



## LAS VOLCANITAS CRETÁICAS Y TERCIARIAS DE LA CORDILLERA DEL LIMITE ARGENTINO-CHILENO A LOS 32° DE LATITUD SUR

E. O. Cristallini\*, S. M. Kay\*\* y V. A. Ramos\*

### INTRODUCCION

Las rocas aflorantes en el límite argentino-chileno alrededor de los 32° de latitud sur están constituidas por una serie de depósitos volcánicos y volcánoclasticos cuya edad y relación estratigráfica no eran bien conocidas, y que fueron motivo de numerosas controversias. Las mismas fueron objeto de estudio de diversos investigadores tanto en la zona chilena como en el sector norte de la provincia de Mendoza en Argentina. Ha sido difícil distinguir entre las unidades cretácicas y terciarias, debido a que las dataciones hechas en las rocas más antiguas, por lo general reflejaron eventos térmicos más jóvenes, producto de la intrusión de cuerpos subvolcánicos e hipabisales por lo general miocenos. Es por ello el objetivo del presente trabajo dar a conocer algunos análisis geoquímicos hechos sobre dichas rocas en la Alta Cordillera al sur de la provincia de San Juan, Argentina, y sobre esta base, presentar un intento de división estratigráfica basado en su diferente comportamiento geoquímico.

Tectónicamente la zona de estudio se ubica en el sector de transición entre una subducción subhorizontal, al norte e inclinada 25°-30°, al sur y sus características geoquímicas están íntimamente relacionadas con este hecho. Es por ello que también es objeto de este trabajo aportar datos geoquímicos para el estudio de los distintos segmentos andinos.

### ENTORNO GEOLOGICO

Hacia el oeste de la línea de altas cumbres, formada en esta región de los Andes por los cordones de la Ramada, el Espinacito y la Cerrada, se ubica la cuenca de los ríos Mercedario, Teatinos y Volcán (figura 1).

En este sector, sobre el basamento volcánoclastico permotriásico del Grupo Choiyoi yace una secuencia sedimentaria jurásica-cretácica cuyo espesor no supera los 3000 m. La misma está formada por rocas continentales y marinas que han sido descritas recientemente por Cristallini [1]. Hacia el techo esta secuencia está compuesta por areniscas y conglomerados rojos equiparados

con la Formación Cristo Redentor [2] que pasan transicionalmente a rocas volcánicas y volcánoclasticas cretácicas correlacionables con la Formación Juncal o con la Formación Pelambres [3], correspondientes a la antigua Formación Abanico de Aguirre Le Bert [3] en el sector chileno. Por encima, en discordancia, yacen rocas muy semejantes asignables a la Formación Farellones de edad terciaria [4]. Toda la secuencia está intruída por cuerpos volcánicos y subvolcánicos de edad mioceno-pliocena.

La estructura de la zona es compleja y comienza con una deformación de tipo epidérmica, con un nivel de despegue bastante superficial; posteriormente se involucra el basamento mediante la inversión de antiguas fallas directas triásicas, lo que genera interferencia de pliegues complicando la estructura original. Hacia el oeste se dan una serie de corrimientos fuera de secuencia que cortan toda la estructura previa y que traen desde lo que hoy es Chile las rocas volcánicas y volcánoclasticas cretácicas y terciarias [5]. Las mismas están formadas por aglomerados y brechas volcánicas, coladas lávicas andesíticas y dacíticas, tobas grises y blancas, y paquetes de conglomerados y areniscas. Están dispuestas en láminas sobrecorridas en las que no se puede observar ni techo ni base y que son bastante parecidas entre sí. Estos hechos hacen que sea muy difícil establecer una estratigrafía confiable para estas rocas, incluso, en muchos casos sin poder distinguir entre niveles cretácicos y terciarios, por lo que se hace complejo calcular rechazos y acortamientos en la estructura de la región.

