

## COEFICIENTES DE PARTICION DE LITIO, RUBIDIO Y ESTRONCIO ENTRE CORDIERITA Y GRANATE PARAGENETICOS

CARLOS W. RAPELA y CARLOS E. GORDILLO

### Resumen

Se determinaron coeficientes de partición de litio, rubidio y estroncio entre cordierita y granate provenientes de rocas metamórficas de alto grado. Los coeficientes de partición calculados  $K^{Co/Gt}$  son en todos los casos mayores de 1 lo que indica una predilección en los tres elementos analizados por la fase cordierita respecto del granate. El coeficiente de partición sólido/líquido total calculado para rocas kinzigíticas de la Sierra de Córdoba indicaría que los líquidos anatócticos en equilibrio con esas rocas tuvieron una composición general granodiorítica.

### Abstract

Partition coefficients between cordierite and garnet from highgrade metamorphic rocks have been determined for lithium, rubidium and strontium by atomic absorption spectrometry. The calculated weight partition coefficients  $K^{Co/Gt}$  are in all cases greater than 1 for the three elements analyzed. Inferred cordierite/liquid partition coefficients are in average from 2.0 to 2.5 times greater than published garnet/liquid values (Arth, 1976). Calculations for kinzigitic rocks from Sierra de Córdoba indicate that the anatectic liquid in equilibrium with those residues had a Rb/Sr ratio = 0.5.

### Introducción

La aplicación de la teoría del coeficiente de partición y los modelos matemáticos a múltiples problemas de la petrología ígnea y metamórfica, constituye uno de los máximos logros de la metodología geoquímica en ese campo. A partir de los fines de la década del sesenta la literatura geológica ha reflejado notables avances, experimentales y teóricos, de la geoquímica de trazas, encontrándose actualmente los principios básicos de la misma definitivamente instalados junto a la metodología clásica de la petrología ígnea (Cox *et al.*, 1979).

La estimación precisa del coeficiente de partición (ley de Nernst-Berthelot) de elementos traza entre fases minerales sólidas ( $K^{s-s}$ ), minerales y líquidos ( $K^{s-l}$ ) y minerales y una fase gaseosa ( $K^{s-g}$ ) es el objetivo actual de numerosas investigaciones relacionadas a la problemática ígnea. En ese campo interesa especialmente el conocimiento del equilibrio de los elementos traza entre fases minerales y líquidos magmáticos de diversa composición. Una de las metodologías más empleadas para la estimación de estos coeficientes consiste en el análisis químico de fenocristales y pasta de rocas volcánicas porfíricas, separados éstos utilizando

métodos físicos (magnéticos, líquidos pesados, etc.). Albarede y Bottinga (1972) estudiaron las características y errores en la medición por este método. Es posible también la estimación indirecta de un coeficiente de partición sólido líquido desconocido ( $K^{i-l}$ ) si se conoce o se puede medir el coeficiente de partición entre el mineral "i" y otro paragenético del mismo, por ejemplo "j" ( $K^{i-j}$ ) y se conoce asimismo  $K^{j-l}$ .

El par cordierita-granate es común y característico en rocas originalmente pelíticas y semipelíticas afectadas por metamorfismos de mediano a alto grado (presiones intermedias a moderadamente altas). En el metamorfismo de alto grado el par Co-Gt es estable aún bajo condiciones de fusión parcial. Debido a la densidad comparativamente alta de ambos minerales, éstos tienden a permanecer en el residuo sólido en el que en ocasiones se enriquecen notablemente (kinzigitas). En las Sierras Pampeanas este par mineral ha sido descrito en metamorfitas regionales de la Sierra de Córdoba (Gordillo *et al.*, 1971; Gordillo, 1979), la Sierra de Valle Fértil (Mirré, 1971) y en el Complejo Tolombón de la Sierra de Quilmes (Rapela, 1976; Toselli *et al.*, 1970). Gordillo (1979)

describe con detalle las características petrográficas y químicas de las rocas portadoras del par en la sierra de Córdoba, infiriendo además, en base a la calibración termodinámica de Currie (1971), condiciones de P y T para áreas migmatíticas de esa región.

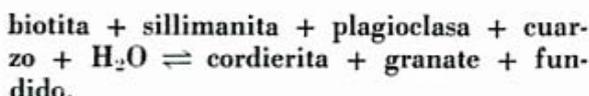
Los coeficientes de partición de diversos elementos traza entre el granate y una fase silicatada líquida ( $K^{G-L}$ ) han sido estimados por métodos experimentales y mediciones fenocristales-matriz (Arth, 1976 y Hanson, 1978 han calculado valores medios obtenidos por este método). Por el contrario, no existen en la literatura datos de coeficientes de partición de trazas entre cordierita y líquido debido a que este mineral muy raramente puede ser encontrado como fase fenocristal en rocas volcánicas. El objetivo de este trabajo es realizar una estimación del rango general de variación de los coeficientes de partición de litio, rubidio y estroncio entre cordierita y granate paragenéticos provenientes de metamorfitas regionales de diversas áreas. En base a estos resultados se estimaron indirectamente coeficientes de partición de estos elementos entre cordierita y líquido. Finalmente, con los datos encontrados en muestras de la sierra de Córdoba, se infirió la composición probable de líquidos que estuvieron en equilibrio con residuos sólidos de composición kinzigítica.

**Muestreo y metodologías separativa y analítica**

Se analizaron siete pares cordierita-granate, provenientes seis de ellos de las Sierras Pampeanas (sierra de Córdoba y sierra de Quilmes) y el restante del escudo canadiense, en la provincia de Manitoba. Las características geológicas, petrográficas y químicas (elementos mayoritarios) de las muestras de la sierra de Córdoba han sido tratadas recien-

temente por uno de los autores (Gordillo, 1979; Tablas 1 y 2, muestras 1457, 1327, 2303, 2077 y 2304). Para este trabajo fue analizado asimismo el contenido de elementos traza en roca total de la kinzigita del río Santa Rosa (muestra promedio 2108, Gordillo *op. cit.*). La muestra R-113 proviene de la sierra de Quilmes, Quebrada del Divisadero; la petrografía y el contenido de elementos mayoritarios en roca total y minerales individuales de la misma, han sido descritos también anteriormente (Rapela, 1976, cuadro II; Toselli *et al.*, 1978, cuadro 1). Todas las muestras analizadas de las Sierras Pampeanas comparten similares características geológicas de yacencia, encontrándose vinculadas a migmatitas de extensión regional y a alto grado metamórfico.

Con fines comparativos fue analizado asimismo un par Co-Gt proveniente de la localidad de Snow Lake (54° 58 N, 100° 00W) en la provincia geológica de Churchill, Manitoba, Canadá (Bailes y McRitchie, 1978). Estos autores atribuyen la aparición del par en esta región a un metamorfismo de alto grado y subsecuente anatexis en rocas pelíticas y semipelíticas según la reacción:



La separación de cordierita se realizó en forma directa, con lupa binocular, seleccionándose los granos de máxima pureza y cristalinidad libres de inclusiones, pátinas, etc. Para la separación del granate se empleó el siguiente procedimiento: a) selección con binocular de los granos de máxima pureza en malla 40; b) molienda en Plater diamond a malla menor de 60; lavado del polvo fino y filtrado y secado con aire; remoción de eventuales granos de magnetita con un imán Wilke; c) separación con

CUADRO 1. — Análisis de Li, Rb y Sr en cordierita y granate paragenéticos (en ppm) y coeficientes de partición

|                  | Sierra de Córdoba     |     |                       |      |                       |     |                       |     |                       |      | Sierra de Quilmes      |      | Snow Lake           |     | 2108 (Roca Total) |
|------------------|-----------------------|-----|-----------------------|------|-----------------------|-----|-----------------------|-----|-----------------------|------|------------------------|------|---------------------|-----|-------------------|
|                  | Co <sup>1457</sup> Gt |     | Co <sup>1327</sup> Gt |      | Co <sup>2303</sup> Gt |     | Co <sup>2077</sup> Gt |     | Co <sup>2304</sup> Gt |      | Co <sup>R-113</sup> Gt |      | Co <sup>S1</sup> Gt |     |                   |
| Li               | 21                    | 9.2 | 39                    | 11.0 | 137                   | 16  | 23                    | 1.9 | 241                   | 16.0 | 50                     | 11.0 | 169                 | 21  | 11.0              |
| Rb               | 16.9                  | 7.4 | 16.9                  | 5.0  | 24.7                  | 4.1 | 9.6                   | 6.6 | 5.6                   | 2.7  | 16.3                   | 8.3  | 9.0                 | 6.6 | 19.0              |
| Sr               | 2.2                   | 2.0 | 4.9                   | 3.6  | 7.3                   | 3.7 | 1.0                   | 0.6 | 8.1                   | 4.1  | 3.8                    | 2.4  | 8.3                 | 2.0 | 104               |
| $K_{Li}^{Co/Gt}$ | 2.28                  |     | 3.54                  |      | 8.56                  |     | 12.10                 |     | 15.06                 |      | 4.54                   |      | 8.05                |     | -                 |
| $K_{Rb}^{Co/Gt}$ | 2.28                  |     | 3.38                  |      | 6.02                  |     | 1.45                  |     | 2.07                  |      | 1.96                   |      | 1.36                |     | -                 |
| $K_{Sr}^{Co/Gt}$ | 1.10                  |     | 1.36                  |      | 1.97                  |     | 1.67                  |     | 1.98                  |      | 1.58                   |      | 4.15                |     | -                 |

CUADRO 2. — Coeficientes de partición inferidos entre cordierita y un líquido de composición dacítica

|                 | 1457   | 1327   | 2303   | 2077   | 2304   | R-113  | SL     | Promedio<br>$\bar{X}$ |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------------------|
| $K_{Rb}^{Co/1}$ | 0.0193 | 0.0287 | 0.0512 | 0.0123 | 0.0176 | 0.0166 | 0.0116 | 0.0225                |
| $K_{Sr}^{Co/1}$ | 0.0165 | 0.0204 | 0.0295 | 0.0250 | 0.0297 | 0.0237 | 0.0622 | 0.0296                |

bromoformo de las microgotas de cuarzo en microampolla de decantación; d) observación final en grano suelto. El grado de separación por este método es superior al 99 %.

Las determinaciones analíticas se llevaron a cabo por espectrometría de absorción atómica previo ataque  $HClO_4$ -HF de las muestras. Para la confección de las curvas de calibrado se utilizaron las siguientes muestras patrones internacionales: NIM-G, NIM-D, NIM-S, BM, TB, BR, GA, GH, MRG-1 y NBS-70. La precisión de las determinaciones evaluada mediante el cálculo de desviación típica sobre cinco ataques ácidos diferentes de la cordierita de Snow Lake (muestra SL), arrojó los siguientes resultados: litio: 5,4; rubidio: 0,55 y estroncio: 0,36. El análisis de muestras patrones de composición conocida condujo a valores que difieren en menos del 5 % de los recomendados por Abbey (1977). En el cuadro 1

se presentan los resultados analíticos y los coeficientes de partición cordierita/granate ( $K_{i}^{Co/Gt}$ ) calculados para los tres elementos. Las figuras 1, 2 y 3 muestran los resultados individuales y los rangos de variación observados.

### Discusión de los resultados

El coeficiente de partición (coeficiente de Nernst-Berthelot) de un elemento traza entre dos fases en equilibrio permanece constante si no se modifican la temperatura, la presión, la composición global del sistema y los coeficientes de actividad en ambas fases. Estos últimos se mantendrán constantes si el elemento traza que se sustituya diadóticamente se comporta como el soluto de una disolución diluida que obedece la ley de Henry. McIntire (1966) y Shaw (1978) han discutido las relaciones cuantitativas de estas variables con el coeficiente de parti-

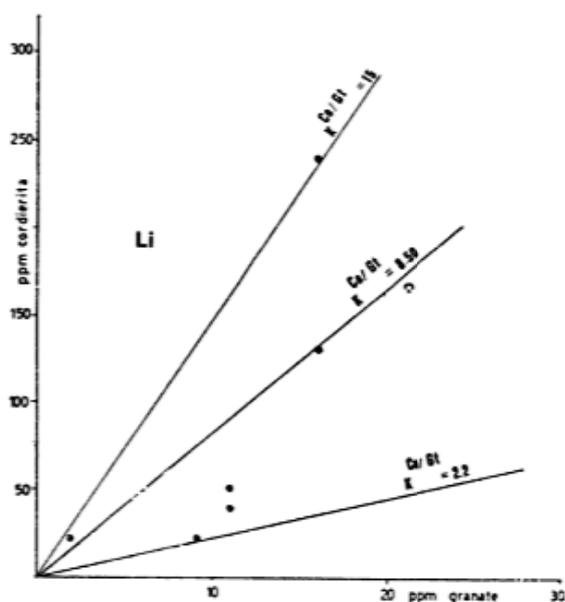


Fig. 1. — Partición de litio entre cordierita y granate coexistentes. Círculos llenos: muestras de las Sierras Pampeanas. Rectángulo: muestra de Snow Lake, Canadá. Las rectas que pasan por el origen indican rangos de variación en el coeficiente de partición.

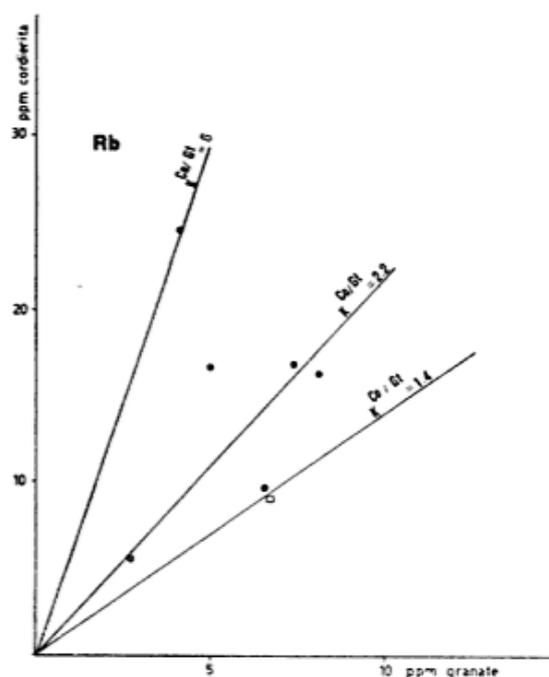


Fig. 2. — Partición de rubidio entre cordierita y granate coexistentes. Simbología igual a la figura 1.

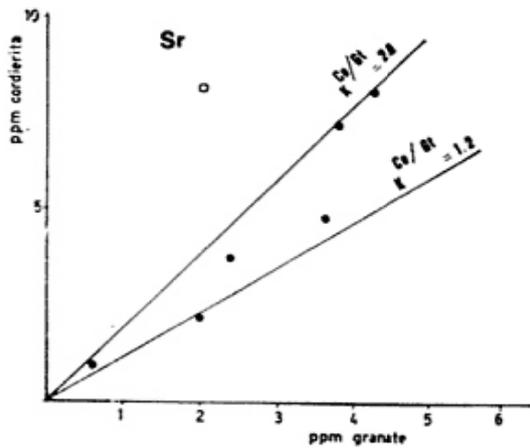


Fig. 3. — Partición de estroncio entre cordierita y granate coexistentes. Simbología igual a la de la figura 1.

ción y su confrontación con resultados encontrados en investigaciones experimentales.

Los estudios previos de las muestras analizadas en este trabajo sugieren que, con excepción de los coeficientes de actividad (el rango de validez de la ley de Henry debe ser considerablemente superior al de las bajas concentraciones de elementos traza en las cordieritas y granates estudiados), las mismas han sido afectadas de manera diferente por los factores mencionados más arriba. Así por ejemplo, en las muestras de las Sierras Pampeanas, la T y P de equilibrio inferidas por el método termodinámico de Currie (*op. cit.*) muestran diferencias extremas de hasta 100°C y 1 Kb respectivamente. Es evidente que en ese rango de condiciones físicas cabría esperar alguna variación en los coeficientes de partición de los elementos traza estudiados.

En los siete pares analizados los coeficientes de partición Co/Gt son superiores a 1, lo que indica una unánime y notable predilección de los elementos por la fase cordierita. El Li<sup>+</sup> tiene afinidad por el Mg<sup>++</sup> dado su radio iónico, y como en este caso

$$\frac{(Mg) Co}{(Mg) Gt}$$

la relación es mayor de 1, los

coeficientes de partición del Li tendrían su explicación en dicha afinidad. Los resultados encontrados para Rb y Sr no tienen una explicación cristalquímica obvia, por lo que se espera que estudios futuros atiendan a este complejo problema.

Los rangos de variación en los coeficientes de partición son relativamente restringidos para el Sr, especialmente en los pares de las Sierras Pampeanas, algo mayores en

el caso del Rb y relativamente grandes para el Li. La muestra de Snow Lake muestra valores dentro del rango observado en los ejemplares de las Sierras Pampeanas, con excepción del Sr. El estudio de corte delgado de esa muestra reveló la ausencia de plagioclasa (principal portador de Sr) en equilibrio con cordierita y granate, en tanto que este mineral está siempre presente en las muestras argentinas. No existen hasta el momento estudios experimentales sobre coeficientes de partición  $Ki^{Co/Gt}$  por lo que se desconoce cuál (o cuáles) son las variables que determinan las variaciones observadas. Shimizu y Akimoto (1971) y Shimizu (1974) demostraron que los coeficientes de partición de Sr, Ba, K, Rb y Cs entre piroxeno (clino) y líquido son prácticamente insensibles a las variaciones de presión. Si esto fuera aplicable al par cordierita/granate las variables a investigar serían principalmente la composición (en elementos mayoritarios) y la temperatura, responsables ambos, por otra parte, de los efectos más notorios sobre distintos sistemas (Shaw, *op. cit.*).

Si se aceptan los valores promedio de Arth (1976) para los coeficientes de partición de Rb y Sr entre granate y un líquido de composición dacítica ( $K_{Rb}^{Gt/l} = 0.0085$  y  $K_{Sr}^{Gt/l} = 0.015$ ) se pueden inferir valores para los coeficientes de partición respectivos entre cordierita y un líquido de composición semejante utilizando los datos Co/Gt del Cuadro 1. Los coeficientes de partición  $Ki^{Co/l}$  calculados para cada muestra se exponen en el Cuadro 2 conjuntamente con el promedio de los mismos para ambos elementos. La inspección de estos valores sugiere que los  $Ki^{Co/l}$  son en todos los casos considerablemente superiores a los similares  $Ki^{Gt/l}$  y sus promedios 2.5 y 2.0 veces mayores para el Rb y Sr respectivamente. Una consecuencia petrológica de este hecho es que la concentración de Rb y Sr en los fundidos en equilibrio con residuos kinzigíticos puros (plagioclasa y biotita ausentes) durante una anatexis cortical, estará mayoritariamente controlada por la proporción modal de cordierita en el residuo. Es evidente además que al crecer la proporción de cordierita en el residuo, su contribución al coeficiente de partición total respectivo se incrementará considerablemente. Ello determina, por lo tanto, que los modelos matemáticos de fusión parcial deberán tener en cuenta la importante presencia de este mineral.

