

## GEOCROLOGIA K-Ar DE LAS ROCAS INTRUSIVAS ENTRE LOS 31° -32° LATITUD SUR, CHILE

SERGIO RIVANO G.

PATRICIO SEPULVEDA H.

MIGUEL HERVE A.

ALVARO PUIG G.

Servicio Nacional de Geología y Minería, Casilla 10465, Santiago.

### RESUMEN

El mapa geológico detallado, acompañado de 33 nuevas determinaciones geocronológicas K-Ar, realizado entre los 31° -32° Lat. S, ha permitido distinguir cuatro grandes grupos de granitoides: Intrusivos Jurásicos (191-138 Ma), Cretácicos (134-85 Ma), Cretácico Superior-Terciarios (67-34 Ma) y Terciarios (26-8 Ma). Cada grupo está constituido por diferentes Unidades y Super Unidades de rocas plutónicas, que forman franjas meridianas cada vez más jóvenes hacia el este. Dentro de los Intrusivos Cretácicos y Cretácico-Terciarios (Super Unidades Illapel y Cogotí) es posible notar, también, una polaridad de edades más jóvenes hacia el este. De lo anterior se concluye que, entre los 31° -32° S, existió una progresiva migración hacia el este de los focos magmáticos, que acompañó a la subducción de la corteza del Pacífico bajo el borde continental sudamericano durante el Mesozoico y Cenozoico.

### ABSTRACT

The detailed geologic mapping of Chile between 31° and 32°S latitudes, together with 33 new K-Ar age determinations, allows the identification of four granitoid groups: Jurassic Intrusives (191-138 Ma), Cretaceous Intrusives (134 to 85 Ma), Upper Cretaceous-Tertiary Intrusives (67-34 Ma) and Tertiary Intrusives (26-8 Ma). Each granitoid group is composed of different plutonic Units and Super Units, arranged in north-south general trending belts which are progressively younger to the east. The Cretaceous and Upper Cretaceous-Tertiary granitoid groups (Illapel and Cogotí Super Units) also present an internal arrangement with the younger ages towards the east. The geochronological analyses of plutonic rocks show that their intrusion foci have migrated to the east with time, and are related to the subduction of the Pacific ocean-floor under the Southamerican continent during Mesozoic and Cenozoic times.

### INTRODUCCION

Recientemente, como parte del programa Carta Geológica de Chile 1:250.000 (Hoja Illapel) del SNGM, se han efectuado 33 dataciones K-Ar de muestras de granitoides, que afloran entre los 31° -32° Lat. S. Estas nuevas dataciones confirman los estudios previos de Farrar *et al.* (1970) y McNutt *et al.* (1975) los cuales indican que, entre los 27° y 33°S existiría una marcada y progresiva migración de los focos plutónicos hacia el este, durante el

Mesozoico y Cenozoico. En el presente trabajo se presentan las nuevas edades obtenidas para las rocas intrusivas, entre los 31°-32°S, las cuales se comparan con los datos publicados con anterioridad para esta región.

En la zona de Illapel se exponen diversos grupos mayores de rocas intrusivas, que se distinguen entre sí por su litología y edad, como por su distribución areal y posición en terreno. Desde el punto

de vista cronológico, se separan en Intrusivos Jurásicos, Cretácicos, Cretácico-Terciarios y Terciarios. Cada uno de estos grupos está formado por un número limitado de Unidades y/o Super Unidades (Rivano y Sepúlveda, en prep.). El término Unidad es aplicable a un conjunto de rocas plutónicas, que presentan relaciones similares con sus rocas de caja, un rango de variación petrográfica común y

una edad parecida. Por Super Unidad se entenderá un conjunto de unidades que representan o forman parte de un ciclo o evento plutónico mayor. Estos conceptos, que difieren ligeramente de la definición original indicada por Cobbing y Pitcher (1972) en sus estudios del Batolito Costero del Perú, se utilizan en este trabajo sólo como una base operativa para una nomenclatura de terreno.

### INTRUSIVOS JURASICOS (Super Unidad Mincha)

Constituyen la franja más occidental de granitoides, ocupando el 80% de las planicies litorales y Cordillera de la Costa (Fig. 1). Intruyen a rocas metamórficas y sedimentarias del Paleozoico (Complejo Metamórfico del Choapa, Formación Arrayán y Formación Huentelauquén) y rocas sedimentarias triásicas y jurásicas (Formación El Quereo, Pichidanguí y Estratos de Pupio). El ancho promedio de esta franja es de aproximadamente 20 km y se extiende a lo largo de la Hoja Illapel excediendo sus límites norte y sur (Rivano y Sepúlveda, en prep.). La Super Unidad Mincha se subdivide en cuatro unidades (Millahue, Puerto Oscuro, Tranquilla y Cavilolén) ubicadas en franjas progresivamente más jóvenes hacia el este.

**La Unidad Millahue** es la más antigua dentro de la Super Unidad Mincha, está constituida por granitoides de color rosado a amarillo-rosado claro debido a su alto contenido de feldespato potásico, el que se encuentra generalmente argilizado (Fig. 1). Está formada por rocas de grano grueso muy homogéneas, de composición variable entre monzogranitos y sienogranitos y que pueden alcanzar hasta sienitas cuarcíferas. Estas rocas son hololeucocrática a leucocráticas con un índice de color modal bajo (menor que 9). La única datación K-Ar en rocas de la Unidad Millahue es una edad en biotita, de  $191 \pm 4$  Ma (Munizaga y Charrier, comun. verbal, Tabla 1). Si bien esta es una edad mínima, que marca el momento en que la temperatura de la roca descendió por bajo los  $250^\circ\text{C}$  (Dalrymple y Lamphere, 1969) ella guarda una correspondencia relativamente buena con una de las dos edades Pb- $\alpha$  obtenidas en esta unidad ( $195 \pm 20$  y  $225 \pm 25$  Ma) por Munizaga (1972). Así, aunque con evidente riesgo por la insuficiente calidad de la información, se supone aquí que la edad de enfriamiento, de la Unidad Millahue sería

jurásica inferior (Lías), tomando como base la escala de Harland *et al.*, 1982. No se puede descartar por completo una edad de intrusión aún más antigua.

**La Unidad Puerto Oscuro.** Sus afloramientos se extienden, formando un solo cuerpo batolítico, desde Huentelauquén hasta el límite norte de la Hoja Illapel (Fig. 1) e inclusive más hacia el norte. Pese a que presenta variaciones litológicas y texturales de cierta importancia, esta unidad se distingue por su color gris-verdoso a oscuro, y por la abundancia de los minerales máficos. Los tipos petrográficos corresponden a monzodioritas cuarcíferas de hiperstena y biotita, y gabros de piroxeno y olivino (Rivano y Sepúlveda, en prep.). Las dos edades K-Ar en biotita:  $171 \pm 4$  Ma y  $174 \pm 4$  Ma, presentadas en este trabajo junto con una edad previa de  $187 \pm 5$  Munizaga y Charrier, comun. verbal) podrían representar una edad muy cercana a la intrusión, la que se ubicaría así en el Jurásico Medio. Una edad Pb- $\alpha$  (Tabla 1) de  $173 \pm 20$  Ma, apoya la inferencia anterior.

