

## ESTUDIOS ISOTOPICOS EN CARBONATOS MARINOS DEL TERRENO PRECORDILLERA-CUYANIA: ¿PLATAFORMA COMUN EN EL NEOPROTEROZOICO-PALEOZOICO INFERIOR?

*Maximiliano NAIPAUER<sup>1</sup>, Carlos A. CINGOLANI<sup>2</sup>, Susana VALENCIO<sup>3</sup> †,  
Farid CHEMALE Jr.<sup>4</sup> y Graciela I. VUJOVICH<sup>5</sup>*

<sup>1</sup>Laboratorio de Tectónica Andina (Universidad de Buenos Aires). Becario Fundación YPF, E-mail: maxinaipauer@gl.fcen.uba.ar

<sup>2</sup>Centro de Investigaciones Geológicas (UNLP), CONICET, calle 1 n. 644, 1900-La Plata, E-mail: ccingola@cig.museo.unlp.edu.ar

<sup>3</sup>Instituto de Geocronología y Geología Isotópica (INGEIS), Buenos Aires.

<sup>4</sup>Laboratorio de Geología Isotópica, Universidad Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.

<sup>5</sup>Laboratorio de Tectónica Andina (Universidad de Buenos Aires), CONICET.

**Resumen:** El presente trabajo comprende estudios sobre isótopos estables (carbono y oxígeno), Sr natural ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ),  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  y Sm/Nd aplicados sobre rocas esencialmente carbonáticas aflorantes en el terreno Precordillera-Cuyania del oeste argentino. Las rocas analizadas son metacarbonatos, mármoles y metamargas aflorantes en la sierra de Pie de Palo (Grupo Cauçete), en el cerro Salinas y en la sierra de La Huerta (cerro Pan de Azúcar y Loma de las Chacras), y calizas no metamorfizadas del Cámbrico de la Precordillera Oriental de San Juan. Los datos de los isótopos del Sr obtenidos para la Caliza Angacos (Pie de Palo) están de acuerdo con los valores de la curva de variación secular para el Cámbrico Inferior alto y parte del Cámbrico Medio. Los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  para la misma unidad, se distribuyen en la curva de variación secular del C en coincidencia con las relaciones  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ . Las relaciones  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  y  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  medidas en las muestras de calizas del Miembro Juan Pobre de la Formación La Laja se ubican en el Cámbrico Medio en las curvas mencionadas y en coincidencia con su contenido fosilífero. Los carbonatos del cerro Salinas presentan relaciones  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  más altas en comparación con las de la Caliza Angacos (Pie de Palo) y en concordancia con el lapso de la curva del Cámbrico Medio alto al Cámbrico Superior. Este incremento en la relación isotópica del Sr está acompañado por un enriquecimiento en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$ , que se ubican en el tramo más joven del Cámbrico Superior en la curva de variación secular del C en el agua de mar, marcando según varios autores, el inicio de una excursión isotópica positiva de carácter global. La isocrona  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  calculada para carbonatos del cerro Salinas, sugiere una edad comprendida entre el Neoproterozoico y el Cámbrico por su margen de error importante. Por el hallazgo de estromatolitos y la composición isotópica del Sr esta unidad del cerro Salinas podría tener correlación con la Formación La Flecha del Cámbrico Superior de la Precordillera. Las edades modelo Sm/Nd ( $T_{\text{DM}}$ ) calculadas para los niveles silicoclásticos intercalados en el Miembro Soldano de la Formación La Laja, son coincidentes con las obtenidas en la Caliza Angacos. Esto sugiere que el área de procedencia para la Caliza Angacos y las unidades del Cámbrico Inferior alto de la Precordillera fue similar. Las rocas madres de estos sedimentos tienen como característica la presencia de dos picos bien diferenciados de edades modelo, uno Paleoproterozoico (1,7 Ga) y otro Mesoproterozoico (1,5 Ga). Las evidencias isotópicas apoyan la hipótesis que los carbonatos analizados podrían haber formado parte de una plataforma carbonática común para los tiempos cámbricos, registrando profundización de la cuenca y aumento progresivo del metamorfismo en dirección este.