Como se ha dicho anteriormente, los estudios petrológicos de rocas kinzigíticas sugieren que las mismas representan el residuo sólido de una fusión parcial de sedimentitas aluminosas. Los afloramientos del río Santa Rosa descritos por Gordillo (*op. cit.*) son excelentes ejemplos de esta litología representada en este estudio por las muestras 2077 y 2108 (esta última es una muestra promedio del afloramiento en la que se ha analizado el contenido en roca total de litio, rubidio y estroncio). Los estudios petrográficos muestran que la roca es homogénea y está compuesta esencialmente por granate, cordierita y cuarzo con cantidades subordinadas de plagioclasa, biotita y magnetita.

Si se conoce la composición modal de la roca, los coeficientes de partición sólido/líquido de los minerales involucrados y la composición total en la roca es posible realizar una inferencia acerca de la composición de los líquidos anatéticos que estuvieron en equilibrio con el residuo kinzigítico. En este caso pueden hacerse aproximaciones numéricas a todas estas variables a través de las mediciones de este estudio y con datos tomados de la literatura: 1. — Composición modal de la kinzigita promedio (Gordillo, *op. cit.*, Tabla 5). 2. — Composición en la roca total de la kinzigita promedio (ver Cuadro 1). 3. — Los coeficientes de partición promedio para Rb y Sr entre los minerales granate, plagioclasa, biotita, cuarzo y un líquido de composición dacítica han sido calculados por Arth (*op. cit.*). 4. — Los coeficientes de partición entre cordierita y líquido han sido calculados en este estudio (ver Cuadro 2, muestra 2077).

Planteando la ecuación del coeficiente de partición total (Shaw, 1970):

$$D = \sum X_i K_i^{i/l} = C^S/C^L$$

$$D = X_{cz} K^{cz/l} + X_{Gt} K^{Gt/l} + X_{Co} K^{Co/l} + X_{pl} K^{pl/l} + X_{bi} K^{bi/l}$$

En donde D es el coeficiente de partición total,  $X_i$  es la fracción de masa del mineral "i" en el sólido y  $K_i^{i/l}$  es el coeficiente de partición sólido líquido del mineral "i".  $C^L$  es la concentración de un elemento traza en el líquido que permanece en equilibrio con un sólido residual que tiene una concentración  $C^S$ . Cz, Gt, Co, pl y bi son abreviaturas de cuarzo, granate, cordierita, plagioclasa y biotita.

Si se aproxima la composición modal de

la kinzigita del río Santa Rosa a las siguientes fracciones de masa: cz = 0.28, Gt = 0.25, Co = 0.25 pl = 0.17 y bi = 0.05, y se reemplaza en las ecuaciones respectivas se obtienen los siguientes valores para los coeficientes de partición total y la composición del líquido anatético:

$$D_{Sr} = 0.499 = C^S/C^L = 104/C^L$$

$$D_{Rb} = 0.177 = C^S/C^L = 19/C^L$$

$$C^L = 208 \text{ ppm Sr}$$

$$C^L = 107 \text{ ppm Rb}$$

$$(Rb/Sr)_L = 0.51$$

Ambos coeficientes son sensiblemente menores de 1 lo que indica que tanto el Rb como el Sr tiene una preferencia por la fase líquida y se comportan como *elementos incompatibles* durante el proceso anatético. Los coeficientes serían aún considerablemente más pequeños de no existir todavía cantidades significativas de plagioclasa y biotita en el residuo sólido. La presencia de ambos minerales, aunque en cantidades subordinadas, controla la distribución de estos elementos en la anatexis debido a los altos valores de los coeficientes de partición respectivos en dichos minerales ( $K_{Sr}^{pl/l} = 2.84$  y  $K_{Rb}^{bi/l} = 3.26$ , Arth, *op. cit.*). La concentración de Sr que se infiere para el fundido anatético (208 ppm) es aproximadamente el doble de la de Rb (107 ppm), siendo esta relación característica de líquidos en los que los feldespatos calcosódicos normativos predominan sobre los alcalinos. Estos líquidos tendrían entonces una composición general granodiorítica.

Los modelos matemáticos planteados por Rapela y Shaw (1979) para una fusión parcial de grauvacas en la Sierra de Quilmes sugieren conclusiones similares partiendo de una metodología diferente (figs. 4, 5 y 6, Rapela y Shaw, *op. cit.*). Estos resultados se oponen a la derivación cortical (principalmente de grauvacas) de *grandes volúmenes* de fundidos de composición granítica verdadera en los que la relación Rb/Sr sea mucho mayor de 1 (el fraccionamiento de un líquido granodiorítico-tonalítico puede generar relaciones mayores de 1 pero esas fracciones residuales estarán subordinadas respecto del magma primario).

Estudios geoquímicos recientes sobre la distribución de elementos mayoritarios y trazas en el batolito de Achala muestran que

en el mismo predomina netamente la composición granítica "sensu strictu", con una relación Rb/Sr promedio de 4.8 (Rapela y Heaman, en prensa). Por otra parte, Rapela *et al.* (en preparación) han encontrado relaciones isotópicas iniciales del Sr muy bajas en isocronas sobre rocas del batolito (0.704,422 m.a.). Estas evidencias, conjuntamente con las características geoquímicas del basamento cristalino de alto grado inferidas en este trabajo no están de acuerdo con una derivación cortical superior para este cuerpo mayor.

### Agradecimientos

Parte de este trabajo fue desarrollado en el Department of Geology McMaster University, Canadá en el transcurso de una beca externa otorgada por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) a uno de los autores (C. W. R.). Se agradece al Doctor D. M. Shaw por las facilidades y el apoyo brindado durante ese lapso (grant AO155 del National Research Council of Canada).

Se desea también dejar expreso agradecimiento al Doctor J. C. Merodio por sus valiosas sugerencias en la parte analítica del trabajo.

### Lista de trabajos en el texto

- Abbey, S., 1977. *Studies in "standard samples" for use in the general analysis of silicate rocks and minerals*. Part. 5: 1977 edition of *Usable Values*. Geol. Surv. Can. Pap.: 77-34.
- Albarede, F. e Y. Bottinga, 1972. *Kinetic disequilibrium in trace element partitioning between phenocrysts and host lava*. Geochim. Cosmochim. Acta, 36: 141-156.
- Arth, J. G., 1976. *Behaviour of trace elements during magmatic processes a summary of theoretical models and their applications*. J. Res. U. S. Geol. Surv., 4: 41-47.
- Bailes, A. H. y W. D. Mc Ritchie, 1978. *The transition from low to high grade metamorphism in the Kisseynew sedimentary gneis belt, Manitoba*. In *Metamorphism in the Canadian Shield*. Geol. Surv. Can. Pap.: 78-10.
- Cox, K. G., J. D. Bell y R. J. Pankhurst, 1979. *The interpretation of igneous rocks*. George Allen & Unwin.
- Currie, K. L., 1971. *The reaction 3 Cordierite  $\rightleftharpoons$  2 Garnet + 4 Sillimanite + 5 Quartz as a Geological Thermometer in the Opinicon Lake Region Ontario*. Contrib. Mineral. Petrol., 33: 215-226.
- Gordillo, C. E., 1979. *Observaciones sobre la petrología de las rocas cordieríticas de la Sierra de Córdoba*. Bol. Acad. Nac. Cienc. Córdoba, 53: 1-2.
- Gordillo, C. E., K. Hayase y E. Gelos, 1971. *Composición y propiedades físicas de la cordierita en las migmatitas graníticas de la Sierra de Córdoba, República Argentina*. Asoc. Geol. Arg., Rev., 26: 317-325.
- Hanson, G. N., 1978. *The application of trace elements to the petrogenesis of igneous rocks of granitic composition*. Earth Planet. Sci. Lett., 38: 26-43.
- Mc Intire, W. L., 1963. *Trace elements partition coefficients; a review of theory and applications to geology*. Geochim. Cosmochim. Acta, 27: 1209-1261.
- Mirre, J. C., 1971. *Caracterización de una comarca de metamorfismo regional epizonal de alto grado: la Sierra de Valle Fértil, provincia de San Juan, República Argentina*. Asoc. Geol. Arg. Rev., 26: 113-127.
- Rapela, C. W., 1976. *El basamento metamórfico de la región de Cafayate, provincia de Salta. Aspectos petrológicos y geoquímicos*. Asoc. Geol. Arg., Rev., 31: 203-222.
- Rapela, C. W. y L. Heaman, 1981. *Composición química de granitos batolíticos de las Sierras Pampeanas*. Rev. Mus. La Plata (en prensa).
- Rapela, C. W., L. Heaman y R. H. Mc Nutt, . . . . *Rb-Sr systematics of granitoid and metamorphic rocks from the Pampean Ranges, Argentina*. (En preparación).
- Rapela, C. W. y D. M. Shaw, 1979. *Trace and major element models of granitoid genesis in the Pampean Ranges, Argentina*. Geochim. Cosmochim. Acta, 43: 1117-1129.
- Shaw, D. M., 1970. *Trace element fractionation during anatexis*. Geochim. Cosmochim. Acta, 34: 237-243.
- 1978. *Trace element behaviour during anatexis*. Proc. of the Amer. Geophys. Union Chapman Conference on Partial Melting in the Earth's Mantle: 189-213.
- Shimizu, N., 1974. *An experimental study of the partitioning of K, Rb, Cs, Sr and Ba between clinopyroxene and liquid at high pressures*. Geochim. Cosmochim. Acta, 38: 1789-1796.

- Shimizu, N. y S. Akimoto, 1971. *Partitioning of strontium between clinopyroxene and liquid at high pressures: preliminary experiments*. Earth Planet. Sci. Lett., 13: 134-138.
- Toselli, A. J., J. N. Rossi de Toselli y C. W. Rapela, 1978. *El basamento metamórfico de la Sierra de Quilmes, República Argentina*. Asoc. Geol. Arg., Rev., 33: 105-121.

Recibido: Marzo 31, 1981

CARLOS A. RAPELA  
CONICET

Centro de Investigaciones Geológicas  
Museo de La Plata - Paseo del Bosque s/n  
1900 La Plata.

CARLOS E. GORDILLO  
CONICET

Cátedra de Petrología  
Vélez Sarfield 299  
5000 Córdoba.

## DEPOSITOS CARBONICOS DE LA PRECORDILLERA DE SAN JUAN. PARTE I - COMARCA DEL CERRO LA CHILCA (RIO FRANCIA)

A. J. CUERDA y G. FURQUE

### Resumen

Se describe una secuencia carbónica expuesta en el flanco oriental de la Precordillera de San Juan. El espesor de la pila sedimentaria es de unos 960 m y se compone de una sucesión de depósitos continentales constituidos principalmente por areniscas y lutitas subordinadas. En los niveles inferior y medio de la secuencia se intercalan lutitas carbonosas. Sobre la base de fragmentos de *Calamites peruvianus* Gothan la edad de la columna queda establecida entre el Carbónico medio a superior. La reconstrucción paleoambiental indica un sistema fluvial de ríos meandrosos y anastomosados.

### Introducción

En la faja centro-oriental de la Precordillera de San Juan comprendida entre el río homónimo y la localidad de Jáchal, a lo largo de unos 150 km, afloran remanentes de la cubierta sedimentaria neopaleozoica. Estratigráficamente, los depósitos corresponden a los bien conocidos "Pisos" I y II de los "Estratos de Paganzo", de la nomenclatura geológico-regional establecida por Bodenbender (1911).

Los asomos en cuestión se disponen en fajas angostas y alargadas de dirección norte-sur y por trechos son discontinuos. Su disposición estructural así como la distribución regional, son rasgos controlados por un sistema de fallas de rumbo andino dominante.

La información que poseemos sobre estos depósitos es escasa y se reduce a datos geológicos generalizados. Suponemos que el examen geológico pertinente quedó demorado por las difíciles condiciones de acceso y precarios recursos acuíferos dentro de un marco regional típicamente semiárido.

Con este trabajo, los autores dan comienzo a un plan de investigaciones que tiene por objetivo el conocimiento geológico de los depósitos carbónicos antes mencionados. Las investigaciones se encuadran en el Proyecto

### Abstract

A Carboniferous sequence exposed in the eastern slope of the Precordillera of San Juan is here described. The thickness of the sedimentary pile is about 960 m, and it is composed by a succession of terrigenous deposits made up mainly bay sand stones and subordinated shales. Carbonaceous shales are intercalated in the lower and middle levels of the sequence. On the basis of fragments of *Calamites peruvianus* Gothan the age of the column was established between the middle and upper Carboniferous. The paleoenvironment reconstruction points out to a fluvial system of meandering and bridged rivers.

42 - Paleozoico Superior de América del Sur (PIGG). Los trabajos de campo fueron atendidos con fondos provenientes del CONICET (Comité Argentino de Correlación Geológica).

Los afloramientos carbónicos del Cerro La Chilca, con los que iniciamos nuestras investigaciones, están ubicados unos 15 km al este de la Estación Tucunuco del FCNGB. Forman parte de una faja continua de unos 30 km de largo; sus límites están señalados al norte y sur por las quebradas de los ríos Ampataco y Médano Rico, respectivamente. El acceso a los depósitos sólo es factible en acémilas partiendo desde el caserío de Tucunuco o bien desde Jáchal. En ocasión de efectuarse los trabajos, fue posible llegar hasta las proximidades de los asomos con vehículo a tracción normal, utilizando una huella abierta tiempo atrás para la extracción de acumulaciones de calcita emplazadas en el cerro La Chilca.

### Antecedentes bibliográficos

La información geológica vinculada con los depósitos del cerro La Chilca se reducen a los datos vertidos por Stappenbeck (1910)

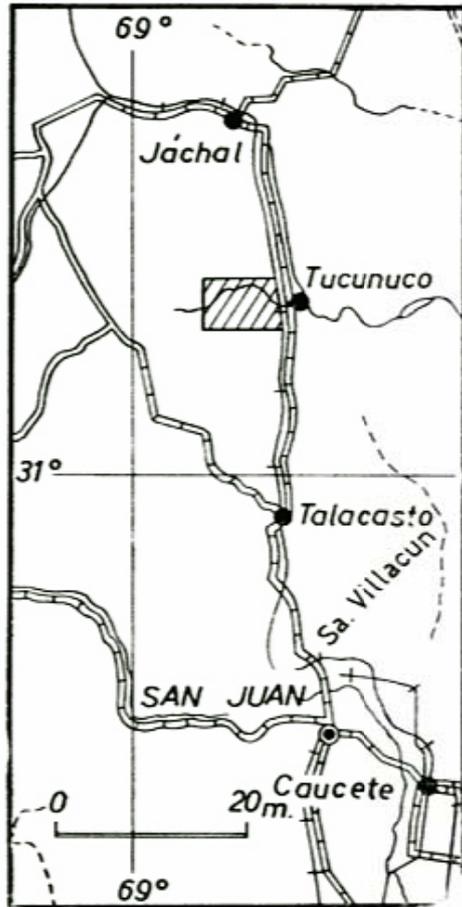


Fig. 1. — Croquis de orientación. Zona rayada corresponde a la comarca del Río Francia (Cerro La Chilca).

y Borrello (1956). El primero de estos autores consignó en el plano geológico anexo a su obra una faja de afloramientos que, reunidos bajo el título de "Estratos de Paganzo" ubicó al sur y oeste de la pequeña sierra de Cumillango. Si bien no especifica otros datos geográficos que permitan orientar para la ubicación de los depósitos que consideramos, se estima que ellos están incluidos en la referida faja sedimentaria.

Borrello (1956) proporcionó datos relacio-

nados con la geología económica local, al mencionar la mina de carbón "La Gloria" que ubicó unos 15 km al noroeste de la Estación Adán Quiroga del FCNGB. Este yacimiento puede coincidir con algunos de los laboreos abiertos en los niveles carboníferos intercalados en la base de la secuencia estratigráfica local.

**Descripción geológica**

La sucesión estratigráfica neopaleozoica más completa y que fuera seleccionada como estratotipo para la descripción pertinente, se encuentra expuesta a lo largo de la quebrada surcada por el río Francia y tiene un ancho de 2 km aproximadamente. Las condiciones estructurales que caracterizan dicho sector son las indicadas en el perfil geológico generalizado de la figura 2, que en líneas principales se identifica con una estructura homoclinal ladeada al poniente que complementa el plano de la figura 5.

Los detalles litológicos correspondientes así como las estructuras sedimentarias asociadas y relaciones estratigráficas de la columna neopaleozoica, son indicados en el perfil columnar de la figura 3.

La descripción correspondiente queda encuadrada en el siguiente ordenamiento.

**Formación Río Francia**

Los autores proponen esta denominación para identificar las sedimentitas carbónicas expuesta en la comarca. El nombre fue extraído de la quebrada del río homónimo que disecta transversalmente la secuencia neopaleozoica en todo su espesor.

Los afloramientos están expuestos en ambas márgenes de la quebrada del río Francia y forman parte de una faja que con rumbo norte-sur fue reconocida en el flanco centro-oriental de la Precordillera entre la sierra

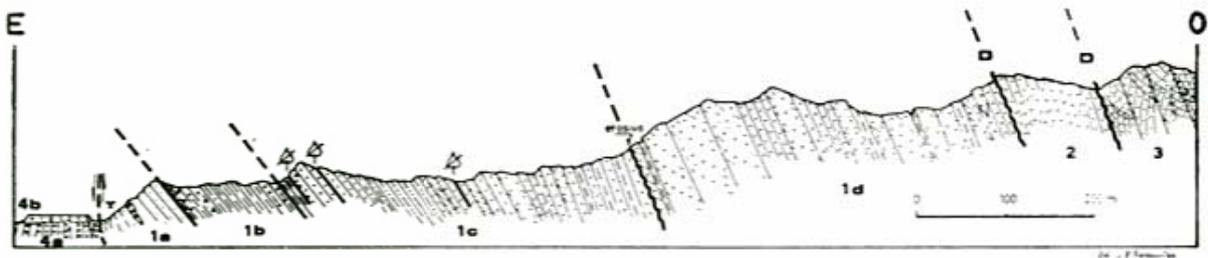
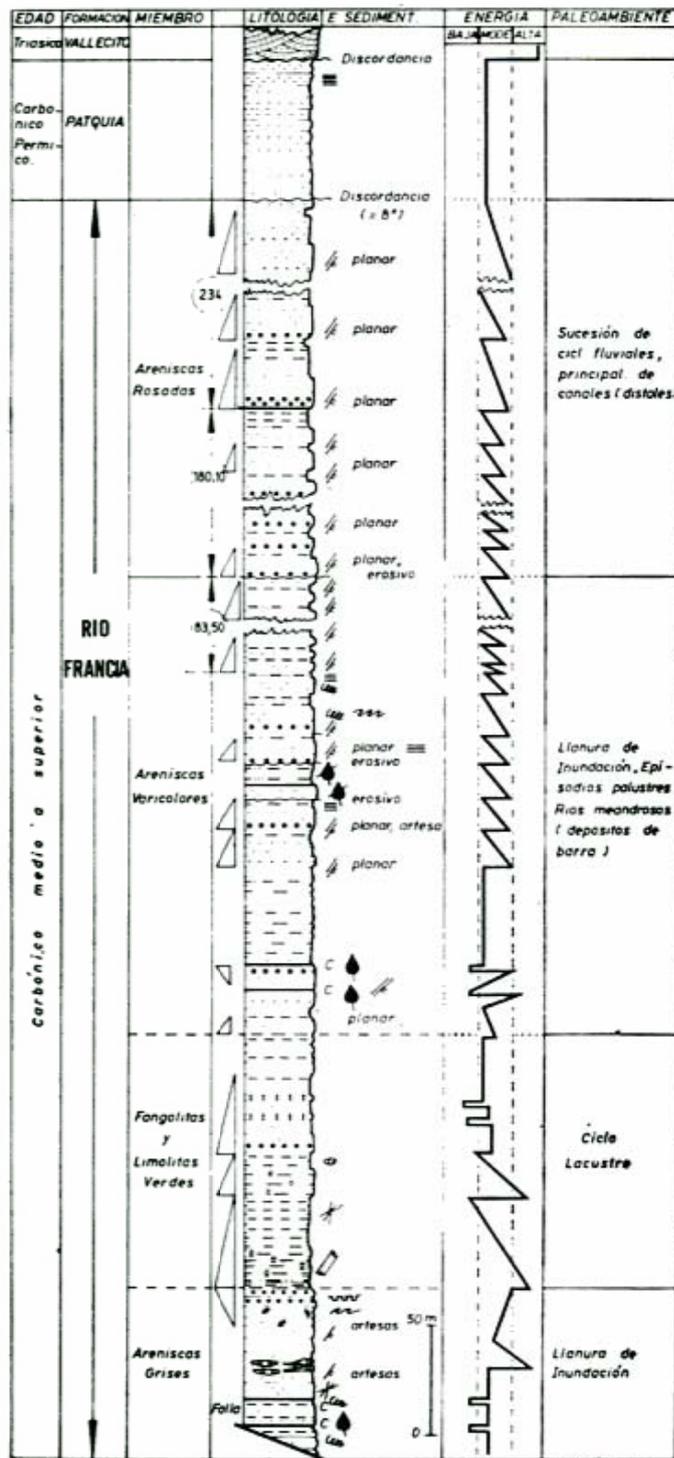


Fig. 2. — Perfil geológico generalizado de la comarca ubicada al oeste del cerro La Chilca.



