LA FORMACIÓN DEL CONTINENTE SUDAMERICANO

Carlos W. Rapela

Centro de Investigaciones Geológicas (CIG, CONICET/UNLP), Calle 1 Nº 644, 1900-La Plata, Argentina (E-mail: crapela@way.com.ar)

Resumen

Se resumen en este trabajo conclusiones obtenidas en investigaciones geocronológicas recientes, focalizadas a determinar el origen y los procesos que condujeron a la conformación continental del sur de Sudamérica. Las dataciones de rocas graníticas antiguas por el método de microsonda iónica U-Pb SHRIMP, confirman la existencia y precisan la distribución geográfica de dos bloques independientes, con edades distintivas de 2000-2260 millones de años (Ma) y 1000-1270 Ma respectivamente. El núcleo más antiguo es el Cratón del Río de la Plata, que en Argentina aparece únicamente en las Sierras de Tandil y en la isla Martín García. Dataciones en perforaciones profundas de la llanura Chaco-Pampeana, indican, no obstante, que rocas de edades de 2088-2189 Ma, en el rango de las de Tandil, se extienden por el subsuelo hasta 500-600 km al oeste y noroeste de aquellas sierras. El bloque de 1000-1270 Ma colisionó en forma oblicua contra el borde occidental del Cratón del Río de la Plata, en un complejo proceso que se extendió entre los 530 Ma y 430 Ma, que representa el episodio final de la formación del supercontinente de Gondwana. Afloramientos dispersos del bloque de 1000-1270 Ma se encuentran en las Sierras Pampeanas de La Rioja y San Juan, el Macizo de San Rafael en Mendoza y en serranías bajas de la provincia de La Pampa. Estudios similares en rocas graníticas antiguas de Patagonia, sugieren que un bloque constituido por el sur de la Patagonia y la Península Antártica, se anexó al resto de Sudamérica en forma tardía, en una colisión continental ocurrida en el período Carbonífero, a los 335-314 Ma.

Después de la rotura y dispersión de Gondwana, con la formación de la placa Sudamericana a los 130 Ma, los remanentes de los dos núcleos antiguos amalgamados a los 530 Ma, forman la mayor parte de la corteza continental del sur del Brasil, Uruguay y centro y norte de Argentina y Chile.

Palabras clave: geocronología, Gondwana; cratón del Río de La Plata; placa Sudamericana

Abstract

The amalgamation of the South American continent. This work is a review of recent geochronological research aimed to unravel the origin and processes that leaded to the amalgamation of southern South America. Ages obtained in ancient granitic rocks using the U-Pb SHRIMP (Sensitive High Resolution Ion Microprobe) methodology, precise the age range and geographical distribution of two old continental blocks, of 2000-2260 Ma and 1000-1270 Ma respectively. The older block is the Río de la Plata Craton, which in Argentina only outcrop in the Sierras de Tandil and in Martín García Island. Dating of samples recovered from deep boreholes below the Chaco-Pampean plains indicate ages between 2088-2189 Ma, within the range of those in Tandil, indicating a W and NW sub-surface extension of 500-600 km of the Río de la Plata Craton. A complex oblique collision of the 1000-1270 Ma block against the western edge of the Río de la Plata Craton occurred at 530-430 Ma, heralded the final amalgamation of the Gondwana supercontinent. Widely apart outcrops of the 1000-1270 continental blocks occur in the Sierras Pampeanas of La Rioja and San Juan, the San Rafael Massif in Mendoza and low-altitude minor outcrops in the province of La Pampa. Similar studies carried out in old granitic rocks of Patagonia, suggest that a block composed of southern Patagonia and the Antarctic Peninsula joined later to Gondwana, during a 335-314 Ma Carboniferous continental collision.

The formation of the South American plate at 130 Ma, after the breakup and dispersal of Gondwana, included remnants of the two old blocks that collided at 530 Ma, which are the bulk of the continental crust of southern Brazil, Uruguay and the central and northern sectors of Argentina and Chile.

