

# ANTECEDENTES GEOCRONOLOGICOS DE ROCAS INTRUSIVAS Y VOLCANICAS EN LA CORDILLERA DE LOS ANDES COMPRENDIDA ENTRE LA SIERRA MORENO Y EL RIO LOA, Y LOS 21° y 22° LAT. SUR, II REGION, CHILE

C. HUETE, V. MAKSAEV, R. MOSCOSO, C. ULRIKSEN, H. VERGARA.

Instituto de Investigaciones Geológicas. Casilla 10465. Santiago, Chile.

## RESUMEN

Como resultado de un programa de exploración minera en la cordillera de los Andes del norte de Chile entre los 21° y 22° Lat. Sur se colectaron 27 muestras para ser datadas por el método K/Ar. Estos resultados unidos a similares obtenidos por otros autores, permiten distinguir varios ciclos intrusivos y volcánicos en el área.

La actividad intrusiva está documentada en el Paleozoico (Ordovícico-Silúrico, Carbonífero y Pérmico), en el meso-Cretácico, en el límite Cretácico-Terciario y en el Terciario inferior. Durante el Oligoceno se reconocen fases de alteración y mineralización cuprífera de importancia.

El volcanismo andesítico aparece bien desarrollado en el Cretácico inferior y en el Eoceno. El volcanismo ácido se iniciaría en el meso-Cretácico con rocas subvolcánicas, para ser claramente efusivo en el Oligoceno y principalmente en el Mioceno Superior.

La distribución de los intrusivos y de las rocas volcánicas sugiere más bien una superposición en el tiempo, que una zonación o migración de la actividad magmática para esta zona.

## ABSTRACT

As a result of a mineral exploration program in the Northern Chilean Andes between 21° and 22° Lat. S., 27 samples were collected for K/Ar dating. These results and those obtained from other works permit to distinguish several intrusive and volcanic cycles in this area.

Intrusive activity appears during the Paleozoic (Ordovician-Silurian, Carboniferous and Permian), mid-Cretaceous, the Cretaceous-Tertiary boundary and Lower Tertiary. During the Oligocene hydrothermal alteration and mineralization of importance occurred.

Andesitic volcanism is well developed in the Lower Cretaceous and in the Eocene. Acid volcanism which would have started in the mid-Cretaceous with hypabissal rocks is clearly effusive in the Oligocene but mainly in the Upper Miocene.

Intrusive and volcanic rock distributions suggest a superposition in time rather than a migration or zonation of the magmatic activity in this area.

## INTRODUCCION

Como parte de un programa de exploración de yacimientos tipo cobre porfídico, realizado en conjunto por el Instituto de Investigaciones Geológicas (IIG) y la Metal Mining Agency (MMAJ) de Japón, en una franja de la cordillera andina entre los yacimientos de El Abra y Quebrada Blanca,

se colectaron 27 muestras para ser datadas por el método potasio-argón (K/Ar).

Estas dataciones fueron necesarias debido a que en la zona afloran gran cantidad de rocas intrusivas y volcánicas a las que era difícil asignar una edad determinada. Los únicos antecedentes

publicados sobre esta región corresponden al Mapa Geológico de Chile 1:1.000.000 (UG, 1968).

Aunque en este trabajo sólo se discute la actividad ígnea, creemos que los resultados

obtenidos, unidos a los aportados por otros autores, serán de utilidad para correlacionar etapas tectónicas, magmáticas y metalogénicas con otros sectores de la cuenca andina.

### PROCEDIMIENTOS ANALITICOS

Las muestras fueron analizadas por el método K/Ar en el Centro de Pesquisas Geocronológicas de la Universidad de São Paulo (23) y en el Instituto de Geofísica de la Universidad de Tokio (4).