**Recibido:** 25 de febrero de 2005 - **Aceptado:** 14 de octubre de 2005

† *Dedicamos este trabajo a la memoria de Susana Valencio, cuyo lamentado fallecimiento se produjo cuando el mismo se encontraba en edición final.*

## EXTENDED ABSTRACT

### *Isotopic studies on marine carbonates from Argentine Precordillera-Cuyania Terrane: A common platform during Neoproterozoic-Lower Paleozoic?*

The studies based on systematic isotope variations in carbonate rocks are valuable tools to understand the evolution of marine sedimentary basins, especially those developed during a key Earth history time such as the Neoproterozoic-Lower Paleozoic, interval from which fossil register is incomplete. The isotopic data allow to gather important information about sedimentation-diagenetic ages, metamorphic events, tecto-sedimentary paleoenvironments evolution, sedimentary provenance and source areas. In particular, determining the Sr and C isotopic rate in non-fossiliferous carbonates is very important because it provides the precipitation age indirectly and can be applied for stratigraphic correlation in local and regional scale as well. On the other hand, the Sm-Nd isotope ratios on sedimentary rocks are useful because they allow learning about the basement type rocks of the basin and the possible source regions.

The present contribution reports stable isotope studies (C and O), natural  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ,  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  and Sm-Nd ratios obtained on carbonate rocks outcropping in the Precordillera-Cuyania terrane (Astini *et al.*, 1995; Ramos *et al.*, 1998) from western Argentina. The main object of this work is to increase the isotopic database about low metamorphic carbonates that crop out in the Western Sierras Pampeanas, assigned by several authors as Neoproterozoic-Lower Paleozoic units, and furthermore, we compare the obtained results with well known fossiliferous Cambrian limestones from the Eastern Precordillera.

The analysed rocks are non-fossiliferous meta-limestones, marbles, and meta-marls of the Cauçete Group (Sierra de Pie de Palo); carbonates with low metamorphism outcrop in Cerro Salinas and Sierra de la Huerta (Pan de Azúcar and Loma de las Chacras). For comparison, Cambrian fossiliferous limestones (no metamorphic) were studied from La Laja Formation (Sierra Chica de Zonda, Precordillera of San Juan).

Sr isotopic data from Caliza Angacos (Sierra de Pie de Palo) are in agreement with the published secular variation curve for the Lower Cambrian and partially Middle Cambrian. The  $\delta^{13}\text{C}$  values for the same unit are spread in the C secular variation curve in coincidence with the  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios (Fig. 10).  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$

and  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios obtained from samples from Juan Pobre Member of La Laja Formation are positioned on the Middle Cambrian interval in agreement with their fossiliferous content (Fig. 10). The Cerro Salinas carbonates show higher  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios in comparison with the Caliza Angacos (Sierra de Pie de Palo) and in concordance with the Late Middle Cambrian to Upper Cambrian isotopic curve (Fig. 10). The increasing Sr isotope ratios are positioned on the youngest sector of the Upper Cambrian on the secular variation curve for sea-water. This event is in concordant with the isotopic global positive excursion (Montañez *et al.*, 2000). The  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  isochrone, obtained for the limestones of Cerro Salinas, suggests an age on the boundary of Neoproterozoic and Cambrian time. The presence of stromatolites and the isotopic Sr composition on the Cerro Salinas carbonate unit could be correlated with the La Flecha Formation (Upper Cambrian of Precordillera).

Nd model ages ( $T_{\text{DM}}$ ) measured for the siliciclastic levels intercalated in the Soldano Member (La Laja Formation) are coincident with the Caliza Angacos (Pie de Palo). This suggests that the provenance area for this formation and the fossiliferous Lower Cambrian units from Eastern Precordillera are similar. In the frequency diagram (Fig. 9) the source rocks from these sediments present two well differentiated populations for the Nd model ages: Paleoproterozoic (1.7 Ga) and Mesoproterozoic (1.5 Ga).

Isotopic evidences allow us to interpret that the marine carbonates analyzed in this work could be part of the common carbonate platform during Cambrian times, registering deeper water sedimentary conditions and increasing metamorphism towards the East.

**Palabras clave:** Isótopos, carbonatos, terreno Precordillera-Cuyania, Neoproterozoico, Paleozoico Inferior.

**Keywords:** Isotopes, carbonates, Argentine Precordillera-Cuyania terrane, Neoproterozoic, Lower Paleozoic.

## INTRODUCCION

Los estudios basados en las variaciones sistemáticas de las composiciones isotópicas de elementos presentes en las rocas carbonáticas constituyen herramientas importantes para el análisis de la evolución de cuencas sedimentarias marinas, especialmente desarrolladas durante el lapso clave en la historia de la Tierra como es el Neoproterozoico-Paleozoico Inferior. Los datos isotópicos aportan información valiosa sobre posible edad de sedimentación-diagénesis, desarrollo de

eventos metamórficos, características de ambientes tectono-sedimentarios, procedencia del material y definición de áreas fuente.