**La Unidad Tranquilla** es la más reducida de la Super Unidad Mincha y sus afloramientos principales, que siguen un rumbo norte-sur, están formados por plutones de pequeño tamaño (Fig. 1). Las rocas de esta unidad corresponden a sienogranitos pasando, a veces, hasta sienitas cuarcíferas y pórfidos sienítico-cuarcíferos, con índices de color menores que 9 (Rivano y Sepúlveda, en prep.). No se pudo efectuar dataciones K-Ar en esta unidad debido a la ausencia, casi completa, de ferromagnesianos, pero sus relaciones de terreno con la Unidad Puerto Oscuro sugerirían que es más joven que ella, aunque no se descarta por completo la posibilidad de una relación genético-temporal con la Unidad Millahue.

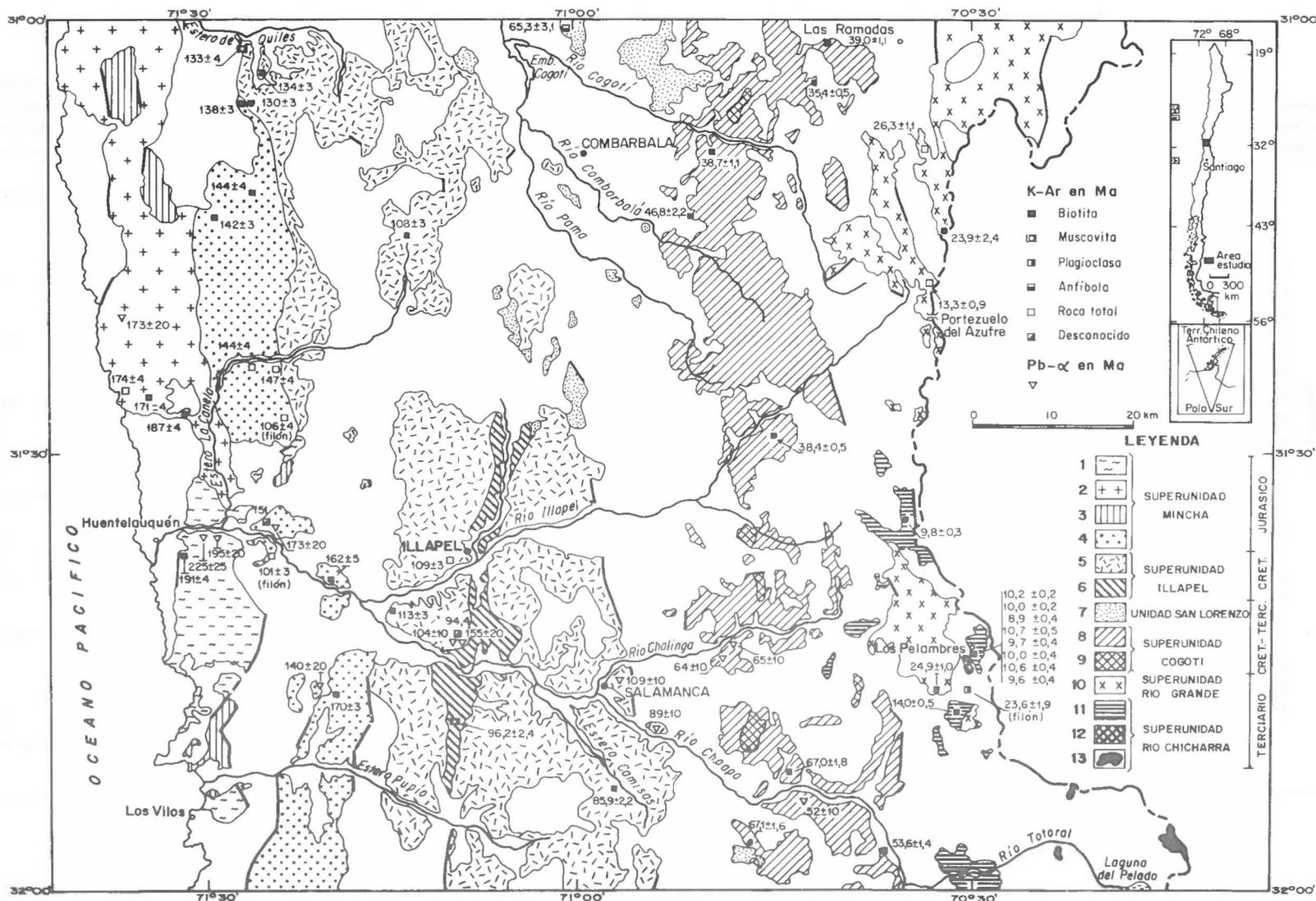


FIG. 1. Mapa de la distribución de las rocas intrusivas mesocenoicas entre los 31° y 32° Lat. S.

TABLA 1. SUPER UNIDAD MINCHA

No. de Muestra	Coordenadas Geográficas	Tipo de roca	Material	% K	Vol <sup>40</sup> Ar rad. (nl/g)	% Ar Atm.	Edad K-Ar y error* Ma	Edad Pb-α y error Ma	Referencia
<b>Unidad Millahue</b>									
Em-27	31° 36.1' / 71° 31'	—	Biotita	—	—	—	191 ± 4	—	3
170	31° 34.9' / 71° 29.5'	Granito	—	—	—	—	—	225 ± 25	2
171	31° 34.9' / 71° 28.7'	Granito	—	—	—	—	—	195 ± 20	2
<b>Unidad Puerto Oscuro</b>									
175	31° 19.9' / 71° 35.8'	Granodiorita	—	—	—	—	—	173 ± 20	2
CHO-27	31° 25.3' / 71° 35.5'	—	Biotita	6.861	48.862	10.3	174 ± 4	—	1
893-R	31° 26.5' / 71° 33.8'	Granodiorita	Biotita	7.476	52.035	8.6	171 ± 4	—	1
EM-26	31° 26.5' / 71° 30.5'	—	Biotita	—	—	—	187 ± 4	—	3
<b>Unidad Cavilolen</b>									
925-R	31° 13.2' / 71° 28.9'	Granodiorita	Biotita	7.432	42.825	11.0	142 ± 3	—	1
784-R	31° 05.7' / 71° 25.8'	Monzodiorita	Biotita	7.354	41.008	9.3	138 ± 3	—	1
834-R	31° 12.1' / 71° 25.5'	Granodiorita	Biotita	7.201	41.834	8.0	144 ± 4	—	1
CHO-24	31° 23.5' / 71° 25'	—	Biotita	6.548	38.148	11.3	144 ± 4	—	1
172	31° 35.3' / 71° 24.7'	Tonalita	—	—	—	—	—	173 ± 20	2
172	31° 35.3' / 71° 24.7'	Tonalita	¿Biotita?	—	—	—	(147) 151	—	2
CHO-23	31° 23.5' / 71° 23.4'	—	Biotita	7.062	42.095	7.8	147 ± 4	—	1
186	31° 46' / 71° 20.3'	Diorita	—	—	—	—	—	140 ± 20	2
145-S	31° 47' / 71° 20'	Diorita	Biotita	7.426	51.406	8.1	170 ± 3	—	1
EM-30	31° 38.7' / 71° 19'	—	Biotita	—	—	—	162 ± 5	—	4