- |  |                             |  |                           |  |                       |
|--|-----------------------------|--|---------------------------|--|-----------------------|
|  | Aren. gruesas               |  | Aren med-gruesa           |  | Lutitas               |
|  | Limolitas                   |  | Aren limosas              |  | Rodados               |
|  | Estr cruzada                |  | Lamin ondulítica          |  | Laminación            |
|  | Briznas (suelos)            |  | Restos vegetales          |  | Laminación replegada  |
|  | Secuencia grano-decreciente |  | Secuencia grano-creciente |  | Concreciones marlekar |
|  | Pistas d vernes             |  | Estr ball & pillow        |  | Estrias               |

Fig. 3. — Perfil estratigráfico de la secuencia carbónica de la Formación Río Francia.

de Cumillango y el sector denominado Lomas Negras, poco al norte de una línea que coincide con la quebrada de Talacasto.

Desde el punto de vista regional, los afloramientos de la Formación Río Francia presentan expresión topográfica constante en el tramo de la faja situada entre la sierra de Cumillango y la quebrada del río del Médano, al sur de la cual disminuye gradualmente su ancho como consecuencia de la menor potencia relativa que se opera en esa dirección.

### 1. ESPESOR

El estratotipo fue establecido en unos 960 m de potencia, la que debe ser considerada como mínima en virtud del truncamiento de su base por fallamiento regional. Los reconocimientos geológicos llevados a cabo en la comarca ubicada al sur del estratotipo, demostraron que en esa dirección tiene lugar una marcada disminución del espesor de la unidad, sin que pueda cuantificarse la magnitud de la reducción por falta de perfiles mensurados.

### 2. RELACIONES ESTRATIGRÁFICAS

No se conocen los niveles inferiores de la unidad, cuya base, según se indicara, está truncada por fallamiento.

Una discordancia angular, cuyo valor fue calculado en unos ocho grados (véase Foto 1) señala el límite superior de la Formación, y la separa de las suprayacentes sedimentitas rojas de la Formación Patquía. Es de hacer notar que la superficie de discordancia sólo es apreciable por trechos y fue inicialmente observada en los asomos ex-



Foto 1. — Discordancia angular entre las sedimentitas de las Formaciones Río Francia y Patquía, Quebrada de Las Avispas.

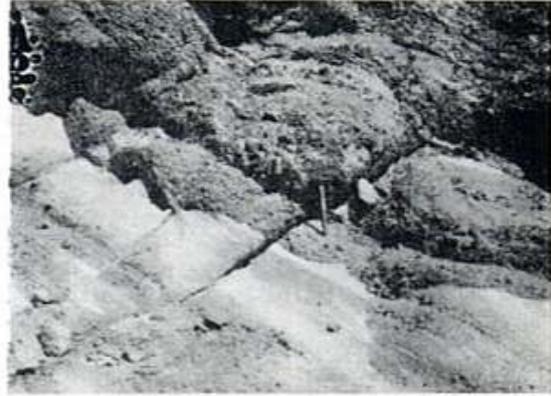


Foto 2. — Detalle de los bancos conglomerádicos, dispuestos en discordancia erosiva en el Miembro de la Areniscas Grises.

puestos en la quebrada del río Las Avispas, tributario del río Francia. En el perfil del río Ampataco, al norte del anterior, las relaciones entre las Formaciones Río Francia y Patquía, se resuelven mediante un contacto concordante neto.

### 3. DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA

Cuatro Miembros fueron reconocidos en el desarrollo vertical de la unidad, cuyas respectivas descripciones se indican seguidamente en el orden de su natural superposición.

#### *Miembro de Areniscas Grises*

Espesor mínimo 83 metros. Se inicia con una sucesión alternante de psamitas de grano fino y arcillas carbonosas en estratos delgados. Los contactos entre estos dos tipos litológicos es siempre neto y sus espesores relativos se indican en el perfil "A" de la figura 4. Hacia arriba siguen areniscas cuarzosas en estratos macizos y tabulares de 0,50-0,70 m de espesor, en los que se interponen algunas camadas lenticulares de conglomerados finos cuyos espesores no superan los 0,80 m. Los clastos se componen de rocas graníticas y metamórficas. A partir del techo de estas psamitas y hasta la parte superior del Miembro, se sucede una alternancia regular de areniscas de grano fino a medio y limolitas en estratos de 0,50-0,80 m de espesor. En algunos de los bancos psamíticos se observan estructuras sedimentarias tales como estratificación cruzada, laminación ondulítica, laminación replegada, así como las denominadas "ball and pillow".

*Miembro de Fangolitas y Limolitas Verdes*

Espesor: 114 metros. El modelo sedimentario al que se ajusta este Miembro es el indicado en la figura 4, "D". Consta de dos conjuntos sedimentarios sobrepuestos caracterizados a su vez cada uno de ellos por dos unidades subordinadas, a saber: una inferior, compuesta por fangolitas guijarrosas, y otra, superior, por limolitas.

Las fangolitas basales se distinguen por su ordenamiento vertical regular y paralelo en estratos de 2 y 3 cm de espesor. Algunas lentes de conglomerados finos con base erosiva neta se interponen en estas sedimentitas. Pero el rasgo más importante de este intervalo estratigráfico es la presencia de numerosos clastos cuyos tamaños oscilan entre 1 y 30 cm de diámetro y se distribuyen sin orden alguno en el cuerpo sedimentario "Dropstones". En todos los casos se observó que las fangolitas envuelven a los clastos, ajustándose a sus superficies en toda su extensión. Este rasgo se pone de manifiesto particularmente en aquellos clastos de mayor diámetro relativo. Cabe señalar la presencia de estratos de calizas de hasta 0,30 m de espesor intercalados en los niveles medios de las fangolitas guijarrosas. Finalmente, cabe mencionar la presencia de estrías en algunas de las superficies de estratificación así como estructuras del tipo "cono en cono" (escasas) en la base de los estratos pelíticos.

El pasaje entre las fangolitas guijarrosas y las limolitas sobrepuestas, es gradual, y se opera según una disminución de los fenoclastos hasta su total desaparición. Las limolitas presentan una definida laminación y llevan sobre las superficies de estratificación pistas de vermes.

Conforme fuera indicado más arriba, el referido duplo sedimentario, fangolitas guijarrosas-limolitas, vuelve a reiterarse en la mitad superior del Miembro. El duplo superior se diferencia del inferior por el menor espesor de las limolitas, a la vez que se interponen estratos delgados de psamitas de grano fino. Concreciones del tipo "marlekor" fueron reconocidas en esta unidad superior.

*Miembro de Areniscas Varicolores*

Espesor: 340 metros. Esta unidad hállase integrada por una sucesión de psamitas grisesáceas, rojo-violáceas, rojo-ladrillo, verdosas y blanquecinas, con intercalaciones subordinadas de pelitas. El ordenamiento estratigráfico de estos tipos litológicos se efectúa según

los modelos "B", "C" y "F" de la figura 4. Estos modelos o secuencias unitarias tienen en común el rasgo granodecreciente de su litología, y solo se diferencian en la magnitud de su desarrollo vertical y en la presencia (o ausencia) de aquellas fracciones de granometría más fina que, en algunos casos (secuencia "F") culminan con lechos carboníferos. Estos ciclos son parcialmente comparables a los señalados por Allen (1965) en sucesiones aluviales y por Woodland y Evans (1964) para secuencias del carbónico galés.

Una breve reseña de estas tres secuencias unitarias se indica seguidamente. El modelo "B" se inicia con areniscas de grano grueso, a veces sabulíticas, operándose luego y en forma gradual la disminución en el tamaño de los granos definiéndose un ordenamiento que culmina con limolitas. Regularmente, una superficie de erosión muy neta señala el límite superior de la unidad, para iniciarse seguidamente un nuevo ciclo elemental. Los intervalos granométricos están a su turno caracterizados por determinadas estructuras sedimentarias, así, en las fracciones de grano grueso, se observa estratificación cruzada (artesas) a escala mediana, siendo reemplazadas hacia arriba primero por laminación ondulítica que cierra el ciclo elemental. El modelo "C" se diferencia del anterior por la ausencia de la fracción limosa a la vez que el contacto con la unidad suprayacente es neto, sin discordancia erosiva.

Particular interés reviste el modelo "F" que, por el hecho de completarse con acumulaciones carboníferas, plantea eventuales perspectivas económicas para la prospección de este Miembro. La secuencia es por lo general de reducido espesor y no supera los 0,60-0,90 m de potencia. Se inicia con areniscas de grano medio, reemplazadas por otras de grano fino, pasando luego a limolitas, lutitas, para culminar con un cuerpo carbonoso. De interés paleobiológico revista la unidad limosa subyacente al carbón, que con un espesor de 3-6 cm corresponde a los bien conocidos "suelos de vegetación". Restos de briznas vegetales dispersos en un material homogeneizado, por procesos de bioturbación, caracterizan estos paleosuelos. Cabe agregar todavía que entre los suelos de vegetación y el cuerpo con carbón, se intercala una delgada faja de lutitas que lleva restos muy bien conservados de una flora fósil integrada exclusivamente por *Calamites peruvianus* Gothan y *Calamites* sp.

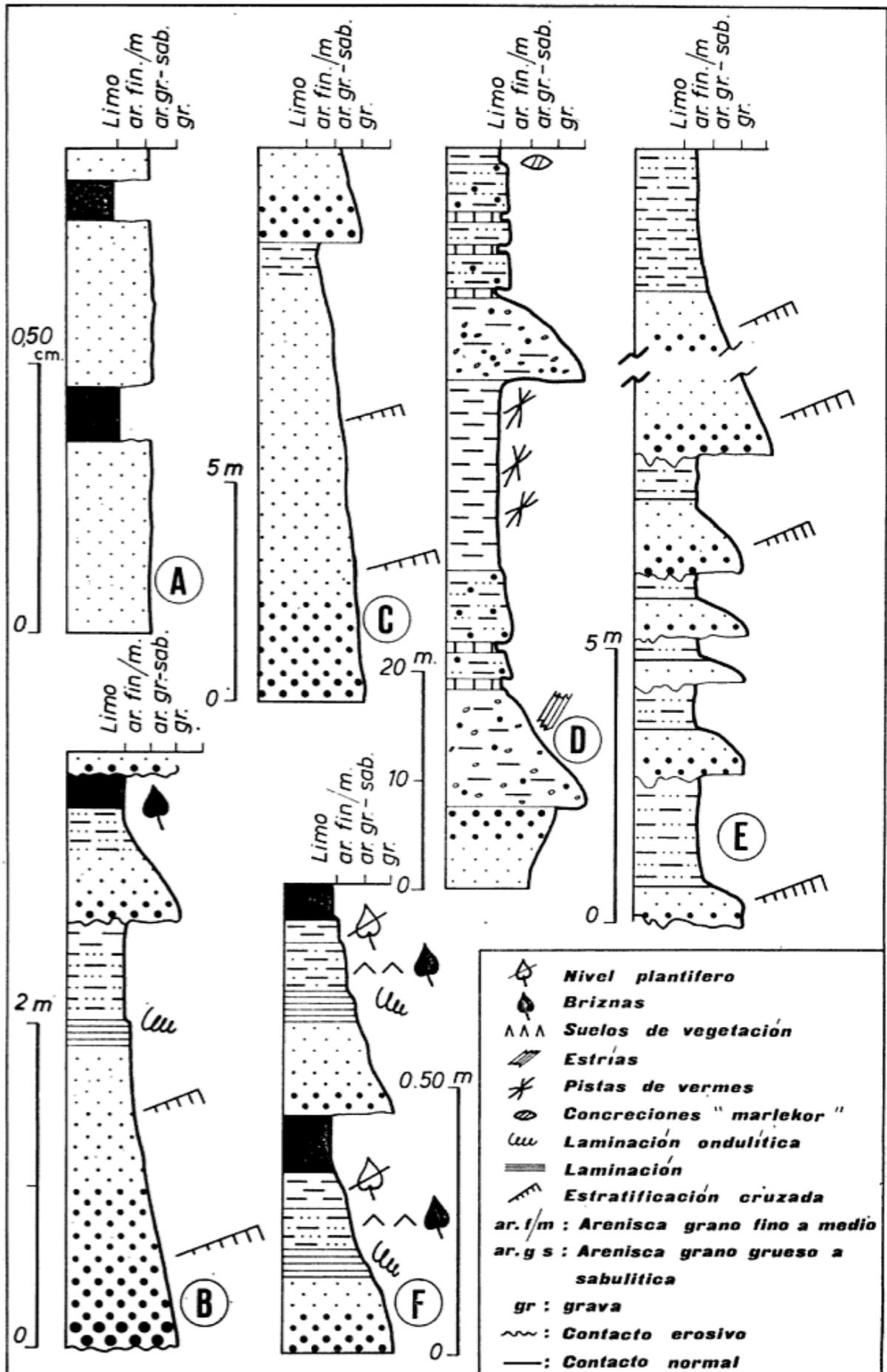


Fig. 4. — Modelos de secuencias elementales de la Formación Río Francia.

### Miembro de Areniscas Rosadas

Espesor: 414 metros. Se distingue este Miembro por la regularidad del ordenamiento de sus secuencias elementales, conforme se indica en el Perfil "E" de la figura 4. El modelo elemental, como en los casos anteriores, es granodecreciente y es semejante al "C" antes señalado. En orden ascendente, comienzan con psamitas de grano grueso o sabulitas, reemplazadas hacia arriba por psamitas de grano medio, fino y culmina con psamitas limosas. Generalmente cada unidad lleva en su base una superficie de erosión irregular. Cabe señalar que el espesor de las unidades elementales varían entre un mínimo de dos y un máximo de 15 metros. Las mayores potencias se registran en la base del Miembro. Estructuras correspondientes a estratificación cruzada del tipo planar y escala grande, aparecen en la mayoría de los cuerpos psamíticos.

Hacia los niveles superiores del Miembro, los rasgos sedimentarios de las unidades elementales se esfuman gradualmente hasta perderse para luego ser reemplazados por una sucesión de estratos psamo-pelíticos alternantes, macizos y paralelos que, sin mayores cambios, se mantiene hasta el contacto con la suprayacente Formación Patquía. La potencia de los estratos en este intervalo, varía entre uno y dos metros.

#### 4. RECONSTRUCCIÓN PALEOAMBIENTAL

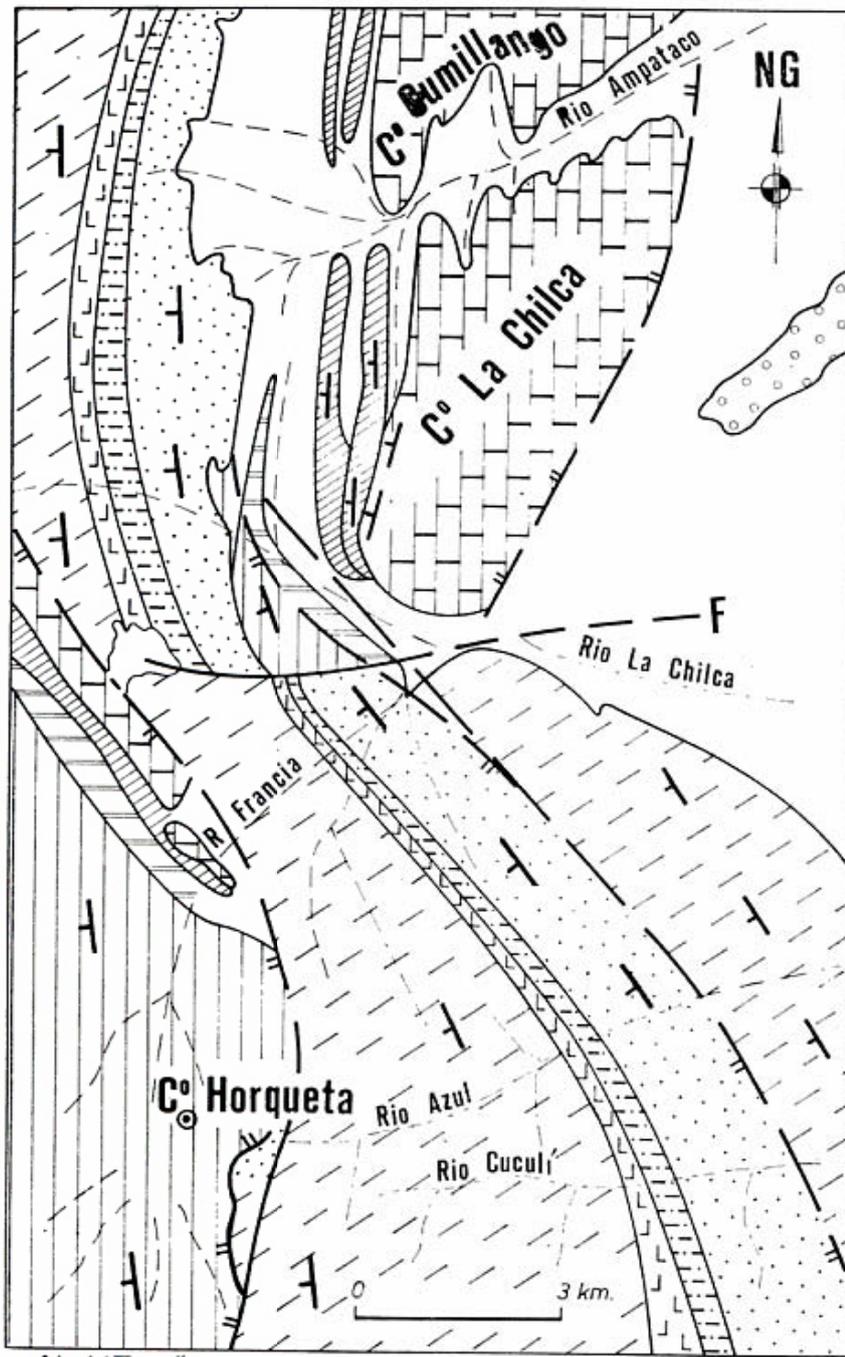
El ambiente de sedimentación puede identificarse como continental de régimen fluvial. Las sedimentitas del Miembro de Areniscas Grises sugiere en conjunto un ambiente de llanura de inundación. La presencia de fajas lenticulares y psamitas cuarzosas asociadas se considera que pueden corresponder a episodios fugaces relacionados con la ruptura de albardones con formación de sedimentos en la llanura contigua. La ausencia de suelos de vegetación en la base de los lechos carbonosos es un rasgo de aloctonía y eventual concentración de material orgánico en áreas deprimidas dentro de la llanura de inundación con exiguo o ningún desagüe exterior.