Key words: geochronology; Gondwana; Río de la Plata Craton; South American plate

1. La composición química de los continentes

Los estudios geofísicos han demostrado, hace muchos años, que la Tierra está formada por tres capas: un núcleo metálico de Fe y Ni, desde el centro del planeta hasta los 2900 km, un manto, compuesto de silicatos de Fe y Mg, y una delgada parte superior, la corteza terrestre en la que aumentan significativamente el silicio, el aluminio y los álcalis (Figura 1). Esta corteza terrestre se extiende 35 km hacia abajo en los continentes y tiene la composición química promedio de las rocas graníticas, pero es mucho más delgada en los océanos donde es de sólo 7 km, y su composición promedio es semejante a un basalto (Figura 1). Aunque la masa de la corteza terrestre relativa a la masa del planeta es de solo 0,5%, contiene hasta un 20-70% de la masa de elementos tales como K, Rb, Cs, Ba, La, U, Th y Ta. La extraordinaria concentración de estos elementos en la corteza continental es un rasgo distintivo de la Tierra, ya que las rocas graníticas son raras en el resto de los planetas del sistema solar. Durante la fusión parcial del manto superior, que se facilita por la presencia de

agua, estos elementos se concentran en la fase fundida (magma), debido a que, ya sea por su largo radio iónico, o su alto potencial iónico (relación carga/radio), son excluidos de las redes de los silicatos de Fe y Mg que dominan el manto terrestre. Esta es la razón por la cual en geoquímica se los denomina elementos incompatibles, que estrictamente son aquellos que tienen coeficientes de partición magma/sólido menores a 1 ($C^{s/l} = Cs/Cm < 1$; Cs = concentración en elsólido; Cm = concentración en el magma). La extraordinaria concentración de elementos incompatibles en las rocas graníticas que definen la corteza continental de la Tierra, es el resultado de un proceso cromatográfico de escala planetaria, que ha estado operando episódicamente desde la formación de la Tierra, hace 4600 Ma (millones de años). La presencia de agua es esencial en este proceso, disminuyendo el punto de fusión y dando lugar a la formación de minerales hidratados durante la formación de los continentes. Esta relación está sintetizada en la conocida afirmación de Campbell y Taylor [3]: "No water, no granites - no oceans, no continents".

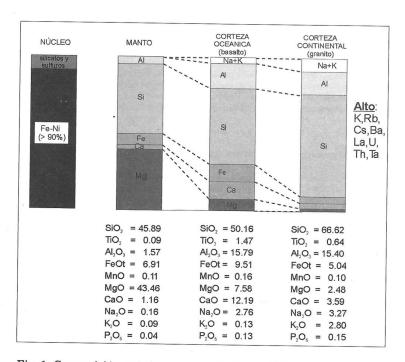


Fig. 1. Composición química aproximada de los distintos sectores de la Tierra [1 y referencias de ese trabajo].

2. La dinámica de la Tierra: formación, rompimiento y dispersión de supercontinentes

Remanentes de las rocas graníticas más antiguas de la Tierra indican que 4100-4200 Ma atrás, ya existía una corteza continental primitiva [4]. La fusión parcial del manto para formar corteza oceánica y refusiones de rocas previas para formar corteza continental, se produjo en forma episódica desde ese entonces, con eventos de gran intensidad e intervalos de menor crecimiento. Los fragmentos de rocas graníticas se aglutinan formando continentes que no permanecen fijos, sino que se mueven debido a la convección de rocas del manto terrestre en estado plástico, que forma células convectivas que alcanzan la discontinuidad manto/núcleo.

La comprobación de la deriva de los continentes y la apertura de los fondos oceánicos dieron lugar al nacimiento de la tectónica de placas en la década de 1960, una teoría paradig-mática de las ciencias geológicas [5]. Los fragmentos continentales formados hace 4200 Ma, se desplazaban, colisionaban entre sí formando bloques más grandes, que a su vez se desplazaban y colisionaban hasta formar masas mayores de corteza continental conocidos como supercontinentes. Pasado un intervalo temporal amplio, los supercontinentes se rompían y dispersaban debido a la inestabilidad térmica y formación de puntos calientes (hot spots) en el manto, iniciando un nuevo ciclo que culminaba con la formación de otro supercontinente, de forma y distribución muy

