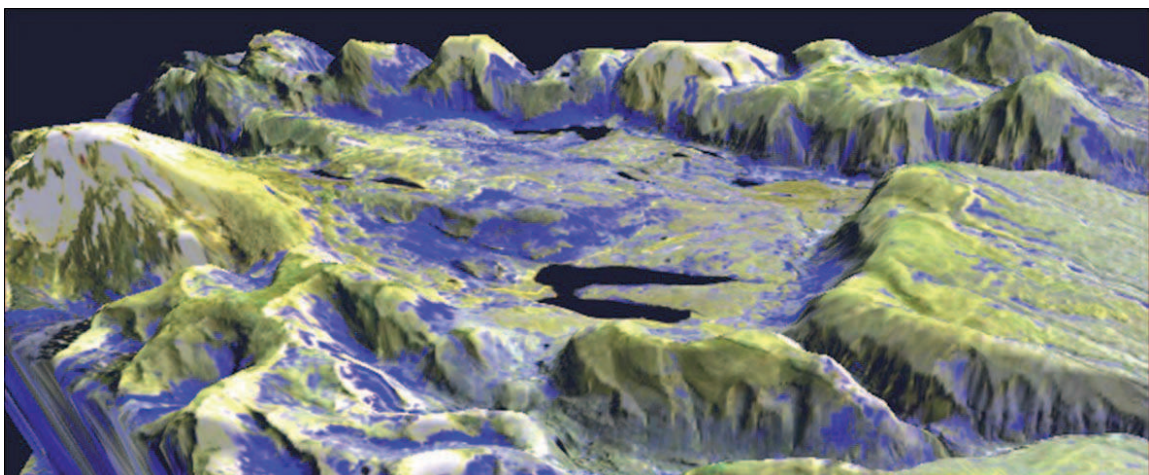


Figura 3: Modelo de elevación digital en base a imágenes Aster. Se puede apreciar la forma subcuadrangular de la depresión del Agrio, el lago Caviahue y el volcán Copahue en el borde oeste de la estructura