En São Paulo se analizaron de acuerdo al método descrito en detalle por Amaral y otros (1966). Entre 0,2 y 5 gr de concentrado de mineral o de la roca total se funden por inducción en un horno de alto vacío, para extraer el argón. Se empleó Ar<sup>38</sup> como trazador. La determinación de Ar se hizo utilizando un espectrómetro de masa tipo Reynolds y la determinación de K por absorción atómica. Las constantes empleadas fueron:

$$\begin{aligned} \lambda \text{ Total} &= 0.539 \times 10^{-9} \text{ años}^{-1} \\ \lambda e &= 0.585 \times 10^{-10} \text{ años}^{-1} \\ 40_{K/K} &= 0.0119 \text{ atom \%} \end{aligned}$$

En la Universidad de Tokio se analizaron por un método similar cuatro muestras, en roca total, usando las siguientes constantes:

$$\begin{aligned} \lambda \text{ Total} &= 0.548 \times 10^{-9} \text{ años}^{-1} \\ \lambda K &= 0.575 \times 10^{-10} \text{ años}^{-1} \\ 40_{K/K} &= 0.0118 \text{ atom \%} \end{aligned}$$

La diferencia en las constantes empleadas no incide mayormente en el rango de edades obtenidas. Para asignar las edades se usó la Geological Society Phanerozoic time-scale (1964).

### RESULTADOS

Los resultados obtenidos se indican en la tabla 1 y la geología simplificada del área para las rocas intrusivas y volcánicas, con la ubicación y edad de las muestras, se entrega en la figura 1.

La distribución de las rocas y sus edades potasio-argón permiten separar diversos ciclos intrusivos y volcánicos que se describen a continuación.

#### *Cronología de ciclos intrusivos*

*Paleozoico.* Los intrusivos paleozoicos tienen gran distribución areal y constituyen junto a las rocas metamórficas, a las que intruyen en parte, el basamento del área. Corresponden a granitoides en los que predominan los granitos de muscovita y las granodioritas. Las edades K/Ar indican tres rangos: Ordovícico-Silúrico, Carbonífero y Pérmico, que podrían corresponder a distintos ciclos intrusivos. Sin embargo, no fue posible separar en terreno las rocas pertenecientes a cada ciclo.

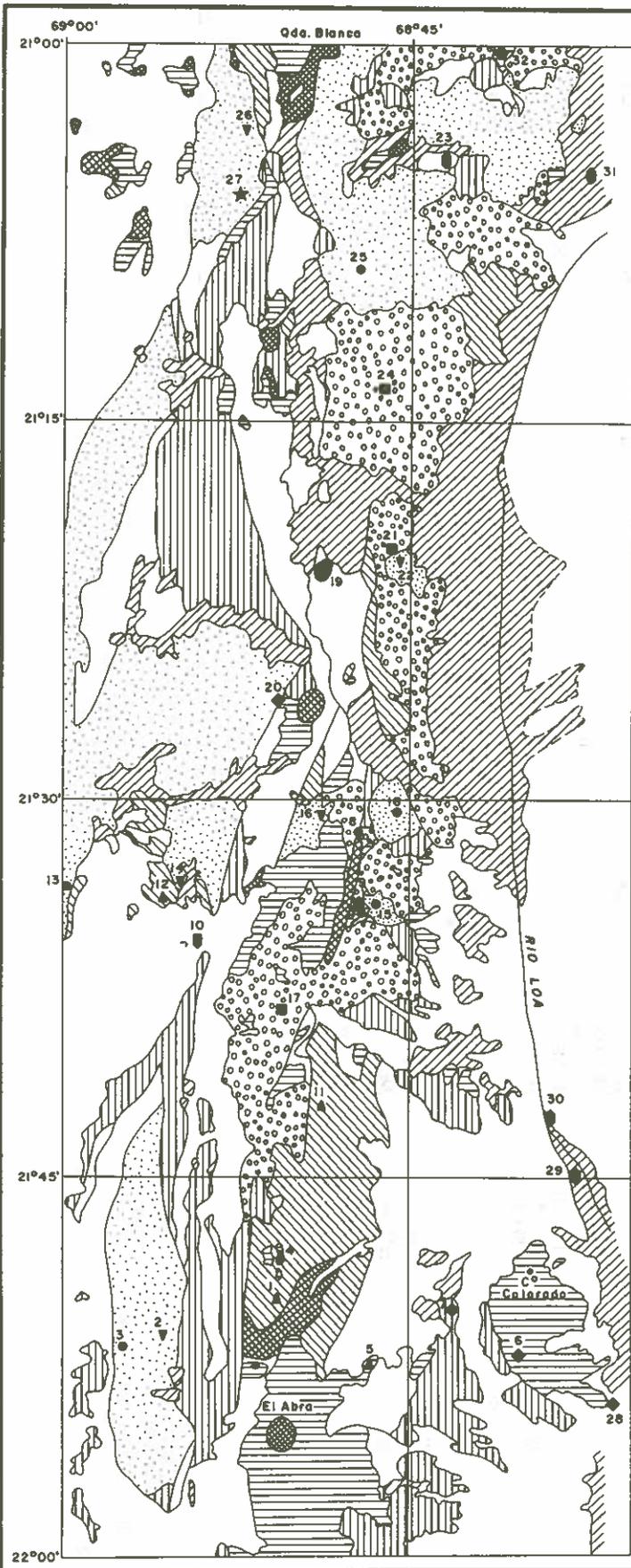
En un granito de muscovita que intruye a esquistos y gneisses en el extremo norte del área