## REFERENCIAS

1. Este trabajo
2. Munizaga, 1972
3. Munizaga y Charrier comun. verbal, 1983
4. Munizaga y Vicente, 1982

\*K-Ar (Referencia 1) = Error en nivel 2σ

$$\lambda_{\epsilon} = 0.581 \times 10^{-10} \text{ x años}^{-1}$$

$$\lambda_{\beta} = 4.96 \times 10^{-10} \text{ x años}^{-1}$$

$$^{40}\text{K/K total} = 0.01167$$

Todas las edades K-Ar publicadas antes de 1977 han sido recalculadas con estas constantes (entre paréntesis se indica la edad original).

**La Unidad Cavilolén** ocupa una posición oriental respecto de las otras unidades de la Super Unidad Mincha (Fig. 1). Está formada por rocas de color gris claro, grano fino a medio, generalmente más frescas que los granitoides de las otras unidades jurásicas. Modalmente corresponde a granodioritas y tonalitas (Rivano y Sepúlveda, en prep.). Un total de nueve edades K-Ar en biotita ocupan el rango entre  $170 \pm 3$  y  $138 \pm 3$  Ma (Tabla 1), es decir desde el Jurásico Medio-Superior hasta el Cretácico Inferior (Neocomiano). Cabe destacar que las edades son más jóvenes al norte de la Hoja Illapel, siendo probable que la edad de 138 Ma (ver Fig. 1), esté rejuvenecida por la cercanía de los intrusivos cretácicos de la Super Unidad Illapel, aflorantes in-

mediatamente al este. También en esta unidad existen dos edades Pb- $\alpha$  de  $173 \pm 20$  y  $140 \pm 20$  Ma (Munizaga, 1972), las que, por mostrar una buena concordancia con las edades K-Ar, sirven para afirmar la hipótesis que la edad de enfriamiento más probable de la Unidad Cavilolén se ubica entre los 140 y 170 Ma, es decir, entre el Jurásico Medio alto al Cretácico Inferior bajo.

En conclusión, los intrusivos de la Super Unidad Mincha se incluyen en dos grupos principales de edad: a) Un grupo con edades entre más de 190 Ma a 170 Ma (Unidades Millahue, Puerto Oscuro y, probablemente, Tranquilla), y (b) Un grupo con edades entre 170 y 138 Ma (Unidad Cavilolén).

### INTRUSIVOS CRETACICOS (Super Unidad Illapel)

Forman una ancha franja de rocas plutónicas, ubicadas al oriente de la Super Unidad Mincha, la más extensa de todas las expuestas en la Hoja Illapel, ya que aflora ocupando una superficie mayor que 1.800 km<sup>2</sup> (Fig. 1). Intruyen a las formaciones Arqueros y Quebrada Marquesa del Cretácico Inferior y sólo parcialmente al miembro inferior de la Formación Viñitas (Cretácico Superior). Gran parte de sus afloramientos están fuertemente alterados, meteorizados y/o cubiertos por suelo agrícola; por lo que se ha hecho difícil realizar una división de las unidades que pudieran formar parte de la Super Unidad Illapel. Debido a ello sólo se han separado, en forma preliminar, dos unidades dentro de ella: las Unidades Chalinga y Limáhuida.

**La Unidad Chalinga** constituye aproximadamente el 90% de la Super Unidad Illapel; incluye desde gabros a monzogranitos, pasando por granodioritas y dioritas cuarcíferas, leucocráticas a mesocráticas, las que son los tipos petrográficos predominantes. En total se dispone, hasta este trabajo, de nueve edades K-Ar: una edad de 94,4 Ma (Munizaga, 1972), con material y error no descrito; otras de  $96,2 \pm 2,4$  Ma, en muscovita, de una vena pegmatítica, que corta a la Unidad Limáhuida (este trabajo); otra de  $133 \pm 4$  Ma, en muscovita, de rocas de la aureola de contacto de la Unidad Chalinga (este trabajo) y seis edades en biotita, de  $85,9 \pm 2,2$ ;  $108 \pm 3$ ;  $109 \pm 3$ ;  $113 \pm 3$ ;  $130 \pm 3$  y  $134 \pm 3$  (es-

te trabajo) (Tabla 2). El conjunto de edades de esta unidad queda delimitado entre los 134 y 85 Ma, esto es, Cretácico Inferior medio a Cretácico Superior. De cuatro edades Pb- $\alpha$  de la Unidad Chalinga (Munizaga, 1972) (Tabla 2), al menos tres son concordantes con las edades K-Ar obtenidas en zonas cercanas a los puntos de muestreo. La edad Pb- $\alpha$  de  $155 \pm 20$  Ma debe ser desechada por su discordancia con edades Pb- $\alpha$  de  $104 \pm 10$  y K-Ar de 92,0 (Munizaga, 1972), efectuadas en el mismo lugar.

**La Unidad Limáhuida** se ubica según una franja continua, expuesta al norte y sur de Illapel, en una posición central dentro de la Unidad Chalinga (Fig. 1). Está formada por granodioritas leucocráticas, con ferromagnesianos alterados a clorita y epidota. No se han realizado dataciones radiométricas en esta unidad, sin embargo, se estima que debe ser contemporánea con la etapa de consolidación magmática de la Unidad Chalinga, es decir, Cretácico Inferior medio a Cretácico Superior.

En la Super Unidad Illapel se evidencia manifiestamente una polaridad de edades decrecientes, de oeste a este, al interior de la franja, y un rango de edades de 50 Ma lo que permite sugerir que ella incluye, quizás, varios eventos de intrusión separados en el tiempo, los que aún no han podido ser detectados, en forma precisa, durante los trabajos de terreno.