diferente al anterior. Se piensa que desde la formación de la Tierra, han ocurrido al menos cuatro a cinco ciclos mayores de formación y dispersión de supercontinentes. El mejor conocido es obviamente el último de todos, que condujo a la aglutinación de todas las masas continentales de la Tierra hace 260 Ma atrás, para formar el supercontinente conocido como Pangea (Figura 2a). El sector sur de ese supercontinente, que se aglutinó primero, a los 540-600 Ma, y estaba integrado por Sudamérica, África, Antártida, India, Australia y Nueva Zelanda, recibió el nombre de Gondwana (Figura 2b). Este nombre es original de formaciones geológicas de la India, que ya geólogos de finales del siglo XIX consideraban que eran similares a otras en el sur de África. Gondwana comienza a desmembrarse a los 180 Ma, cuando el hot spot del Karoo, en el sur de África forma corteza oceánica, que divide el supercontinente en dos: Gondwana Occidental (África y Sudamérica) y Gondwana Oriental (India, Antártida y Australia) (Figura 2c). A los 130 Ma, un nuevo hot spot inicia la separación de África y Sudamérica, con él nacimiento del Océano Atlántico del Sur (Figura 2d). Además de formarse la corteza oceánica en el mar, gigantescas erupciones de basaltos se derramaron en los bordes de ambos continentes. Ese enorme apilamiento de basaltos producido en un lapso corto de 2-3 Ma, recibe el nombre de Basaltos de Paraná en Sudamérica y de Etendeka en África. Estos derrames de lavas de ~130 Ma se encuentran en el subsuelo de todas las provincias del

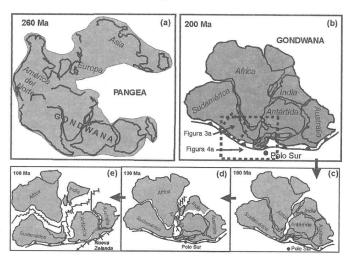


Fig. 2. (a) Reconstrucción del supercontinente de Pangea a los 260 Ma [5]. Recontrucciones del rompimiento del supercontinente de Gondwana a los 200 Ma (b), 160 Ma (c), 130 Ma (d) y 100 Ma (e) [2].

Litoral en Argentina, y en superficie afloran por ejemplo en las Cataratas del Iguazú. La dispersión de los continentes que integraban Gondwana continúa hasta el presente, aunque ya 100 Ma atrás, la geografía actual hubiera sido perfectamente reconocible (Figura 2e).

Además de constituir uno de los campos de estudios básicos más importantes de la geología, muchos aspectos de estas investigaciones están directamente relacionados con la explotación de recursos económicos de gran magnitud. Un buen ejemplo son los grandes yacimientos de petróleo que acaba de descubrir Brasil en su talud continental, que están en cuencas sedimentarias formadas después de los 130 Ma, cuando comienzan a separarse Sudamérica de África. Las cuencas petrolíferas situadas en la Patagonia extrandina, están igualmente asociadas al rompimiento del supercontinente.

3. La formación del suroeste de Gondwana

La reconstrucción en detalle del desmembramiento de Gondwana, está fuertemente facilitada por los estudios de anomalías magnéticas en los basaltos de los fondos oceánicos. La deriva de los continentes en la superficie de la Tierra, puede establecerse con gran precisión cuando se cuenta con estos datos. No obstante, no existen o son muy raros, los remanentes de corteza oceánica de más de 200 Ma, dado que la corteza oceánica que se crea en determinados sectores (dorsales oceánicas), se consume en otros por debajo de los continentes (zonas de subducción, los Andes, por ejemplo). Por esta razón, los estudios de reconstrucción de los supercontinentes que antecedieron a Pangea-Gondwana, son mucho más dificultosos, y existe por lo tanto un grado mayor de incertidumbre. Entre las principales metodologías que se utilizan para esos fines se encuentran: la geocronología, la geoquímica y el paleomagnetismo. Se describe más abajo, como una introducción y ejemplo de esta temática mavor, las conclusiones obtenidas en investigaciones geocronológicas que tuvieron como objetivo identificar los fragmentos continentales mayores del sur de Sudamérica, y la historia de su integración.

Para iniciar un trabajo científico de reconstrucción continental, un buen punto de partida pasa por determinar la edad, composición y distribución geográfica de los núcleos de rocas más antiguas que integran el continente en cuestión. Esos núcleos antiguos son los que, más tarde en la historia geológica, colisionan episódicamente entre sí para formar los gigantescos rompecabezas de piezas que forman los continentes y supercontinentes. En el mapa digital de la Fi-

gura 3a se muestran los afloramientos de las rocas más antiguas del sur de Sudamérica, que aparecen en serranías bajas de Argentina, Uruguay y sur de Brasil, no muy alejadas de la costa atlántica, y que se conocen colectivamente con el nombre de Cratón del Río de La Plata. Las edades dominantes en esta unidad varían entre 2000 y 2260 Ma, entre las que se han encontrado sectores muy restringidos con edades de hasta 3100-3400 Ma [6]. En la Argentina, rocas de 2070-2260 Ma se encuentran en las sierras de Tandil [7] y en la Isla Martín García (Figure 3a). Hacia el oeste, estos núcleos antiguos están cubiertos por una espesa capa de sedimentos más jóvenes, que en las provincias de Santa Fe y Córdoba varía entre los 1000 y 4000 metros, lo cual impide los trabajos directos de geocronología directa. Y si se desconoce la edad del basamento continental al oeste de las Sierras de Tandil, aumenta considerablemente la incertidumbre de cualquier modelo de reconstrucción continental del sur de Sudamérica