se obtuvo una edad de  $431 \pm 10$  m.a. (N° 27) lo que indica una edad Ordovícico Superior-Silúrico Inferior. Esta edad es la más antigua obtenida en Chile por el método K/Ar. Granitos ordovícicos se han datado por el método Pb/ $\alpha$ , al sur de esta área, en Monturaqui ( $487 \pm 50$  m.a. y Aguada el Leoncito ( $467 \pm 50$  m. a.) (UG, 1972).

Cuatro muestras tienen edades que fluctúan entre 318 y 287 m. a. (N° 2, 14, 16, 22), este último valor en roca total. Estos resultados indican actividad intrusiva en el Carbonífero. Una muestra de esquistos micáceos aparentemente intruido por estos granitoides, fue datado en  $292 \pm 17$  m. a. (N° 26), lo que evidenciaría un evento térmico asociado a los intrusivos en el Carbonífero Superior.

Por otra parte resultados de 5 muestras indican edades correspondientes al Pérmico entre 272 y 232 m. a. (N° 3, 13, 15, 18, 25). Las biotitas en las muestras N° 13, 15, 18 están parcialmente alteradas a clorita por lo que podrían interpretarse como edades mínimas.

La muestra N° 8, correspondiente a un granitoide fuertemente alterado, con cuarzo y serici-



DISTRIBUCION DE ROCAS INTRUSIVAS Y VOLCANICAS



LEYENDA

PALEOZOICO

GRANITOIDES Y ROCAS METAMORFICAS.

MESOZOICO

ROCAS VOLCANICAS ANDESITICAS

PORFIDOS RIOLITICOS, RIOLITAS

CENOZOICO

ROCAS VOLCANICAS ACIDAS

ROCAS VOLCANICAS ANDESITICAS

GRANITOIDES

ZONAS CON ALTERACION HIDROTHERMAL.

MUESTRAS CON EOAD RADIOMETRICA

- ★ ORDOVICICO
- ▼ CARBONIFERO
- PERMICO
- CRETACICO
- ◆ PALEOCENO
- ▲ EOCENO
- ▣ OLIGOCENO
- MIOCENO

FIG. 1

Tabla 1. Datos analíticos de rocas intrusivas y volcánicas en la cordillera de los Andes entre 21° y 22° Lat. S.