Particularmente, la determinación de las relaciones isotópicas del estroncio (Sr), carbono (C) y oxígeno (O) en rocas carbonáticas permite consignar en forma indirecta su edad y realizar comparaciones estratigráficas, tanto a nivel local como regional, razón por la cual se utilizan frecuentemente en secuencias no fosilíferas. La edad, según lo expresado, se obtiene por intermedio de curvas de variación isotópica de dichos elementos en el agua de mar, que fueron construidas y calibradas utilizando numerosos análisis isotópicos realizados sobre secuencias bio-cronoestratigráficamente bien datadas a lo largo del registro geológico. Para el Fanerozoico estas curvas han sido compiladas y estudiadas entre otros por Burke *et al.* (1982), Popp *et al.* (1986), Veizer *et al.* (1997, 1999), Denison *et al.* (1998) y Montañez *et al.* (1996, 2000). Más recientemente se publicaron nuevos aportes basados en las variaciones isotópicas de Sr (Jacobsen y Kaufman, 1999; Melezhik *et al.*, 2001) y C (Kaufman y Knoll, 1995) para el Neoproterozoico. Para éste momento, es conocido el limitado control bioestratigráfico existente, por lo que la quimioestratigrafía resulta una de las metodologías alternativas más apropiadas para su estudio (Kawashita, 1996 y referencias).

Las variaciones en la relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  en el agua de mar desde el Neoproterozoico hasta la actualidad (Burke *et al.*, 1982) se atribuyen principalmente a las fluctuaciones en la tasa de erosión y el aporte sedimentario desde las áreas continentales hacia las cuencas oceánicas. Los intervalos con altas relaciones de Sr corresponden a los momentos donde son importantes las colisiones continentales y orogénesis (Derry *et al.*, 1994), mientras que las bajas relaciones son controladas por la actividad volcánica en los océanos y en mucho menor medida por la extensión de afloramientos basálticos en los continentes (Denison *et al.*, 1998). Sin embargo, la vinculación precisa entre orogénesis, erosión, aporte de sedimentos y los cambios isotópicos en el agua de mar no es todavía bien conocida.

Las variaciones en la relación isotópica del carbono en el agua de mar (Kaufman y Knoll, 1995; Veizer *et al.*, 1999; Jenkyns *et al.*, 2002) se basan en el fraccionamiento isotópico asociado con la partición del reservorio global del carbono entre el reducido (carbono orgánico) y el oxidado (carbonato-bicarbonato-dióxido de carbono) debido a erosión continental, tasas de sedimentación global, productividad primaria, enterra-

miento del carbono orgánico y circulación oceánica. Los cambios en la relación isotópica del oxígeno (Podlaha *et al.*, 1998; Jacobsen y Kaufman, 1999) están relacionados con el fraccionamiento isotópico asociado con variaciones en las temperaturas y en el balance evaporación-precipitación en el agua oceánica.

Por otro lado, los estudios basados en isótopos del Nd en rocas sedimentarias brindan información acerca del basamento donde se formó la cuenca y las posibles áreas de aporte. Las edades modelo Sm/Nd ( $T_{\text{DM}}$ ) reflejan el momento de la extracción del manto del protolito original y pueden resultar características de las distintas áreas fuente de aporte sedimentario a la cuenca, permitiendo utilizar los datos en estudios de procedencia. Los valores  $T_{\text{DM}}$  también son valiosos para acotar las edades máximas de sedimentación y de residencia crustal (DePaolo, 1981).

Un control cronológico adicional en rocas carbonáticas puede realizarse mediante el método  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  (roca total, isocrona). Las edades así obtenidas se deben interpretar en el contexto general de información isotópica, pudiendo representar la edad de sedimentación o el evento diagenético-metamórfico que ha modificado el sistema (Babinsky *et al.*, 1995).

Teniendo en cuenta lo anteriormente expresado, el presente trabajo comprende estudios sobre isótopos estables (carbono y oxígeno), Sr natural ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ),  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  y Sm/Nd analizados sobre rocas esencialmente carbonáticas aflorantes en el terreno Precordillera-Cuyania del oeste argentino. El objetivo es ampliar la caracterización isotópica de las rocas calcáreas de bajo grado metamórfico que afloran en algunos sectores de las Sierras Pampeanas Occidentales, asignadas por distintos autores al lapso Proterozoico Superior-Paleozoico Inferior, comparando los resultados con los correspondientes a los carbonatos fosilíferos cámbricos de la Precordillera. Esto permite aportar nueva información para el conocimiento paleogeográfico del terreno mencionado en el contexto de la evolución del margen proto-Andino.