Las dataciones radimétricas hechas sobre los cuerpos discordantes volcánicos y subvolcánicos arrojan valores miocenos como por ejemplo el Cerro Pirámide con 9,2 Ma [5]. Sin embargo las realizadas sobre los cuerpos volcánicos y volcánoclasticos estratificados, supuestamente de edad cretácica, arrojan valores de alrededor de 20 Ma [5, 6], que según los autores citados corresponden a edades rejuvenecidas. Estos datos indican que las dataciones radimétricas no han sido aptas para distinguir los diferentes paquetes volcánicos y volcánoclasticos en la región.

En este resumen se intenta establecer en forma preliminar un criterio geoquímico para tratar de distinguir las unidades cretácicas de las terciarias, o mejor dicho las previas al engrosamiento tectónico, de las posteriores al mismo.

\*: Universidad de Buenos Aires, Argentina.

\*\* : Universidad de Cornell, Estados Unidos de América.

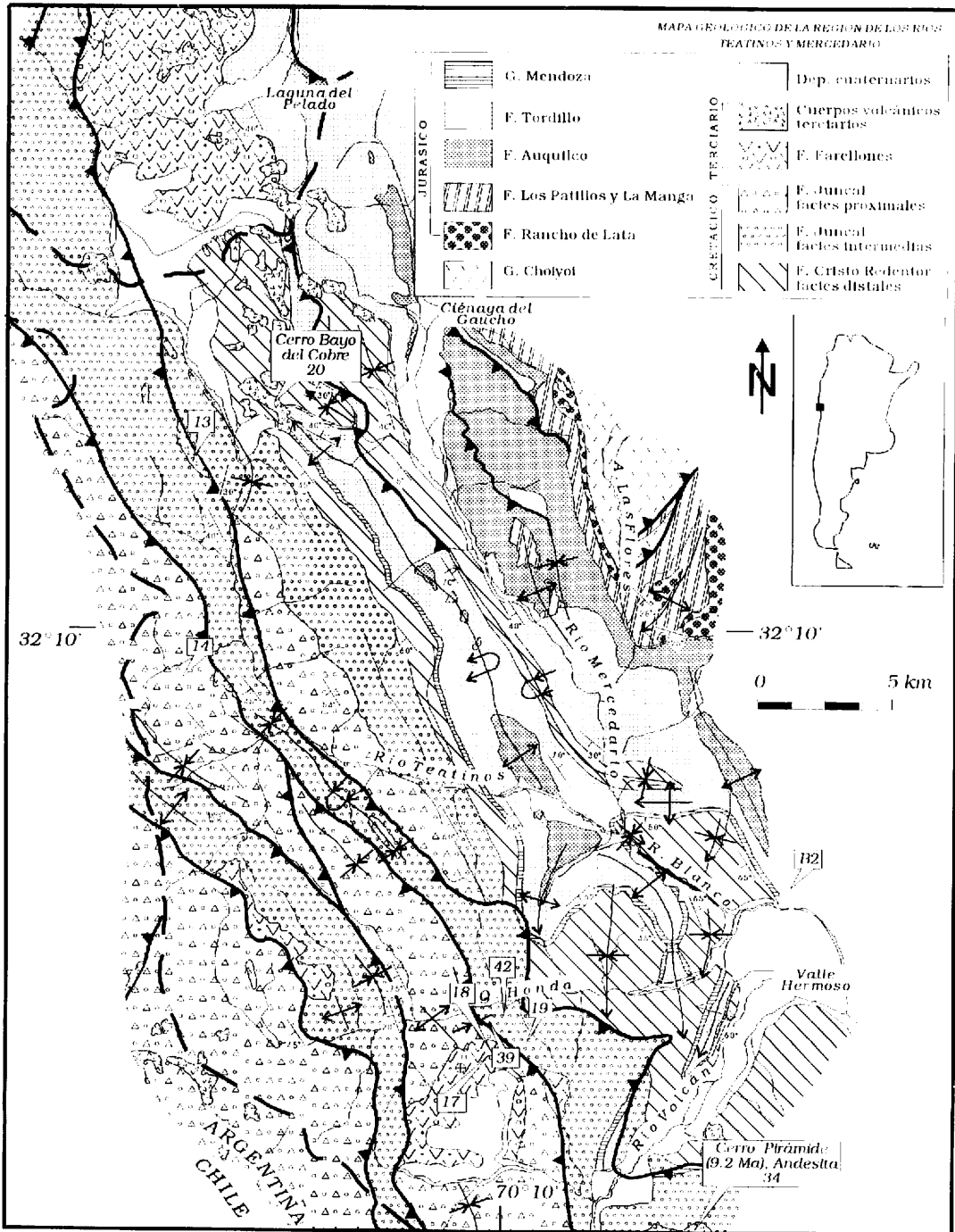


Figura 1: Mapa geológico de la región. Ubicación de las muestras.

| Muestra | Roca     | FeO* | Na2O | Cr | Ni | Co | Sc | Cs   | Ba     | Sr     | Ta   | Hf   | Th   | U   | La   | Ce   | Nd   | Sm  | Eu  | Yb   | Lu   |
|---------|----------|------|------|----|----|----|----|------|--------|--------|------|------|------|-----|------|------|------|-----|-----|------|------|
| 42      | Dacita   | 2    | 5    | 7  | 3  | 4  | 3  | 1.39 | 911.60 | 696.40 | 0.22 | 3.24 | 3.9  | 1.9 | 15.3 | 33.4 | 15.9 | 2.6 | 0.7 | 0.44 | 0.05 |
