

LA ESTRUCTURA PROFUNDA DE LAS SIERRAS DE CORDOBA

Antonio Introcaso, Adriana Lion y Victor A. Ramos

RESUMEN

Se analiza la estructura profunda de las Sierras de Córdoba, las que se hallan ubicadas en el sector más oriental del segmento de subducción subhorizontal de los Andes Centrales. El análisis de las diversas propuestas anteriores, permitió seleccionar al modelo estructural de González Bonorino (1950), como el que mejor se ajustaba a las características geológicas de este sector de las Sierras Pampeanas, y a los modernos conceptos obtenidos de ambientes tectónicos similares, a través de programas de sismica de reflexión profunda.

El modelo seleccionado permitió analizar a través de un perfil gravimétrico, las anomalías de Bouguer observadas, las que a escala regional están de acuerdo con las resultantes del modelo calculado.

Sobre esta base se concluye que las fallas de naturaleza listrica propuestas permiten un adecuado acortamiento horizontal y que el resalto vertical observable es una consecuencia de esa tectónica tangencial.

ABSTRACT

The deep structure of the Sierras de Córdoba, which are located in the easternmost sector of the flat subduction segment of the Central Andes are analyzed. The analysis of different previous proposals, permitted the selection of González Bonorino (1950), model as the one which better fitted with the geological characteristics of this part of the Sierras Pampeanas, as well as with modern concepts obtained from similar tectonic environments, through deep seismic reflection programs.

Observed Bouguer anomalies derived from a gravity transect are, at regional scale, in accord with the calculated model.

Based on these analyses, it is concluded that the proposed listric faults permitted an appropriate horizontal shortening, and that the observed vertical throw is a consequence of that horizontal tectonics.

INTRODUCCION

Las Sierras Pampeanas se desarrollan sobre un segmento de subducción horizontal de los Andes Centrales (Isacks *et al.*, 1982). Su estructura, si bien fue motivo de diversos estudios en los últimos años a partir de los trabajos pioneros en este tema de González Bonorino (1950), es conocida sólo superficialmente. Es por ello objetivo del presente trabajo tratar de esbozar un modelo de comportamiento en profundidad, que tenga en cuenta los datos geofísicos actualmente disponibles, sea coherente con las estructuras superficiales de las mismas y a la vez incorpore los nuevos conocimientos geológicos de la estructura profunda de otras áreas de similar comportamiento tectónico.

Un antecedente sobre este tema lo constituye el trabajo de Introcaso (1977), quien presentó un modelo gravimétrico de las Sierras de Córdoba. En este reconocía un exceso de gravedad, en relación a una "raíz" cortical en defecto, y por lo tanto insuficiente para balancear las masas excedentes observables. Este modelo, si bien coherente con los movimientos principalmente ascendentes propuestos por Gordillo y Lencinas (1972, 1979), adolecía de mecanismos que

podieran explicarlo a través de una tectónica tangencial.

Ese modelo era parcialmente incompatible con la propuesta de González Bonorino (1950), para quien las Sierras de Córdoba se habrían formado por ascenso de bloques como respuesta a significativos esfuerzos compresivos, a través de planos de falla, cuya inclinación disminuía en profundidad (figura 1 a).

Este autor infería que "...las superficies de falla tienden a hacerse horizontales con la profundidad"... dado que..."las fuerzas compresionales que formaron las Sierras Pampeanas fueron transmitidas preferentemente por la parte superior, rígida, de la corteza, o sea los primeros 10 ó 15 km; toda presión ejercida sobre las zonas más profundas es rápidamente absorbida por deformación plástica. La parte superior de la corteza, debe desplazarse sobre la inferior a lo largo de planos más o menos horizontales" (González Bonorino, 1950:87).

Ese mecanismo fue puesto en duda por Gordillo y Lencinas (1972 y 1979), pues para ellos era insuficiente para justificar totalmente el significativo ascenso vertical de las sierras de Córdoba y San Luis. Estos autores a su vez