Las única evidencia disponible de las rocas del basamento debajo de la llanura Chaco-Pampeana, proviene de muestras extraídas en 4 pozos profundos para exploración petrolífera realizados por YPF en la provincia de Córdoba (Figura 3a). Tratándose de rocas antiguas afectadas por procesos posteriores, los métodos tradicionales de la geocronología como el K-Ar, no permiten el cálculo confiable de edad. Recientemente, separando el mineral circón en rocas de tres de estos pozos, que tienen profundidades de entre 2200 m y 3340 m, se pudo calcular la edad del basamento, obteniéndose edades de 2189 ± 14 Ma, 2162 ± 6 Ma y 2088 ± 6 Ma [8]. Estas edades se encuentran dentro del rango de las obtenidas en las Sierras de Tandil, e indican que el Cratón de Río de la Plata, con sus típicas secuencias de 2000-2200 Ma, se extiende 500-600 km al oeste y noroeste de sus afloramientos típicos, cercanos a la costa atlántica. Se pudo delimitar así, los límites geográficos del Cratón, y a partir de ahí, precisar las teorías sobre el crecimiento hacia el oeste del sur de Sudamérica.

La datación de estas muestras se realizó con una microsonda iónica de alta resolución, conocida por su sigla en inglés, SHRIMP (Sensitive, High Resolution Ion Microprobe), desarrollada en la Universidad Nacional de Australia [9]. Esta metodología permite datar muestras muy pequeñas, por el método U-Pb, bombardeando con un haz de iones oxígeno secciones pulidas de minerales que contienen U, Th y Pb, como el circón (SiO₄Zr), lo que produce un haz secundario de iones de Pb, que es analizado por un espectrómetro doble, magnético y electrostático. La pre-

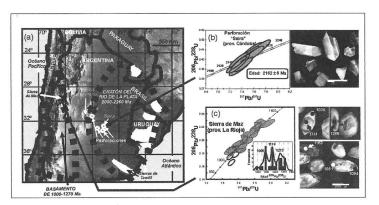


Fig. 3. (a) Bloques continentales antiguos que forman el sur de Sudamérica: el Cratón del Río de la Plata de 2000-2260 Ma (sectores a rayas muestran las exposiciones en superficie) [8], y un basamento de 1000-1270 Ma [10]. Estos bloques comenzaron a colisionar entre sí en la orogenia Pampeana, a los 530 Ma [11]. (b) Edad U-Pb SHRIMP de 2162 Ma de la roca granítica de la perforación Saira (2608 m de profundidad), e imagen de catodoluminiscencia de sus cristales de circón. Estas edades demuestran que el Cratón del Río de la Plata se extiende hasta el límite con las Sierras de Córdoba [8]. (c) Edades U-Pb obtenidas en circones complejos de una roca granítica de la Sierra de Maz (La Rioja), que muestran una poliepisódica historia geológica entre los 1273 Ma y 1095 Ma [10].

cisión de la datación se aumenta dada la posibilidad de analizar un alto número de *spots*, de sólo 25 micrones de diámetro. En la Figura 3b se muestra una imagen de catodoluminiscencia de los cristales de circón de la perforación Saira, en el Cratón del Río de la Plata, y el cálculo de edad que se obtiene midiendo las relaciones de isótopos ²⁰⁶Pb/²³⁸U y ²⁰⁷Pb/²³⁵U.