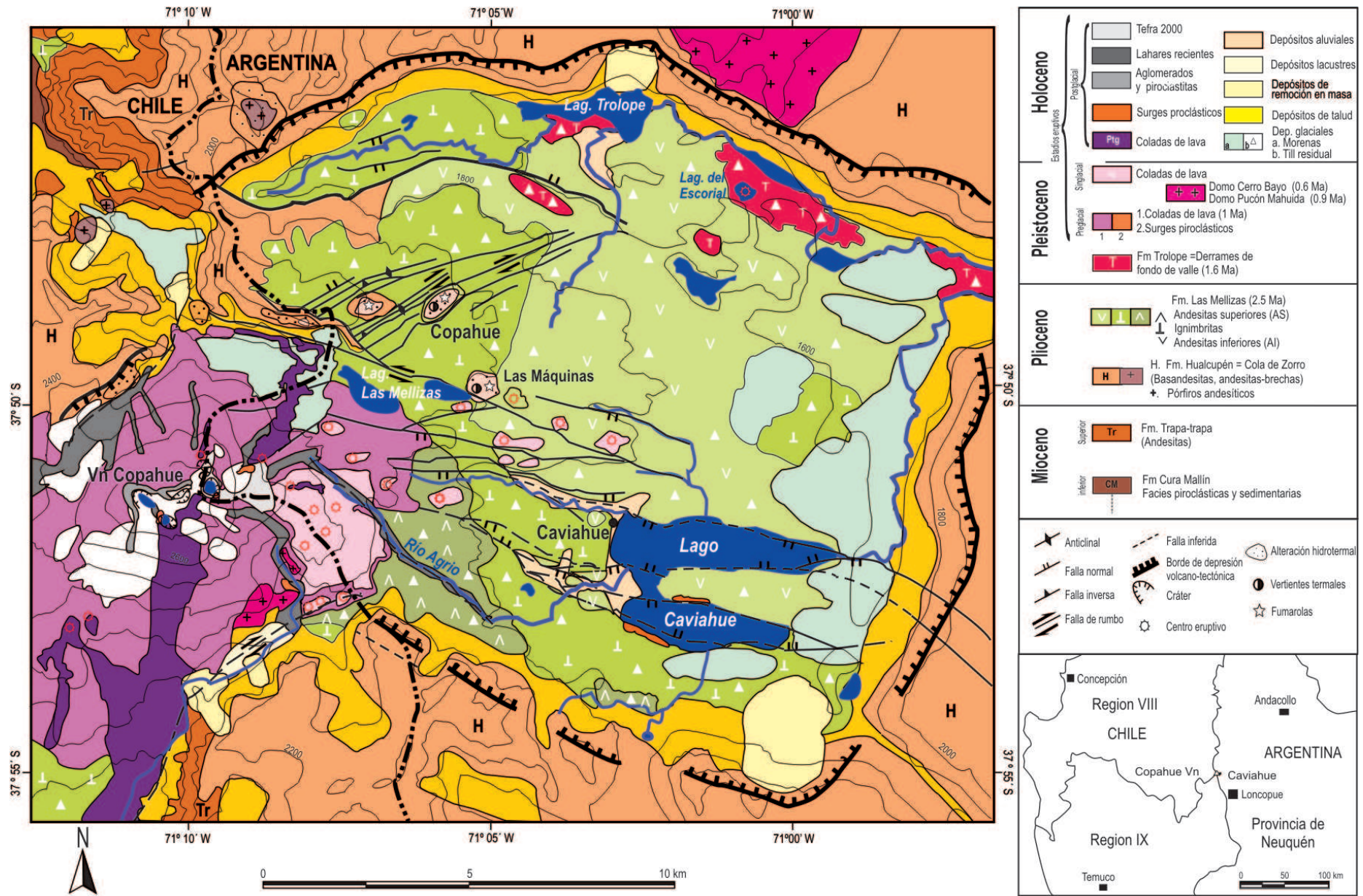


Figura 4: Mapa geológico de la región del volcán Copahue y de la depresión volcano-tectónica del Agrio. La estratigrafía volcánica tiene en cuenta las edades K/Ar de Linares *et al.* (1999).



preservación de al menos dos cráteres alineados indica emplazamiento a lo largo de la fisura que limita al norte la depresión del Agrio. Ha sido datada en $1,4 \pm 0,3$ Ma (Linares *et al.* 1999).

Los domos Pucón Mahuida ($1,0 \pm 0,1$ Ma, Linares *et al.*, 1999; $0,404 \pm 0,024$; Thiele *et al.* 1987, en Polanco, 2003) y Cerro Bayo ($0,62 \pm 0,06$ Ma) constituyen los únicos eventos de composición riolítica e indican cierta bimodalidad en la evolución geoquímica del complejo. Su emplazamiento se halla fuertemente controlado por las fallas que limitan el borde norte y oeste de la depresión (Fig. 4).

Actividad volcánica pre-, sin- y postglacial

De acuerdo a Linares *et al.* (1999) las lavas más antiguas del volcán Copahue tienen $1,23 \pm 0,09$ Ma. Sin embargo, si se tiene en cuenta la edad más joven de la Fm. Las Mellizas, la construcción del volcán Copahue quedaría restringida a los últimos 120 ka.

El edificio volcánico presenta forma elongada en dirección NE-SO y de acuerdo a sus características morfológicas, puede ser categorizado como un volcán en escudo, ya que presenta flancos tendidos y baja relación de aspecto (Fig. 1). Durante su evolución, los centros de emisión han experimentado migración desde una posición central a fisuras laterales y alineación de bocas en la cúspide y fuera del cono principal, poniendo de manifiesto un fuerte control estructural contemporáneo con la actividad volcánica. En la cima, se reconocen nueve cráteres alineados

con dirección $N 60^\circ E$, de los cuales sólo el más oriental se encuentra en estado activo y contiene el lago ácido del Agrio (Fig. 5C).

En función de las escasas edades absolutas disponibles y considerando como marcador estratigráfico los depósitos de *drift* asignables al retiro de la última gran glaciación (< 14 ka, Clapperton, 1993; 30 ka, González Díaz 2003), se han distinguido tres etapas: pre, sin y post-glacial en la evolución del volcán Copahue (Sruoga & Consoli 2004). La actividad pre-glacial se halla representada por la emisión central de lavas traquiandesíticas y escasos depósitos de *surges* piroclásticos intercalados (Fig. 6A). Esta etapa constituye la más importante desde el punto de vista métrico y es la responsable de la construcción del cono. Los productos se presentan afectados por pulido y estrías como resultado de fuerte abrasión glacial y suelen estar cubiertos por una fina capa de *drift* o por depósitos morénicos. Se disponen por encima de la Fm. Las Mellizas de modo concordante, pero el contacto es tentativo ya que las coladas basales del Copahue tienen composición similar.