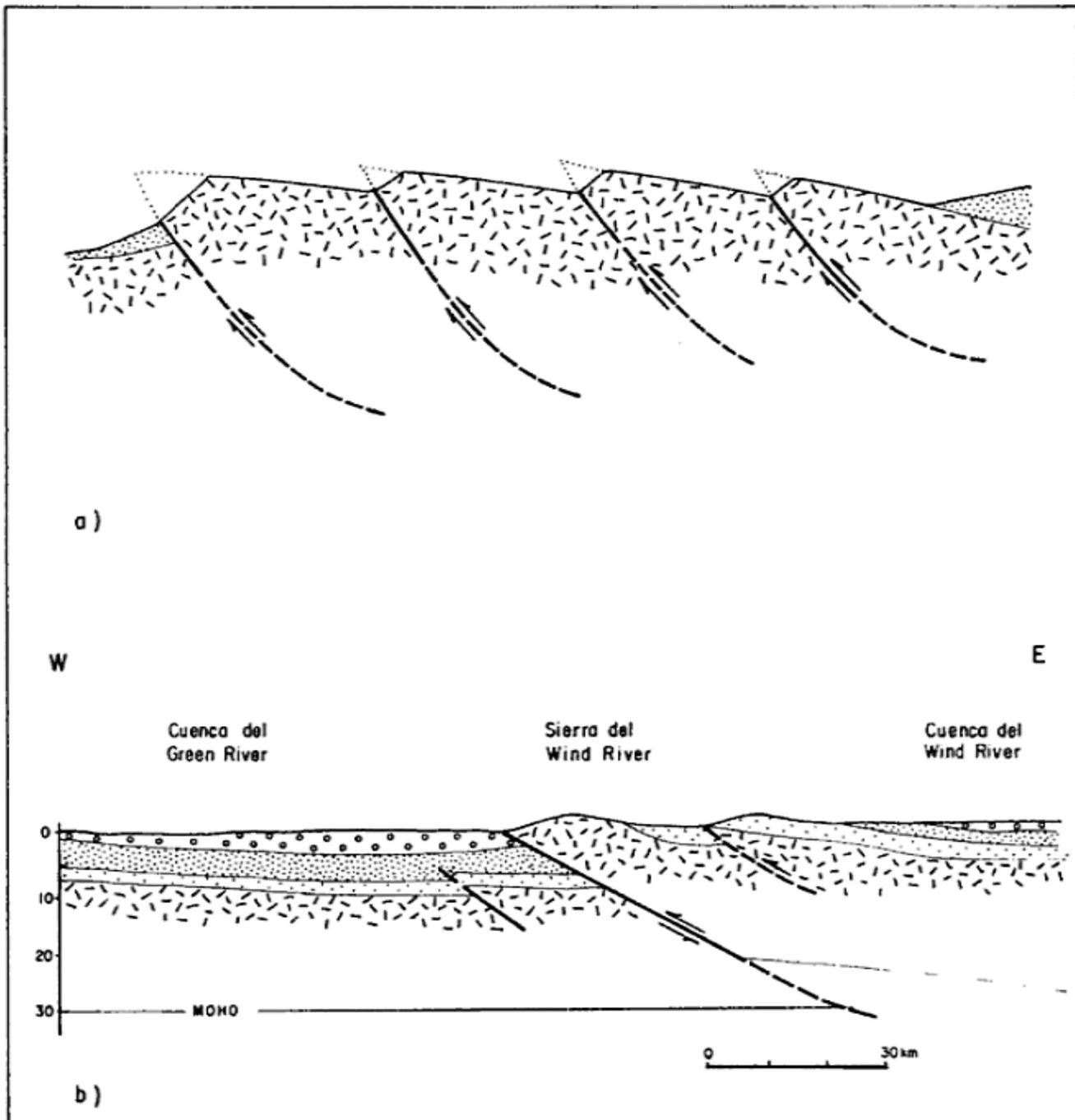


Figura 1: Comparación de la propuesta de González Bonorino y los resultados obtenidos por el proyecto COCORP.
 a) Mecanismo del movimiento de bloques tectónicos en las Sierras Pampeanas (Según González Bonorino, 1950).
 b) Resultados sísmicos obtenidos en la sierra de Wind River en la región Larámica de Estados Unidos, donde se verifica un comportamiento profundo similar al propuesto por González Bonorino (1950) (Según Smithson *et al.* 1979; Zawislak y Smithson, 1981).

propusieron la existencia de movimientos radiales de ascenso para su formación.

Sin embargo recientes estudios llevados a cabo mediante técnicas de reflexión sísmica profunda en la región Larámica de los Estados Unidos (Smithson *et al.*, 1978) han demostrado que ascensos de hasta 13 y 14 km de rechazo vertical se

han producido por fallas inversas de bajo ángulo en profundidad, ante la acción de importantes esfuerzos compresivos. Es así que estas fallas, cuyos planos tienden a horizontalizarse en profundidad, están representando no sólo importantes rechazos verticales, sino aún mayores rechazos horizontales, superiores a los 20 km

(Smithson *et al.*, 1978, Zawislak y Smithson, 1981).

Diversos estudios comparativos han demostrado la analogía existente entre la región Larámica de Estados Unidos y las Sierras Pampeanas de Argentina (Jordan, *et al.*, 1983; Jordan y Allmendinger, 1986), las que muestran un similar comportamiento estructural y un ambiente tectónico coincidente, durante la evolución cenozoica de estas sierras.

El modelo estructural de las Sierras Pampeanas propuesto por González Bonorino (1950) y el hallado para la sierra de Wind River de la región Larámica (Zawislak y Smithson, 1981), muestran significativas coincidencias. Es por ello que los autores han tratado de modelizar el viejo esquema propuesto por González Bonorino (1950) sobre la base de los datos gravimétricos existentes, a fin de verificar la validez en profundidad del mismo.

El comportamiento superficial de las fallas limitantes de los distintos bloques se basó en los estudios de Lencinas y Timonieri (1968), quienes sobre la base de perforaciones realizadas en el valle de Punilla, pudo constatar el carácter inverso de la fracturación y medir un ángulo de inclinación de la falla de Punilla, en 50 a 60 hacia el este.

Actividad sismotectónica

Es necesario destacar que, a diferencia de la región Larámica de Estados Unidos, la región de las Sierras de Córdoba es más activa tectónicamente, como se puede observar de los numerosos sismos de intraplaca que se registran en la misma. Es así que de la lista publicada por Castagno y Bastías (1981), 65 sismos tienen hipocentros ubicados dentro de la zona de estudio. Esta información que comienza en 1906, fue complementada con otros 15 nuevos sismos hasta 1984, con información cedida por el INPRES. De ellos 30 tienen magnitud entre 4 y 5; 11 entre 5 y 6; y 9 entre 6 y 6,9, lo que muestra la importancia de la actividad sísmica en la comarca. Entre ellos se han registrado frecuentes sismos de intraplaca superficiales, aunque las profundidades dominantes, en su mayoría en la zona cercana a Cruz del Eje (véase figura 2), tienen hipocentros ubicados alrededor de 200 km.

La limitada información neotectónica disponible confirma a su vez esta actividad sismotectónica. Así Amos *et al.* (1981) describen la presencia de tres fallas activas en Córdoba. Una de ellas se ubica 10 km al este de Cruz del Eje con una inclinación de 60 al este, mientras que otra se halla cerca del dique Los Molinos e inclina 30-40° al este. La tercer falla se halla en las

proximidades de Sampacho (véase ubicación en la figura 2).

Esta información confirma las conclusiones de Introcaso (1977), para quien fuerzas tectónicas todavía activas, prevalecen sobre los mecanismos de compensación hidrostáticos, como fue inferido del modelado gravimétrico.

Magmatismo profundo

La existencia de un fallamiento profundo importante en las Sierras de Córdoba está parcialmente atestiguada por la presencia de basaltos nefelínicos en el área del dique Los Molinos con densidades de 3,06 g/cm³ y edades de 55 a 60 Ma (Gordillo *et al.*, 1983; Linares y Valencio, 1974).

Esta actividad basáltica neocretácica se continúa al sur de las Sierras de Córdoba, donde se registran en la región de Villa Mercedes - Chaján y en los alrededores de Las Chacras rocas volcánicas alcalinas de 85 a 66 Ma (López y Solá, 1981).

Este volcanismo básico de intraplaca está indicando por su asociación petrotectónica un origen profundo. La existencia de regímenes traccionales durante el Cretácico más tardío, ha permitido que a través de fracturas profundas, ascendiera material del manto a niveles corticales superiores.

Sin embargo la presente estructura tiene un origen netamente compresivo y no se conoce un volcanismo básico alcalino relacionado con las mismas. El volcanismo mioceno de la Sierra de Pocho, si bien puede estar controlado estructuralmente por un fallamiento transversal, tiene una génesis directamente asociada a una zona de subducción (Kay *et al.*, 1986).

Dado el escaso desarrollo areal del volcanismo neocretácico y la falta de evidencias de una actividad similar durante el Cenozoico superior, no se podría explicar el comportamiento anómalo a lo largo de las fallas ándicas de las Sierras de Córdoba, mediante el emplazamiento de rocas básicas en profundidad. Por lo tanto se debió recurrir a un modelo más integral que involucrara a todo el espesor cortical, desarrollado bajo un régimen compresional.