Muestra N°	Número de terreno	Lat. S.	Ubicación Long. W.	Tipo de Roca	Material Analizado	K%	** Ar rad (cm <sup>3</sup> xstp/gr × 10 <sup>-5</sup> )	** Ar atm %	Edad y error (m.a.)
1	D-1	21°50'00"	68°50'40"	Andesita	Rt	2,23	0,378	56,99	42,2 ± 2,3
2	D-2	21°51'30"	68°55'30"	Granito	B	5,78	7,619	3,21	305 ± 8
3	D-3	21°51'40"	68°57'15"	Granito	B	7,47	7,331	9,89	232 ± 7
4	D-4	21°48'00"	68°50'30"	Diorita	B	5,49	1,089	17,75	49,1 ± 1,2
5	D-5	21°52'45"	68°46'40"	Diorita	Rt	1,38	0,247	72,83	44,7 ± 2,5
6	D-6	21°52'00"	68°40'10"	Monzonita	B	7,24	1,911	10,29	65,1 ± 1,8
7	P-18	21°50'30"	68°43'00"	Andesita	Rt	1,62	0,302	77,43	55,6 ± 6,9
8	C-89	21°31'30"	68°47'10"	Pórfido	Rt(x)	4,25	4,092	4,03	227 ± 8
9	C-372	21°34'10"	68°47'00"	Ignimbrita	B	5,52	0,162	51,69	7,34 ± 0,37
10	C-326	21°35'40"	68°53'50"	Ignimbrita	B	6,68	0,933	48,59	34,7 ± 0,8
11	C-36	21°42'10"	68°49'00"	Andesita	Rt	3,15	0,543	40,88	42,8 ± 1,2
12	C-331	21°34'00"	68°55'30"	Andesita	Rt	1,01	0,208	55,54	50,6 ± 1,3
13	C-330	21°34'00"	68°59'30"	Granodiorita	B(x)	1,26	1,457	26,04	271 ± 8
14	C-350	21°33'20"	68°55'00"	Granito	B	5,79	7,411	3,3	297 ± 10
15	C-373	21°34'20"	68°46'40"	Q. Diorita	B-H(x)	0,45	0,527	54,77	272 ± 23
16	C-224	21°21'30"	68°48'50"	Granodiorita	B(x)	2,88	3,833	7,04	318 ± 7
17	C-334	21°38'00"	68°50'40"	P. Riolítico	Feld.	9,18	4,095	21,01	109 ± 2
18	C-228	21°31'30"	68°45'30"	Granodiorita	B(x)	1,92	2,142	8,51	260 ± 4
19	11S-B3*	21°20'50"	68°49'40"	Q. Diorita	R(x)	2,80	0,349	76,9	31,7 ± 2,2
20	22P-S2*	21°26'30"	68°46'00"	Granito	Rt	3,15	0,821	22,7	65,8 ± 1,7
21	10X-S4*	21°20'20"	68°46'00"	P. Riolítico	Rt	2,76	0,988	21,7	89,8 ± 2,3
22	10X-S1*	21°20'30"	68°45'50"	Diorita	Rt	1,08	1,304	25,7	287 ± 7
23	Q-2	21°04'30"	68°43'00"	Dacita	B	6,47	0,657	57,24	25,3 ± 0,5
24	Q-3	21°13'45"	68°46'40"	Riolita	Feld	3,17	1,493	32,11	114 ± 3
25	Q-4	21°09'00"	68°47'30"	Granodiorita	B(x)	2,21	2,313	12,03	247 ± 18
26	Q-5	21°03'40"	68°52'20"	Esquisto	B	4,94	6,179	21,23	292 ± 17
27	Q-170	21°05'50"	68°52'20"	Granito	M	8,56	16,51	2,69	431 ± 10
28	A-38•	21°54'00"	68°36'30"	Diorita	B				62,2 ± 2,2
29	A-40•	21°45'00"	68°39'00"	Ignimbrita	B				8,5 ± 1,4
30	A-41•	21°43'15"	68°39'10"	Ignimbrita	B				8,4 ± 0,4
31	A-66•	21°04'30"	68°38'30"	Ignimbrita	B				9,4 ± 0,4
32	H-405•	21°00'10"	68°41'00"	Granodiorita	Rt.				59,4 ± 1,2

1) Datos realizados en São Paulo.