El otro bloque de corteza continental antigua en el sur de Sudamérica, se encuentra situado en las Sierras Pampeanas de La Rioja y San Juan, el Macizo de San Rafael en Mendoza y en serranías bajas de la provincia de La Pampa (Figura 3a). Aquí también los estudios geocronológicos con la metodología SHRIMP, permitieron precisar una historia geológica compleja que ocurrió entre los 1000 y los 1270 Ma [10]. El uso del SHRIMP en circones complejos, que tienen un núcleo sobre el cual cristalizan sobrecrecimientos de circón formados en un episodio más joven, permite la datación de ambos eventos, en un grano individual de mineral. La potencialidad de esta metodología para resolver problemas geológicos que incluyen múltiples episodios, es obvia. La fotografía con catodoluminiscencia revela la estructura compleja de un circón, y el análisis SHRIMP permite luego la determinación independiente del núcleo y la del sobrecrecimiento. En la Figura 3c se muestra la imagen de catodolumiscencia de los circones de una roca granítica de la Sierra de Maz, en La Rioja, que muestran claramente núcleos y sobrecrecimientos. Los núcleos definen una edad de aproximadamente 1270 Ma, que es la edad primitiva de la roca granítica original. Los sobrecrecimientos dan dos picos de edades, a 1174 Ma y a 1095 Ma, que identifican episodios térmicos de crecimiento de circón (Figura 3c), y en consecuencia, episodios geológicos mayores que sufrió la roca granítica original.

El Cratón del Río de la Plata de 2000-2260 Ma, y el bloque de 1000-1270 Ma constituyen los dos bloques más antiguos del suroeste del supercontinente de Gondwana. Eran dos bloques continentales de distinta edad, que derivaban en forma independiente, hasta que colisionaron y se amalgamaron para formar una parte de Gondwana. La colisión se inició muy probablemente a los 530 Ma, que es la edad de las rocas colisionales que forman las Sierras de Córdoba [11], que aparecen entre los dos bloques antiguos (Figura 3a). La colisión del bloque que incluye rocas de 1000-1270 Ma fue un episodio complejo, que ocurrió durante un prolongado período de tiempo, hasta los 460-430 Ma, con la acreción de bloques como la Precordillera de San Juan y Mendoza [12]. Estos episodios culminan la formación de Gondwana.

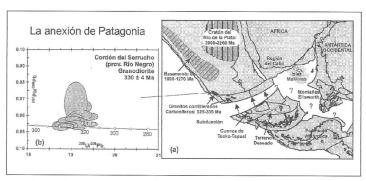


Fig. 4. (a) Reconstrucción del suroeste del supercontinente de Gondwana a los 330 Ma, al tiempo de la acreción de la Patagonia. Se muestra la colisión de un bloque integrado por el sur de la Patagonia y la Península Antártica, contra el suroeste de Gondwana, consolidado previamente [15]. (b) Edad U-Pb de los granitos formados en el borde de Gondwana, previos a la colisión continental [15].

4. La acreción de la Patagonia

La singularidad de su agreste geografía y riguroso clima, unidas a las particularidades de su fauna y flora han atraído la curiosidad de los científicos naturalistas, desde los tiempos de las visitas de Charles Darwin. Desde el punto de vista de la geología, la mayoría de las rocas que aparecen actualmente en superficie se formaron después del rompimiento de Gondwana. Apenas iniciada la ruptura del supercontinente, entre 185 y 155 Ma, en el período Jurásico (Figura 2c), el calentamiento asociado a la ruptura produjo un extensísimo vulcanismo, con alto contenido de sílice (SiO₂ > 68%), que la cubrió en su totalidad, incluyendo la Península Antártica [13]. En este tipo de alta sílice, es la provincia volcánica más extensa de la Tierra. El rompimiento del supercontinente trae consigo una tectónica de extensión, y bajo este régimen se formaron potentes cuencas sedimentarias, las que, a partir de la apertura del océano Atlántico del Sur a los 130 Ma (período Cretácico), dominan gran parte de lo que es ahora el litoral y la Patagonia extrandina. como la cuenca Neuquina, la cuenca del Golfo de San Jorge y la cuenca de Magallanes. Finalmente, desde los 70 Ma hasta casi el Presente, potentes erupciones de basaltos dieron forma a extensas mesetas, que son características del paisaje patagónico. Estas tres secuencias de rocas cubren gran parte de la Patagonia, por lo cual las evidencias de su origen como bloque continental dentro de Gondwana, deben buscarse en afloramientos de rocas remanentes mucho más restringidos, situado principalmente en la zona precordillerana de Río Negro y Chubut, el valle del río Chubut y sierras bajas cercanas a la actual costa atlántica.

Diversos argumentos geológicos han llevado a elaborar hipótesis de que la Patagonia, como bloque continental, se acrecionó tardíamente por colisión, al supercontinente de Gondwana [14], durante la conformación de Pangea (Figura 1a). Numerosas dataciones U-Pb SHRIMP de rocas graníticas, remanentes del basamento de Patagonia, sugieren que esta acreción pudo haber tenido lugar en el período Carbonífero, cuando un bloque constituido por el sur de Patagonia y la Península Antártica colisionó con el borde suroeste de Gondwana descripto en la sección anterior [14] (Figura 4a). El rango de edad de 325-335 Ma encontrado en granitos asociados a convergencia de placas en la zona precordillerana de Río Negro y Chubut (Figura 4a,b), y granitos de colisión de 314-318 Ma en el área del río Chubut medio. sustentan con evidencias geocronológicas, esta hipótesis [15].