ANÁLISIS GRAVIMÉTRICO

Para la modelización se trabajó con la sección gravimétrica del perfil trascontinental sobre el paralelo 32° S (Introcaso y Huerta, 1972), cuyo trazado se ilustra en la figura 3. Las anomalías de Bouguer analizadas se prepararon sobre el sistema de referencia de 1930 y los valores de

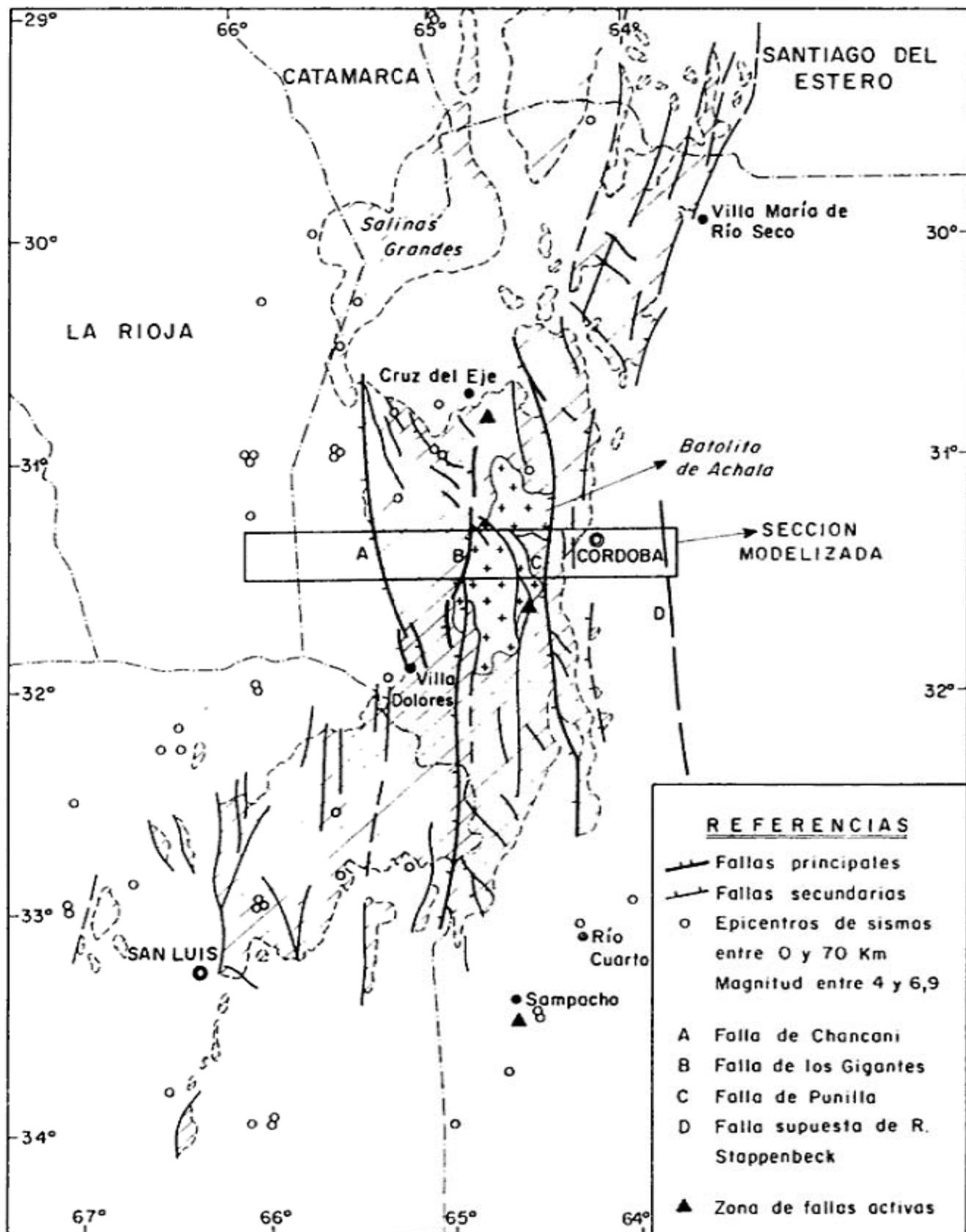


Figura 2: Ubicación de las Sierras de Córdoba y San Luis con indicación de las principales fallas (A, B, C y D) y distribución de los epicentros de sismos producidos durante el lapso 1906 - 1984. La ubicación de las fallas activas se basan en Amos *et al.*, (1981).

gravidad están vinculados así al viejo valor de Miguelete: 979.705,0 mgal y la densidad adoptada para la corrección de Bouguer obedece al valor usual ($s = 2,67 \text{ g/cm}^3$).

Los valores máximos fueron encontrados en el área de Los Gigantes a 1914 m de altitud: + 141 mgal en las anomalías de aire libre y - 75 mgal en las anomalías de Bouguer. Una sección cercana que atraviesa la Pampa de Achala (véase ubicación en la fig. 3) exhibe valores algo mayores que los anteriores aunque constantemente positivos. En una estación se ha hallado 2.246 m como máxima altitud de medición y anomalías de aire libre y Bouguer de + 173 mgal y - 80 mgal respectivamente.

Primero se recalculó el efecto gravimétrico negativo debido al batolito de Achala. En un trabajo anterior (Introcaso, 1977) se estableció que existe una anomalía negativa, superpuesta a la anomalía

regional claramente correlacionada con el batolito de Achala. Esta anomalía se ubicaría en la corteza superior y puede ser bien justificada por la diferencia de densidad negativa que origina el batolito de Achala, respecto de las rocas encajantes. El tamaño del batolito fue definido sobre la base de la anomalía residual encontrada a lo largo de la intersección de la transecta con los límites del mismo, estimándose su espesor en aproximadamente 6 km de profundidad.

Bott (1962) estableció que la amplitud de las anomalías de gravedad causadas por masas batolíticas varía en el rango de - 10 mgal a - 70 mgal. En un trabajo anterior Bott (1956) sostuvo que el contraste de densidad negativa entre rocas graníticas y rocas de alta corteza está en el rango: - 0,05 g/cm^3 a - 0,20 g/cm^3 .