| 18      | Andesita | 5    | 5    | 61 | 21 | 9  | 11 | 1.06 | 316.70 | 657.00 | 0.33 | 2.80 | 3.5  | 1.3 | 17.8 | 38.4 | 17.0 | 3.2 | 0.9 | 0.56 | 0.07 |
| 17      | Andesita | 4    | 5    | 47 | 16 | 12 | 7  | 0.90 | 646.20 | 719.20 | 0.34 | 2.95 | 3.6  | 1.4 | 16.8 | 37.4 | 19.3 | 3.5 | 1.0 | 0.58 | 0.07 |
| 20      | Andesita | 3    | 6    | 27 | 9  | 6  | 8  | 3.59 | 465.90 | 520.30 | 0.54 | 3.07 | 5.6  | 1.5 | 22.6 | 46.5 | 20.0 | 3.5 | 1.0 | 1.02 | 0.14 |
| 13      | Dacita   | 3    | 6    | 29 | 10 | 8  | 8  | 0.60 | 814.90 | 505.80 | 0.56 | 3.38 | 5.8  | 1.6 | 21.9 | 43.1 | 20.5 | 3.5 | 0.9 | 1.05 | 0.14 |
| B2      | Basalto  | 7    | 4    | 6  | 4  | 17 | 17 | 3.53 | 569.00 | 877.00 | 0.86 | 3.61 | 5.1  | 1.7 | 28.1 | 57.6 | 27.6 | 5.5 | 1.6 | 1.92 | 0.25 |
| 34      | Andesita | 6    | 4    | 21 | 12 | 17 | 15 | 2.70 | 569.00 | 632.00 | 0.63 | 3.80 | 5.7  | 2.1 | 19.0 | 41.9 | 21.3 | 4.3 | 1.0 | 1.79 | 0.26 |
| 14      | Tobas    | 2    | 2    | 1  | 2  | 2  | 3  | 8.11 | 609.10 | 278.80 | 0.92 | 4.62 | 14.9 | 3.7 | 29.3 | 61.1 | 20.7 | 4.2 | 0.5 | 2.15 | 0.29 |
| 19      | Tobas    | 1    | 0    | 2  | 1  | 1  | 3  | 6.70 | 577.10 | 197.00 | 0.85 | 4.00 | 13.8 | 3.7 | 26.2 | 52.9 | 19.3 | 3.7 | 0.4 | 1.92 | 0.26 |
| 39      | Tobas    | 1    | 1    | 1  | 0  | 2  | 4  | 6.20 | 661.00 | 145.00 | 0.99 | 4.60 | 16.1 | 4.2 | 31.3 | 64.3 | 22.4 | 4.6 | 0.5 | 2.40 | 0.33 |