El citado ambiente evolucionó a un campo de sedimentación lacustre, representado en el perfil columnar por el Miembro de Fangolitas y Limolitas Verdes. La depositación de las fangolitas tuvo lugar bajo condiciones de alta energía ambiental, lo suficientemente enérgicas como para transportar

clastos y bloques que suponemos relacionados con procesos glaciarios. Como consecuencia de la gradual disminución de la energía ambiental se inició la sedimentación de barros limolíticos, acompañado por un mejoramiento de las condiciones paleoclimáticas lo necesariamente óptimas como para permitir una intensa actividad biológica, conforme lo sugieren las numerosas pistas de vermes en este intervalo de la columna estratigráfica. Con esta fase se relacionan las limolitas verdes que completan la secuencia modelo. Esta sucesión de procesos se reiteraron en el desarrollo ambiental conforme quedó registrado en el citado Miembro.

A su turno, el ambiente lacustre fue reemplazado por otro fluvial de tipo de ríos meandrosos, que evolucionó alternativamente a llanuras de inundación con episodios fugaces de carácter palustre, y cuyo testimonio está representado por el Miembro de Areniscas Varicolores. Es de hacer notar que las secuencias elementales que encontramos en esta parte de la columna estratigráfica (modelos "B" y "C") corresponderían a depósitos de espolón "*point bars*", truncados en su parte superior por superficies de erosión, por arriba de las cuales se inició un nuevo ciclo fluvial. Con respecto a los conjuntos psamo-pelíticos alternantes que encontramos intercalados en la mencionada sucesión corresponderían al testimonio sedimentario de llanuras de inundación (específicamente al albardón). Cabe agregar que durante el desarrollo de algunos de los ciclos fluviales la energía ambiental disminuyó al punto de posibilitar la formación de áreas con desagüe insuficiente, propicias para el desarrollo de pantanos. Bajo estas nuevas condiciones pudo prosperar una flora cuyo hacinamiento "*post-mortem*" generó los lechos con carbón que caracterizan a este Miembro. La autoctonía de estos carbones está confirmada por la presencia de los "suelos de vegetación" antes descriptos.

El paleoambiente fluvial persistió durante la depositación del siguiente Miembro de Areniscas Rosadas, pero con algunas diferencias respecto del anterior. Ante todo, llama la atención cuando se estudia el registro sedimentario, la mayor potencia del intervalo psamítico en las secuencias elementales granodecrecientes, así como la escasez de materiales pelíticos y la total ausencia de clásticos gruesos en su base. Estos rasgos permiten referir el Miembro a un ambiente de canales anastomosados aunque distales con respecto al área de aporte sedimentario. Ca-



Dib. C. P. Trampouilles

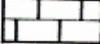
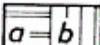
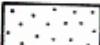
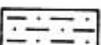
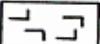
- |   |   |   |                 |
|---|---|---|-----------------|
|  | F. San Juan ;   |  | Gr. Tucunuco    |
|  | Gr. Gualilan ( a. F. Talacasto ; b - F. Punta Negra ) |   |                 |
|  | F. Rio Francia ;                                      |  | F. Patquia      |
|  | F. Vallecito ;  |  | F. Cuculi       |
|  | F. Mogna  |  | Dep. Terrazados |

Fig. 5. — Esbozo geológico del sector del cerro La Chilca.

be agregar por último que el citado ambiente evolucionó a llanuras de inundación conforme lo sugiere la sucesión de estratos tabulares y alternantes psamo-pelíticos que coronan la Formación Río Francia.

### 5. EDAD Y CORRELACIÓN

La presencia de restos bien conservados de tallos referibles a *Calamites peruvianus* Gothan en la base de los lechos con carbón del Miembro de Areniscas Varicolores, permiten referir la Formación Río Francia al Carbónico medio a superior. Desde el punto de vista de la geología regional, la unidad es correlacionable con los depósitos de las Formaciones Tupe, Tuminico y La Colina en el ambiente de las Sierras Pampeanas. El examen estratigráfico comparado entre estas unidades permite deducir algunos rasgos en común que pasamos a considerar: (i) estratos fangolíticos con rodados y bloques dispersos ("Dropstones") se sitúan aproximadamente en niveles estratigráficos equiparables, regularmente en la base de la sucesión; (ii) el Miembro de Areniscas Rosadas es el exacto correlato de las areniscas feldespáticas que coronan la Formación Tupe en su estratotipo de la mina La Negra; (iii) equivalencia cronológica según es establecida por las floras carbónicas que caracteriza a los perfiles citados.

### 6. GEOTECTÓNICA Y TECTOFACIAS

Los depósitos de la Formación Río Francia se encuentran incluidos en el ámbito sedimentario definido por Azcuy y Morelli (1970) como "Cuenca de Paganzo". Sobre la base del examen de las respectivas tectofacias es factible indicar con alguna aproximación, la posición de la columna estratigráfica dentro del referido campo sedimentario.

Ante todo, un rasgo a destacar en el registro sedimentario de la unidad es la ausencia de cuerpos psefíticos potentes de la magnitud de aquellos que caracterizan a la Formación Tuminico (Cuerda *et. alt.*, 1980) y en menor proporción, a la Formación Tupe. Dejando de lado los estratos conglomerádicos que se intercalan en el Miembro de Areniscas Grises y las masas de fenoclastos dispersos en las fangolitas del Miembro inmediato superpuesto, y cuyas génesis se rela-

cionan con procesos ajenos al tectonismo de la cuenca de sedimentación, se observa que la Formación Río Francia está constituida principalmente por psamitas y pelitas subordinadas. Fue indicado anteriormente que el paleoambiente de la unidad correspondió a un sistema fluvial de ríos meandrosos y anastomosados, caracterizados estos últimos por su posición distal con respecto a las áreas positivas de aporte sedimentario.

Sobre la base de lo expuesto concluimos que la depositación de la Formación Río Francia tuvo lugar en un sector de la cuenca que, tentativamente, ubicamos en sus partes centrales.

### Consideraciones finales

La sucesión estratigráfica en el sector estudiado culmina con los depósitos de las Formaciones Patquía y Vallecito, respectivamente. La primera de dichas unidades, caracterizada por una sucesión de areniscas feldespáticas y arenismas limosas en estratos tabulares y delgados de tonalidades rojizas, se vincula genéticamente con la formación Río Francia, con la que integra un mismo ciclo sedimentario continental neopaleozoico. Respecto de la Formación Vallecito, representa el testimonio basal de un nuevo ciclo sedimentario, igualmente continental, cuya iniciación tuvo lugar en tiempos triásicos. El rasgo más notable de su composición interna es la estratificación cruzada de tipo eólico. Depósitos coetáneos y con los mismos rasgos composicionales hallanse expuestos en el primer tramo de la Precordillera sanjuanina comprendida entre Huaco y Jáchal.

### Agradecimientos

Los autores dejan constancia de su profundo agradecimiento al Prof. Dr. Luis A. Spalletti por las ideas sugeridas a propósito de la reconstrucción paleoambiental, así como por la lectura y crítica del manuscrito. Igualmente hacen extensivo su agradecimiento al Prof. Dr. Luis B. Cazau por las reflexiones sugeridas en relación con el análisis y presentación de las secuencias estratigráficas elementales.

**Lista de trabajos citados en el texto**

- Allen, J. R. L., 1965. *Fining up-wards cycles in alluvial successions*. Geol. J., 4 (2): 229-246.
- Azcuy, C. L. y J. Morelli, 1970. *The Paganzo basin. Tectonic and sedimentary characteristics of the Gondwana sequences in Northwestern Argentina*. Sec. Gondw. Symp., Proc. and Papers, IUGS, 241-247. Marshalltown, South Africa.
- Bodenbender, G., 1911. *Constitución geológica de la parte meridional de La Rioja y regiones limítrofes*. Bol. Acad. Nac. Cienc. Córdoba, XIX (1): 5-220.
- Borrello, A. V., 1956. *Recursos Minerales de la República Argentina. III - Combustibles Sólidos Minerales*. Rev. Inst. Nac. Inv. Cienc. Nat., y Mus. Arg. Cienc. Nat. "B. Rivadavia", V: 1-641.
- Cuerda, A. J., C. A. Cingolani, R. Varela y O. C. Schauer, 1980. *Depósitos carbónicos en la vertiente occidental de la Sierra de Valle Fértil, Prov. San Juan*. Asoc. Geol. Arg. Rev., XXXIV (2): 100-107.
- Stappenbeck, R., 1910. *La Precordillera de San Juan y Mendoza*. An. Min. Agric., Sec. Geol. Mineral., y Min., IV (3): 3-179.
- Woodland, A. W. y W. B. Evans., 1964. *The country around Pontypridd and Maesteg*. Geol. Surv. Gt. Brit., Mem. Geol., England, Wales, 391 pp.

Recibido: Marzo 23, 1981.

A. J. CUERDA

G. FURQUE

Museo de La Plata, Prov. Bs. As.  
Paseo del Bosque  
1900 La Plata.

## SISMICIDAD Y TECTONICA EN LOS ANDES DEL NORTE ARGENTINO

JORGE E. EREMCHUK, RICARDO MON, LUIS E. SUAYTER y MARTA M. ZOSSI

### Resumen

El estudio de la distribución de los epicentros sísmicos, en un extenso sector de los Andes del Norte Argentino, muestra que éstos se encuentran estrechamente relacionados, en el espacio, a los rasgos tectónicos más importantes, tales como las grandes fallas ándicas y los lineamientos transversales antiguos.

La cartografía geomorfológica de detalle, realizada en ciertos lugares especialmente ilustrativos, ha permitido demostrar la existencia de movimientos sumamente recientes en algunas de las fallas principales.

Se comprueba que la anomalía tectónica, que representa la depresión del Salar de Pipanaco, coincide con la anomalía sísmica más significativa de la región.

Todavía no son conocidos para la comarca los alcances de la asociación entre rasgos tectónicos superficiales con focos sísmicos situados, en algunos casos, a más de 200 km de profundidad.

### Introducción

El análisis comparativo de la información sísmica y tectónica del norte argentino ha permitido verificar que hay una estrecha relación entre los rasgos estructurales y los focos sísmicos.

Este hecho fuera de su destacado significado geológico permite profundizar el análisis tectónico con un nuevo enfoque, y al mismo tiempo, obtener algunos conceptos básicos que contribuyen a perfeccionar la zonificación sísmica de la región, en vista a los proyectos de obras civiles y a la seguridad de los asentamientos humanos.

La información geológica básica para la preparación del mapa de la figura 1 ha sido extraída de González Bonorino (1950 a, 1950 b, 1951, 1972 y 1978), Mon (1976 b), Ruiz Huidobro (1960 a, 1960 b y 1972), Sosic (1972 y 1973), Turner (1964, 1971 y 1973), Vilela (1956 y 1969) y también de la interpretación de fotografías aéreas e imágenes de satélite efectuada por los autores, especialmente en el sector austral del área considerada.

### Abstract

The study of the distribution of the epicenters of the earthquakes in a wide part of the North Argentinean Andes, shows that they have close spatial relations with big andean faults and crossed ancient lineaments.

The detailed geomorphological mapping of some special places allows to see evidences of very recent movements in some of the principal faults.

The Pipanaco depression represents a tectonic anomaly which coincides with the most important seismic anomaly of the region.

The implication of the association of superficial tectonic elements with seismic hypocenters situated at more of 200 km deep are still not understood for this region.

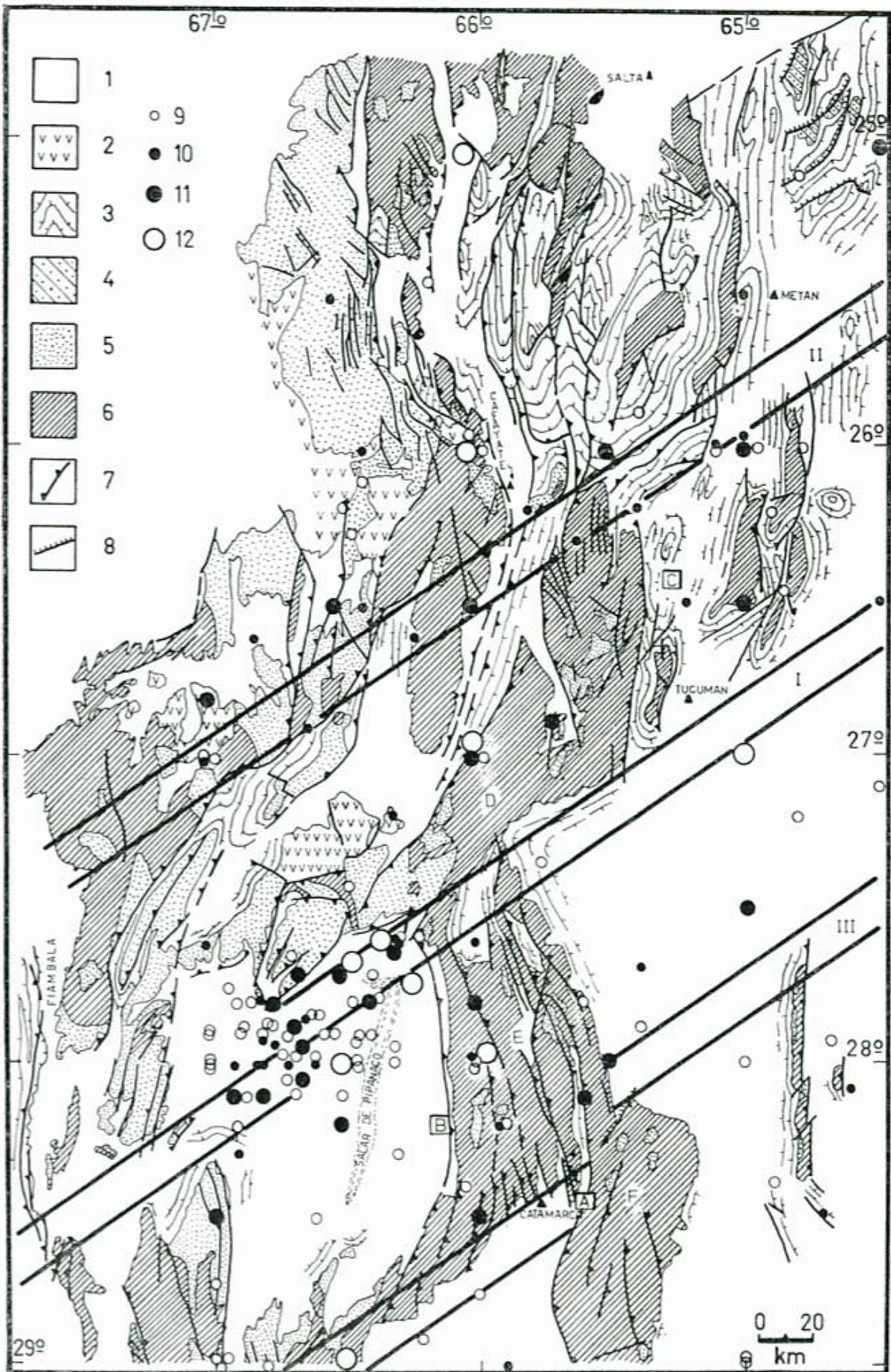
Los datos sísmicos han sido gentilmente proporcionados por el Instituto Nacional de Prevención Sísmica, Observatorio Nacional de La Plata y por el United States Coast and Geodetic Survey.

El área estudiada comprende el extremo norte de las Sierras Pampeanas y su pasaje a la Cordillera Oriental y Puna.

Cabe señalar que los resultados expuestos en este trabajo han sido obtenidos por dos equipos que trabajaron en forma totalmente independiente, uno dedicado a la investigación sísmica y el otro a la tectónica. Por razones circunstanciales se estableció un intercambio de informaciones y se verificó una sorprendente correlación entre los datos obtenidos por uno y otro.

### Análisis de los datos sísmicos

De una cantidad aproximada de 300 datos sobre la ubicación de los hipocentros de los sismos del área, se seleccionaron 175, considerados de exactitud satisfactoria, por haber sido registrados por tres o más esta-



ciones. Los sismos estudiados tienen magnitudes que varían entre 3,7 y 6,5 en la escala Richter. Se debe tener en cuenta que, dada la escasez de estaciones de registro en el área considerada, la mayor parte de los datos provienen de estaciones alejadas de ella, lo que influye desfavorablemente en la exactitud de la ubicación de los hipocentros (Zossi, 1979).

En el mapa de la figura 1 se han representado los epicentros y, en los perfiles de la figura 2, los focos, situados en una franja que se extiende por medio grado de latitud tanto al norte como hacia el sur de la traza.

En estos perfiles están representados sólo los sismos cuyas profundidades se conocen, de manera que hay algunos que están en el mapa y no figuran en los perfiles.

### Relaciones espaciales entre los rasgos tectónicos y los hipocentros

En el sistema de fracturas de la región predominan ampliamente las fallas inversas del alto ángulo. Este tiene una organización que permite distinguir ejes de convergencia y divergencia tectónica (Mon, 1976). Fuera de las fallas jóvenes o recientemente reactivadas, típicamente ándicas, de rumbo aproximado norte-sur, aparecen grandes dislocaciones transversales antiguas, que han sido reactivadas en distintas épocas geológicas. Los focos sísmicos muestran relaciones con ambos tipos de elementos. Una descripción detallada de la tectónica de la región se encuentra en Baldis *et al.* (1975 y 1976), Méndez (1974), Mon (1976 a, 1976 b y 1979) y Ramos (1977).