## UNIDADES ESTUDIADAS

Las rocas analizadas en este trabajo son metacarbonatos, mármoles y metamargas aflorantes en la sierra de Pie de Palo (Grupo Caucete), en el cerro Salinas y en la sierra de La Huerta (cerro Pan de Azúcar y Loma de las Chacras), y calizas no metamorizadas del Cámbrico de la Precordillera Oriental de San Juan. Los resultados obtenidos se discuten en el contexto regional con los valores publicados por Linares *et al.* (1982) y

Sial *et al.* (2001, 2003) en las Formaciones La Laja y La Flecha y en el Grupo Cauçete; con los presentados por Galindo *et al.* (2004) para la secuencia metasedimentaria Difunta Correa, Grupo Cauçete y en calizas cambro-ordovícicas de Precordillera, con los obtenidos por Varela *et al.* (2001) para los carbonatos de la sierra de Umango y con los valores publicados por Buggisch *et al.* (2003) para calizas de la Precordillera (Fig. 1).

## CONTEXTO GEOLOGICO

Las Sierras Pampeanas están constituidas esencialmente por un complejo ígneo–metamórfico aflorante en el centro-oeste de la Argentina, conformando el denominado antepaís andino. Su estructura se caracteriza por grandes bloques limitados por fallas inversas de alto ángulo que se horizontalizan en profundidad (González Bonorino, 1950). Caminos (1979) distinguió, entre otras, dos importantes fajas por sus características litológicas, estructurales y tectónicas a las que denominó Sierras Pampeanas Orientales y Occidentales respectivamente. En estas últimas afloran metamorfitas de medio a alto grado con edades del Mesoproterozoico (ca. 900 a 1200 Ma) y en contacto tectónico o superpuestas metasedimentitas de bajo a medio grado de metamorfismo, objetivo de este estudio. Estas derivan principalmente de protolitos carbonáticos y silicoclásticos y son asignadas por diversos autores al Neoproterozoico-Paleozoico Inferior.

Por su parte la Precordillera fue definida como una cadena plegada y corrida caracterizada por el registro sedimentario fosilífero del Paleozoico Inferior y Medio. Limita al este con las Sierras Pampeanas Occidentales y al oeste con la Cordillera Frontal.

Cabe consignar que gran parte de las Sierras Pampeanas Occidentales (Sierras de Umango-Maz, Pie de Palo, Barboza, Valdivia y Salinas) y la Precordillera, con su extensión al sur en los Bloques de San Rafael y Las Matras, conforman el terreno Precordillera (Astini *et al.*, 1995) o terreno compuesto Cuyania (Ramos, 1995; Ramos *et al.*, 1998). Este terreno Precordillera-Cuyania, desarrollado en el segmento de actual subducción subhorizontal de la placa de Nazca, ha sido representado en diversos modelos como alóctono de derivación lauréntica (Dalla Salda *et al.*, 1992; Ramos, 1995; Astini *et al.*, 1995) o parautóctono de origen gondwánico (Aceñolaza *et al.*, 2002). En ambos casos se habría amalgamado al margen proto-Andino de Gondwana en el Paleozoico Inferior durante la Orogenia Famatiniana, constituyendo así una pieza clave para las recons-