TABLA 2. SUPER UNIDAD ILLAPEL

No. de Muestra	Coordenadas Geográficas	Tipo de roca	Material	% K	Vol <sup>40</sup> Ar rad. (nl/g)	% Ar Atm.	Edad K-Ar y error Ma	Edad Pb-α y error Ma	Referencias
<b>Unidad Chalinga</b>									
855-R	31°01'/71°26.4'	Skarn	Muscovita	4.715	25.359	12.7	133 ± 4	—	1
921-R	31°05.5'/71°25.2'	Diorita	Biotita	7.106	37.098	22.8	130 ± 3	—	1
920-R	31°04.2'/71°24.3'	Tonalita	Biotita	6.926	37.655	7.1	134 ± 3	—	1
541-S	31°40.4'/71°15.2'	Tonalita	Biotita	7.105	32.349	11.5	113 ± 3	—	1
468-R	31°14.7'/71°12.9'	Tonalita	Biotita	6.433	27.735	9.0	108 ± 3	—	1
CHO-14	31°37.4'/71°10.5'	—	Biotita	5.942	25.942	7.8	109 ± 3	—	1
162-S	31°48.7'/71°10'	Pegmatita de cuarzo	Muscovita	8.782	33.744	9.7	96.2 ± 2.4	—	1
184	31°41.7'/71°09.7'	Granito	—	—	—	—	—	104 ± 10	2
184	31°41.7'/71°09.7'	Granito	¿Biotita?	—	—	—	(92.0)94.4	—	2
185	31°41.7'/71°09.7'	Granito	—	—	—	—	—	155 ± 20	2
181	31°45'/70°57.8'	Granito	—	—	—	—	—	109 ± 10	2
913-R	31°53.2'/70°56.6'	Granodiorita	Biotita	6.604	22.589	17.0	85.9 ± 2.2	—	1
183	31°49'/70°54.3	Diorita	Biotita	—	—	—	—	89 ± 10	2

## REFERENCIAS

1. Este trabajo
2. Munizaga, F., 1972

\*K-Ar (Referencia 1) = Error en nivel 2σ

$$\lambda_e = 0.581 \times 10^{-10} \text{ x años}^{-1}$$

$$\lambda_g = 4.96 \times 10^{-10} \text{ x años}^{-1}$$

$$^{40}\text{K/K total} = 0.01167$$

Todas las edades K-Ar publicadas antes de 1977 han sido recalculadas con estas constantes (entre paréntesis se indica la edad original).

TABLA 3. UNIDAD SAN LORENZO Y SUPER UNIDAD COGOTI (UNIDAD FREDES)

No. de Muestra	Coordenadas Geográficas	Tipo de roca	Material	% K	Vol <sup>40</sup> Ar rad. (nl/g)	% Ar Atm.	Edad K-Ar y error (2σ) Ma	Edad Pb-α y error Ma	Referencias
<b>Unidad San Lorenzo</b>									
G-208	30°58.5'/71°03'	Pórfido andesítico	Hornblenda	0.344	0.889	46.5	65.3 ± 3.1	—	6
<b>Unidad Fredes</b>									
221-S	31°13.5'/70°51'	Diorita	Biotita	7.413	13.653	24.1	46.8 ± 2.2	—	1
699-R	31°08.4'/70°49.6'	Granodiorita	Biotita	7.164	10.908	29.0	38.7 ± 1.1	—	1
180	31°43.1'/70°48.8'	Diorita	—	—	—	—	—	64 ± 10	2
179	31°42.5'/70°47.9'	Granito Porfírico	—	—	—	—	—	65 ± 10	2
RA-50	31°57'/70°47'	Granito	Biotita	6.641	17.638	13.9	67.1 ± 1.6	—	5
201-BS	31°51.5'/70°44'	Diorita cuarcífera	Biotita	6.887	18.260	21.2	67.0 ± 1.8	—	1
62-R	31°28'/70°44'	Diorita	Biotita	—	—	—	38.4 ± 0.5	—	4
182	31°53.8'/70°42.5'	Diorita	Biotita	—	—	—	—	52 ± 10	2
Vac. Loica	31°04'/70°41'	Alt. hidrotermal	Biotita	—	—	(34.5 ± 0.5)	35.4 ± 0.5	—	3
1.311-R	31°01'/70°40.1'	Diorita cuarcífera	Biotita	6.644	10.194	31.1	39.0 ± 1.1	—	1
996-S	31°57.3'/70°35.9	Monzodiorita cuarcífera	Biotita	6.866	14.534	18.2	53.6 ± 1.4	—	1

## REFERENCIAS

1. Este trabajo
2. Munizaga, 1972
3. Quirt, et al., 1971
4. Rivano, 1980
5. Cerda, 1984
6. Rosales, 1985

\*K-Ar (Referencia 1) = Error en nivel 2σ

$$\lambda_e = 0.581 \times 10^{-10} \text{ x años}^{-1}$$

$$\lambda_g = 4.96 \times 10^{-10} \text{ x años}^{-1}$$

$$^{40}\text{K/K total} = 0.01167$$

Todas las edades K-Ar publicadas antes de 1977 han sido recalculadas con estas constantes (entre paréntesis se indica la edad original).

## INTRUSIVOS CRETACICO-TERCIARIOS (Unidad San Lorenzo y Super Unidad Cogotí)

En este grupo se incluyen tanto la Unidad San Lorenzo como la Super Unidad Cogotí. Sus afloramientos se ubican al este de la Super Unidad Illapel, ocupando gran parte de la vertiente occidental de la Alta Cordillera (Fig. 1).

La **Unidad San Lorenzo** corresponde a un conjunto de stocks porfídicos, irregulares, que continúa hacia el sur de los 32° hasta la zona de Petorca (Quebrada Pedernales). Su petrografía es la de porfidos andesíticos y dioríticos, de color gris-verdoso oscuro, que conforman relieves positivos. Generalmente, presentan alteración hidrotermal y aparecen estrechamente asociados a zonas con mineralización de sulfuros de interés económico. En lo que respecta a su edad, por el momento, se dispone de una sola edad K-Ar, en roca total, de  $65,3 \pm 3,1$  Ma (Rosales, 1985) (Tabla 3), que la sitúa, así, en el rango Cretácico Superior terminal a Terciario más bajo.

La **Super Unidad Cogotí** está constituida por una sucesión de plutones de contornos irregulares y orientados norte-sur (Fig. 1), que intruyen a las formaciones Quebrada Marquesa y Viñita, del Cretácico Inferior más alto y Cretácico Superior respectivamente. En terreno se distinguen en ella dos unidades:

La **Unidad Fredes** corresponde a una franja de rocas plutónicas, que ocupa una posición más oriental que la Unidad San Lorenzo (Fig. 1) e incluye a sienogranitos, granodioritas, tonalitas, monzodioritas y dioritas, siendo los términos dioríticos los más predominantes (Rivano y Sepúlveda, en prep.). Se han efectuado ocho dataciones K-A, en biotita, en rocas de esta unidad, que se distribuyen entre los 67 y los 35 Ma (cinco en este trabajo; una de Munizaga, 1972; una de Quirt, *et al.*, 1972; y otra de Cerda, 1984) (Tabla 3). La distribución de éstas sugiere que existe, dentro de la unidad, una disminución gradual de la edad de oeste a este, ubicándose todas ellas entre el Cretácico Superior terminal y el Terciario Inferior (Paleoceno-Oligoceno). Tres edades Pb- $\alpha$  antiguas, ubicadas entre los 52 y 65 Ma (Munizaga, 1972) (Tabla 3) muestran una buena concordancia con las edades K-Ar.

