

NOTA GEOLOGICA

EL ACONCAGUA, ¿PARTE DE UN VOLCAN MIOCENO?

ESTANISLAO GODOY
ROBERT HARRINGTON
JUDY FIERSTEIN
ROBERT DRAKE

Departamento de Geología y Geofísica, Universidad de Chile, Casilla 13518, Correo 21, Santiago, Chile
Geological Department, University of Colorado, Boulder Campus, Box 250, CO. 80309.
U.S. Geological Survey, M.S. 910, Menlo Park, CA. 94709.
Institute of Human Origins, 2453 Ridge Road, Berkeley, CA. 94709, U.S.A.

RESUMEN

Observaciones de terreno a lo largo de los coluvios septentrionales del cerro Aconcagua ('ruta normal'), junto con el estudio petrográfico de las muestras recolectadas, complementado con una revisión bibliográfica, llevan a considerar al Aconcagua (6.950 m) como parte del flanco meridional de un gran aparato volcánico mioceno. Las laderas septentrionales, con fuerte alteración anhidrítica sobrepuesta a una argílica, representarían su núcleo, profundamente erosionado y en gran parte recubierto por coluvios. Las rocas del Aconcagua, desplazadas sobre un bloque limitado por fallas de vergencia este, pueden ser equivalentes a parte de la Formación Farellones, ya que la hornblenda de una andesita de la cumbre tiene una edad K-Ar de $9,63 \pm 0,44$ Ma.

Palabras claves: Cerro Aconcagua, Volcanismo mioceno, Argentina.

ABSTRACT

According to field observations and the petrography of sample taken from its northern slopes ('ruta normal') and taking into account the existing literature on the subject, Cerro Aconcagua (6,950 m) may be considered the southern remnant slopes of a huge Miocene volcano. Its core, with an early advanced argillic alteration and late anhydrite veining, is well preserved on the northern slopes. Hornblende in an andesite from the summit strata yielded a K-Ar age of 9.63 ± 0.44 Ma. The Aconcagua, bounded by E-vergent faults, would thus be equivalent to part of the Farellones Formation.

Key words: Aconcagua mountain, Miocene volcanism, Argentina.

INTRODUCCION

El cerro Aconcagua (Fig. 1) se ubica 115 km al oeste de Mendoza y 90 km al norte del grupo Tupungato (1 Ma, W. Hildreth comun. verbal, 1985)-Tupungatito (activo). Este último grupo corresponde a un conjunto de lavas andesíticas y domos dacíticos considerados como los volcanes más septentrionales de la Zona Volcánica Sur de los Andes (ZVS, López, 1984).

Sus 6.950 m de altura elevan al Aconcagua 1.500 m por sobre el resto de las cumbres no asociadas a aparatos volcánicos de la Cordillera Principal y, levemente, sobre aquéllas de la Cordillera Frontal en Argentina. Este relieve tan destacado en el paisaje y la naturaleza volcánica de las muestras del Aconcagua llevaron a los exploradores y

petrógrafos de fines del siglo pasado (Güßfeldt, Vines, Conway, Bonney) a considerarlo como parte de un volcán reciente (citas en Fossa, 1947). A partir de las correlaciones de Schiller (1907 in Fossa, 1947) e interpretaciones posteriores de sus perfiles geológicos (Gerth, 1926 in Fossa, 1947), es opinión generalizada describirlo como un resto erosionado de una formación volcánica más antigua, que se depositó, discordantemente, sobre secuencias volcano-sedimentarias preexistentes y llevado a su actual posición por tectonismo. Fossa (1947) ubicó, erróneamente, un cráter al sur de la cumbre y llamó la atención ante una aparente horizontalidad de su base, lo cual sería incompatible con un emplazamiento tectónico.