Gutiérrez (Yac. Petrolíferos Fiscales, comunicación personal, 1976) encontró efectiva-

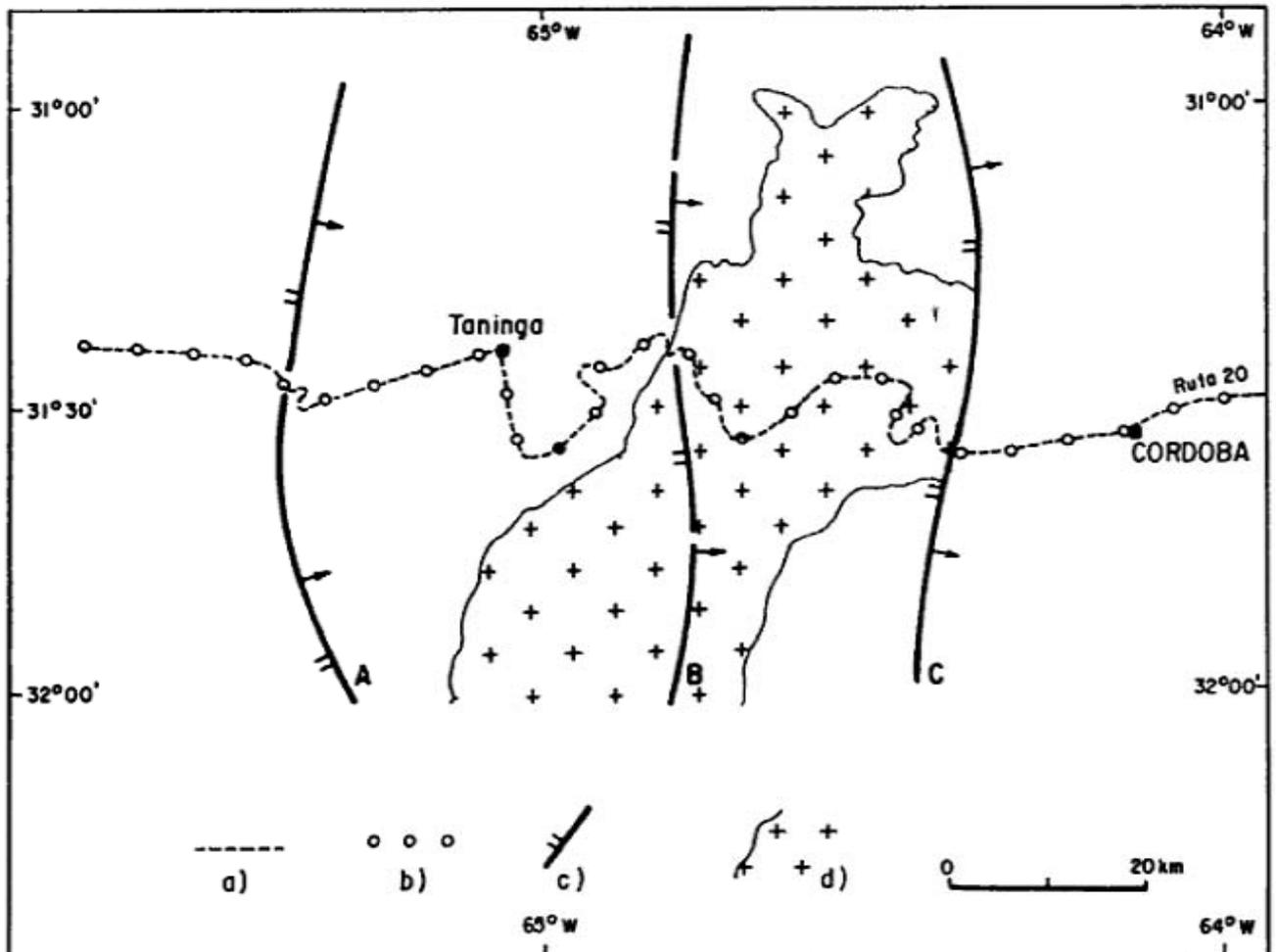


Figura 3: Mapa de ubicación del perfil gravimétrico medido sobre el cual se basa la presente modelización. a: Itinerario, b: puntos de medición, c: fallas principales y d: ubicación aproximada del Batolito de Achala.

mente densidades mayores en las rocas adyacentes a la masa batolítica de Achala. Un muestreo

realizado recientemente por nosotros consigna los siguientes valores:

Batolito de Achala:

Nº de muestras analizadas: 8
 Máxima densidad: 2,69 g/cm³
 Mínima densidad: 2,49 g/cm³
 Densidad promedio: 2,64 g/cm³

Basamento cristalino:

Nº de muestras analizadas: 9
 Máxima densidad: 2,94 g/cm³
 Mínima densidad: 2,55 g/cm³
 Densidad promedio: 2,75 g/cm³