\* Datación en Japón.

• Baker (com. escrita).

(x) Alterada.

Rt = roca total; b = biotita; H = hornblenda; M = muscovita; P = pórfido; Feld = feldespato.

ta, fue analizada para datar la alteración. La edad obtenida de  $227 \pm 8$  m. a., en roca total, es considerada como aparentemente anómala debido a que este tipo de alteración, incluso en zonas muy próximas, ha sido datada como Terciario. Las evidencias de terreno no son concluyentes para determinar la edad de este granitoide por lo que este resultado deberá ser confirmado en futuras investigaciones.

*Mesozoico.* Las edades K/Ar obtenidas y las relaciones estratigráficas que se conocen en el área indicarían actividad intrusiva sólo durante el Cretácico. La mayor parte de las rocas asignadas a esta edad corresponden a pórfidos riolíticos o dacíticos de gran distribución areal y que presentan características subvolcánicas con facies intrusivas y efusivas muy difíciles de separar en terreno. Estas rocas, junto a las asignadas al Paleozoico constituyen arealmente más del 80% de las rocas intrusivas de esta zona. Tres muestras dieron edades de  $114 \pm 3,109 \pm 2$  y  $89,8 \pm 2,3$  m.a. (N° 24, 17, 21). Las dos primeras son más confiables, por haber sido hechas en feldespato potásico, a diferencia de la última cuyo análisis fue en roca total. Estos resultados indican una edad mínima meso-Cretácico para los pórfidos riolíticos.

Aparte de estos pórfidos riolíticos, la actividad intrusiva durante el Mesozoico aparece como muy restringida. Sólo pequeños stocks y filones granitoides pueden ser asignados al Cretácico-Terciario (?) porque intruyen a rocas estratificadas e intrusivas del Jurásico Superior y del Cretácico.

*Cenozoico.* Las dataciones radiométricas indican que la primera fase de actividad intrusiva durante el Cenozoico se restringe principalmente al Terciario Inferior (Paleoceno-Eoceno), incluyendo aún en parte al límite Cretácico-Terciario.

En el cerro Colorado, en el extremo sureste del área, se obtuvo una edad de  $65,1 \pm 1,8$  m.a. (N° 6), concordante con otra de  $62,2 \pm 2,2$  m. a. (N° 28) obtenida en el mismo complejo intrusivo por Baker (com. escrita). Edades similares se obtuvieron, en roca total, en un intrusivo granítico en la parte central del área estudiada ( $65,8 \pm 1,7$  m.a.; N° 20), en un stock granitoide ( $59,4 \pm 1,2$  m. a.; N° 30) en el extremo noreste, cercano a Collahuasi, y en un filón andesítico en la parte sur ( $55,6 \pm 6,9$  m. a.; N° 7). Estos resultados indican una fase intrusiva en el Paleoceno o más am-

pliamente, vinculado al límite Cretácico-Terciario.

Otra etapa estaría representada por dos muestras que pertenecerían al complejo intrusivo de El Abra, que intruye a pórfidos riolíticos cretácicos, cuyas edades  $49,1 \pm 1,2$  (N° 4) y  $44,7 \pm 2,5$  (N° 5), corresponden al Eoceno.

La última fase de la actividad intrusiva en esta zona corresponde a granitoides en que se desarrollan procesos hidrotermales con brechas de turmalina, halos de alteración, etc. Estas rocas han sido datadas en  $31,7 \pm 2,2$  m. a. (N° 19) en la parte central del área estudiada y en  $33,2$  m. a. en El Abra (Quirt y otros, 1972) en el extremo sur. Los resultados citados permiten asignar al Oligoceno la última etapa de la actividad intrusiva, etapa que aparece como de gran importancia económica, ya que también Chuquicamata (Quirt y otros, 1972) y Quebrada Blanca (A. Thomas, com. oral), corresponden a este período.