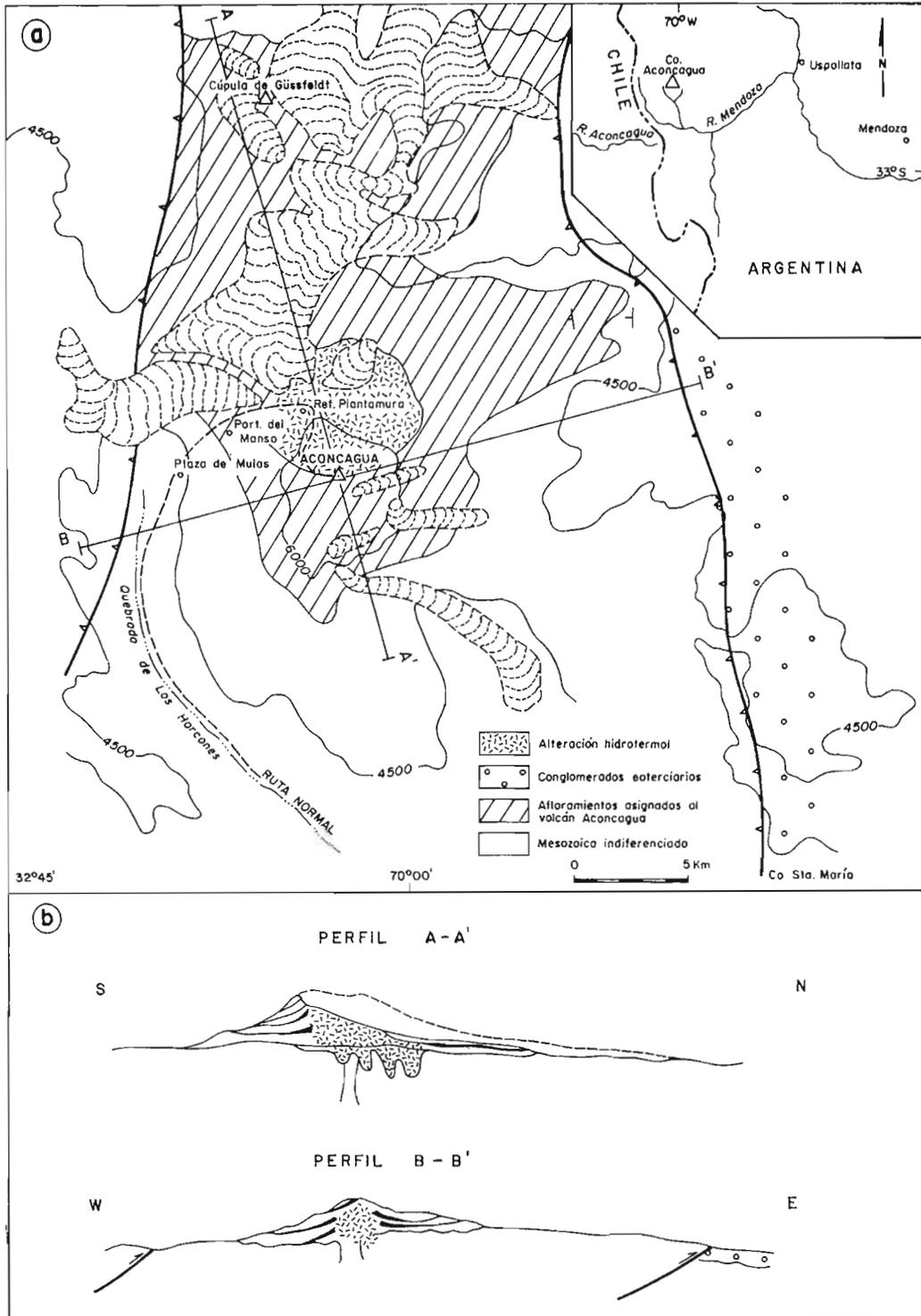


FIG. 1a. Extensión de los afloramientos del volcán Aconcagua (extraído de Ramos e Yrigoyen, 1987). Glaciares según Lliboutry (1956), actualizados sólo en las nacientes de Quebrada Los Horcones. 1. Alteración hidrotermal; 2. Conglomerados eoterciarios; 3. Afloramientos asignados al volcán Aconcagua; 4. Mesozoico indiferenciado.