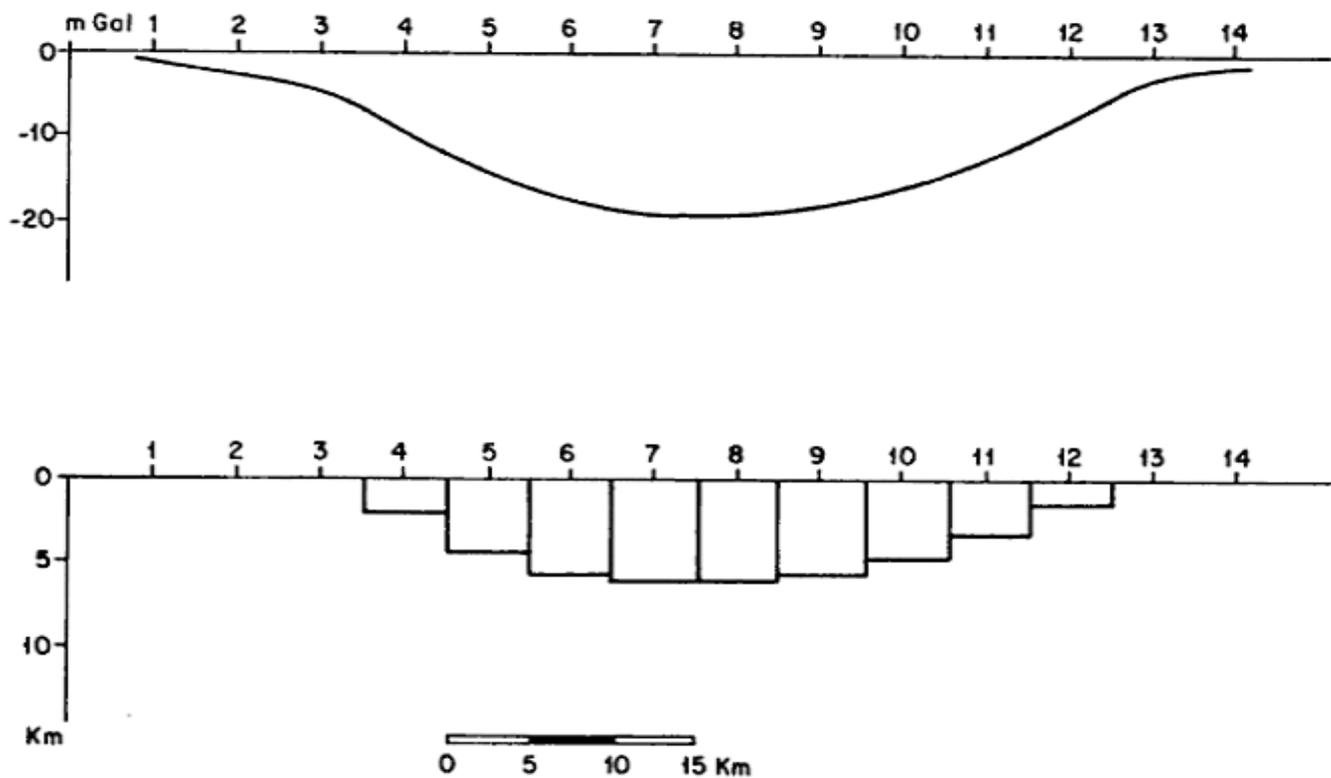


Figura 4: Modelo del intrusivo granítico y su correspondiente respuesta gravimétrica, tomando como diferencia de densidad: -0,10 g/cm³.

No obstante que el muestreo disponible no es suficientemente numeroso, confirma parcialmente que el contraste de densidades entre el batolito de Achala y las rocas encajantes es negativo.

Luego de realizar una exploración de resultados trabajando con distintas densidades diferenciales

($\Delta\sigma = -0,13\text{g/cm}^3, -0,10\text{g/cm}^3, -0,07\text{g/cm}^3, -0,04\text{g/cm}^3$) se adoptó una $\Delta\sigma = -0,10\text{g/cm}^3$ para la confor-

mación gravimétrica que exhibe la figura 4 y donde puede verse también el efecto gravimétrico negativo que origina. Este valor es similar al usado por otros autores.

Se justificó así la anomalía negativa de segundo orden (con un máximo de -18 mgal) mediante el intrusivo granítico de dimensiones batolíticas de Achala.

La anomalía resultante, obtenida quitando de la anomalía de Bouguer observada el efecto gravimétrico que origina el batolito, fue prolonga-

da hacia lo alto ($H = 30$ km), utilizando el método de convolución desarrollado por Pacino e Introcaso (1984). De esta forma se eliminaron anomalías de corta longitud de onda (véase figura 5), digitalizando cada 20 km. Los efectos de borde fueron minimizados prolongando considerablemente el perfil hacia el este de la ciudad de Córdoba y hacia el oeste de la ciudad de Chepes, dado que se disponía de datos de "g" a ambos lados.

COMPORTAMIENTO ISOSTÁTICO

Con el fin de analizar el comportamiento isostático de la Sierra de Córdoba, se ha realizado un modelo hidrostático (véase figura 6) en el que las masas visibles (excesos topográficos) se balancean con raíces compensadoras de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\Delta R = \frac{\sigma_c}{\sigma_m - \sigma_c} \times h$$

siendo σ_c = densidad de la corteza; σ_m = densidad del manto; h = altitud topográfica.

Se han adoptado valores medios de $\sigma_c = 2,93$ g/cm³; $\sigma_m = 3,32$ g/cm³ (Wollard, 1969) y un espesor normal de corteza de 35 km. Diversos cálculos con variadas densidades y diferentes anchos de bloque fueron realizados, incluido un modelo que adoptara una densidad para la corteza superior de 2,67, para la corteza inferior de 2,84 y una densidad del manto de 3,33. El $\Delta\sigma$ hallado está comprendido entre 0,47 y 0,52, dentro del rango calculado mediante valores medios de la corteza. Se ve que en todos los casos estos valores comparados con los observados indican un exceso de "g" mínimo de + 20 mgal. En la figura 6 pueden verse las respectivas respuestas gravimétricas de las raíces obtenidas suponiendo:

- Valores puntuales de la topografía cada 10 km.
- Con tres bloques de 60 km de ancho y altura promediada.
- Con un solo bloque de 170 km de ancho y altura promediada.
- Un modelo de flexión.

En este último modelo flexural la topografía de las Sierras de Córdoba fue conformada por bloques de paralelepípedos de un ancho constante de 17,5 km y una rigidez flexural de $3,81 \times 10^{30}$ dinas x cm.

Mayores detalles sobre el comportamiento isostático de las Sierras de Córdoba, son analizados en Lion e Introcaso (en. prep.).

Además se ha calculado un modelo flexural con un programa preparado por Diaz Rodriguez

y Pacino (1985). Los modelos hidrostáticos obtenidos presentan respuestas de "g" más negativas que las observadas, mientras que el modelo flexural exhibe, por el contrario, una respuesta gravimétrica menos negativa que las observadas (véase figura 6). El ancho de las masas visibles en exceso es de unos 100 a 120 km, caso en que hay dificultades para predecir si la isostasia es o no operativa (Wollard, 1969; Introcaso, 1977).

Esta anomalía en comportamiento isostático, puede deberse a la existencia de un estado de tensión que se oponga a la recuperación del equilibrio isostático (Introcaso, 1977).

Sobre la base del modelo que aquí se propone se infiere, como es indicado por los sismos de intraplaca, que los esfuerzos compresionales están todavía activos y que se opondrían a reajustes secundarios significativos de descenso producidos por isostasia.

EL MODELO GRAVIMÉTRICO

La respuesta de "g" elevada a una altura H de 30 km fue invertida desde allí utilizando el método de Talwani *et al.*, (1959), a partir de un modelo inicial preparado de acuerdo a las siguientes premisas:

- Debido a los esfuerzos compresionales acaecidos durante el ciclo Andico se produce una serie de bajocorrimientos que afectan al zócalo cristalino, como los postulados por González Bonorino (1950: 87), responsables del transporte hacia el este del basamento subyacente.
- La corteza se comporta como una placa rígida con fallas inversas como las de Chancaní, de los Gigantes y de Punilla, cuyos planos tienen en superficie un alto ángulo de 55 a 60 y tienden a horizontalizarse en profundidad.
- Masas positivas al este de la falla de Chancaní y negativas al oeste de la misma, contribuyen para balancear la respuesta de "g".
- Los esfuerzos tangenciales procedentes desde el oeste presentan una deformación dúctil, a niveles corticales profundos cercanos a la discontinuidad de Mohorovicic, que absorben en forma continua la deformación de los términos inferiores.

Sobre la base de estas premisas se calculó por el método directo la respuesta de "g" desde el nivel topográfico con el modelo definido desde un $H = 30$ km. En síntesis, la anomalía de Bouguer observada fue:

— Prolongada hacia arriba ($H = 30$ km).