Se ha podido comprobar además la existencia de elementos tectónicos sumamente recientes que afectan a depósitos cuaternarios, ubicados en el pie de monte de las Sierras Pampeanas y de la Cordillera Oriental. Los sectores donde éstos se manifiestan más claramente han sido cartografiados en detalle (ver mapas de la figura 3). Los fenómenos de neotectónica más conspicuos están representados por fracturas reactivadas que

afectan a depósitos pleistocenos y, aisladamente superficiales, debidos a movimientos verticales producidos por fallas.

A continuación se describen los lugares en que las relaciones entre los epicentros y los rasgos tectónicos locales son más evidentes.

— *Depresión del Salar de Pipanaco*: constituye una depresión tectónica cerrada en todos sus flancos por bloques fallados, que han sido empujados hacia su centro, por donde pasa un eje tectónico convergente. Las fallas que la marginan son inversas de alto ángulo e inclinan hacia afuera de la depresión.

Se encuentran entre dos grandes lineamientos antiguos, el de Tucumán, por el norte, y el lineamiento designado por Baldis *et al.*, 1975 como de Ambato, por el sur.

Constituye sin duda una anomalía tectónica en la región. Esta ya llamó la atención de otros investigadores tales como Baldis *et al.* (*op. cit.*) y Ramos (1977), quienes notaron en ella y en sus márgenes particularidades tectónicas que se reflejan incluso en la mineralización.

La anomalía tectónica de Pipanaco coincide con una marcada anomalía sísmica. En ella se dispone un enjambre de epicentros que indican una intensa actividad sísmica (ver mapa de la figura 1). Esta concentración espectacular de epicentros ocurre principalmente en el sector norte de la depresión, en relación al lineamiento de Tucumán y a las fallas que marcan su borde septentrional. La posición de los hipocentros de estos sismos se aprecia en el perfil C de la figura 2. Allí se nota que los hipocentros de la zona de la depresión de Pipanaco, ubicados entre los meridianos 67° y 66°, conforman una zona sísmica horizontal, muy bien marcada por focos que se sitúan entre los 150 y los 200 km de profundidad. Por encima de esta zona se insinúa otra paralela, menos nítida, entre la superficie y los 80 km de profundidad. En la capa intermedia los focos son escasos.

De acuerdo a estas observaciones la depresión de Pipanaco no representa de nin-

Fig. 1. — 1. Cuartario; 2. Vulcanitas sin diferenciar; 3; Líneas de forma de las secuencias cretácico-terciarias; 4. Silúrico-Devónico; 5. Granitos; 6. Basamento metamórfico; 7. Fallas inversas de alto ángulo; 8. Fallas transcurrentes; 9. Sismos de magnitud desconocida; 10. Sismos de magnitud  $3.70 < M < 5$  de la escala Richter; 11. Sismos de magnitud  $5 < M < 6$  de la escala Richter; 12. Sismos de magnitud  $M > 6$ . I. Lineamiento de Tucumán; II. Lineamiento del Brete; III. Lineamiento de Ambato. A, B, y C. Ubicación de los mapas de detalle de la figura 3; D. Sierra de Aconquija; E. Sistema serrano Ambato-Manchao; F. Sierra de Ancasti.

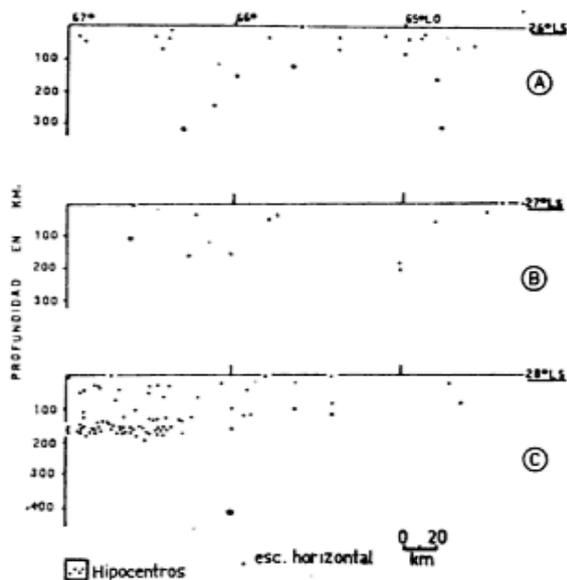


Fig. 2. — Perfiles sísmicos.

guna manera un sector de silencio sísmico y de anulación de esfuerzos, tal como señalaron autores anteriores.

Existen evidencias de que las fallas que la marginan han tenido una actividad muy reciente, que, en algunos casos, puede, incluso, prolongarse hasta la actualidad. Los movimientos recientes más importantes se han detectado en los bordes septentrional y oriental de la depresión, donde se han observado fracturas que afectan los niveles superior y medio del Cuartario. El mapa de la figura 2 B muestra un sector del borde oriental que corresponde a la ladera occidental de la sierra del Manchao, entre las localidades de Colpes y Saujil, donde las fracturas ilustradas han afectado a los paleoconos del nivel superior y los conos del nivel intermedio del Cuartario. En los niveles superiores se observan rechazos de hasta 100 metros.

Hacia el noreste de la depresión de Pipanaco, a lo largo del lineamiento de Tucumán, se han registrado sismos que podrían estar relacionados a él, especialmente el situado en la intersección del paralelo  $27^{\circ}$  con el meridiano de  $65^{\circ}$ , cuyo hipocentro se encuentra próximo a los 200 km de profundidad. Sin embargo en este sector será necesario perfeccionar los registros para demostrarlo.

#### *Sistema serrano Ambato-Manchao-Ancasti:*

constituye uno de los sectores de las Sierras Pampeanas donde sus características tectó-

nicas típicas, de bloques de basamento fallados y basculados, se encuentran mejor expuestas. Este conjunto serrano representa una serie de bloques alargados en sentido NNO-SSE, fallados en sus bordes occidentales por fracturas de alto ángulo que inclinan hacia el naciente y que se siguen a lo largo de decenas a centenares de kilómetros. Sobre la traza de estas fallas se ubican alineados numerosos epicentros, que aparecen claramente relacionados con ellas y que muestran la probabilidad de que sean sísmicamente activas. Los hipocentros de los sismos de esta comarca se encuentran a profundidades variables, los focos que se encuentran en la intersección del paralelo  $28^{\circ}$  con el meridiano  $66^{\circ}$ , que en superficie coinciden con fallas que afectan al basamento, pueden determinar una zona sísmica vertical que se extendería hasta cerca de los 400 km de profundidad (ver perfil figura 2 C).

Se ha comprobado, por otra parte, la reactivación reciente de las fracturas del borde occidental de la sierra de Ancasti, sobre todo en el sector septentrional, donde se observa que han afectado geformas del nivel superior del Cuartario. El área del mapa de la figura 3 A está ubicada inmediatamente al sur de la cuesta del Portezuelo, allí se observan dos fallas de dirección NNE-SSO que afectan a conos cuartarios inactivos.

Es de destacar que los escalones que producen en el relieve las fallas regionales, de todo este sistema serrano, al ser cortados por ríos antecedentes, han originado excelentes lugares, desde el punto de vista topográfico, para la implantación de presas. Algunas de las ya construidas se encuentran en ellos. En los proyectos futuros y en los que están en ejecución habrá que contemplar los riesgos de alta sismicidad que presentan estos sitios.

*Lineamiento del Brete:* este elemento estructural fue descrito en trabajos anteriores (Mon, 1976 b). A lo largo de él y en sus vecindades inmediatas, se observa una notoria alineación de epicentros, lo que sugiere la importancia de su actividad sísmica. Los hipocentros de estos sismos se encuentran, en general, a profundidades menores que los 100 km (ver perfiles de la figura 2 A y 2 B).

*Lineamiento de Ambato:* se trata de otro lineamiento de rumbo NE-SO, fue reconocido por Baldis *et al.* (1975). A lo largo de él se observa una marcada alineación de epi-

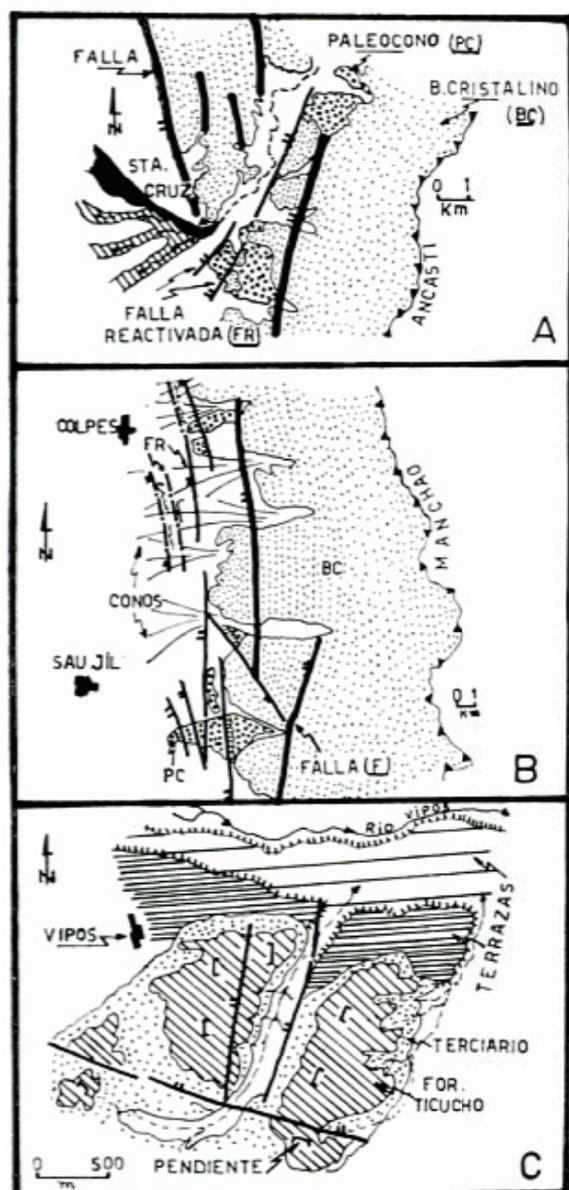


Figura 3

centros que corresponden a sismos producidos entre los 18 y 200 km de profundidad, aunque predominan los superficiales.

**Otras concentraciones:** sobre la falla que marca el borde occidental de la sierra del Aconquija se observa una concentración de tres epicentros muy juntos, que corresponden a focos próximos a los 130 km. Al noroeste de Cafayate, hay otra concentración de tres epicentros relacionada a un sistema de fallas transversales de rumbo NO-SE, sus hipocentros se encuentran también a una profundidad próxima a los 150 km. En la zona comprendida entre los lineamientos del Brete y Tucumán, se insinúa otra alineación de epicentros de rumbo NE-SO. Uno de

estos sismos, situado inmediatamente al NE de Tucumán, de magnitud 5,2 está situado a 600 km de profundidad). En este sector se han detectado también fenómenos de neotectónica que ya fueron mencionados por Bolssi, 1969 y Mon y Urdaneta, 1972. En las lomas situadas al sureste de la localidad de Vipos se muestran fracturas que afectan a los sedimentos de la Formación Ticucho (Cuartario inferior) (ver mapa de figura 2 C). El rumbo de las fallas es NNE-SSO además de otra fuertemente transversal de rumbo ONO-ESE. La pendiente de la superficie de aplanamiento cuartaria, afectada por las fallas se muestra con los símbolos convencionales.

### Conclusiones

En base a la información que se dispone actualmente surgen los siguientes conceptos:

— Las observaciones realizadas en el curso de este trabajo permiten afirmar que, esta parte del sistema andino, es aún tectónicamente activa.

— La mayor parte de los epicentros de los sismos de la región se disponen sobre las trazas de las fallas ándicas o sobre los grandes lineamientos transversales de rumbo NE-SO.

— Además de los epicentros situados a lo largo de los lineamientos principales ya reconocidos, de rumbo NE-SO, se insinúan otras alineaciones de epicentros paralelas, que deberán ser estudiadas con el registro de un número mayor de datos.

— El hecho de que gran parte de las fallas ándicas y de los lineamientos transversales estén relacionados, en el espacio, a focos sísmicos situados, en algunos casos, a más de 400 km de profundidad, que se ubicarían en el manto superior, sugiere que estos rasgos pueden estar conectados con otros mucho más profundos de lo que se suponía anteriormente, incluso ajenos a la corteza terrestre.

— Aparentemente las zonas sísmicas presentes en nuestra área de estudio se encuentran desvinculadas de la zona sísmica profunda, entre los 550 y 650 km de profundidad, que se encuentra al este del paralelo  $64^{\circ}$  a la latitud  $27^{\circ} 15'$ , mencionada por Barazangi e Isacks (1976).

— La depresión de Pipanaco representa un ombligo estructural de singular importancia regional, asociado a una actividad tectónica reciente y actual sumamente intensa, coincide además con el rasgo sísmico más elocuente de la región, como es la zona sísmica sub-horizontal que se encuentra en su subsuelo, entre los 150 y los 200 km de profundidad. Sería deseable perfeccionar el conocimiento de esta gran anomalía tectosísmica, mediante el empleo de otros métodos geofísicos, tales como la gravimetría y la magnetometría.

— En los últimos años se han multiplicado las observaciones de rasgos neotectónicos en los Andes Argentinos. Si bien hasta ahora se trata de observaciones aisladas, existen elementos de juicio suficientes como para afirmar que estos no son rasgos locales, sino productos de una pronunciada actividad tectónica reciente, de importancia re-

gional, cuyos alcances recién comienzan a vislumbrarse. El estudio de la sismicidad y la cartografía geomorfológica parecen ser las herramientas más adecuadas para estudiarla.

— En este estudio, de carácter regional, se han señalado ciertas localidades donde la relación entre tectónica y actividad sísmica son más claras. Estas deberán ser estudiadas individualmente y con mayor detalle, especialmente en sus aspectos neotectónicos y sísmicos.

— La existencia de zonas de sismicidad intensa, en la proximidad de centros poblados y obras de infraestructura importantes, muestra la necesidad imperiosa de perfeccionar el registro sísmico de la región, a fin de determinar cabalmente la incidencia que tienen los sismos sobre estas instalaciones. Actualmente el número de estaciones de observación es inadecuado para el desarrollo que ha adquirido la región.

### Lista de trabajos citados en el texto

- Baldis, B. A., J. Viramonte y J. Salfity, 1975. *Geotectónica de la comarca comprendida entre el cratógeno central argentino y el borde austral de la Puna*. II Congr. Ibero-Americano de Geol. Econom., IV: 25-44.
- Baldis, B. A., Gorroño, J. V. Ploszkiewicz y R. M. Sarudiansky, 1976. *Geotectónica de la Cordillera Oriental, Sierras Subandinas y comarcas adyacentes*. Sexto Congr. Geol. Argent., I: 3-22.
- Barazangi, M. y B. L. Isacks, 1976. *Spatial distribution of earthquakes and subduction of the Nazca Plate beneath South America*. Geology, IV: 686-692. Ithaca, New York.
- Bolssi, G. E., 1969. *Geología y estratigrafía del sector sur del valle de Choromora, prov. de Tucumán*. Acta. Geol. Lill., X: 17-64.
- González Bonorino, F., 1950 a. *Geología y petrografía de las hojas 12 d, Capillitas y 13 d, Andalgalá*. Dir. Gen. Ind. Minera, Bol., 70.
- 1950 b. *Descripción geológica de la hoja 13 c, Villa Alberdi*. Dir. Nac. Minería, Bol., 74.
- 1951. *Descripción geológica de la hoja 12 c, Aconquija*. Dir. Nac. Minería, Bol., 75.
- 1972. *Descripción geológica de la hoja 13 c, Fiambalá (Prov. de Catamarca)*. Dir. Nac. Geol. y Minería, Bol., 127.
- 1978. *Descripción geológica de la hoja 14 f, San Fernando del Valle de Catamarca (Prov. de Catamarca y Tucumán)*. Serv. Geol. Nac., Bol., 160.
- Méndez, V., 1974. *Estructuras de las provincias de Salta y Jujuy a partir del meridiano 65° 30' oeste, hasta el límite de las repúblicas de Bolivia y Chile*. Asoc. Geol. Arg., Rev., XXIX: 391-424.
- Mon, R., 1976 a. *The structure of the eastern border of the Andes in north-western Argentina*. Geol. Rundsch., CXV: 211-22, Stuttgart.
- 1976 b. *La tectónica del borde oriental de los Andes en las provincias de Salta, Tucumán y Catamarca, República Argentina*. Asoc. Geol. Arg., Rev., XXXI: 65-72.
- 1979. *Esquema tectónico de los Andes del Norte Argentino*. Asoc. Geol. Arg., Rev., XXXIV: 53-60.
- Mon, R. y A. Urdaneta, 1972. *Introducción a la geología de Tucumán, República Argentina*. Asoc. Geol. Arg., Rev., XXVII: 309-329.
- Ramos, V. A., 1977. *Basement tectonics from Landsat imagery in mining exploration*. Geol. Mijnbouw, CVI: 243-252.
- Ruiz Huidobro, O., 1960. *Descripción geológica de la hoja 8 e, Chicoana (Prov. de Salta)*. Dir. Nac. Geol. y Minería, Bol., 89.
- 1960 b. *Hoja geológica 12 c, Laguna Helada (Provincia de Catamarca)*. Dir. Nac. Geol. y Minería. Inédito.
- 1972. *Descripción geológica de la hoja 11 e, Santa María (Provincias de Tucumán y Catamarca)*. Serv. Nac. Min. Geol., Bol., 134.

- Sosic, M. B. J., 1972. *Descripción geológica de la hoja 14 d, Tinogasta*. Dir. Nac. Geol. y Minería, Bol., 129.
- 1973. *Descripción geológica de la hoja 14 c, Salar de Pipanaco (Provincias de Catamarca y La Rioja)* Serv. Nac. Min. Geol., Bol., 137.
- Turner, J. C. M., 1964. *Descripción geológica de la hoja 7 c, Nevado de Cachi (Provincia de Salta)*. Dir. Nac. Geol. y Minería, Bol., 99.
- 1971. *Descripción geológica de la hoja 15 d, Famatina (Provincias de Catamarca y La Rioja)*. Dir. Nac. Geol. y Minería, Bol., 126.
- 1973. *Descripción geológica de la hoja 11 d, Laguna Blanca (Provincia de Catamarca)* Ser. Nac. Min. Geol., Bol., 142, Buenos Aires.
- Vilela, C. R., 1956. *Descripción geológica de la hoja 7 d, Rosario de Lerma (Provincia de Salta)*. Dir. Nac. Geol. Min., Bol., 84.
- 1969. *Descripción geológica de la hoja 6 c, San Antonio de los Cobres (Provincias de Salta y Jujuy)*. Dir. Nac. Geol. y Minería, Bol., 110.
- Zossi, M. M., 1979. *Estudio de la actividad sísmica de la Provincia de Tucumán*. Geoacta. En prensa.

Recibido: Abril 4, 1981

JORGE E. EREMCHUK  
Departamento de Tecnología  
Universidad Nacional de Catamarca  
República 350  
4700 S. F. del Valle de Catamarca.