Cuadro I: Valores de elementos traza y tierras raras para las muestras analizadas.

discordantes, cinco de las volcanoclastitas estratificadas y dos de filones y diques. La ubicación de las mismas puede verse en el mapa de la figura 1 y su litología y contenidos en tierras raras y elementos trazas en el cuadro I. En la figura 2 pueden verse los diagramas de elementos trazas y tierras raras de las muestras analizadas, realizados según la normalización utilizada por [7].

En primera instancia, se puede observar en la figura 2 que todas las muestras analizadas tienen una marcada anomalía negativa en los valores de Hf y Ta que representan

aproximada los rangos de espesor cortical existente en el momento de formación de una roca [8]. La mayor relación de estos elementos indica la presencia de granate como mineral de fraccionamiento o como residuo en la cámara magmática; el mismo necesita altas presiones para formarse y esto se logra con un espesor cortical considerable.

En la figura 3a se representaron las relaciones La/Sm vs. La/Yb para las muestras aquí analizadas, y para las terciarias de la región de Aconcagua [7] y las cretácicas de la Formación Pelambres en sector chileno [9]. Estas últimas

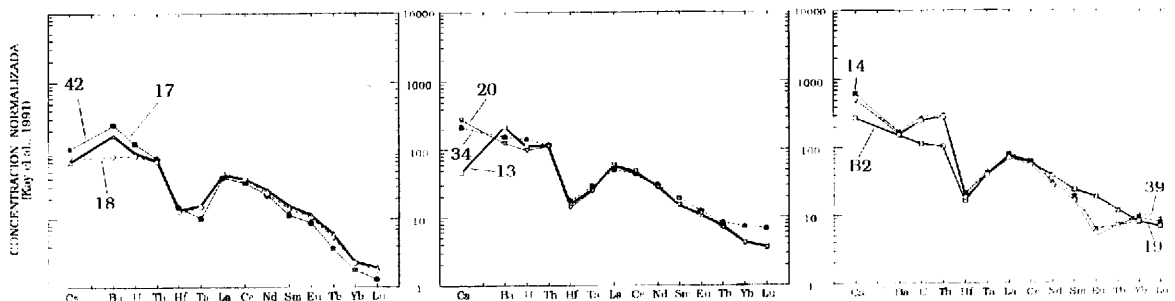


Figura 2: Diagrama de elementos trazas y tierras raras de las muestras analizadas. Normalización según Kay et al. (1991).

los iones de resistencia de campo alta (HFS). Estos patrones son distintivos de las rocas volcánicas de arco formadas en el sector de subducción subhorizontal del margen occidental sudamericano. La relación entre los HFS, los alcalinotérreos (Ba) y las tierras raras (La), puede verse en el diagrama de Ba/Ta vs. La/Ta de la figura 3b. La mayoría de las muestras analizadas caen por encima de la línea de Ba/La=20.

En este trabajo se considera que la relación La/Yb es la más propicia para poder distinguir los diferentes paquetes volcanoclasticos, ya que permite establecer en forma

tienen relaciones La/Yb bajas (7-14) lo que indicaría su emplazamiento en una corteza relativamente delgada. Las rocas de la región de Aconcagua, de edad miocena (9-11 Ma), tienen relaciones La/Yb entre 9 y 14 y según Kay [7] estarían emplazadas en una corteza aún no engrosada antes de la deformación que caracteriza a otras partes del segmento de subducción subhorizontal.