- Invertida desde $H = 30$ km para definir el modelo.
- Con el modelo así invertido se calculó desde el nivel topográfico (método directo) la anomalía de "g" que produce.
- Superpuesta la anomalía de Bouguer observada con la calculada por el método directo, se verificó que ésta es una adecuada anomalía regional (para mayores detalles sobre prolongación ascendente, véase Pacino e Introcaso, 1984).

Las anomalías residuales de corta longitud de onda, podrían explicarse por la existencia de una distribución de masa más heterogénea en la corteza superior.

CONCLUSIONES

El modelo estructural propuesto cumple con las observaciones geológico-estructurales de superficie; es coherente con los datos gravimétricos y su comportamiento profundo es acorde con un importante acortamiento tangencial del basamento.

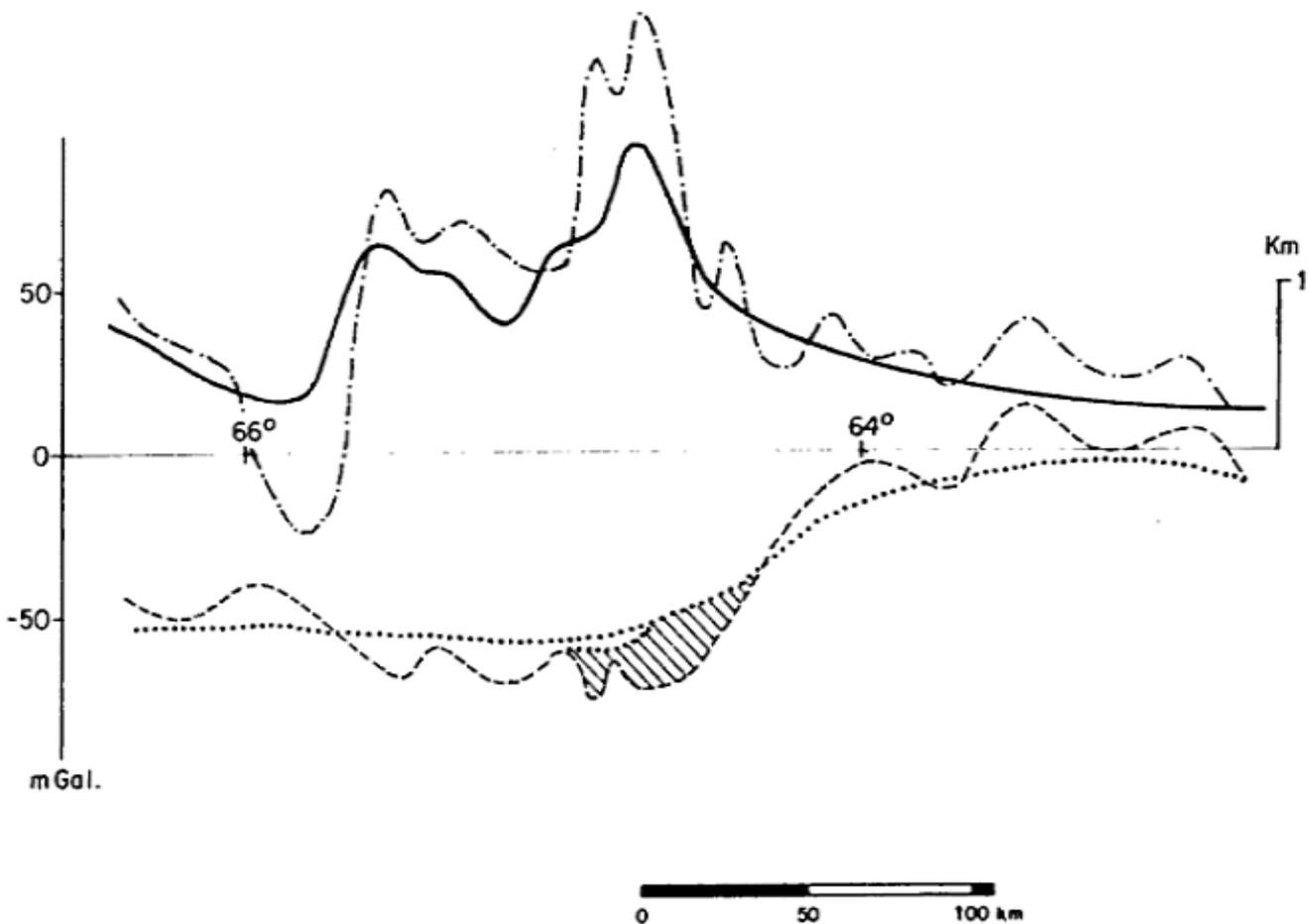


Figura 5: La anomalía de segundo orden atribuida al intrusivo granítico descontada de la anomalía regional de Bouguer.

- Topografía
- - - - Anomalía de aire libre
- + + + + Anomalía de segundo orden (▲▲▲)
- - - - Anomalía de Bouguer observada
- Anomalía regional de Bouguer