La actividad sin-glacial se halla representada por numerosos centros de pequeño volumen alineados a lo largo de fracturas de orientación ENE-OSO y ONO, así como también aquellos distribuidos de modo aleatorio sobre el flanco oriental del volcán (Fig. 4). Las coladas exhiben bordes vítreos y estructuras que evidencian interacción agua-magma, tales como lóbulos almohadillados y fracturas poliédricas.



Figura 5: Aspectos del volcán Copahue. A) Variaciones texturales en la Fm. Las Mellizas (litofacies IG) mostrando textura eutaxítica. B) Pseudofluididad en reoignimbrita en la Fm. Las Mellizas. C) Cráter activo y lago ácido del Agrio.

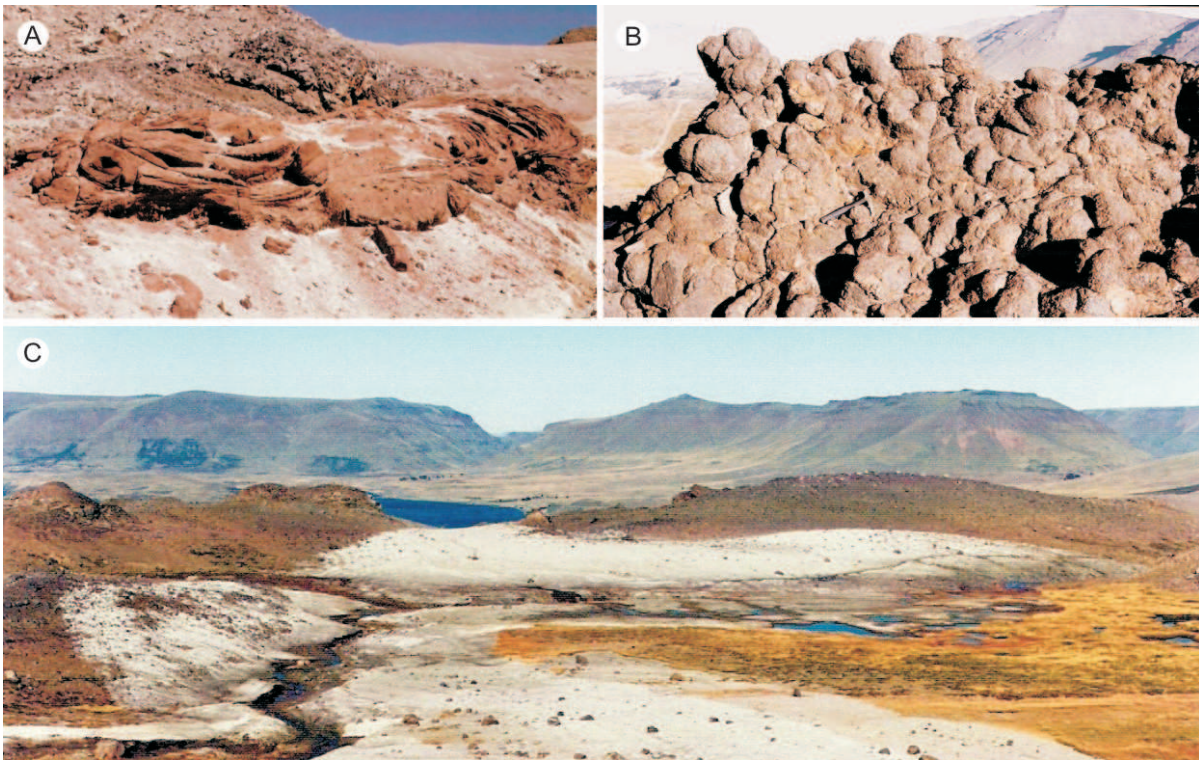


Figura 6: Aspectos del volcán Copahue. A) Etapa pre-glacial del volcán Copahue: *surges* piroclásticos intercalados con coladas de lava. B) Etapa sin-glacial del volcán Copahue: lavas almohadilladas en conos alineados. C) Lahar producido durante la erupción de 1995, en el río Agrio.

dricas por enfriamiento súbito (*quench-fractures*) (Fig. 6B). Tentativamente, estos productos han sido asignados a actividad volcánica subglacial o fini-glacial, cuando el aporte de agua debió haber sido muy importante.