Las muestras 17 y 18 son brechas andesítico-dacíticas que yacen subhorizontales y en discordancia sobre el resto de las volcanoclastitas en cuestión. Esto indicaría que se derivaron con posterioridad a la deformación. Sus relaciones La/Yb

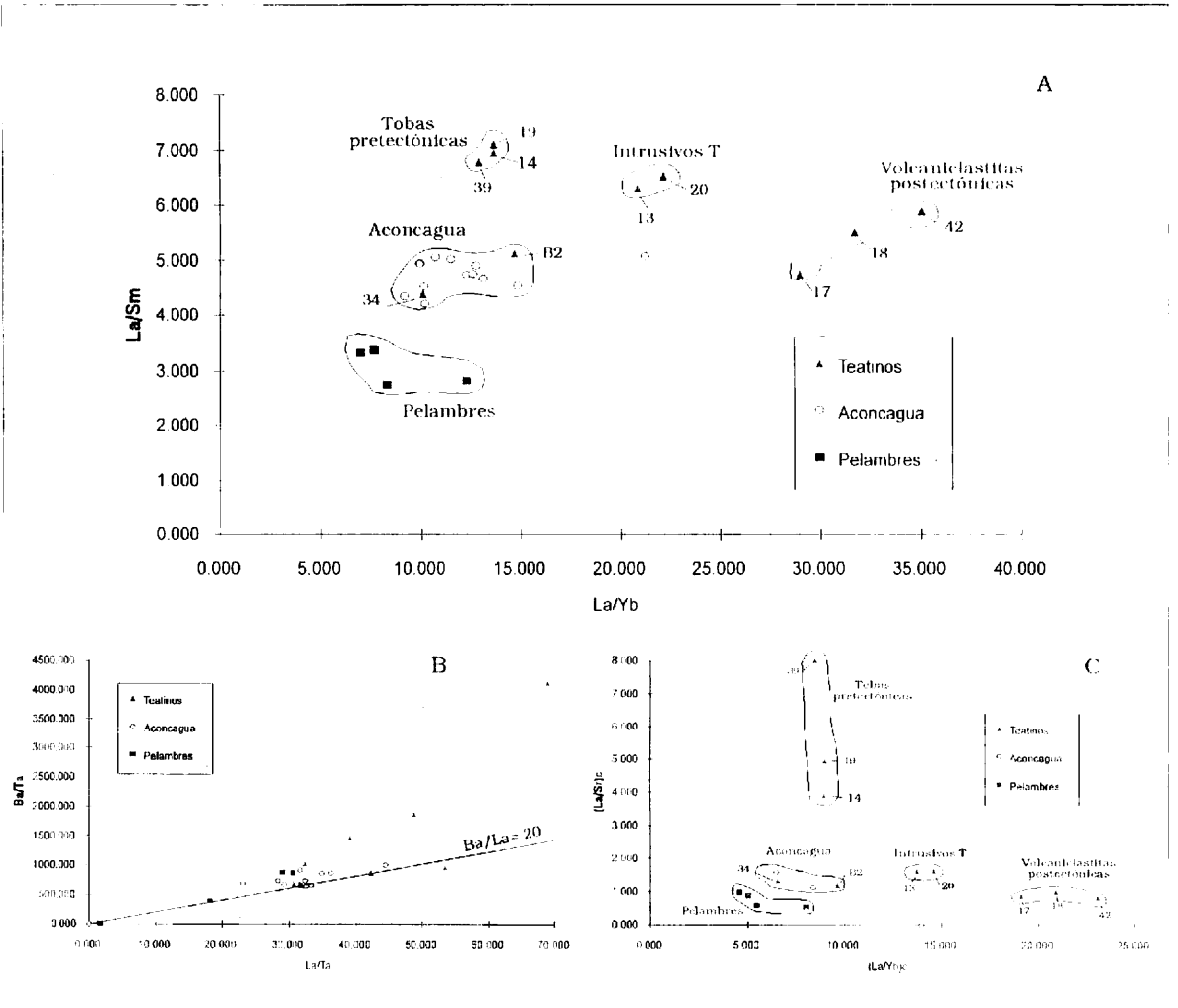


Figura 3: Relaciones A. [La/Sm vs. La/Yb], B. [Ba/Ta vs. La/Ta] y C. [(La/Sr)<sub>c</sub> vs. (La/Yb)<sub>c</sub>].

muestra 42 es un filón capa dacítico emplazado en la secuencia volcanoclástica estratificada y tiene características geoquímicas similares.