RICARDO MON  
Geólogo consultor  
Casilla de Correo 36 - Suc. 2  
4000 S. M. de Tucumán.

LUIS E. SUAYTER  
Facultad de Ciencias Naturales  
Universidad Nacional de Tucumán  
Miguel Lillo 205  
4000 S. M. de Tucumán.

MARTA MARIA ZOSSI  
Instituto de Física  
Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología  
Universidad Nacional de Tucumán  
Avda. Roca 1800  
4000 S. M. de Tucumán.

## TANDILIA, UN EJEMPLO DE TECTONICA DE TRANSCURRENCIA EN BASAMENTO

LUIS DALLA SALDA

### Resumen

Parte de la estructura íntima del basamento cristalino de Tandilia es considerado un ejemplo de la actividad de, al menos, dos sistemas de transcurrancia (wrench tectonics). Una variedad de elementos estructurales sustenta la actividad de importantes fracturas de desplazamiento horizontal que generan pliegues orientados con bajo ángulo respecto de ellas (algunos trenes de pliegues aparecen escalonados), y fallas antitéticas y sintéticas conformando escamas y bloques tectónicos en las regiones de Azul y Tandil de la Provincia de Buenos Aires.

Este modelo es propuesto para explicar la presencia de más de una fase de plegamiento en el Precámbrico ígneo-metamórfico de Tandilia.

### Introducción

En el basamento cristalino de Tandilia son típicos desde Azul hasta Balcarce los cambios de rumbo y estilo en los sistemas de pliegues encontrados (Teruggi *et al.*, 1973, 1974 a). En este trabajo se tratará de explicar el origen de dos de estos trenes de deformación por medio del modelo de la tectónica producida por fallas transcurrentes (transcurrent faults, Garfunkel, 1972) mecanismo conocido en la literatura inglesa como 'wrench tectonics' y estudiado modernamente entre otros por Moody and Hill (1956), Moody (1973), Tchalenko (1970) Wilcox *et al.* (1973) y Harding (1973).

El intento de aplicar este mecanismo en basamento ígneo-metamórfico fue ya realizado anteriormente en Escandinavia (Gaál and Rasmäki, 1971) y Sudáfrica (Joubert, 1974) quienes probaron que fases tardías de plegamiento y fracturación estaban vinculadas a importantes cinturones de corte con gran desplazamiento horizontal.

Entre las regiones que presentan los mejores elementos para substanciar este modelo de deformación en Tandilia se eligieron dos: las Sierras de Azul y la región inmediatamente al sur de la ciudad de Tandil en

### Abstract

Part of the ancient structure of the crystalline basement of Tandilia is considered to be an example of wrench tectonics. A variety of structural elements substantiates the evidence of important horizontal displacements producing low angle trends of folds (some of them in echelon) and synthetic fault sets in Azul and Tandil regions of Buenos Aires Province.

The wrench tectonics is proposed as a model to interpret the presence of more than one folding episode in the Precambrian of Tandilia.

las sierras del mismo nombre. Ambas regiones se caracterizan por presentar asociaciones ígneo-metamórficas precámbricas con desarrollo de amplias zonas miloníticas.

La presencia de este tipo de tectónica, que produjo deformación por plegamiento y fracturación similares a las producidas por las primeras actividades orogénicas del cinturón, explicaría la presencia de más de una fase de plegamiento determinadas ya por Teruggi *et al.* (op. cit.).

### Región de Azul

La estructura de deformación de la región de Azul es un ejemplo de la tectónica de transcurrancia pues muestra similitudes estructurales con bien documentadas áreas de tectónica de este tipo.

Las Sierras de Azul muestran un alargamiento en su parte septentrional en dirección oeste-este a lo largo de los parajes La Protegida, Cerro El Peregrino, Boca de la Sierra y Cerro San Antonio. Una fuerte deformación y milonitización a lo largo de un plano de corte principal (shear zone) fue re-

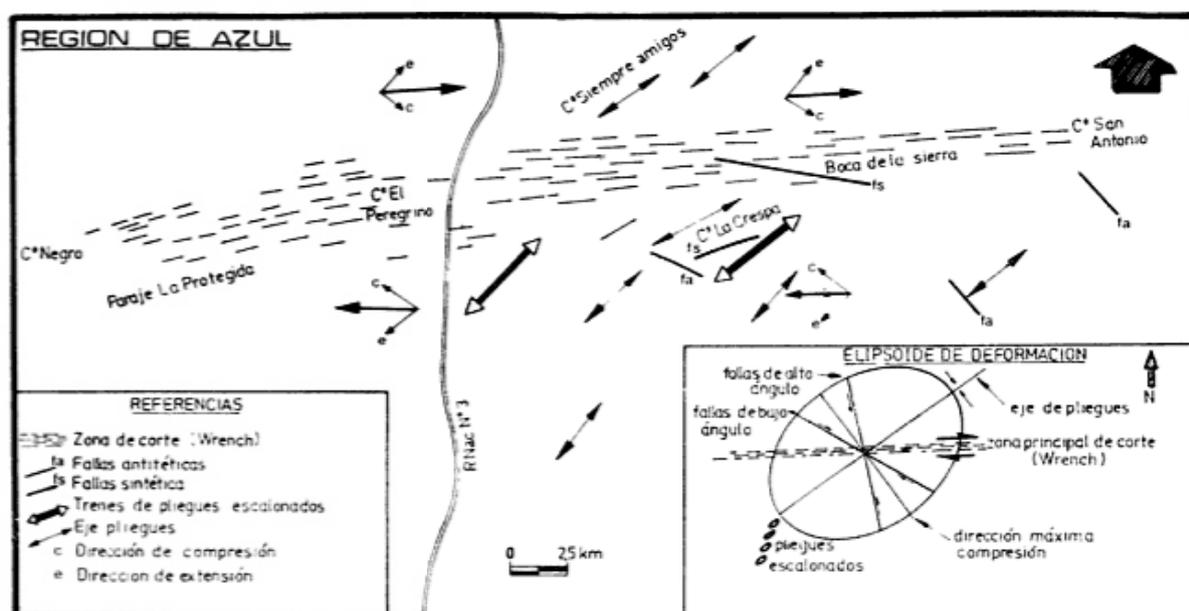


Fig 1

conocida en este cinturón por González Bonorino *et al.* (1956) quien incluso determinó el tipo dextral de movimiento (right lateral) para este cinturón de corte, fig. 1.

Como otras características fundamentales del modelo de transcurrencia en las Sierras de Azul han sido observados trenes megascópicos de pliegues escalonados orientados SW-NE en dos áreas (7 km al SSE del cerro Peregrino y flanco SE del cerro La Crespa) abundantes pliegues de ejes SW-NE, varias fracturas sintéticas o de bajo ángulo respecto a la dirección de corte principal (Boca de la Sierra y cerro La Crespa) y fracturas antitéticas como las del SW de los cerros La Crespa y San Antonio, fig. 1.

En esta región, además de presentarse importantes movimientos según el rumbo de la zona de corte principal (sin duda los más importantes) también han sido registrados movimientos verticales que producen pliegues abiertos de planos axiales casi verticales y de 3 a 4 m de amplitud de onda.

### Región de Tandil

En la región noroeste y central de las Sierras de Tandil es también conspicuo el desarrollo de amplias fajas de milonización producto de importantes efectos de corte de desplazamiento preferentemente horizontal y direcciones E-W hasta N 300°.

Estos efectos de corte son bien reconoci-

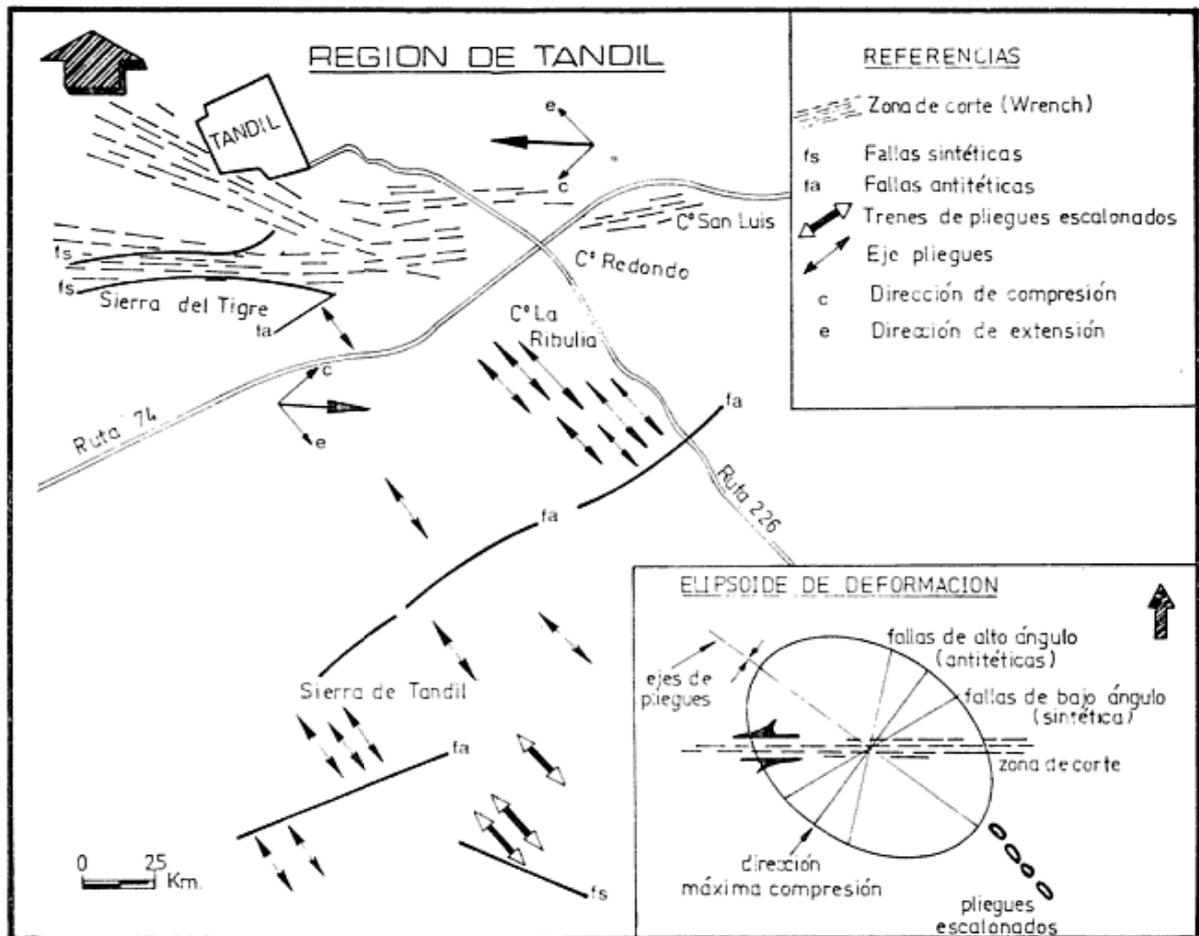
bles inmediatamente al sur de la ciudad de Tandil desde el cerro Independencia, Teruggi *et al.* (1958) hasta la sierra del Tigre. En este cinturón milonítico, no obstante el desplazamiento tectónico es preferentemente horizontal, se han determinado movimientos de 40° y hasta 80° de inclinación hacia el SE.

En esta región, al igual que en Azul, predominan los efectos de corte de dirección E-W pero también los hay de dirección NE-SW (como la faja milonítica del borde sudoriental de la sierra Alta de Vela, Teruggi *et al.*, 1973).

Las direcciones de corte E-W antes mencionadas de la faja milonítica que corre al sur de la ciudad de Tandil es interpretada, principalmente por el desplazamiento de diques básicos fracturados, como de tipo sinistral (*left lateral*).

Otros elementos que completan el cuadro de la tectónica transcurrente en esta región son los pliegues de orientación SE-NW (dominio C, Teruggi *et al.*, *op. cit.*) típicos de la región del cerro La Ribulia y del paraje denominado Sierra del Tandil, trenes de pliegues escalonados NW-SE en la esquina SE de la última localidad mencionada, fallas sintéticas de bajo ángulo respecto a la zona de corte principal tales como las de la sierra del Tigre y fallas antitéticas de alto ángulo como las que se observan al oeste del cerro La Ribulia, fig. 2.

Cabe destacarse finalmente la importancia



del desarrollo de esta zona de corte ya que entendemos que su asociación con los diques básicos de la sierra del Tigre (Teruggi *et al.*, 1974 b) obedece a sus características profundas. Creemos que la presencia de los mencionados diques básicos, ubicados en fracturas de tensión-corte (shear-tension fractures) oblicuas a los cinturones de corte principales, comprueban que estas fracturas afectaron la litósfera e inclusive se extendieron hasta la astenósfera (tipo falla litosférica de Crang-you y Zhong Jia-you, 1979) acompañadas por la formación de cinturones básicos y/o ultrabásicos, aparición de marcados aumentos de gradiente térmico y migmatización.

#### La edad de la tectónica de transcurrancia

Los movimientos a lo largo de los planos de corte regionales de Tandilia deben haber ocurrido durante un largo lapso de tiempo geológico. Es muy probable que esta tectónica se encuentre sobreimpuesta a los epi-

sodios orogénicos más tempranos del cinturón de Tandilia que, por investigaciones anteriores (Teruggi *et al.*, 1973, 1974 a) se fijó radimétricamente en 2.200-1.800 m.a. (edad Transamazónica). Es también oportuno acotar que muchos de los granitos de sin a tardiocinemáticos (la máxima actividad granítica se encontró alrededor de los 1.900 m.a.) en Tandilia se encuentran fuertemente cataclastizados por lo cual se estima que la principal actividad de la tectónica transcurrente descrita fue posterior a ellos. Por otra parte es de acotar que algunas pegmatitas son posteriores a ese efecto transcurrente ya que se han observado filonaciones ácidas intruyendo las zonas miloníticas como es posible constatar en la región al sur de la ciudad de Tandil.

En síntesis, considerando el esquema de la secuencia de eventos deformacionales propuesto por Teruggi *et al.* (*op. cit.*) para Tandilia y los elementos estructurales de la tectónica transcurrente aquí expuestos, se interpreta el efecto de fracturación transcurrente de la región de Azul que originó

pliegues orientados SW-NE (dominio B de Teruggi *et al.*, *op. cit.*) como desarrollado al finalizar el ciclo Transamazónico, en tanto que el de Tandil, de orientación SE-NW (dominio C de Teruggi *et al.* *op. cit.*) es aparentemente posterior y de menor edad, y anterior al emplazamiento de cuerpos graníticos menores y cuerpos ácidos filónicos finales de alrededor de 800 m.a.

### Conclusiones

Se interpretan las dos principales zonas miloníticas de Azul y Tandil como producto de tectónica transcurrente (wrench tectonics) en basamento cristalino marcando dos zonas de corte dextral (*right lateral*) y sinistral (*left lateral*) respectivamente. Esta tectónica produjo, con posterioridad al principal evento tectotérmico de edad transama-

zónica, dos fases de plegamiento (dominios B y C de Teruggi *et al.*, *op. cit.*) generando primero estructuras orientadas SW-NE en la región de Azul y luego estructuras SE-NW en la de Tandil, estas últimas en tiempos post-transamazónicos hasta posiblemente brasilianos.

### Agradecimientos

Este trabajo, como otros anteriores sobre el basamento de la Provincia de Buenos Aires, ha sido realizado con el apoyo de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires quien, mediante subsidios, alienta la investigación geológica de Tandilia. Especial agradecimiento a los Dres. Carlos Cingolani, Jorge Kilmurray, Ricardo Varela y Lic. Liliana Aycaquer por la lectura crítica del trabajo.

### Lista de trabajos citados en el texto

- Chang-you, W. y Zhong Zia-you, 1979. On "fault blocks" and "plates". *Scientia Sinica*, XXII (12): 1406-1429.
- Gaál, G. y E. Rauhamäki, 1971. *Petrological and structural analysis of the Haukivesi area between Varbaus and Savonlinna, Finland*. *Geol. Soc. Finland Bull*, 43: 265-337.
- Garfunkel, Z., 1972. *Transcurrent and transform faults: a problem of terminology*. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 83: 3491-3496.
- González Bonorino, F., R. Zardini, M. Figueroa y T. Limousin, 1956. *Estudio geológico de las Sierras de Olavarría y Azul*. LEMIT. Serie II, N° 63: 1-23.
- Harding, T., 1973. *Newport-Inglewood trend, California. An example of wrenching style of deformation*. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 57, 1: 97-117.
- Joubert, P., 1974. *Wrench-fault tectonics in the Namaqualand metamorphic complex*. En: *Contributions to the Precambrian Geology of Southern Africa*. *Prec. Research Unit., Bull.* N° 15: 17-29.
- Moody, J., 1973. *Petroleum exploration aspects of wrench-faults*. *Amer. Assoc. Petrol. Geol., Bull.*, 57: 449-476.
- Moody, J., y M. Hill, 1956. *Wrench-fault tectonics*. *Geol. Soc. Amer., Bull.*, 67: 1207-1246.
- Tchalenko, J., 1970. *Similarities between shear zones of different magnitudes*. *Geol. Soc. Amer., Bull.*, 81: 1625-1640.
- Teruggi, M., J. Kilmurray y L. Dalla Salda, 1973. *Los dominios tectónicos de la región de Tandil*. *An. Soc. Cient. Arg. CXCIV*, i-ii: 81-94.
- 1974 a. *Los dominios tectónicos de la región de Balcarce*. *Asoc. Geol. Arg., Rev.*, XXIX, 3: 265-276.
- Teruggi, M., J. Kilmurray, C. Rapela y L. Dalla Salda, 1974 b. *Diques básicos en las Sierras de Tandil*. *Asoc. Geol. Arg., Rev.* XXIX, 1: 41-69.
- Teruggi, M., V. Mauriño, T. Limousin y O. Schauer, 1958. *Geología de las Sierras de Tandil*. *Asoc. Geol. Arg., Rev.*, XIII, 3: 185-204.
- Wilcox, R., T. Harding y D. Seely, 1973. *Basic wrench tectonics*. *Amer. Assoc. Petrol. Geol., Bull.*, 57, 1: 74-97.

Recibido: Abril 6, 1981

LUIS DALLA SALDA  
CONICET

Centro de Investigaciones Geológicas  
Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP  
Paseo del Bosque s/n  
1900 La Plata.

## NOTAS BREVES

PRIMER HALLAZGO DE MAMIFEROS  
EN LA FORMACION RIO LORO, PROVINCIA DE TUCUMAN  
Y SU SIGNIFICADO CRONOLOGICO

JAIME POWELL y RICARDO M. PALMA

## Introducción

La carencia de un registro paleontológico adecuado en el Cretácico-Terciario de la provincia de Tucumán, así como los problemas estratigráficos que de ello resultan, han motivado el interés especial en la exploración paleontológica de las formaciones sedimentarias que afloran en la provincia.

Estas tareas, realizadas a través de viajes cortos y ocasionales a distintos puntos de la provincia, se han visto coronadas por el éxito al encontrarse un interesante yacimiento de mamíferos fósiles en un área próxima a la ciudad de San Miguel de Tucumán, precisamente en la localidad tipo de la Formación Río Loro (Bossi, 1969).