La actividad post-glacial incluye derrames lávicos, explosiones de origen freatomagmático y lahares asociados. Las coladas son de tipo aa y se hallan vinculadas a fisuras de flanco y centros adventicios, siendo la más extensa la del río Lomín, en Chile, la cual viajó unos 20 km aproximadamente a lo largo del valle homónimo (Fig. 4). En la vertiente argentina es posible individualizar varios derrames, con recorridos de 700 m hasta 3 km. La actividad freatomagmática se halla vinculada a los múltiples cráteres cuspidales del Copahue. Se trata de *surges* piroclásticos, los cuales se han desplazado hacia ambas vertientes hasta 14 km de distancia desde el cráter activo y cubriendo un área de 22 km² (Polanco 2003). Al menos 6 depósitos de flujo y caída piroclásticos han sido datados en el lapso 8.770 a 2.280 años AP (Polanco *et al.* 2000). Depósitos laháricos afloran en el cauce superior del río Agrio, poniendo de manifiesto una recurrencia de este tipo de episodios en tiempos modernos.

Desde el punto de vista geoquímico los magmas vinculados con la actividad del volcán Copahue corresponden a una serie calco-alcalina, transalcalina, de medio a alto K (Sruoga & Consoli 2004; Polanco 2003). Los productos piroclásticos de la etapa postglacial representan los términos más primitivos (Bermúdez *et al.* 2002). La variación geoquímica puede ser atribuida al mecanismo de cristalización fraccionada de las fases mineralógicas principales y accesorias (plagioclasa+clino y ortopiroxeno+ feldespato potásico+magnetita). Además, sobre la base de evidencias petrográficas que indican desequilibrio magmático, Polanco (2003) propuso que la mezcla de magmas debió

haber jugado un rol importante en la evolución geoquímica del sistema.

Actividad volcánica histórica

El registro histórico abarca 12 erupciones en los últimos 250 años, incluyendo explosiones freáticas y freatomagmáticas (Naranjo & Polanco 2004). En 1992 comenzó un ciclo, el cual con intermitencia se extiende hasta la actualidad. Durante ese ciclo se han registrado explosiones con producción de lluvia de cenizas, *base surges*, lahares (Fig. 6C) y excepcional emisión de azufre piroclástico (Delpino & Bermúdez 1993). La última erupción del volcán Copahue en el año 2000 pone de manifiesto un cambio en el estilo eruptivo y aumento relativo en la intensidad del ciclo eruptivo (Delpino & Bermúdez 2002). El evento que se extendió entre julio y octubre, puede ser considerado como el de mayor duración y magnitud (VEI=2) en tiempos históricos. Estuvo caracterizado por producción de columnas intermitentes de baja altura ($h_{max} = 3000$ m), de estilo freático, freatomagmático y típicamente stromboliano, que dispersaron las cenizas hacia el ESE y NNE. También se registró el vaciamiento del lago ácido de cráter activo (Naranjo & Polanco 2004).

Por último, cabe destacar que en el transcurso de su evolución, el volcán Copahue experimentó cambios significativos. Particularmente, el estilo eruptivo pasó de ser predominantemente efusivo en el Pleistoceno a explosivo en el Holoceno. La tasa eruptiva ha sido calculada en 0,03 km³/siglo (Polanco 2003), mientras que el tiempo de recurrencia para los eventos explosivos ha sido estimado en 650 y 700 años (Polanco *et al.* 2000). Estudios en curso y futuros permitirán delinear con mayor precisión la evolución volcanológica y geoquímica de este volcán andino.



El campo geotérmico

El volcán Copahue posee un campo geotérmico activo asociado, en las inmediaciones de la localidad homónima (Fig. 4), como producto de la liberación de fluidos de bajo pH. La interacción prolongada con la roca de caja ha favorecido la formación de cuatro manifestaciones (El Anfiteatro, Termas de Copahue, Máquinas y Maquinitas), caracterizadas por intensa alteración ácido-sulfática y actividad fumarólica permanente. La paragénesis mineral está integrada por azufre, alunita, cristobalita, caolinita, cuarzo, jarosita y óxidos e hidróxidos de Fe (Mas *et al.* 1996). El lago de Agrio (Fig. 5C) que ocupa el cráter activo contiene las aguas más ácidas (pH <1), con temperaturas que han oscilado entre 21-54° C (Varekamp *et al.* 2001) y 50-70° C (Martini *et al.* 1997) y su composición química indica un importante aporte gaseoso de origen magmático vinculado probablemente a una cámara ubicada a profundidad somera (Martini *et al.* 1997).