Las muestras 14, 19 y 39, son tobas riolíticas que se intercalan dentro de la secuencia volcanoclástica estratificada. En el gráfico de la figura 3 puede observarse que sus relaciones La/Yb son más bajas (13) que las anteriores y semejantes a las de las rocas de la región de Aconcagua. Esto estaría indicando que se generan en una corteza más delgada. Las altas relaciones de La/Sm podrían atribuirse a una cristalización fraccionada a baja presión que haya removido selectivamente las tierras raras medianas (Sm).

Las muestras 13, 20 y 34 representan cuerpos volcánicos y subvolcánicos discordantes con la estructura. La relación La/Yb de las dos primeras es alta (20 y 22 respectivamente) y coherente con una extrusión en una corteza espesa. Sin embargo, la muestra 34, datada en 9,2 Ma [5], tiene una relación La/Yb de 10, y al igual que las rocas de la región de Aconcagua correspondería a una corteza aún no engrosada. Esto podría estar indicando una deformación pasiva posterior a los 9,2 Ma. Es decir que como indica Cristallini et al. (en prensa), si bien la deformación superficial de la comarca es anterior a los 9.2 Ma, posteriormente, se daría un engrosamiento cortical considerable al sobrecorrerse toda la comarca sobre terrenos más orientales.

La misma tendría que darse con despegues corticales lo suficientemente profundos como para que la lámina occidental se mueva sin deformación interna.

La muestra B2 es un dique basáltico cuya relación La/Yb indica su intrusión en una corteza no muy engrosada.

La figura 3c muestra el diagrama de (La/Sr)<sub>c</sub> vs. (La/Yb)<sub>c</sub> en el que se pueden observar dos tendencias, una en que aumenta la relación (La/Sr)<sub>c</sub> manteniéndose constante (La/Yb)<sub>c</sub>, y otra en que aumenta (La/Yb)<sub>c</sub> manteniéndose constante (La/Sr)<sub>c</sub>. Comparando las figuras 3c y 2, puede verse que cuanto mayor es la relación (La/Sr)<sub>c</sub>, mayor es la anomalía negativa en Eu. Las muestras 14, 19 y 39 son las únicas de las analizadas que poseen una anomalía negativa en Eu, esto junto con sus bajas relaciones La/Yb es consistente con un importante fraccionamiento de feldespatos e indicativo de su formación a bajas presiones dentro de la corteza.

Por último es interesante señalar las similitudes que existen entre los patrones de las muestras analizadas. Todas tienen anomalías negativas en Hf y Ta, que como ya se explicó es típico de las rocas de arco, sin embargo se pueden separar dos grupos de acuerdo a la forma de la curva Hf-Ta-La. Es decir si se establecen dos conjuntos, uno cuyas relaciones La/Yb es menor a 15 y otro en que la misma relación es mayor a 20, se verá que el primer grupo presenta formas rectas a convexas hacia arriba en la porción de curva Hf-Ta-La, mientras que las segundas presentan formas cóncavas hacia arriba. En el primer grupo se incorporan también la mayoría de las muestras de la región de Aconcagua.