La **Unidad Nogalada** está formada por pequeños cuerpos de leucogranitos (sieno y monzogranitos) de grano medio, a veces con textura mirmequítica y pobres en ferromagnesianos, los que ocupan una franja central dentro de la Unidad Fredes, de la cual han sido separados debido a su aspecto característico. Desafortunadamente, no hay datos radiométricos disponibles para esta unidad.

En resumen, puede indicarse que la franja de intrusivos cretácico-terciarios, e independientemente de la litología de las Unidades y Super Unidades que la componen, muestra una polaridad decreciente de las edades en sentido W-E al igual que en la franja cretácica.

## INTRUSIVOS TERCIARIOS

(Unidad El Maitén-Junquillar, Super Unidad Río Grande y Super Unidad Río Chicharra)

La franja de intrusivos terciarios es la más oriental de todas, ubicándose parte de ella en territorio argentino. En esta franja las distintas unidades intrusivas se han agrupado en una Unidad y dos Super Unidades: Unidad El Maitén-Junquillar, la Super Unidad Río Grande y la Super Unidad Río Chicharra (Fig. 1).

La **Unidad Maitén-Junquillar** (Mpodozis y Cornejo, en prep.) está limitada a una pequeña cuña en el extremo norte del área, entre las Super Unidades Cogotí y Río Grande. Consiste de pequeños plutones (no más de de 1-2 km<sup>2</sup>) de leucodioritas, los que, al norte de los 31° Lat. S, se hacen de mayor tamaño y están relacionados exclusivamente a la franja de calizas neocomianas de la Formación Río Tascadero (Rivano, 1980). Dado lo exiguo de sus afloramientos, esta unidad no ha podido ser re-

presentada en el mapa de la figura 1 y tampoco se cuenta con dataciones radiométricas; Mpodozis y Cornejo (en prep.) la atribuyen al Terciario.

La **Super Unidad Río Grande** es un conjunto de rocas intrusivas, que, en gran parte, constituyen el cordón fronterizo, en las nacientes de Río Grande-Río Tascadero (Rivano, 1975; Rivano, 1980) (Fig. 1), extendiéndose hacia territorio argentino. Dentro de esta Super Unidad se han distinguido dos Unidades de composición y características petrográficas diferentes (Río Las Cuevas y El Polvo). La última, dada la pequeña dimensión de los afloramientos, no ha podido ser incluida en la figura 1.

La **Unidad Río Las Cuevas** constituye alrededor del 95% de los afloramientos de la Super Unidad. Intruye a secuencias estratificadas del Paleozoico hasta el Terciario inferior y su petrografía predominante, monzogranítica a gra-

TABLA 4. SUPER UNIDAD RIO GRANDE (UNIDADES RIO LAS CUEVAS Y EL POLVO),  
SUPER UNIDAD RIO CHICHARRA (UNIDADES RIO CERRO BLANCO, PORTEZUELO DEL AZUFRE Y TAMBILLOS) Y FILONES OCOITICOS

No. de Muestra	Coordenadas Geográficas	Tipo de roca	Material	% K	Vol <sup>40</sup> Ar rad. (nl/g)	% Ar Atm.	Edad K-Ar y error (2σ) Ma	Edad Pb-α y error Ma	Referencias
<b>Unidad Río Las Cuevas</b>									
LC-50-C	31° 14.7'/70° 31.9'	Monzogranito	Biotita	7.177	6.695	84.0	23.9 ± 2.4	—	2
1-2	31° 46.5'/70° 31.8'	Granodiorita	Biotita	—	—	—	—	24.9 ± 1.0	3
<b>Unidad El Polvo</b>									
727-R	31° 07.9'/70° 33'	Gabro	Roca total	0.628	0.647	47.4	26.3 ± 1.1	—	1
<b>Unidad Río Cerro Blanco</b>									
204-R	31° 47.6'/70° 30.5'	Monzodiorita cuarcífera	Biotita	7.224	3.938	45.5	14.0 ± 0.5	—	1
s/n 1	31° 43.5'/70° 29'	Alteración hidrotermal	Biotita	—	—	(9.96 ± 0.18)	10.2 ± 0.2	—	4
s/n 2	31° 43.5'/70° 29'	Alteración hidrotermal	Biotita	—	—	(9.74 ± 0.16)	10.0 ± 0.2	—	4
DC-1	31° 43.5'/70° 29'	Diorita cuarcífera	Biotita	—	—	—	8.9 ± 0.4	—	3
DC-2	31° 43.5'/70° 29'	Diorita cuarcífera	Biotita	—	—	—	10.7 ± 0.5	—	3
DC-3	31° 43.5'/70° 29'	Diorita cuarcífera	Biotita	—	—	—	9.7 ± 0.4	—	3
DGP-1	31° 43.5'/70° 29'	Pórfido diorítico cuarcífero	Biotita	—	—	—	10.0 ± 0.4	—	3
PL-1	31° 43.5'/70° 29'	Pórfido	Biotita	—	—	—	10.6 ± 0.4	—	3
PA-1	31° 43.5'/70° 29'	Pórfido	Biotita	—	—	—	9.6 ± 0.4	—	3
963-R	32° 12.9'/70° 29.7'	Granodiorita	Biotita	7.614	4.467	49.5	15.0 ± 0.8	—	1
968-R	32° 06.4'/70° 29.3'	Monzonita cuarcífera	Biotita	7.481	5.031	42.7	17.2 ± 0.8	—	1
965-R	32° 11.8'/70° 28.3'	Monzonita cuarcífera	Biotita	7.067	4.181	65.4	15.2 ± 0.9	—	1
<b>Unidad Portezuelo del Azufre</b>									
730-R	31° 18'/70° 32.6'	Pórfido cuarzo feldespático	Roca total	3.801	1.969	74.8	13.3 ± 0.9	—	1
252-R	31° 33'/70° 34.8'	Monzonita cuarcífera porfírica	Biotita	7.758	3.331	38.0	9.8 ± 0.3	—	1
<b>Unidad Tambillos</b>									
A-1783	32° 23.4'/70° 17.5'	Dacita	Biotita	1.64	0.5109	46	8.0 ± 0.3	—	5
A-2242	32° 33.7'/70° 10.6'	Dacita	Roca total	2.24	0.8592	45	9.8 ± 0.2	—	5
<b>Filones Ocoíticos</b>									
A 1	31° 46'/70° 30.5'	Andesita	Feldespato	—	—	—	23.6 ± 1.9	—	3
564-R	31° 36.5'/71° 24.1'	Andesita	Roca total	1.715	6.899	28.4	101 ± 3	—	1
434-S	31° 27.6'/71° 22.9'	Andesita	Roca total	1.457	6.169	26.8	106 ± 4	—	1