FIG. 1b. Sección geológica esquemática del volcán Aconcagua (modificada de Ramos e Yrigoyen, 1987).

Después de un largo intervalo, el área fue visitada por Yrigoyen (1976), quien mencionó que, en el cerro Aconcagua, "las espesas capas de la Formación Abanico se encuentran poco perturbadas tectónicamente, estando atravesadas, hasta la cumbre, por diques dacíticos miocenos". No indicó, sin embargo, el fundamento que le permitió asignar la edad a los diques.

Las rocas del cerro Aconcagua fueron incluidas por Munizaga y Vicente (1982) dentro del miembro superior (andesitas basálticas) de la Formación Farellones, para el cual establecieron un intervalo de edad entre 17 y 10 Ma (K-Ar, roca total) en afloramientos de la vertiente chilena. Vergara *et al.* (1988), considerando afloramientos adicionales, ampliaron dicho lapso hasta los 7,4 Ma. Una discordancia separaría a las rocas de esta formación de la infrayacente Formación Abanico.

Ramos (1985a, b) presentó una detallada descripción de la geología al sur del Aconcagua, complementada en Ramos e Yrigoyen (1987) para el

área alrededor del macizo.

En Ramos *et al.* (1985) se presentan los primeros datos radiométricos y geoquímicos sobre coladas del macizo. En cuatro andesitas de hornblenda + clinopiroxeno y una posible dacita de mantos moderados al noroeste, aflorantes bajo los 5.500 m, obtuvieron edades entre 15,8 y 9,6 Ma (K-Ar roca total). Designaron a esta secuencia como 'unidad inferior' y las rocas suprayacentes como 'unidad superior'. Esta última es descrita como subhorizontal, de 1.500 m de espesor, andesítica, fuertemente limonitizada y con abundante yeso y azufre secundarios. Brechas de 13-11 Ma, de la parte baja de la unidad superior estarían cortadas por filones-manto de 9-8 Ma (V. Ramos, comun. escrita, 1987).

El presente estudio contribuye con nuevas observaciones a reactivar una antigua controversia. El Aconcagua es, al parecer, el 'volcán desarraigado más alto del mundo'.

ANTECEDENTES A FAVOR DE UNA NUEVA INTERPRETACION

Entre fines de Febrero y comienzos de Marzo de 1987, los primeros tres autores participaron en un ascenso al Aconcagua. Las observaciones entonces realizadas, complementadas por el estudio de secciones delgadas y pulidas, pueden sintetizarse en los siguientes puntos:

- La mayor parte de las rocas en los últimos 1.500 m de la 'ruta normal' (Fig. 1), unidad superior de Ramos *et al.* (1985), corresponden a tobas limonitizadas y lavas andesíticas, brechizadas hidrotermalmente, que mantean moderadamente al sur (Fig. 2). Recién la cornisa de la cumbre, la cual constituye una superficie estructural de suave manto al sureste, consta de lavas macizas, frescas, de andesita de oxihornblenda y clinopiroxeno. El Aconcagua no representa, por lo tanto, un abierto sinclinal colgado, como sugirieron Munizaga y Vicente (1982).
- La alteración se restringe a las laderas septentrionales y a la explanada al oriente del Portezuelo El Manso (Fig. 1a), dentro de un área subcircular. Directamente al este del refugio Plantamura, vetillas centimétricas de cuarzo-anhidrita y pequeñas bolsanadas de pirita originan un 'stockwork' en lavas andesíticas, previamente blanqueadas por alteración argílica avanzada.