El hallazgo efectuado en Aguas Chiquitas tiene un relevante significado cronoestratigráfico, ya que ha permitido reajustar la edad de la Formación Río Loro sobre la base de evidencias paleontológicas, estimándose para la misma una edad terciaria inferior (paleocena). Estos hechos alientan la continuación de los trabajos de exploración paleontológica en las áreas de la provincia de Tucumán donde afloran las sedimentitas Cretácico-Terciarias. Con ello se podrá lograr una documentación paleontológica adecuada para datar las unidades de la cuenca del Grupo Salta que se extiende hasta el área tucumana, cuya correlación se ve dificultada muchas veces por las fuertes variaciones faciales que caracterizan a una cuenca continental.

## La localidad fosilífera de Aguas Chiquitas

El yacimiento de donde provienen los fósiles cuyo hallazgo comunicamos en este trabajo, se encuentra ubicado sobre la margen izquierda del río Loro, a unos cien metros

aguas arriba de su confluencia con el arroyo Aguas Chiquitas en el área próxima al dique El Cadillal, departamento Burruyacú, provincia de Tucumán.

Puede accederse a este lugar por la ruta nacional n° 9, desde San Miguel de Tucumán, desviando luego hacia el Dique el Cadillal, situado a unos 30 km de esta ciudad. Desde la confluencia de los ríos Loro y Salí se recorre un camino fácilmente transitable, excepto en verano, paralelo al curso del río Loro, hasta llegar al arroyo Aguas Chiquitas situado a aproximadamente 2 km de la Usina Hidroeléctrica.

## Rasgos geológicos del área

El basamento se encuentra constituido por las metamorfitas de la Formación Medina, apoyándose discordantemente los fanglomerados de la Formación El Cadillal (Bossi, 1969), intruida por cuerpos traquíticos-andesíticos-riolíticos.

Bossi y Wampler (1969), dataron radimétricamente esta formación y su contemporáneo Complejo Alto de las Salinas, obteniéndose edades que oscilan entre  $128 \pm 5$  m.a. y  $97 \pm 15$  m.a., que corresponden a una edad Cretácica inferior alcanzando la parte baja del Cretácico superior. (Neocomiano-Cenomaniano). La Formación es correlacionable con la Formación La Yesera cuyos basaltos han acusado edades comparables (Valencio *et al.* 1976).

Sobre la entidad comentada anteriormente yace la Formación Río Loro, mediando entre ellas una posible discordancia la que estaría evidenciada por los conglomerados

que se encuentran en la base de la unidad en su localidad tipo. La Formación Río Loro está caracterizada por areniscas medianas a gruesas, de color pardo rojizo, violáceo y blancuzco, cuarzosas, bien seleccionadas con intercalaciones de limolitas y diamictitas pardo rojizas.

Las rocas de esta unidad son en general medianamente friables con estratificación poco visible. El espesor medido por los autores es alrededor de 95 m difiriendo de lo estimado por Bossi (1969) de 215 m. El nivel fosilífero se encuentra ubicado a unos treinta metros de la base.

#### Cuadro estratigráfico

|                            |                       |   |
|----------------------------|-----------------------|---|
| RECIENTE                   |                       | Relleno de cauce  |
| MIOCENO? PLIOCENO?         | Formación Río Salí    | Limolitas, arcillitas y margas. Calizas oolíticas, evaporitas.      |
| TERCIARIO INFERIOR         | Formación Río Loro    | Areniscas pardo rojizas, gris verdosas y blanquecinas, diamictitas. |
| CRETACICO INF. A SUP. BAJO | Formación El Cadillal | Conglomerados con rodados de filitas y traquitas.                   |
| PREC.-CAMBRICO INFERIOR    | Formación Medina      | Filitas y pizaras gris azuladas.                                    |

Sobre la Formación Río Loro y en aparente concordancia yacen las sedimentitas de la Formación Río Salí (*sensu* Bossi, 1969). Esta entidad está compuesta por pelitas pardo rojizas que alternan con bancos de margas verdosas. La parte superior está caracterizada litológicamente por limolitas arcillitas y margas de color amarillento verdoso a verde oliva con intercalaciones de delgados bancos oolíticos.

Debe señalarse la posibilidad de que la porción inferior de esta Formación, aflorante en el área de El Cadillal sea un equivalente de Formación Lumbrera (Subgrupo Santa Bárbara), hipótesis que podrá verificarse en estudios posteriores.

#### Descripción de la columna litológica de la Formación Río Loro

(Del techo a la base) \*

Areniscas medianas a gruesas de color rojo pálido (10R7/2) con rodaditos de cuarzo, bien seleccionadas, con pátinas de color ocre y pardo violáceas, con estratificación poco visible en capas finas y cruzada tabular. Se intercalan limolitas fragmentosas, masivas con manchas ocre y verdosas.

Espesor: 29 m

Areniscas medianas a gruesas, violáceas, algo coherentes, masivas, con rodaditos de cuarzo subangulosos, a veces micáceas con paraclastos de limolitas de color pardo rojizo (10R4/6). Seguidas hacia abajo por un conjunto de areniscas medianas a gruesas, pardo rojizas, bien seleccionadas mineralógicamente maduras que alternan con areniscas medianas a finas pardo rojizas (10R 5/4) a pardo rojizas claras, masivas, cuarzosas, micáceas. Pasan hacia abajo a diamictitas, naranja rojizo moderado (10R6/6), fragmentosa, masiva, con manchas verdosas y paraclastos de limolitas y concreciones calcáreas. En esta diamictita se han hallado los restos fósiles cuyo hallazgo se comunica en este trabajo.

Espesor: 37 m

Areniscas gruesas a sabulíticas rosadas grisáceas (10R8/2), algo coherentes, masivas con rodados de cuarzo, feldespatos y gradan a areniscas finas (10R6/4) pardo rojizas moderadas, medianamente coherentes, en capas gruesas, con calcretes y pedotóbulos perpendiculares y horizontales. Le siguen limolitas pardo rojizas (10R5/4), masivas con algunos calcretes y paraclastos de areniscas medias verdosas. En la base un ortoconglomerado, mediano, coherente, masivo, macizo, con rodados subangulosos de traquitas y cuarzo.

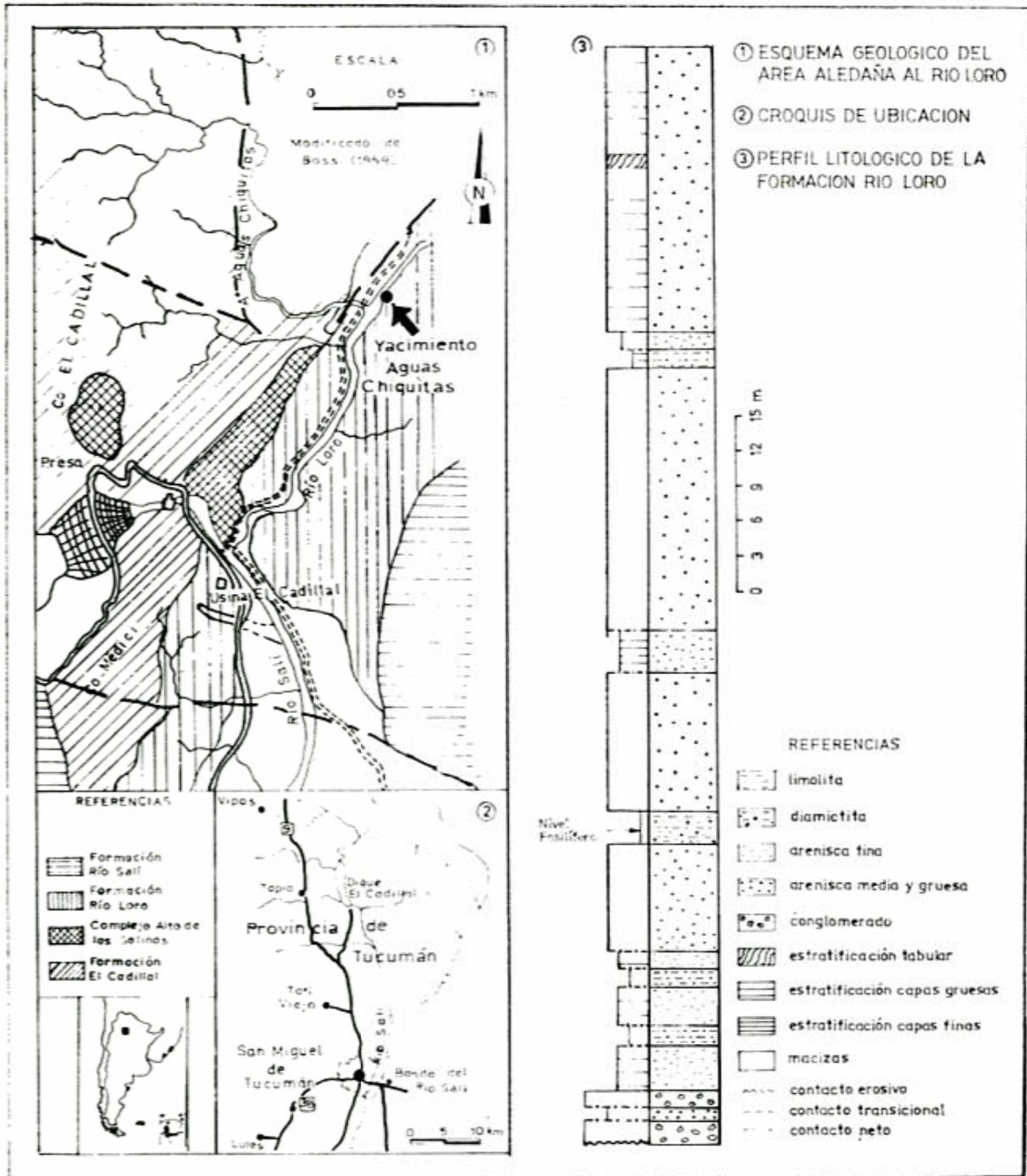
Espesor: 28 m

Espesor total medido: 95 m

#### Comentarios acerca de la secuencia descripta

La presencia de un ortoconglomerado basal en la Formación Río Loro podría eviden-

\* Colores de acuerdo con la *Rock-Color Chart*.



ciar la discordancia entre ésta y Formación El Cadillal, entre las cuales existiría un hiatus que abarcarían gran parte del Cretácico superior y probablemente parte del Paleoceno.

#### Ambiente de deposición

La naturaleza de las estructuras presentes, la madurez mineralógica de las areniscas, asociadas con la marcada asimetría positiva y la buena selección, como la granulometría grano-decreciente y la forma tabular de los

estratos, evidencian un carácter definitivamente fluvial de ríos meandriformes.

Con respecto a las diamictitas donde fueron encontrados los fósiles pueden interpretarse como depósitos formados por corrientes de densidad que cubrieron la llanura aluvial.

#### Paleontología

El conjunto de materiales logrados en la localidad de Aguas Chiquitas proviene de un nivel de diamictitas situadas cerca de la base

de la Formación Río Loro, habiéndose encontrado en un área de alrededor de 100 m de longitud y no más de 2 m de ancho.

Los fósiles obtenidos pueden clasificarse en dos tipos de acuerdo a su estado de conservación:

- 1) Cráneos articulados a sus respectivas mandíbulas, uno de los cuales está asociado al esqueleto postcraniano parcialmente articulado e incompleto. Estas características indican un sepultamiento rápido posterior a la muerte de los animales.
- 2) Huesos aislados y fragmentos óseos entre los que se observa una porción de mandíbula con un molar mal conservado que no es posible determinar. Estos fragmentos y piezas aisladas indican que algunos de los animales murieron y se descompusieron, permaneciendo sus restos expuestos a la intemperie, para ser luego transportados, procesos durante los cuales se destruyeron en forma considerable.

El análisis preliminar de los materiales hallados indica la presencia de por lo menos tres formas distintas. Una de ellas puede referirse provisoriamente a la familia *Trigonostylopidae* Ameghino y estaría representada por dos cráneos con sus respectivas mandíbulas y una serie dentaria superior incompleta.

Otra forma está representada por un cráneo y mandíbula incompletos aún no determinados. Finalmente, el fragmento de mandíbula aislado, corresponde por su tamaño y apariencia a un mamífero grande de hábitos probablemente herbívoros.

De acuerdo a Paula Couto (1979), los trigonostilopidos conocidos hasta el presente incluyen los siguientes géneros: *Tetragonostylops* Paula Couto, del Paleoceno superior de San José de Itaboraí, Estado de Río de Janeiro (Brasil); *Trigonostylops* Ameghino, del Eoceno inferior de Patagonia y por último el género *Shecenia* Simpson, asignado con dudas a esta familia, que proviene de

la Formación Río Chico, de Cañadón Hondo, provincia del Chubut.

Todas las formas conocidas de esta familia son de edad terciaria inferior, con un bioestratigrama que se extiende del Paleoceno superior al Eoceno inferior—edad mamífero Riochiquense-Casamayorensis— (Patterson y Pascual, 1968). En base a estos datos puede inferirse que el trigonostilopido de la Formación Río Loro indica una edad paleocena, que podrá ser luego corroborada y ajustada con el estudio de la fauna asociada.

### Discusión

La Formación Río Loro fue considerada originalmente como de edad Cretácica superior (Bossi, 1969), quien la correlacionó por su semejanza litológica con la sección de la "Formación Pirgua" aflorante en la Sierra de La Candelaria, (Bonaparte y Bossi, 1967).

La Formación Río Loro, es correlacionable con la sección inferior de la "Formación Río Nío" (Mon y Suayter, 1973) y con el Miembro Puesto Viejo (Formación Santa Bárbara) de Porto (1970).

Pero la presencia de la familia *Trigonostylopidae* en las sedimentitas de la Formación Río Loro, permiten asignarla sin lugar a dudas al Terciario inferior (Paleoceno superior-Eoceno inferior), probablemente equivale a la Formación Maíz Gordo (Moreno, 1970). Estudios más detallados de los fósiles de Aguas Chiquitas, permitirán determinar su edad más precisamente.

### Agradecimientos

Los autores desean manifestar su agradecimiento al Licenciado Miguel Soria por sus opiniones acerca del material fósil, como así también a la Fundación Miguel Lillo, la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Tucumán y el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas que de distintas maneras han posibilitado la concreción de este trabajo.

### Lista de trabajos citados en el texto

- Bonaparte, J. F. y G. E. Bossi, 1967. *Sobre la presencia de dinosaurios en la Formación Pirgua del Grupo Salta y su significado cronológico*. Acta Geol. Lilloana 9: 25-44.
- Bossi, G. E., 1969. *Geología y Estratigrafía del sector sur del valle de Choromoro*. Acta Geol. Lilloana 10,2 (texto y atlas).
- Bossi, G. E. y M. Wampler, 1969. *Edad del complejo Alto de las Salinas y Formación El Cadillal, según el método K-Ar*. Acta Geol. Lilloana 10(7): 141-160.

- Friedman, G. M. y J. E. Sanders, 1978. *Principles of Sedimentology*. John Wiley, New York: 792.
- Mon, R. y L. Suayter, 1973. *Geología de la Sierra de San Javier (prov. de Tucumán, Argentina)* Acta Geol. Lilloana 12, (10).
- Patterson, B. y R. Pascual, 1968. *Evolution of mammals on Southern continents. V. The fossil fauna of South America*. The Quáter. Review Biol. 43, 4.
- Paula Couto, C. de, 1979. *Tratado de Paleomastozoología*. Acad. Bras. Ciencias, Rio de Janeiro: 590.
- Porto, J. C., 1970. *Geología de las Cumbres del Taficillo, Sierra de San Javier*. Acta Geol. Lilloana 12, (2).
- Valencio, D. A.; A. Giudici; J. E. Mendia y J. O. Gascón, 1976. *Paleomagnetismo y edades K-Ar del Subgrupo Pirgua, provincia de Salta, Argentina*. Actas VI Cong. Geol. Arg. Buenos Aires, 1: 527-542.

Recibido: Marzo 12, 1981.

JAIME E. POWELL  
 RICARDO M. PALMA  
 Facultad de Ciencias Naturales — CONICET  
 Universidad Nacional de Tucumán  
 Miguel Lillo 2005  
 4000 Tucumán.

Asociación Geológica Argentina, Revista, XXXVI (2): 212-214, 1981

ISSN 0004-4822

## UN NUEVO AFLORAMIENTO FOSILIFERO DE LA FORMACION SPRINGHILL, EN EL NOROESTE DE LA PROVINCIA DE SANTA CRUZ

JORGE C. CORTIÑAS y HUGO A. ARBE

### I) Introducción

Con motivo del análisis sistemático del Cretácico por medio de perfiles estratigráficos en el noroeste de la provincia de Santa Cruz, se tuvo oportunidad de ubicar una nueva localidad fosilífera de la Formación Springhill. El trabajo de campo fue efectuado en el año 1979, en cumplimiento del plan de acción elaborado por la Dirección de Exploración de Yacimientos Petrolíferos Fiscales.

El afloramiento está ubicado en las inmediaciones de la estancia El Salitral, Departamento Río Chico, a 100 km al sudoeste de la localidad de Perito Moreno, sobre la huella que une las rutas provinciales n° 1209 y 2105. El acceso a la región se efectúa por la ruta nacional n° 40 hasta empalmar con la ruta provincial n° 2105 que conduce a Paso Roballos. Aproximadamente 14 km al naciente de esta localidad se desprende hacia el sur una huella que permite llegar hasta el perfil.

En estas sedimentitas, asignadas anteriormente al Terciario (Ugarte, 1955; Leanza,

1972), se localizaron numerosas formas paleobotánicas que permiten reubicarlas en el Cretácico inferior.

### II) Estratigrafía

La sucesión estratigráfica está constituida por un sustrato caracterizado por tobas y tobas lapillíticas con variable contenido arenoso, vulcanitas e ignimbritas asignadas al Complejo El Quemado (Feruglio, en Fossa Mancini *et al.*, 1938; emend. Riccardi, 1971). Sobre éste y sin observarse su relación por estar cubierta por depósitos modernos, se asienta la Formación Springhill.

#### Formación Springhill (Thomas, 1949)

Se han distinguido en esta unidad, sobre la base de sus características litológicas y contenido paleontológico, los dos miembros que la caracterizan.

En el miembro inferior, continental, los

tipos litológicos que lo componen se asocian en ciclos menores de sedimentación que comienzan con areniscas cuarzosas, blanquecinas y amarillentas, gruesas a muy finas, subangulosas y con buena a moderada selección. Ocasionalmente participan conglomerados muy finos de similar composición en la base de cada secuencia. Estas psamitas y psamitas se disponen en bancos lenticulares a irregulares, masivos o entrecruzados y con contactos basales netos, erosivos.

Hacia el techo de cada ciclo aumenta la participación pelítica, gradando a limolitas y arcilitas grises y negras, carbonosas, intercalando bancos de carbón de hasta un metro de potencia. Se presentan en estratos tabulares, masivos o laminados.