## REFERENCIAS

1. Este trabajo
2. Cuitiño, 1985.
3. Anaconda, 1981
4. Quirt, *et al.*, 1971
5. Munizaga y Vicente, 1982; modificado en constantes de este trabajo.

$$\begin{aligned}
 &^*K\text{-Ar (Referencia 1) = Error en nivel } 2\sigma \\
 &\lambda_e = 0.581 \times 10^{-10} \text{ x años}^{-1} \\
 &\lambda_\beta = 4.96 \times 10^{-10} \text{ x años}^{-1} \\
 &^{40}K/K \text{ total} = 0.01167
 \end{aligned}$$

Todas las edades K-Ar publicadas antes de 1977 han sido recalculadas con estas constantes (entre paréntesis se indica la edad original).

nodiorítica leucocrática suele mostrar variaciones a facies de borde, de carácter monzonítico a monzodiorítico. Los monzogranitos son rocas de color blanco a rosado claro, de grano medio a grueso y textura hipidiomorfa, que a veces muestran algunos efectos cataclásticos. Sólo se han efectuado dos dataciones K-Ar, en biotita, de  $23,9 \pm 2,4$  Ma (Cuitiño, 1985) y  $24,9 \pm 1,0$  Ma (Anaconda, 1981, comun. escrita) las que ubicarían la edad de esta unidad en el Oligoceno Superior.

La Unidad El Polvo está formada por un gran número de pequeños cuerpos de composición diorítica a gabroica, generalmente con un diámetro de menos de  $1 \text{ km}^2$ , de color verde oscuro, con un índice de color alto (75-65), relacionados espacialmente con la Unidad Río Las Cuevas. Se dispone sólo de una datación K-Ar, en roca total de  $26,3 \pm 1,1$  Ma (Tabla 4), edad algo más antigua que las edades obtenidas en la Unidad Río Las Cuevas.

En conclusión, las edades obtenidas hasta ahora para la Super Unidad Río Grande la ubican en el Oligoceno Superior.

La Super Unidad Río Chicharra está ubicada en una posición meridional respecto a la otra Super Unidad terciaria (Fig. 1). Intruye a Unidades cretácicas (Formaciones Los Pelambres y Viñita) y terciarias (Formaciones Los Elquinos y Farellones). En ella se han diferenciado tres unidades: Río Cerro Blanco, Portezuelo del Azufre y Tambillos.

La Unidad Río Cerro Blanco, corresponde a un conjunto de pequeños stocks formados por monzodioritas, que predominan, monzonitas, dioritas y monzogranitos. Se ha efectuado una datación K-Ar, en biotita, de  $14,0 \pm 0,5$  Ma (este trabajo), lo que sitúa a esta Unidad en el Mioceno Medio. Más al sur de los  $32^\circ$  Lat. S, en la Hoja Los Andes, se recolectaron muestras en la prolongación meridional de sus afloramientos y se hicieron tres dataciones K-Ar, en biotita, obteniéndose edades de  $17,2 \pm 0,8$ ;  $15,0 \pm 0,8$  y  $15,2 \pm 0,9$  Ma (este trabajo), las que tienen buena concordancia con la edad antes mencionada.

La Unidad Portezuelo del Azufre está constituida por pequeños cuerpos ácidos, porfíricos, de características subvolcánicas, normalmente alterados, que presentan, en te-

rreno, un color amarillento debido, en parte, a la alteración hidrotermal asociada a ellos, como sucede en Portezuelo del Azufre. Se dispone de una edad K-Ar, en roca total, que se interpreta como edad de alteración y que corresponde a  $13,3 \pm 0,9$  Ma (este trabajo).

La Unidad Tambillos está formada por una serie de filones y cuerpos lacolíticos, de carácter dacítico a monzonítico-cuarcífero, que intruyen, en el sector de Río Totoral y Laguna del Pelado, a la Formación Farellones y formaciones más antiguas (Fig. 1). Esta unidad también aflora en los sectores de Pelambres y La Polcura-nacientes del estero Manque, formando pequeños cuerpos imposibles de representar a la escala del mapa de la figura 1. Los afloramientos de esta unidad corresponden a la prolongación de una franja que se sigue aproximadamente desde los  $33^\circ$  hacia el norte con una orientación general NNW (Munizaga y Vicente, 1982) y que, probablemente, también afloran más al norte, en territorio argentino. Son cuerpos pequeños, de colores claros, gris, blanco a rosado, con textura porfídica, cuya composición varía desde dacítica a monzonítico-cuarcífera (Rivano y Sepúlveda, en prep.). En el área estudiada se cuenta con nueve edades K-Ar, en biotita, de la Unidad Tambillos; una en las nacientes del estero Manque ( $9,8 \pm 0,3$  Ma) y ocho en Pelambres, que dan un promedio de  $9,9 \pm 0,4$  Ma (Quirt *et al.*, 1971 y Anaconda, 1981, comun. escrita) (Tabla 4). Cuerpos similares, expuesto al sur de los  $32^\circ$  (en Tambillos y Alto Leiva) han dado edades K-Ar de  $8,0 \pm 0,3$  y  $9,8 \pm 0,2$  Ma en biotita (Munizaga y Vicente, 1982; edades recalculadas en este trabajo), lo que permite relacionarlas con las edades obtenidas en el área y principalmente con aquellas del yacimiento Los Pelambres. Es posible que el evento magmático que dio origen a estos cuerpos sea el responsable de gran parte de la alteración que se observa en esta longitud, tanto al norte como al sur de los  $32^\circ$  Lat. S, tal como ocurre, por ejemplo, en el sector de Los Columpios del Diablo ( $32^\circ 30'$  Lat. S), lo que habría ocurrido durante el Mioceno Superior.

En conclusión, las edades obtenidas hasta ahora para la Super Unidad Río Chicharra sugieren la existencia de dos episodios magmáticos bien definidos en el tiempo uno entre los 18 y 13 Ma (Mioceno Inferior a Medio) y otro entre 10 y 8 Ma (Mioceno Superior).

## FILONES OCOÍTICOS

En la zona de Illapel es frecuente la presencia de filones de carácter ácido (especialmente en el sector costero), filones andesíticos y los más conspicuos, filones ocoítico\*. Se dispone de tres edades K-Ar para estos intrusivos filonianos (Tabla 4: dos en roca total para filones ocoíticos, que cortan a la Unidad Cavilólén ( $101 \pm 3$  y  $106 \pm 4$  Ma, este trabajo), y otra del área de Pelambres, que corresponde a una edad en feldespato, en un filón ocoítico, que dio un valor de  $23,6 \pm 1,9$  Ma (comun. oral, Anaconda, 1981)). Resulta notable constatar que tanto las edades de 101 y 106 Ma, en el oc-

cidente, como la de 23 Ma, en el oriente, son concordantes con las edades estimadas para las unidades intrusivas mayores con las cuales se asocian los filones, esto es, en el primer caso, con la Super Unidad Illapel (90-109 Ma) y en el segundo, con la Unidad Río Las Cuevas (23-25 Ma), lo cual sugiere que los filones ocoíticos están estrechamente relacionados con las grandes unidades plutónicas y que, la disminución progresiva de la edad, que ellas muestran, también estaría registrada en los filones ocoíticos y/o andesíticos que los acompañan.