Agradecimientos

Este trabajo se halla enmarcado en el proyecto «Evaluación de la peligrosidad del volcán Copahue, provincia del Neuquén», llevado a cabo por la Dirección de Geología Ambiental del SEGEMAR y ha sido beneficiado por co-financiamiento de UNESCO-Ciencias de la Tierra.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Bermúdez, A., Delpino, D. & López-Escobar, L. 2002. Caracterización geoquímica de lavas y piroclastos holocenos del volcán Copahue, incluyendo los originados en la erupción del año 2000. Comparación con otros volcanes de la Zona Volcánica Sur de los Andes. 15° Congreso Geológico Argentino. Actas en CD-ROM, artículo nº 025, 5 pp.
- Burns, M. & Jordan, T. 1999. Extension in the southern Andes as evidenced by an Oligo-Miocene age intra-arc basin. 4° International Symposium of Andean Geodynamics, Abstracts 345-348. Goettingen.
- Caselli, A.T., Dietrich, S. Vélez, M.L. & Tobal, J. 2008. Análisis facial de las ignimbritas de la Formación Las Mellizas (Complejo Volcánico Caviahue-Copahue), Neuquén, Argentina. 17° Congreso Geológico Argentino, Actas: 1330-1331.
- Caselli, A. & Vélez, M.L. 2011. Riesgo volcánico. Relatorio 18° Congreso Geológico Argentino. Neuquén
- Clapperton, C. 1993. Quaternary geology and geomorphology of South America. Elsevier. 779 p.
- Delpino, D. & Bermúdez, A. 1993. La actividad del volcán Copahue durante 1992. Erupción con emisión de azufre piroclástico. Provincia del Neuquén. Argentina. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de hidrocarburos, Actas 4:292-301. Mendoza.
- Delpino, D. & Bermúdez, A. 1994. Volcanismo post-glacial en el volcán Copahue (37° 45' S), sector argentino. Peligros potenciales asociados. 7° Congreso Geológico Chileno, Actas 1:260-264. Concepción.
- Delpino, D. & Bermúdez, A. 1995. Mapa de los peligros potenciales en el área del volcán Copahue- Sector argentino. Serie Mapas de Riesgo Geológico. Ley Provincial nº 1986. Servicio Geológico Neuquino. Neuquén
- Delpino, D. & Bermúdez, A. 2002. La erupción del volcán Copahue del año 2000. Impacto social y al medio natural. Pcia. del Neuquén, Argentina. 15° Congreso Geológico Argentino. Actas en CD-ROM, artículo nº 026, 5 pp.
- Folguera, A. & Ramos, V.A. 2000. Control estructural del volcán Copahue (38°S-71°O): implicancias tectónicas para el arco volcánico cuaternario (36-39° S). Revista de la Asociación Geológica Argentina 55 (3): 229-244.
- Folguera, A., Ramos, V.A. & Melnick, D. 2003. Recurrencia en el desarrollo de cuencas de intra-arco. Cordillera Neuquina (37° 30'). Revista de la Asociación Geológica Argentina 58: 3-19.
- González, O & Vergara, M. 1962. Reconocimiento geológico de la Cordillera de los Andes entre los paralelos 35° y 38° latitud sur. Instituto de Geología, Universidad de Chile, Publicaciones 24: 119 p.
- González Díaz, E.F. 2003. El englazamiento en la región de la caldera de Caviahue-Copahue (Provincia del Neuquén): su reinterpretación. Revista de la Asociación Geológica Argentina 58 (3): 356-366.
- González Díaz, E.F. 2004. Geomorfología de la región del volcán Copahue y sus adyacencias (centro-oeste del Neuquén). Revista de la Asociación Geológica Argentina 60 (1): 72-87.
- Groeber, P. 1922. La región de Copahue y su glaciación diluvial. Anales de la Sociedad Argentina de Estudios Geográficos 1 GAEA 92-110 pp.
- Hildreth, W. & Moorbath, S. 1988. Crustal contributions to arc magmatism in the Andes of central Chile. Contributions to Mineralogy and petrology 98(4): 455-489.
- JICA (Japan International Cooperation Agency). 1992. The feasibility study on the northern Neuquén Geothermal development Project. Final Report. 89 p.
- Lavenu, A. & Cembrano, J. 1999. Compressional and transpressional stress pattern for Pliocene and Quaternary brittle deformation in fore arc and intra-arc zones (Andes of Central and Southern Chile). Journal of Structural Geology 21:1669-1691.
- Linares, E., Ostera, H. & Mas, L. 1999. Cronología potasio-argón del Complejo Efusivo Copahue- Caviahue, provincia del Neuquén. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 54 (3):240-247
- Martini, M., Bermúdez, A. Delpino, D. & Giannini, F. 1997. The thermal manifestations of Copahue volcano area. Neuquén, Argentina. 8° Congreso Geológico Chileno, Actas 1:352-356. Antofagasta.
- Mas, G., Mas L. & Bengochea, L. 1996. Alteración ácido-sulfática en el campo geotérmico Copahue, provincia del Neuquén. Revista de la Asociación Geológica Argentina 51 (1): 78-86
- Mazzoni, M. & Licita, D. 2000. Significado estratigráfico y volcanológico de depósitos de flujos piroclásticos neógenos con composición intermedia en la zona del lago Caviahue, provincia del Neuquén. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 55 (3): 188-200.
- Melnick, D., Folguera, A. & Ramos, V.A. 2006. Structural control on arc volcanism: the Caviahue-Copahue complex, Central to Patagonian Andes transition (38° S). Journal of South American Earth Sciences 22: 66-88.
- Muñoz, J., Stern, C., Bermúdez, A., Delpino, D., Dobbs, M.F. & Frey, F. 1989. El volcanismo Plio-Cuaternario a través de los 34°-39° de los Andes. Revista de la Asociación Geológica Argentina 44(1-4): 270-286.
- Naranjo J.A. & Polanco, E. 2004. The 2000 AD Eruption of Copahue Volcano, Southern Andes. Revista Geológica de Chile 31(2): 279-292.
- Niemeyer, H & Muñoz, J. 1983. Hoja Laguna de La Laja, Región de Biobío. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, nº 57, escala 1:250.000.