#### *Cronología de eventos volcánicos*

*Mesozoico.* Los primeros eventos volcánicos que se identifican en esta área corresponden a rocas andesíticas a las que se les ha asignado una edad Cretácico Inferior por relaciones estratigráficas.

Posteriormente se desarrolló un volcanismo ácido evidenciado por las facies efusivas de los pórfidos riolíticos cuyas dataciones dieron valores entre 114 y 89 m. a. (N° 24, 17, 21). Como se explicó anteriormente, es difícil separar claramente en terreno las facies intrusivas y efusivas de estas rocas.

*Cenozoico.* La actividad volcánica se desarrolló principalmente en el Eoceno y Mioceno con un volcanismo de tipo andesítico y riolítico, respectivamente.

Tres muestras de una potente formación volcánica andesítica, que se desarrolla principalmente en la zona central y sur del área, dieron edades de  $50,6 \pm 1,3$ ,  $42,8 \pm 1,2$  y  $42,2 \pm 2,3$  m. a. (N° 12, 11 y 1), en roca total, lo que permite asignarlas al Eoceno. Edades similares se han encontrado inmediatamente al norte de esta área, en el Cuadrángulo Ujina (H. Vergara, en prep.).

El volcanismo ácido se iniciaría en el Cenozoico con una toba riolítica, de escaso desarrollo areal, ubicada en la base de una secuencia de

sedimentos continentales que ha sufrido un leve plegamiento, en la parte central-oeste del área. Una muestra de esta toba dio una edad de  $34,7 \pm 0,8$  m.a. (N° 10) lo que permite asignarla al Oligoceno. Esta roca, similar a las riolitas subhorizontales que cubren gran parte de la zona norte, representaría la primera evidencia de volcanismo ácido, ignimbrítico en la zona.

Las riolitas e ignimbritas típicas, subhorizontales y de gran extensión areal, fueron muestreadas en cuatro zonas diferentes y dieron en cambio edades de  $9,4 \pm 0,4$ ,  $8,5 \pm 1,4$  y  $8,4/\pm 0,4$  m.a.

(N° 31,29,30) (Baker, com. escrita) y  $7,34 \pm 0,37$  m.a. (N° 9). Esta última está ubicada hacia el oeste de las anteriores que son más antiguas.

Un cuerpo dacítico con características de cuello volcánico, que aflora en la parte norte del área, fue datado en  $25,3 \pm 0,5$  m. a. (N° 23). Este cuerpo está aparentemente relacionado al volcanismo ácido de la zona.

Los resultados citados indican que el volcanismo ácido se desarrolló sobre todo en el Mioceno, principalmente en el Mioceno superior.

## CONCLUSIONES

La actividad intrusiva tuvo gran desarrollo durante el Paleozoico con granitoides, que constituyen el basamento del área, cuyas edades K/Ar sugieren ciclos durante el Ordovícico-Silúrico, Carbonífero y Pérmico. Estos resultados concuerdan con los publicados por McBride y otros (1976) para el basamento andino entre los  $25^\circ$  y  $30^\circ$  Lat. Sur.

Durante el Mesozoico se reinician los ciclos intrusivos con rocas de tipo subvolcánico de gran desarrollo en el meso-Cretácico y stocks granitoides en el Cretácico Superior-Terciario Inferior. Las últimas evidencias de rocas intrusivas en el área corresponden a granitoides relacionados con procesos de alteración hidrotermal y mineralización cuprífera de importancia económica en el Oligoceno.