\* En este trabajo usamos el término ocoítico para designar todos aquellos filones porfídicos en los que la mayoría de los cristales de plagioclasa sobrepasan los 0,5 cm de eje mayor.

## CONCLUSIONES

El conjunto de los nuevos análisis radiométricos efectuados entre los 31°-32° Lat. S, unidos a datos ya disponibles (ver Tabla 5) muestran claramente que las cuatro franjas principales de intrusivos se separan en rangos de edades bien definidas, abarcando desde el Jurásico Inferior hasta el Mioceno Superior, al igual que en zonas ubicadas más al norte (Farrar *et al.*, 1970) y más al sur (Aguirre *et al.*, 1974). El modelo de distribución de edades coincide con el propuesto por Munizaga y Vicente (1982) en la zona del Aconcagua, excepto por el hecho de que en la Alta Cordillera de Illapel las unidades cenozoicas que allí afloran han sido separadas en dos Super Unidades, una de edad oligocena superior (Super Unidad Río Grande, 26-27 Ma) y otra miocena (Super Unidad Río Chicharra, 17 Ma). Además, se muestra la existencia de intrusivos con edades entre los 44 y 34 Ma, no conocidos con anterioridad.

Si se considera la actual distribución de las franjas magmáticas se puede concluir que, en promedio, los focos magmáticos se desplazaron hacia el este a una razón de 0,5 km/10<sup>6</sup> años, desde el Ju-

rásico hasta el Mioceno Superior (Fig. 2). La curva ondulada de la figura 2 muestra que, posiblemente y sólo en base a los datos disponibles, la "velocidad de migración" no habría sido constante.

Esta modalidad de variación de la "velocidad de migración" debe estar relacionada con características propias del proceso de subducción: ya sea por una variación progresiva del ángulo de subducción de la Placa de Nazca, desde el Jurásico en adelante, o por una migración del foco magmático a lo largo del plano de subducción, o bien por un desplazamiento relativo hacia el este de la zona de subducción, en relación con un punto cualquiera del interior de la Placa de Sudamérica.

Finalmente, estos nuevos datos, unidos a los trabajos previamente citados, refuerzan la originalidad tectonomagmática de un sector de los Andes que abarca, aproximadamente, desde los 26° Lat. S hasta, por lo menos, los 35° de Lat. S, caracterizado por la progresiva migración hacia el este de los focos magmáticos durante el Mesozoico y Cenozoico.

**TABLA 5. RESUMEN DEL RANGO DE EDADES K-Ar, NUMERO DE DATACIONES Y DE LA PRINCIPAL LITOLOGIA PARA LAS UNIDADES DEFINIDAS ENTRE LOS 31°-32° LAT. S**

Super Unidad	Unidad	Edad en Ma	Dataciones K-Ar	Litología
Mincha	Millahue	191	1	Monzogranitos a sienogranitos
	Puerto Oscuro	187-171	3	Dioritas, monzodioritas y gabros
	Tranquilla	—	0	Sienogranitos a sienitas cuarcíferas
	Cavilolén	170-138(?)	8	Granodioritas y tonalitas
Illapel	Chalinga	134-85	9	Granodioritas a dioritas cuarcíferas
	Limáhuida	—	0	Granodioritas leucocráticas
	San Lorenzo	65	1	Pórfidos andesíticos y dioríticos
Cogotí	Fredes	67-35	8	Monzodioritas a dioritas
	Nogalada	—	0	Leucogranitos
Río Grande	Río Las Cuevas	25-24	2	Monzogranitos a granodioritas
	El Polvo	26	1	Dioritas y gabros
Río Chicharra	Río Cerro Blanco	17-14	4(3*)	Monzodioritas
	Portezuelo del Azufre	13	1	Pórfidos, cuarzo-feldespáticos
	Tambillos	11-9	11(2*)	Dacitas a monzonitas cuarcíferas

(\*) Dataciones obtenidas al sur de los 32° Lat. S, fuera del área considerada en este trabajo.