5. Conclusiones

Los cinco continentes reconocidos en la Tierra, se encuentran en una avanzada etapa de dispersión, que comenzó con la ruptura del supercontinente de Pangea, cuando todos estaban amalgamados (Figura 1a). Al estadío actual sucederá, inevitablemente, una etapa de colisiones, que culminará con la formación de supercontinentes, repitiendo el ciclo. Esta etapa de colisiones ya ha comenzado, y el norte de África, por ejemplo, colisiona actualmente con el sur de Europa, proceso en el cual el Mediterráneo es un mar en extinción.

Los continentes conservan improntas de los ciclos de supercontinentes de los que fueron parte. Esta impronta son los núcleos de rocas graníticas antiguas de los continentes, que constituyen piezas fundamentales para armar los distintos rompecabezas que se sucedieron desde la formación de la Tierra hace 4600 Ma. En el sur de Sudamérica, se reconocen dos núcleos antiguos, uno de 2000-2260 Ma, el Cratón del Río de la Plata y otro de 1000-1270 Ma, que colisionaron episódicamente entre los 530 y 430 Ma atrás, formando lo que es actualmente gran parte del sur de Brasil, Uruguay y centro y norte de Argentina y Chile. El sur de la Patagonia y la Península Antártica se anexaron al resto de Sudamérica en forma tardía, en una colisión continental ocurrida a los 335-314 Ma, en el período Carbonífero.

Referencias

- [1] R.L. Rudnick. & S. Gao, Composition of the continental crust. En: Treatise on Geochemistry, vol. 3, pp.1-64 H.D. Holland & K.K. Turekian (Editores), Elsevier, Amsterdam, 2005.
- [2] B.C. Storey, Nature 377, 301 (1995).
- [3] I.H. Campbell & S.R. Taylor, Geoph. Res. Lett. 10, 1061 (1983).
- [4] D.O. Froude, T.R. Ireland, P.D. Kinni, I.S. Williams, & W. Compston, *Nature* 304, 616 (1983).
- [5] P. Kearey & F.J. Vine, Global Tectonics. Blackwell, London, 1990.
- [6] L.A. Hartmann, N. Campal, J.O.S. Santos, N.J. McNaughton, J. Bossi, A. Schipilov, & J. Lafon, J. South Amer. Earth Sci. 14, 557 (2001).

- [7] L.A. Hartmann, J.O.S. Santos, C.A. Cingolani & N.J. McNaughton, *Internat. Geol. Rev.* 44, 528 (2002).
- [8] C.W. Rapela, R.J. Pankhurst, C. Casquet, C.M. Fanning, E.G. Baldo, J.M. González-Casado, C. Galindo & J.A. Dahlquist, Earth Sci. Rev. 8, 49 (2007).
- [9] I.S. Williams, Rev. Econom. Geol. 7, 1 (1998).
- [10] C.W. Rapela, R.J. Pankhurst, C. Casquet, E. Baldo, C. Galindo, C.M. Fanning, & J.A. Dahlquist, J. South Amer. Earth Sci., enviado.
- [11] C.W. Rapela, R.J. Pankhurst, C. Casquet, E. Baldo, J. Saavedra, C. Galindo & C.M. Fanning, The Pampean Orogeny of the southern proto-Andes: evidence for Cambrian continental collision in the Sierras de Córdoba. En: The Proto-Andean Margin of Gondwana. R.J. Pankhurst & C.W. Rapella (Editores). Special Publication N° 142, Geological Society of London, pp. 181-217, 1998.
- [12] W.A. Thomas & R.A. Astini, Science 273 (5276), 752 (1996).
- [13] R.J. Pankhurst & C.W. Rapela, Earth Planet. Sci. Lett. 134, 23 (1995).
- [14] V.A. Ramos, IX Congreso Geológico Argentino, San Carlos de Bariloche, Actas 2, pp. 311-325 (1984).
- 15] R.J. Pankhurst, C.W. Rapela, C.M Fanning & M. Márquez, Earth Sci. Rev. 76, 235 (2006).

Trabajo recibido el 27 de marzo de 2009. Aceptado el 30 de abril de 2009.