## CONCLUSIONES

Los resultados expuestos permiten establecer un criterio preliminar para tratar de resolver la estratigrafía de las rocas volcánicas y volcanoclásticas de la cordillera del Límite. Evidentemente no se pueden establecer sus edades absolutas. Sin embargo, si se toma una franja de corte entre las relaciones La/Yb 15-20, es posible decir que rocas con relaciones inferiores a 15 se formaron en una corteza relativamente delgada y serían más antiguas que las que tienen relaciones superiores a 20, formadas en una corteza más gruesa y deformada. Este engrosamiento cortical se tiene que haber producido con posterioridad a los 9,2 Ma. que es la edad encontrada para el Cerro Pirámides [5] perteneciente al primero de los grupos (La/Yb < 15) (vease figura 3). Sin embargo este cerro está emplazado en forma discordante con la estructura superficial de la comarca, lo que indica que el engrosamiento cortical ocurrido con posterioridad a su formación tiene que haber usado despegues corticales lo suficientemente profundos como para que el apilamiento se produzca sin deformación superficial.

Por último, y como se observa en el mapa de la figura 1, se propone que las rocas que se consideraron más antiguas

por sus bajas relaciones La/Yb (<15) sean asignadas al Cretácico, ya que las mismas se interdigitan con rocas de esa edad hacia el sur de la comarca y pueden correlacionarse con la Formación Juncal. Las volcanoclastitas con altas relaciones La/Yb (>20) y que se encuentran en discordancia sobre las anteriores son asignadas al Terciario y correlacionadas con la Formación Farellones al igual que los cuerpos volcánicos y subvolcánicos discordantes. El criterio propuesto permite así obtener una guía para la caracterización de las volcanitas mesozoicas y cenozoicas, contribuyendo así a mejorar la comprensión de los diferentes segmentos a lo largo de Los Andes.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Dr. Robert Kay y a la Universidad de Cornell por los análisis realizados, y la Universidad de Buenos Aires quien financió las tareas de campo mediante su proyecto UBACyT Ex-066. La presente es una contribución al Proyecto IGCP 345: Evolución litosférica de Los Andes.

## REFERENCIAS

1. Cristallini, E.O., Mosquera A., Ramos, V.A., en prensa. Estructura de la Alta Cordillera de San Juan. Aceptado en la Revista de la Asociación Geológica Argentina en mayo de 1994.
2. Aguirre Le Bert, L., 1960. Geología de Los Andes de Chile Central, provincia de Aconcagua. Boletín Instituto Investigaciones Geológicas, 9:1-70, Santiago.
3. Rivano, S., Sepúlveda, F., 1991. Hoja Illapel, región de Coquimbo. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile N.69, 132 p, Santiago.
4. Rivano, S., Godoy, E., Vergara, M., Villarroel, R., 1990. Redefinición de la Formación Farellones en la Cordillera de Los Andes de Chile Central (32°-34°S). Revista Geológica de Chile 17(2): 205-214, Santiago.
5. Cristallini, E.O., Cangini, A.H., 1993. Estratigrafía y estructura de las nacientes del río Volcán, Alta Cordillera de San Juan. XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas. 3:85-92, Buenos Aires.
6. Ramos, V.A., Cingolani, C., 1989. La Granodiorita Matienzo: intrusivo mioceno de la Alta Cordillera de Mendoza. Asociación Geológica Argentina, Revista 43(3): 404-408, Buenos Aires.
7. Kay, S.M., Mpodozis, C., Ramos, V.A., Munizaga, F., 1991. Magma source variations for mid-late Tertiary magmatic rocks associated with a shallowing subduction zone and a thickening crust in the central Andes (28 to 33°S). Geological Society of America, Special Paper 265, 1991.
8. Kay, S.M., Maksacv, V., Moscoso, R., Mpodozis, C., Nasi, C., 1987. Probing the evolving Andean lithosphere: Mid-late Tertiary magmatism in Chile (29°-30°30'S) over the modern zone of subhorizontal subduction. Jour. Geophys. Res., 92 (B7): 6173-6189, Washington.
9. Vergara, M., Rivano, S., Anex, P., 1993. Características geoquímicas de las rocas volcánicas de la Formación Los Plambres, Cordillera Principal (31°-32°); estudio preliminar. XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas IV: (166-170).