La organización de los distintos tipos litológicos, texturas y estructuras sedimentarias dentro de cada ciclo evidencian el desarrollo de secuencias granodecrecientes, con disminución de la granulometría y la energía de abajo hacia arriba, características del medio fluvial. Esta subunidad posee un espesor aflorante de 79 m, integrados por once ciclos menores granodecrecientes.

Abundantes y bien conservados restos de hojas se han localizado en las areniscas finas y pelitas, identificándose cuatro niveles plantíferos. El análisis de esta paleoflora fue

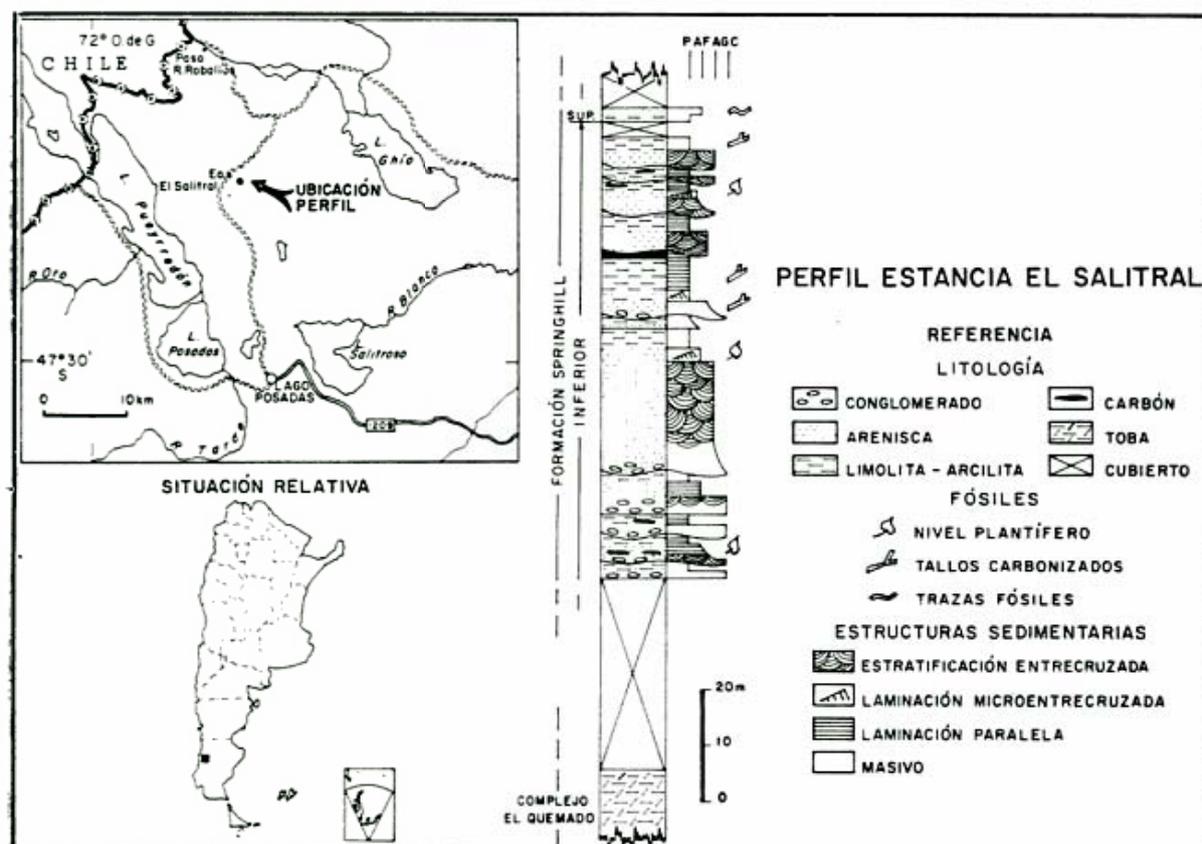
efectuado por Archangelsky (1979), quien la ubicó en el eocretácico basándose en la determinación de los siguientes géneros de bennettiales: *Ptilophyllum*, *Zamites*, *Otozamites* y *Cycadolepis* y la conífera *Brachyphyllum*.

Seiler (1980), también asigna la unidad al Cretácico inferior por el hallazgo de palinomorfos en su miembro inferior.

Del miembro superior, marino, no fue observado su techo, aflorando solamente dos metros compuestos por limolitas arenosas gris verdosas, que gradan hacia el tope a areniscas verde amarillentas, finas, con abundantes estructuras biogénicas (trazas fósiles) dispuestas paralelamente a la estratificación. Se presenta en una facies semejante a la registrada en los perfiles Río Correntoso, Río Oro y Sierra de las Uñas (Cortiñas, 1979).

### III) Conclusiones

Se reubican las sedimentitas aflorantes en Estancia El Salitral asignándolas a la Formación Springhill, homologación que se basa en sus características litológicas, tipos de secuencias elementales de sedimentación, posición estratigráfica y contenido paleobotánico que ubican a las rocas portadoras en el Cretácico inferior.



**IV) Agradecimientos**

Los autores expresan su agradecimiento a las autoridades de Yacimientos Petrolíferos

Fiscales por la autorización para publicar esta nota y al doctor Gualter Chebli por la lectura crítica del manuscrito.

**Lista de trabajos citados en el texto**

- Archangelsky, S., 1979. *Informe Paleobotánico de muestras de superficie de la provincia de Santa Cruz*. Informe inédito CIRGEO. Buenos Aires.
- Cortiñas, J. S., 1979. *Informes mensuales Comisión Geológica Nº 2*. Informe inédito YPF. Buenos Aires.
- Fossa Mancini, E., E. Feruglio y J. Yussen De Campana, 1938. *Una reunión de geólogos de YPF y el problema de la terminología estratigráfica*. Bol. Inf. Petrol., 171: 31-95. Buenos Aires.
- Leanza, A. F., 1972. *Andes Patagónicos Australes*. Geología Regional Argentina (A. F. Leanza, ed.). Acad. Nac. de Ciencias, 689-706. Córdoba.

## NOTICIAS

### *Primera Reunión de Comunicaciones. Centro de Investigaciones Geológicas (Facultad de Ciencias Naturales, UNLP).*

La comunidad geológica quedó gratamente impresionada por esta primera reunión de comunicaciones del C.I.G. que cumplió en estos días el primer aniversario de su fundación. La reunión científica fue realizada los días 9 y 10 de junio de 1981 en el aula magna del Museo de La Plata, advirtiéndose a través de las diversas comunicaciones presentadas la variedad de temas de investigación y la común calidad de los mismos. Fueron presentadas las siguientes comunicaciones:

#### *Día 9 de junio*

- Estado actual del relevamiento geológico-económico de la Hoja 21 c, San Juan. Por A. J. CUERDA, C. A. CINGOLANI y O. C. SCHAUER.
- Estudio sedimentológico del río Colorado. Por A. M. BLASI.
- Formación de halloisita a partir de rocas basálticas y riolíticas en la República Argentina. Por A. M. INIGUEZ RODRIGUEZ.
- Estudio geológico de la zona comprendida por las Hojas La Numancia, Licenciado Matienzo y Estancia San Antonio, en las Sierras Septentrionales de Buenos Aires. Por M. B. ALFARO.
- Formación Aluminé. Asociación vulcanítico-sedimentaria de edad liásica en la Provincia del Neuquén. Por A. J. CUERDA, O. C. SCHAUER y A. A. SUNESEN.
- Petrografía de la Formación Hinojo. Por M. A. LEGUIZAMON y M. E. TERUGGI.
- Magmatismo Cenozoico de la Provincia de San Luis. Por N. BROGIONI.
- Tandilia. Un ejemplo de tectónica de transcurrancia en basamento. Por L. H. DALLA SALDA.
- Aspectos estructurales y petrológicos de las formaciones metamórficas comprendidas entre La Toma y el río Quinto. Sierras de San Luis. Por J. O. KILMURRAY.
- Perfiles de estabilidad mineral en suelos del Sur de Santa Fe y Norte de Buenos Aires. Por P. A. IMBELLONE y M. E. TERUGGI.

Funcionamiento del Laboratorio de Geoquímica del C.I.G. Por J. C. MERODIO.

Consideraciones sobre el límite inferior del Cámbrico en América del Sur. Por A. J. CUERDA y G. FURQUE.

#### *Día 10 de junio*

- Facies sedimentarias de la Formación Nirihuau en la región de San Carlos de Bariloche, Provincia de Río Negro. Por L. A. SPALLETTI.
- Características geoquímicas y geocronológicas de la evolución igneometamórfica de las Sierras Pampeanas. Por C. W. RAPELA.
- Sedimentología de depósitos lacustres cuaternarios. Por M. M. MAZZONI.
- Estudio geológico de las rocas sedimentarias de la zona de San Miguel, Partido de Lobería, Sierras Septentrionales de la Provincia de Buenos Aires. Por G. M. REGALIA.
- El basamento cristalino del tercio austral de la Sierra de Pie de Palo, Provincia de San Juan. Por L. H. DALLA SALDA y R. VARELA.
- Estudios icnológicos en el Grupo La Tinta, Provincia de Buenos Aires. Por H. E. HERRERA.
- Estudio geológico y sedimentológico del área de Sierra La Juanita, Barker (Provincia de Buenos Aires). Por A. RUIZ DE GALARRETA.
- Datos geocronológicos en sedimentitas de La Tinta y en rocas igneometamórficas de La Hoja 19 d Mogna. Implicancias geológicas. Por C. A. CINGOLANI y R. VARELA.
- Estudio mineralógico y fisico-químico de las transformaciones de las arcillas ante tratamiento de estabilización en suelos plásticos de la Provincia de Buenos Aires. Por M. L. RAMIREZ.
- Fábricas de metamorfitas. Por M. E. TERUGGI y J. O. KILMURRAY.
- Posibles relaciones entre las áreas cratónicas del río de La Plata, Sudamérica y del Kalahari occidental, Africa. Por L. H. DALLA SALDA.
- Sedimentología de algunos suelos en la Cuenca del río Pilcomayo, Provincia de Salta. Por C. CORTELEZZI, C. PITTORI y A. NADIR.

La nutrida concurrencia que siguió las diferentes presentaciones evidenció el interés que este tipo de reuniones despierta en nuestro ámbito.

*Primeras Jornadas de Ciencias Naturales del Litoral.*

Santa Fe, 19-22 de agosto de 1981.

Organizada por la Asociación de Ciencias Naturales del Litoral.

Informes: Comisión Organizadora José Macciá 1933, 3016 Santo Tomé (Pcia. de Santa Fe, Argentina).

*Reunión Regional Sudamericana sobre Depósitos Glaciógenos.*

Neuquén y S. C. de Bariloche, 25 de marzo - 25 de abril de 1982.

Organizada por Commission on Genesis and Lithology of Quaternary Deposits (INQUA).

Coordinadores: Jorge Rabassa (Universidad Nacional del Comahue); Pedro Skvarca (Instituto Antártico Argentino); Eloy De-

piente (Agua y Energía Eléctrica de la Nación).

Fecha presentación resúmenes: antes 15 octubre de 1981.

Inscripción: hasta 15 de enero de 1982.

Informes: J. Rabassa - INQUA Meeting - Departamento de Geografía, Universidad Nacional del Comahue. Av. Argentina 1400. 8300 Neuquén, Argentina.

*Primer Congreso Nacional de Hidrocarburos (Petróleo y Gas).*

Buenos Aires, 29 de noviembre - 31 de diciembre de 1982.

Organizado por el Instituto Argentino de Petróleo (IAP).

Los interesados en obtener detalles sobre la presentación de trabajos, conferencias y reuniones plenarias pueden solicitarlo a:

Comité Organizador.

Ing. Carlos M. Bechelli, Coord. General.

Instituto Argentino del Petróleo (IAP).

Maipú 645, 3er. piso.

1006 Buenos Aires, Argentina.

---

EL NUMERO 2 DE ESTE TOMO  
SE TERMINO DE IMPRIMIR EL 20 DE  
AGOSTO DE 1981 EN LOS TALLERES  
GRAFICOS ZLOTOPIORO S.A.C.IF.  
SARMIENTO 3149, BUENOS AIRES,  
REPUBLICA ARGENTINA

---

El presente Tomo se ha financiado con un subsidio del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, y del Consejo de Investigaciones Científicas de la Prov. de Buenos Aires, que no se hacen responsables del contenido del mismo.

---

## NORMAS Y SUGERENCIAS PARA LOS AUTORES

1. **EXTENSION.** Se recomienda que la extensión de los originales no sea mayor de treinta páginas tamaño carta dactilografiadas a doble espacio (alrededor de 10.000 palabras). Cada trabajo podrá contener hasta tres páginas impresas de ilustraciones, las que podrán consistir indistintamente en mapas, perfiles, cuadros, diagramas, fotografías, etc. Cuando se acepten trabajos más extensos en texto y/o ilustraciones los autores deberán abonar la impresión del exceso, la que se les facturará a precio de costo. Los originales, tanto del texto como de las ilustraciones, se enviarán a la Asociación Geológica en duplicado.

2. **TITULO.** Debe ser sucinto e informativo sobre el tema y la localidad a que se refiere el trabajo. Es conveniente evitar iniciaciones o agregados tales como: *Sobre la importancia de...*, o *Consideraciones sobre la importancia del hallazgo de... y sus implicancias con respecto a...* etc. Los títulos deben redactarse teniendo presente la importancia de palabras claves que ayuden al fichaje en bibliotecas y servicios de documentación.

3. **RESUMENES.** Cada trabajo se iniciará con un resumen en español con su traducción al inglés, francés o alemán, sugiriéndose el primer idioma. Debe ser comprensible en sí mismo, sin referencia al trabajo y su extensión no deberá ser mayor de 150 palabras.

4. **CONCLUSIONES.** Las conclusiones consistirán en nuevos descubrimientos, conceptos, hipótesis, hallazgos significativos, etc. Deben constituir la apropiada finalización de una obra mayor y no un simple sumario o la extensión del resumen.

5. **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.** Conviene controlar dos veces las referencias y citas, una para comprobar que la cita tenga su correspondiente referencia, y la otra para verificar si la referencia está citada en el texto. La lista bibliográfica llevará como título: *Lista de trabajos citados en el texto*, y se confeccionará siguiendo el ejemplo del presente número, abreviando de igual manera las indicaciones de tomo (o volumen), número y página de las publicaciones citadas.

6. **ILUSTRACIONES.** Deberán ser las estrictamente necesarias para completar el texto. Los mapas, perfiles, diagramas, etc., serán dibujados sobre papel blanco cartográfico o transparente, de buen cuerpo, con tinta china. Se aconseja el dibujo en tamaño doble con respecto al de su publicación, cuidando que la dimensión de las letras y la abertura de las rastras permitan su reducción en forma legible. Los mapas y perfiles llevarán escala gráfica y, en una esquina inferior, el nombre del autor y el año de confección. Las letras deberán ser dibujadas con letrógrafo. Los mapas de ubicación que comprendan la totalidad del territorio argentino deberán incluir además el Sector Antártico, dibujado a otra escala en cualquier espacio libre. Todas las localidades mencionadas en el texto figurarán en las ilustraciones. Se recomienda el mejor aprovechamiento posible del espacio, evitando dejar superficies en blanco que puedan ser ocupadas por referencias o títulos. Es importante que el marco de las ilustraciones se adecúe a la relación de medidas de la caja: 14 x 21,5 cm. Los perfiles de largo excesivo podrán ser fraccionados y ordenados de manera que las partes resultantes no sobrepasen las dimensiones de una página. Las ilustraciones en colores, así como el exceso ocasionado por figuras de tamaño mayor que una página, que deban ser plegadas, correrán por cuenta de los autores. Las fotografías serán claras y con buen contraste, limitándose sólo al objeto que se desee ilustrar; los fósiles, muestras de mano, etc. deberán iluminarse desde el ángulo superior izquierdo.

7. **SEPARADOS.** Los autores recibirán, sin cargo, 25 separados de cada trabajo. Aquellos que deseen un número mayor deberán indicarlo claramente al enviar los originales y los mismos correrán por su cuenta a precio de costo.

---

Toda correspondencia para la Asociación Geológica Argentina,  
deberá ser dirigida a:

MAIPU 645, piso 1º, 1006 Buenos Aires, República Argentina

La correspondencia referente a suscripciones, colecciones o números sueltos de esta Revista deberá dirigirse a **LIBRART S.R.L.**, Corrientes 127, Buenos Aires, República Argentina, representantes y distribuidores para toda la República Argentina y el exterior.

**Asoc. Geol. Arg. Rev.**

TOMO XXXVI - Nº 2

|                                  |                                      |
|----------------------------------|--------------------------------------|
| CORREO<br>ARGENTINO<br>Central B | TARIFA REDUCIDA<br>Concesión Nº 9157 |
|                                  | FRANQUEO PAGADO<br>Concesión Nº 3667 |

## CONTENIDO

|  |     |
|--|-----|
| Interpretación de los resultados gravimétricos de las sierras Australes (provincia de Buenos Aires)<br>J. KOSTADINOFF, E. GELOS Y G. FONT DE AFFOLTER  | 113 |
| Génesis y geoquímica de la mineralización de los yacimientos "Los Manantiales" y "Lago Fontana" provincia del Chubut<br>EDUARDO DOMÍNGUEZ  | 123 |
| Sulfuros de Fe, Cu, Ni, Co, Zn y Pb relacionados con la faja ultrabásica y la escama de alto metamorfismo de la sierra de Fiambalá, provincia de Catamarca<br>LUISA VILLAR, SUSANA S. DE SVETLIZA Y MARTA GODEAS | 143 |
| Yacimiento de hidrocarburos no convencional en rocas volcánicas del Grupo Choyoi y sus reservorios asociados (25 de Mayo-Medanitos S. E.) La Pampa - Río Negro<br>HUMBERTO MARCHESI Y R. BLOCKI                  | 148 |
| La Formación Sierra Grande (provincia de Río Negro)<br>J. C. ZANETTINI   | 160 |
| Coefficientes de partición de Litio, Rubidio y Estroncio entre la cordierita y el granate paragenéticos<br>C. RAPELA Y C. GORDILLO   | 180 |
| Depósitos carbónicos de la Precordillera de San Juan. Parte I - Comarca del cerro La Chilca (Río Francia)<br>A. J. CUERDA Y G. FURQUE  | 187 |
| Sismicidad y tectónica en los Andes del norte Argentino<br>J. EREMCHUK, R. MON, L. SUAYTER Y M. ZOSI   | 193 |
| Tandilia, un ejemplo de tectónica de transcurrencia en basamento<br>L. DALLA SALDA   | 193 |
| <i>Notas Breves</i>  |     |
| Primer hallazgo de mamíferos en la Formación Río Loro, provincia de Tucumán y su significado cronológico<br>J. POWELL Y R. PALMA   | 208 |
| Un nuevo afloramiento fosilífero de la Formación Springhill en el noroeste de la provincia de Santa Cruz<br>J. CORTIÑAS Y H. ARBE  | 213 |
| <i>Noticias</i>  | 215 |

La Asociación Geológica Argentina no se hace responsable de las opiniones y/o conclusiones vertidas por los autores de los trabajos.