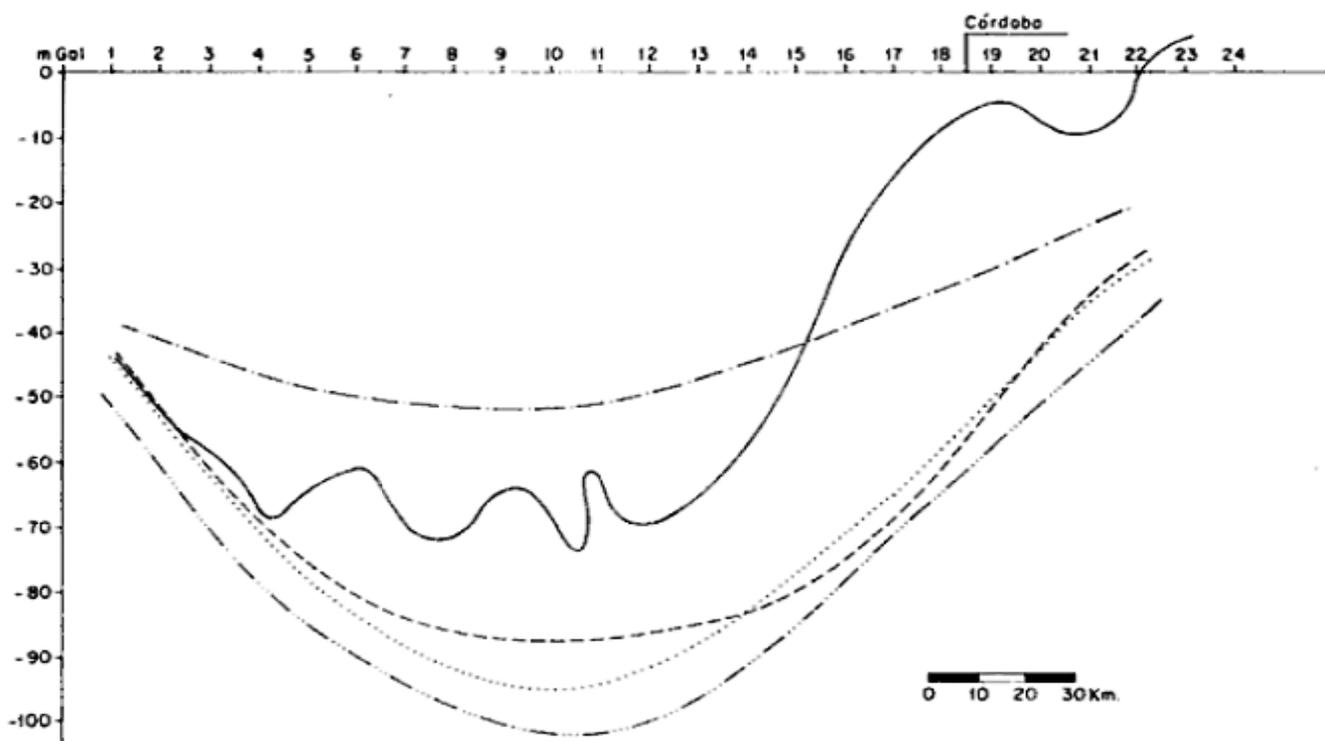


Figura 6: Comparación entre las anomalías de Bouguer observadas y los correspondientes efectos gravimétricos de un modelo de flexión e hidrostáticos propuestos para la región de la Sierra de Córdoba. Densidad de la corteza $2,93 \text{ g/cm}^3$; del manto $3,32 \text{ g/cm}^3$ y contraste entre ambas de $0,39 \text{ g/cm}^3$.

- Anomalía de Bouguer observada
 — Efecto gravimétrico del modelo de flexión
 - - - Efecto gravimétrico del modelo hidrostático
 - · - · - · con bloques cada 10 km
 ··········· con bloques cada 60 km
 - - - - - con un bloque de 170 km

El acortamiento mínimo calculado para los niveles corticales superiores es del orden del 4 %, el que coincide con estimaciones anteriores. La deformación continua de los niveles inferiores no permite un buen balance de masas.

El modelo calculado está basado mayormente en el propuesto por González Bonorino (1950), quien sobre la base de un extenso conocimiento del comportamiento regional de las Sierras Pampeanas y un análisis deductivo del comportamiento mecánico, se anticipó en más de 30 años a los datos de sísmica de reflexión profunda realizados en ambientes tectónicos similares de otras regiones.

Las Sierras de Córdoba son así la expresión más oriental de una deformación severa del basamento relacionada al segmento de subducción horizontal postulado para estas latitudes.

Sobre esta base se concluye que las fallas de naturaleza lítrica propuestas permiten un adecuado acortamiento horizontal y que el resalto vertical observable es una consecuencia de esa tectónica tangencial.

LISTA DE TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- AMOS, J.A., R.H. Caligari y C. Siches, 1981. Las fallas activas en la República Argentina. VIIIº Congr. Geol. Arg., Actas II: 235-242, Buenos Aires.
- BOTT, M.H., 1956. A geophysical study of the granite problem. IVº J. Geol. Soc. London, 112: 45-67, London.
- , 1962. A simple criterion for interpreting negative gravity anomalies. Geophysics, 27: 376-381.
- CASTANO, J.C. y H.E. BASTÍAS, 1981. Análisis sistotectónico y su aplicación a la estimación del peligro sísmico. INPRES, Pub. Téc., 7: 1-42, San Juan.