La distribución y edades de los intrusivos no sugieren ningún ordenamiento o migración en su emplazamiento como los indicados por Farrar y otros (1970), para la región de Copiapó. Esto concuerda con lo indicado por Halpern y Frutos (1975) para la región andina del norte de Chile y noroeste de Argentina.

El volcanismo andesítico se desarrolló durante el Cretácico Inferior y el Eoceno. El volca-

nismo ácido se iniciaría en el meso-cretácico con rocas subvolcánicas, para ser claramente efusivo en el Oligoceno y principalmente en el Mioceno Superior.

Aunque la distribución del volcanismo Cenozoico muestra una tendencia a ser más nuevo hacia el este, no es evidente una migración en las edades como la indicada por Vergara y Drake (1976) y Vergara y Munizaga (1974), para la región central y sur de Chile. Más bien los resultados obtenidos, unidos a los antecedentes aportados por Baker (1977) directamente al este de esta franja, sugerirían una superposición en el tiempo del volcanismo en esta área.

La correspondencia en las edades y la distribución en terreno parecen indicar que durante el Cretácico y Terciario los procesos intrusivos y volcánicos estuvieron íntimamente relacionados.

**AGRADECIMIENTOS.** Las dataciones hechas en São Paulo por Francisco Hervé y Francisco Munizaga, forman parte del Proyecto 120 "Evolución magmática de los Andes".

Los autores agradecen a F. Hervé y F. Munizaga, del Departamento de Geología, Universidad de Chile, la lectura crítica del texto.

## REFERENCIAS

- AMARAL, G.; CORDANI, U. KAWASHITA, C. AND REYNOLDS, J.H. 1966. Potassium-argon dates of basaltic rocks from southern Brasil. *Geoch. et Cosmochim Acta*, **19**, 159-189.
- BAKER, M. CW. 1977. Geochronology of Upper Tertiary volcanic activity in the Andes of north Chile. *Geol. Rundsch.* **66** (2), 455-465.
- FARRAR, E.; CLARK, A. H.; HAYNES, S. J.; QUIRT, G. S.; CONN, H. and ZENTILLI, M. 1970. K-Ar evidence for the post-Paleozoic migration of granitic intrusive foci in the Andes of northern Chile. *Earth and Planet. Sci. Lett.* **10**, 60-66.
- GEOLOGICAL SOCIETY, Phanerozoic time scale. 1964. *Q. J. Soc. Lond.* **120** S. 260-262.
- HALPERN, M. and FRUTOS, J. 1975. Rb-Sr dates and strontium isotope composition of magmatic rocks from northern Chile and Argentina (Abstract). *Geol. Soc. Am. Abstract with programs*, **7** (7), 1096-1097.
- INSTITUTO DE INVESTIGACIONES GEOLÓGICAS. 1972. *Jornadas de trabajo Antofagasta*. **1** (7), 132 - 145.
- MAPA GEOLÓGICO DE CHILE, 1:1.000.000, 1968. Instituto de Investigaciones Geológicas. Chile.
- MCBRIDE, S.L.; CAELLES, J.C.; CLARK, A.H. and FARRAR, E. 1976. Paleozoic radiometric age provinces in the Andean basement latitudes 25° 30' S. *Earth and Planet. Sci. Lett.* **29**, 373-383.
- QUIRT, G. S.; CLARK, A. H.; FARRAR, E. AND SILLITOE, R. H. 1972. Potassium-argon ages of porphyry copper deposits in northern and central Chile (Abstract). *Geol. Soc. Am., Abstract with programs*, **3** (7), 676-677.
- VERGARA, M. y DRAKE, F. 1976. Evidencias de periodicidad en el volcanismo Cenozoico de los Andes centrales. 1° Congreso Geológico Chileno, tomo II, F 153-F161.
- VERGARA, M. and MUNIZAGA, F. 1974. Age and evolution of the Upper Cenozoic andesitic volcanism in Central-South Chile. *Geol. Soc. Am. Bull.* **85**, 603-606.