Se reconoce natroalunita microcristalina, preferentemente en el núcleo de los bloques, y caolinita en zonas o como reemplazo completo de plagioclasas. En los halos de las vetillas abunda el cuarzo microcristalino por sobre la anhidrita, esta última en distintas etapas de hidratación. Las rocas más alteradas incluyen numerosos contornos de anfíbola compuestos por leucoxeno o un agregado de goethita y esfeno, producto de la alteración de titanomagnetita. El interior de estos moldes de anfíbola es idéntico a la matriz cuarzo-anhidrítica. En las muestras menos alteradas (más alejadas de las vetillas) las anfíbolas, en cambio, están uralitizadas y las plagioclasas, parcialmente calcitizadas.

- Bajo la capa de escombros del 'gran acarreo' y de otras laderas similares de la ruta normal, la alteración es muy avanzada. Al sureste del portezuelo El Manso, en el producto disgregado de alteración, se conservan tubos abiertos, verticales, de 2-3 cm de diámetro y superficies internas recubiertas con una pátina amarilla. Si bien es probable que esta pátina corresponda a un agregado limonítico en vez de azufre, la forma de los conductos es más compatible con un escape de gases que con disoluciones superficia-



FIG. 2. Tobas limonitizadas y brechas andesíticas hidrotermales de manto al sur. Vista al este desde el pie de la 'canaleta'. Cumbre, a la derecha, y núcleo del volcán, a la izquierda.

- les.
- Los datos analíticos de la tabla 1 corresponden a una edad K-Ar en hornblenda, de una andesita de oxihornblenda no alterada de la cumbre. El valor obtenido ($9,63 \pm 0,44$ Ma) es ligeramente mayor al comunicado verbalmente por V. Ramos, en 1987 (8,9 Ma K-Ar, roca total). De no estar rejuvenecidas las edades de la unidad inferior, estos datos indican una probable efusividad intermitente durante el Mioceno Medio a Superior.
 - En la tabla 2 se presentan dos análisis de elementos mayores de andesitas provenientes de la cumbre. AC-1 corresponde a una variedad africana, la cual aflora 100 m hacia el este, y AC-2, a la andesita de oxihornblenda de la cumbre misma. Ambos análisis coinciden, a pesar de las diferencias texturales, indicando que las rocas formarían parte de una misma colada. Presentan, al igual que las andesitas de la unidad inferior, razones FeO^*/MgO bajas, características, también, de series calcoalcalinas del segmento norte de la ZVS (Hildreth y Moorbath, 1988).
 - Tal como muestra la figura 1a, los niveles volcánicos basales, subhorizontales, se han conservado en dos direcciones: hacia el noreste y hacia el norte. En la primera dirección, son cortados por el accidente inverso que cabalga las rocas mesozoicas sobre los conglomerados terciarios tempranos de la Formación Agua de Piedra o Santa María (Ramos e Yrigoyen, 1987). Hacia el norte (Cerro Cúpula), Yrigoyen (1976), sin embargo, asimiló estos niveles basales ya sea al Grupo Molle (Oligoceno) o a la Formación Huincán (Plioceno Inferior).
 - A pesar de los numerosos ascensos efectuados en los últimos ya casi 100 años, aún quedan en la cumbre abundantes superficies con vetillas de vidrio reducido verde. Estas 'fulguritas', resultantes de fusión por descarga eléctrica, fueron reconocidas por Bonney (*in* Fossa, 1947).

TABLA 1. DETERMINACION DE EDAD K-Ar EN ANDESITAS DE LA CUMBRE

Muestra	%K ⁺	Ar ⁴⁰ rad (mol/g)	Ar ⁴⁰ Atm%	Edad (2σ)
AC-2 Hornblenda	0,4855 ± 0,01	8,129E-12	53,7	9,63 ± 0,44 Ma

TABLA 2. ANALISIS POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X, EN ANDESITAS DE LA CUMBRE

	AC-1 (africa)	AC-2
SiO ₂	58,9	59,0
Al ₂ O ₃	17,2	17,5
Fe ₂ O ₃	5,34	5,62
MgO	2,6	3,2
CaO	6,02	6,20
Na ₂ O	4,4	4,6
K ₂ O	1,84	1,76
TiO ₂	0,66	0,70
P ₂ O ₅	0,22	0,22
MnO	0,09	0,11
ppc (900°C)	1,75	0,50
	99,02	99,41

Resultados obtenidos en el Laboratorio del U.S. Geological Survey, Menlo Park.