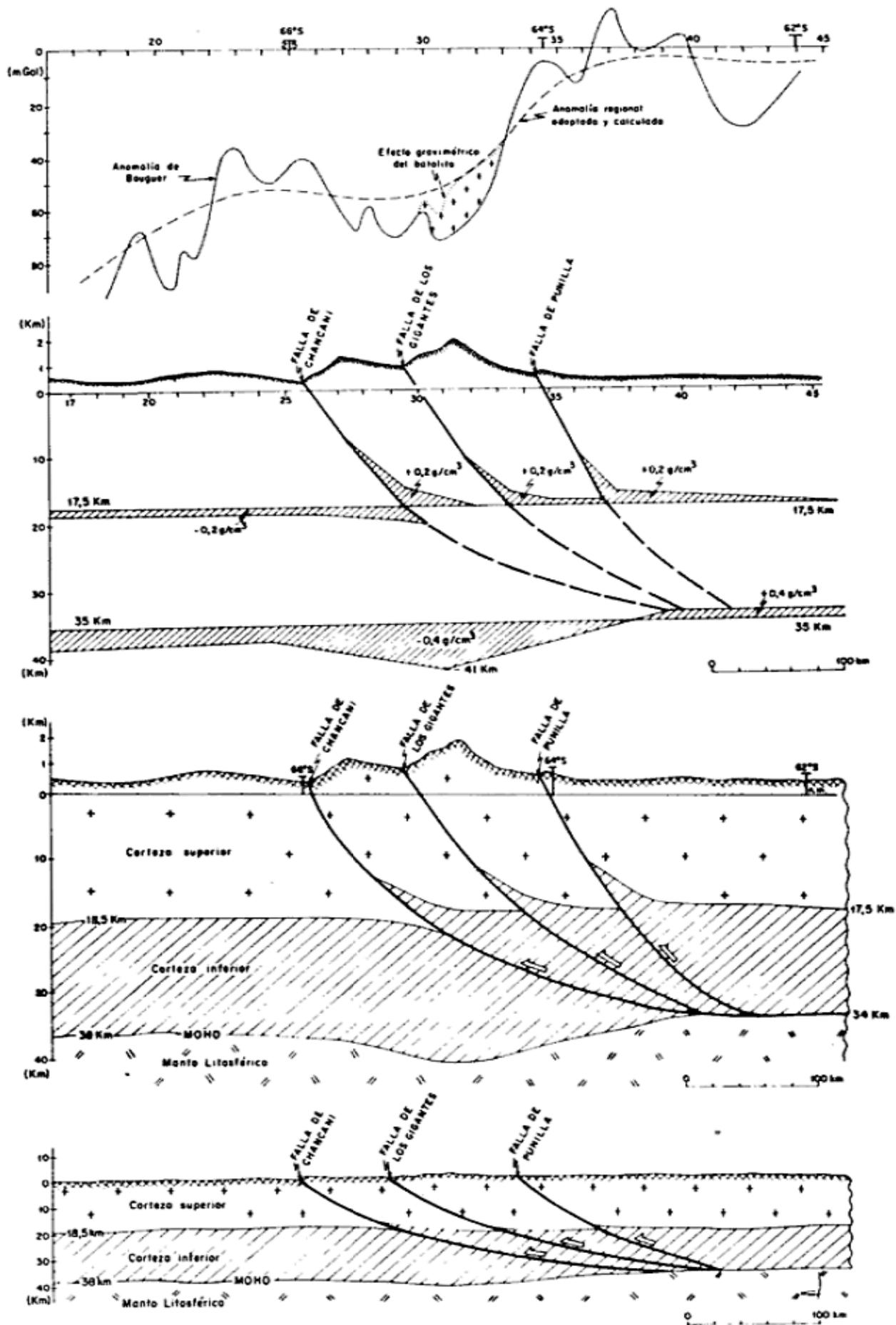


Figura 7: Modelo propuesto para la estructura profunda de las Sierras de Córdoba.

A) Anomalías de gravedad. B) Masas corticales que justifican la anomalía regional adoptada. C) Modelo de corteza asumido. D) Modelo sin exageración vertical.

Corteza inferior: $\sigma = 2,94 \text{ g/cm}^3$

 Corteza superior: $\sigma = 2,74 \text{ g/cm}^3$

 Manto litosférico: $\sigma = 3,34 \text{ g/cm}^3$

- CRIADO ROQUE, P., C. MOMBRÚ Y V.A. RAMOS, 1981. Estructura e interpretación tectónica. En Geología y Recursos Naturales de la Provincia de San Luis. M. Yrigoyen (ed.). VIIIº Congr. Geol. Arg., Relatorio: 155-192, Buenos Aires.
- DÍAZ RODRÍGUEZ, A. Y M.C. PACINO, 1985. Flexión elástica de corteza y litósfera. Publicación IFIR: 1-14, Rosario.
- GONZÁLEZ BONORINO, F., 1950. Algunos problemas geológicos de las Sierras Pampeanas. Asoc. Geol. Arg., Rev., 5 (3): 81-110, Buenos Aires.
- GORDILLO, C.E. Y A. LENCINAS, 1972. Sierras pampeanas de Córdoba y San Luis. Iº Simp. Geol. Reg. Arg., Acad. Nac. Cienc. I: 1-79, Córdoba.
- y —, 1979. Sierras pampeanas de Córdoba y San Luis. IIº Simp. Geol. Reg. Arg., Acad. Nac. Cienc., I: 577-650, Córdoba.
- , E. Linares y C.O. Daziano, 1983. Nuevo afloramiento de nefelina olivínica: Estancia Guasta, Sa. de Córdoba. Asoc. Geol. Arg., Rev., 38 (3-4): 485-489, Buenos Aires.
- INTROCASO, A., 1977. Resultados gravimétricos a través de la parte media de la Sierra de Córdoba. República Argentina. Rev. Geofísica I.P.G.H., 6: 119-131.
- y E. Huerta, 1972. Perfil gravimétrico trancontinental en el paralelo 32 S. Rev. I.P.G.H., año 21 (22): 133-159.
- ISACKS, B., T. JORDAN, R. ALLMENDINGER Y V.A. RAMOS, 1982. La segmentación tectónica de los Andes Centrales y su relación con la placa de Nazca subductada. Vº Congr. Latinoamer. Geol., Actas III: 587-606, Buenos Aires.
- JORDAN, T. Y R. ALLMENDINGER, 1986. The Sierras Pampeanas of Argentina: a modern analogue of Laramide deformation. Am. Journ. Sci., (en prensa), New Haven.
- , B.L. Isacks, R.W. Allmendinger, J.A. Brewer, V.A. Ramos y C.J. Ando, 1983. Andean tectonics related to geometry of subducted Nazca plate. Geol. Soc. Am., Bull. 94: 341-361, Boulder.
- KAY, S.M., V. MAKSAEV, R. MOSCOSO, C. NASI Y C.E. GORDILLO, 1986. Tertiary Andean magmatism in Chile and Argentina between 28-33 S: correlation of magmatic chemistry with a changing Benioff zone. Symp. Magm. Evol. of The Andes, (en prensa), Santiago.
- LENCINAS, A. Y A. TIMONIERI, 1968. Algunas características estructurales del valle de Punilla - Córdoba. IIIº Jorn. Geol. Arg., Actas I: 195-207, Buenos Aires.
- LINARES, E. Y D. VALENCIO, 1974. Edades Potasio-Argón y paleomagnetismo de los diques traquibasálticos del río de los Molinos, Córdoba. Asoc. Geol. Arg., Rev., 29 (3): 341-348, Buenos Aires.
- LÓPEZ, M.G. Y P. SOLÁ, 1981. Manifestaciones volcánicas alcalinas de los alrededores de Las Chacras y de la región de Villa Mercedes - Chaján, provincias de San Luis y Córdoba. VIIIº Congr. Geol. Arg., Actas IV: 967-978, Buenos Aires.
- PACINO, M.C. Y A. INTROCASO, 1984. Prolongación ascendente del campo potencial en el dominio espacial. Geoacta (en prensa), Buenos Aires.
- SMITHSON, S., J. BREWER, S. KAUFMAN Y J. OLIVER, 1979. Nature of the Wind River Thrust. Wyoming, from COCORP deep reflection data and gravity data. J. Geophys. Res., 84(B11): 5955-5972, Washington.
- TALWANI, M., J.L. WORZEL Y M. LANDISMAN, 1959. Rapid gravity computations for two dimensional bodies with application to the Mendocino submarine fracture zone. J. Geophys. Res., 64: 49-59, Washington.
- WOOLLARD, G.P., 1959. Crustal structure from gravity and seismic measurements. J. Geophys. Res., 64(10):1251-1544, Washington.
- , 1969. Regional variations in gravity. The Earth's Crust and Upper Mantle. P.J. Hart (ed.). Amer. Geophys. Union, 320-341, Washington.
- ZAWISLAK, R. Y SMITHSON, 1981. Problems and interpretation of COCORP deep seismic reflection data. Wind River Range, Wyoming. Geophysics, 46 (12): 1684-1701.

Recibido: 1 de Abril, 1986
Aceptado: 16 de marzo, 1987

ANTONIO INTROCASO
ADRIANA LION

Instituto de Física de Rosario
Av. Pellegrini 250
2000 - ROSARIO

VICTOR A. RAMOS

Dep. Ciencias Geológicas
Universidad de Buenos Aires
Ciudad Universitaria
1428 - NUÑEZ - BUENOS AIRES