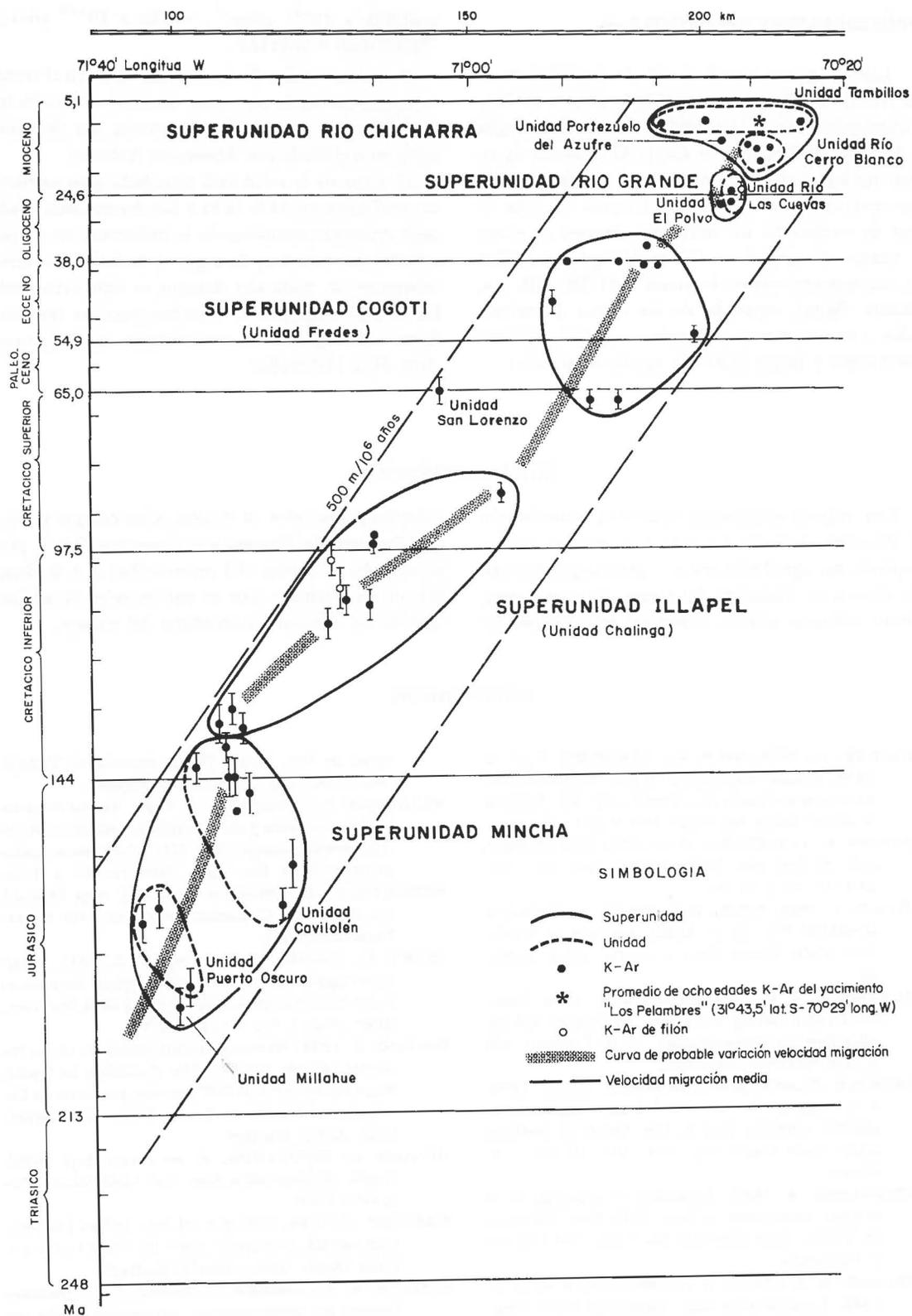


FIG. 2. Diagrama que relaciona edad *versus* longitud oeste y distancia a la posición de la fosa actual (Fuenzalida, 1983) de las rocas intrusivas mesocenoicas entre los 31° y 32° Lat. S.

## PROCEDIMIENTOS ANALITICOS K-Ar

Las 33 nuevas dataciones K-Ar incluidas en este trabajo se efectuaron en el Laboratorio de Geocronología K-Ar del Servicio Nacional de Geología y Minería en Santiago de Chile. El volumen de argón radiogénico se determinó usando las técnicas convencionales de Dilución Isotópica en una línea de extracción de vidrio con hornos de cobre y titanio. El análisis isotópico de argón se realizó en un espectrómetro de masas AEI MS-10S con lectura digital, separado de las líneas de extracción. Las constantes utilizadas son las sugeridas por Steiger y Jaeger (1977) y son las siguientes:

$$= 0,581 \times 10^{-11} \text{ años}^{-1}, = 4,96 \times 10^{-10} \text{ años y } {}^{40}\text{K/K total} = 0,01167.$$

Todas las edades K-Ar ya publicadas en el texto se han recalculado con estas constantes cuando ha procedido. El porcentaje de potasio fue determinado en triplicado por Absorción Atómica

El error de la edad está calculado para un nivel de confianza del 95% ( $2\sigma$ ) y fue determinado para cada muestra considerando la influencia en él, del cálculo del volumen de argón y potasio. Los concentrados de minerales datados se obtuvieron utilizando principalmente líquidos pesados (bromoforno) y separadores magnéticos, en fracciones entre 60 y 120 mallas.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se presenta como una contribución al Proyecto 120 del I.G.C.P. Los autores desean expresar sus agradecimientos a sus colegas Reynaldo Charrier y Francisco Munizaga, quienes permitieron informar edades obtenidas en muestras re-

colectadas por ellos en la zona, a los colegas y amigos Constantino Mpodozis y Francisco Hervé, por la revisión y crítica del manuscrito; y a la Srta. Jacqueline Bermejo, por su paciencia en la realización de los diferentes borradores del trabajo.

## REFERENCIAS

- AGUIRRE, L.; CHARRIER, R.; DAVIDSON, J.; *et al.* 1974. Andean magmatism: its paleogeographic and structural setting in the central part (30°-35°S) of southern Andes. *Pac. Geol.*, Vol. 8, p. 1-38.
- COBBING, E. J.; PITCHER, W. S. 1972. Plate tectonics and the Peruvian Andes. *Nature Phys. Sci.*, Vol. 240, No. 99, p. 51-53.
- CUITIRO, L. 1985. Estudio geológico del yacimiento de lapislázuli Flor de los Andes. Memoria de Título. Univ. Chile, Depto. Geol. y Geofís., 120 p. Santiago.
- DALRYMPLE, G. B.; LAMPHERE, M. A. 1969. Potassium-argon dating. Principles, techniques and applications to Geochronology. W. H. Freeman, 258 p., San Francisco, California.
- FARRAR, E.; CLARK, A. H.; HAYNES, S. J.; *et al.* 1970. K-Ar evidence for the post-Paleozoic migration of granitic intrusion foci in the Andes of northern Chile. *Earth Planet. Sci. Lett.*, Vol. 10, No. 1, p. 60-66.
- FUENZALIDA, R. 1983. Anomalías de gravedad en el margen continental y fosa Chile-Perú. Memoria de Título. Univ. Católica, Esc. Cienc. del Mar, 65 p. Valparaíso.
- HARLAND, W. B. COX, A. V. LLEWELLYN, P. G.; *et al.* 1982. Geologic time scale. Cambridge Univ. Press. England.
- MUNIZAGA, F. 1972. Edades radiométricas de rocas chilenas. *In* Inst. Invest. Geol., Jornadas de Trabajo, Vol. 2, Sec. 1, p. 132-145. Antofagasta.
- 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. *Rev. Geol. Chile*, No. 16, p. 3-21.
- MPODOZIS, C.; CORNEJO, P. (en prep.). Hoja Pisco Elqui, Región de Coquimbo. Serv. Nac. Geol. Miner., Carta Geol. Chile.
- QUIRT, S.; CLARK, A. H.; FARRAR, E. 1971. Potassium-argon ages of porphyry copper deposits in northern and central Chile. [Abstr.] *Geol. Soc. Am. Abstr.*, Vol. 3, No. 7, p. 676-677.
- RIVANO, S. 1975. Reconocimiento geológico de las nacientes del río Grande (Alta Cordillera de Ovalle, entre los 30°50' y 31°20' Lat. sur, provincia de Coquimbo). Memoria de Título, Univ. Chile, Depto. Geol., 214 p. Santiago.
- RIVANO, S.; SEPULVEDA, P. (en prep.). Hoja Illapel, Región de Coquimbo. Serv. Nac. Geol. Miner., Carta Geol. Chile.
- ROSALLES, G. 1985. Geología del área de San Lorenzo Combarbalá, IV Región. Taller de Título I y II Univ. Chile, Depto. Geol. y Geofís. Santiago.
- STEIGER, R. H.; JAEGER, E. (Comp.). 1977. Subcommittee on geochronology; convention on the use of decay contents in geo- and cosmochronology. *Earth Planet. Sci. Lett.*, Vol. 36, No. 3, p. 359-362.