DISCUSION

Lo anteriormente expuesto y el diseño de la zona de alteración, al oriente del Portezuelo El Manso (Fig. 1a), sugiere que ésta constituiría el núcleo de un gran aparato volcánico. El macizo mismo, y en especial su mitad superior, periclinial, representaría sólo su flanco meridional. Las laderas más abruptas (oeste y sur) son, como es de esperar, restos de los flancos con erosión glacial más profunda.

La presencia de anhidrita en sistema de vetillas, o como reemplazo de roca brechizada y su posterior hidratación en el propuesto núcleo del volcán Aconcagua, puede ser comparada con zonas de alteración anhidrítica reconocidas en yacimientos de cobre porfídico. En la mina El Salvador, por ejemplo, ella se asocia tanto al emplazamiento de pórfidos tempranos y su alteración potásica avanzada, como a la vetización de pórfidos tardíos (Gustafson y Hunt, 1975). V. Ramos (comun. verbal, 1987) estimó que la alteración aquí descrita, en el Aconcagua, se restringe a áreas cercanas a cuerpos hipabisales. Según Holland y Malnin (1979) la anhidrita hidrotermal se forma por la reacción, en ambiente salino, de ácido sulfúrico resultante de la hidratación a temperatura descendente de SO₂ sobre silicatos cálcicos. En el caso del cerro Aconcagua, dichos silicatos corresponden -al igual que en El Salvador- a plagioclasa y anfíbola.

Volcanes andesítico-dacíticos, con actividad sobreimpuesta desde el Mioceno temprano y alteración ácido-sulfática en los núcleos, son corrientes en otros sectores de los Andes. Así, por ejemplo, Cornejo (1987) lo reconoció en el grupo volcánico de Salar de Gorgea (extremo sur de la ZVC, zona volcánica central). Es probable que, en sectores del Aconcagua distintos a los aquí considerados, la alteración sea también únicamente del tipo ácido-sulfática.

La actividad alrededor del Aconcagua habría comenzado a mediados del Mioceno y se habría prolongado, intermitentemente, hasta fines de dicha época, formando parte del miembro superior de la Formación Farellones o cinturón magmático expandido mioceno (Sillitoe, 1977). Los tubos reconocidos en las rocas más disgregadas podrían considerarse como ligados a una etapa solfatárica relictas. Mas probable, sin embargo, es un origen supérgeno por evaporación de agua que ha disuelto minerales de alteración (H. Moreno y W. Hildreth, comun. verbal, 1987).

Se ha estimado que un clímax en la deformación terciaria, en el área del Aconcagua, habría ocurrido entre los 9 y 10 Ma (Munizaga y Vicente, 1982). La edad del fallamiento inverso, sin embargo, está controlada sólo 100 km al norte del macizo, donde los accidentes cortan la base de la formación. En

esa localidad, los niveles basales de Farellones tienen $18,7 \pm 1,4$ Ma y las fallas han sido interpretadas como reactivadas (Olivares, 1985). El volcán

Aconcagua, por lo tanto, puede considerarse como construido durante el Mioceno, a fines del lapso antedicho.

AGRADECIMIENTOS

El presente estudio, una contribución al proyecto PICG 249, pudo realizarse gracias al entusiasmo y espíritu de grupo de nuestros(as) compañeros(as) 'aconcaguinos(as)', Wes Hildreth (U.S. Geological Survey, Menlo Park, promotor y jefe de la expedición, quien también hizo posibles los análisis químicos), Jack Fulton y Betsy Rocks.