- Pesce, A. 1989. Evolución volcano-tectónica del Complejo Efusivo Copahue-Caviahue y su modelo geotérmico preliminar. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 44 (1-4): 307-327.
- Polanco E. 2003. Evolución del volcán Copahue (37° 45' S), Andes del Sur. Tesis de Maestría (Inédito), Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México 90 p.
- Polanco E., Naranjo, J.A., Young, S. & Moreno, H. 2000. Volcanismo explosivo Holoceno en la Cuenca del Alto Biobio, Andes del Sur (37° 45' - 38° 30' S). En: 9º Congreso Geológico Chileno, Actas 2: 59-61. Puerto Varas.
- Radic, J.P., Rojas, L. Carpinelli, A. & Zurita, E. 2002. Evolución tectónica de la cuenca terciaria de Cura-Mallín, Región Cordillerana chileno argentina (36° 30' - 39° S). 14º Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 233-237. El Calafate
- Rojas Vera, E., Folguera, A., Spagnuolo, M., Gimenez, M., Ruiz, F., Martínez, P. & Ramos, V. 2009. La neotectónica del arco volcánico a la latitud del volcán Copahue (38°S), Andes del Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 65(1): 204-214.
- Rovere, E.I., Caselli, A., Tourn, S., Leanza, H.A., Hugo, C.A., Folguera, A., Escosteguy, L. & Geuna, S.: Hoja geológica 3772-IV, Andacollo, provincia del Neuquén. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales. SEGEMAR, Boletín 298, 104 págs.
- Sruoga, P. & Consoli, V. 2004. Evolución volcanológica y geoquímica del volcán Copahue. Informe SEGEMAR (inédito). 35 pág.
- Stern, C.R. 2004. Active andean volcanism: its geologic and seismic setting. *Revista Geológica de Chile* 31(2): 161-206.
- Suárez, M & Emparán, G. 1995. Hoja Curacautín, regiones de la Araucanía y del Bío-Bío, escala 1:250.000. Servicio Nacional de Geología y Minería.
- Varekamp, J.C., Quimette, A.P., Herman, S., Bermúdez, A. & Delpino, D. 2001. Hydrothermal element fluxes from Copahue, Argentina: a «beehive» volcano in turmoil. *Geology* 29(11): 1059-1062.