El Proyecto 1702 (RIP, Universidad de Chile)

financió los cortes transparentes. Paula Cornejo (Servicio Nacional de Geología y Minería) y Enrique Tidy (CODELCO) asesoraron en su descripción. Debemos un especial reconocimiento a Víctor Ramos (Departamento de Geología, Universidad de Buenos Aires) quien adelantó resultados de sus estudios en curso.

REFERENCIAS

- Cornejo, P. 1987. Hydrothermal alteration zones and sulphur deposits in Upper Cenozoic volcanoes of Salar de Gorbea, Andes of northern Chile. *In Pacific Rim Congress*, p. 877-885. Toowong, Australia.
- Fossa, E. 1947. Acerca de la naturaleza volcánica del Aconcagua. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, Vol. 2, No. 4 p.
- Gustafson, L.; Hunt, J. 1975. The porphyry copper deposit at El Salvador, Chile. *Economic Geology*, Vol. 70, p. 857-912.
- Hildreth, W.; Moorbath, S. 1988. Crustal contributions to arc magmatism in the Andes of central Chile. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, p. 455-489.
- Holland, H.D.; Malinin, S.D. 1979. The solubility and occurrence of non-ore minerals. *In Geochemistry of hydrothermal ore deposits* (Barnes, H.L.; editor). 2nd edition. *John Wiley & Sons*, p. 461-508. New York.
- Lliboutry, L. 1956. Nieves y glaciares de Chile: fundamentos de Glaciología. *Editorial Universitaria*, 471 p. Santiago.
- López-Escobar, L. 1984. Preface. *In Andean magmatism, chemical and isotopic constraints* (Harmon, R.; Barreiro, B.; editors). *Shiva Publ. Ltd.* 250 p. Nantwich, United Kingdom.
- Munizaga, F.; Vicente, J.C. 1982. Acerca de la zonación plutónica y del volcanismo miocénico en los Andes de Aconcagua (Lat. 32°-33°S): datos radiométricos K-Ar. *Revista Geológica de Chile*, No. 16, p. 3-21.
- Olivares, A. 1985. Geología de la Alta Cordillera de Illapel, entre los 31°30'-32°S. Tesis Magister (inédita). *Universidad de Chile, Departamento de Geología y Geofísica*, 192 p. Santiago.
- Ramos, V. 1985a. El Mesozoico de la Alta Cordillera de Mendoza. Facies y desarrollo estratigráfico. *In Congreso Geológico Chileno, No. 4, Actas*, Vol. 1 p. 1-492/1-513. Antofagasta.
- Ramos, V. 1985b. El Mesozoico de la Alta Cordillera de Mendoza: Reconstrucción tectónica de sus facies. *In Congreso Geológico Chileno, No. 4, Actas*, Vol. 1 p. 104-117. Antofagasta.
- Ramos, V.; Kay, S.M.; Cingolani, C.; Kawashita, K. 1985. The volcanic rocks of Cerro Aconcagua, Cordillera Principal (32°S), Argentina. *Universidad de Chile, Departamento de Geología y Geofísica, Comunicaciones*, Vol. 35, p. 191-194.
- Ramos, V.; Yrigoyen, M. 1987. Geología de la región del Aconcagua. *In Congreso Geológico Argentino, No. 10, Actas*, Vol. 4, p. 267-271. Tucumán.
- Sillitoe, R. 1977. Permo-Carboniferous, Upper Cretaceous and Miocene porphyry copper type mineralization in the Argentinian Andes. *Economic Geology*, Vol. 72, p. 99-109.
- Vergara, M.; Charrier, R.; Munizaga, F.; Rivano, S.; Sepúlveda, P.; Thiele, R.; Drake, R. 1988. Miocene volcanism in the Central Andes (31°30'-34°35'S). *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 1, No. 2, p. 199-209.
- Yrigoyen, M. 1976. Observaciones geológicas alrededor del Aconcagua. *In Congreso Geológico Chileno, No. 1, Actas*, Vol. 1, p. A168-A190. Santiago.