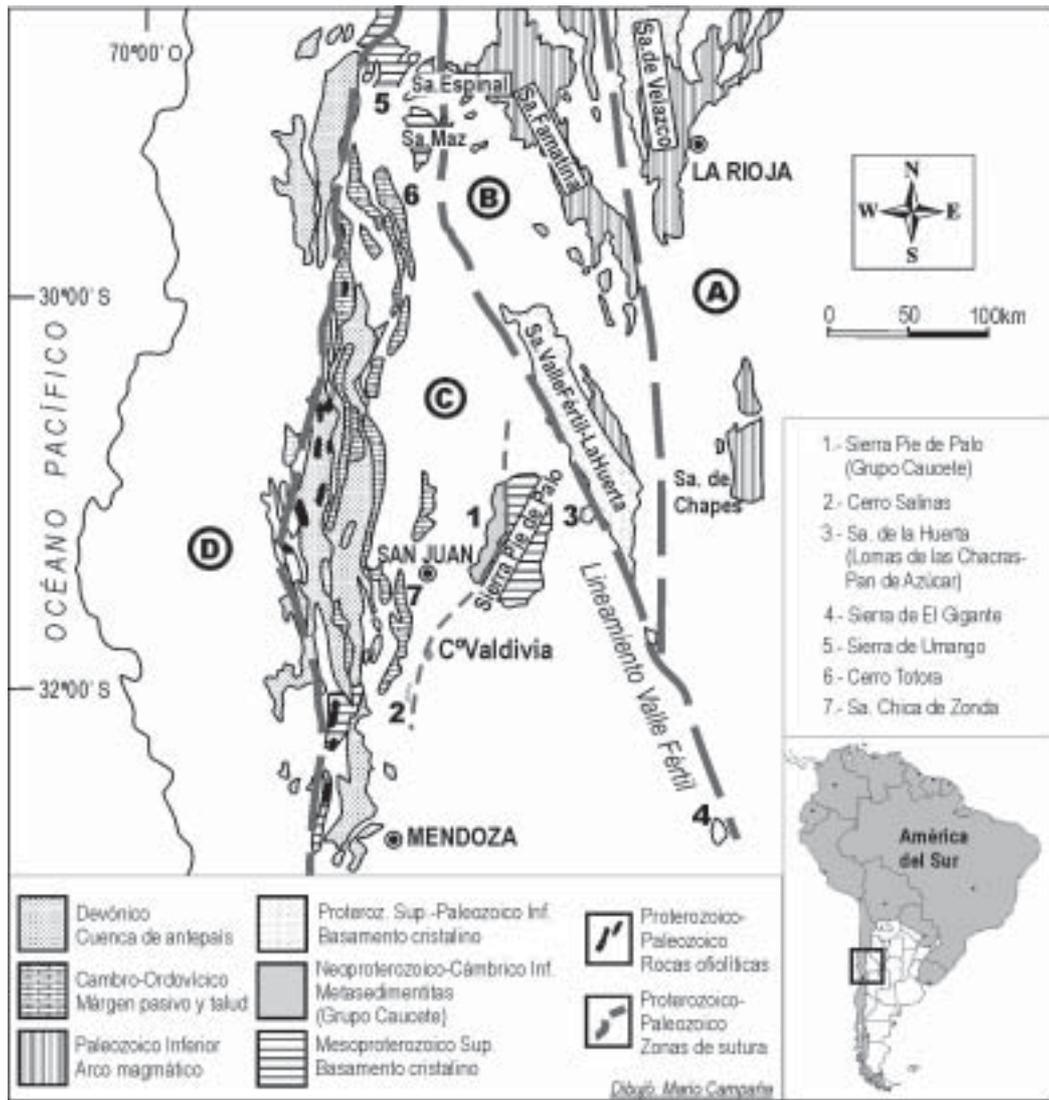
trucciones paleogeográficas.

## CARBONATOS DEL TERRENO PRECORDILLERA-CUYANIA

### Caliza Angacos (Sierra de Pie de Palo)

La sierra de Pie de Palo está ubicada al noreste de la ciudad de San Juan (Fig. 1) entre los valles del Bermejo y Tulum. Constituye uno de los asomos marginales hacia el oeste de las sierras Pampeanas Occidentales. Presenta un basamento denominado Complejo Pie de Palo (Ramos y Vujovich, 2000), que se caracteriza por rocas de medio a alto grado metamórfico y con una edad que varía entre 1,0 y 1,2 Ga (Vujovich *et al.*, 2004 y referencias). En el sector sudoccidental aflora la unidad metasedimentaria Difunta Correa definida por Baldo *et al.* (1998) de edad neoproterozoica (Galindo *et al.*, 2004) y en el flanco occidental una secuencia silicoclástica-carbonática de bajo grado metamórfico denominada Grupo Cauçete (Borrello, 1969) y con una edad máxima de sedimentación de ca. 670 Ma dada por la datación de circones detríticos de rocas silicoclásticas (Van Staal *et al.*, 2002; Vujovich *et al.*, 2004). La unidad Difunta Correa se ubica en forma discordante sobre el Complejo Pie de Palo (Galindo *et al.*, 2004), mientras que con el Grupo Cauçete el contacto es tectónico (Schiller, 1912). Esta relevante estructura aflorante en el flanco occidental de la Sierra de Pie de Palo, fue denominada posteriormente como Corrimiento Las Pirquitas por Vujovich y Ramos (1994) (Fig. 2).

Las asociaciones metamórficas distinguidas en el Grupo Cauçete permiten ubicarlo dentro de la facies de esquistos verdes (Ramos y Vujovich, 2000). Según Castro de Machuca (1984) y Dalla Salda y Varela (1984) corresponderían a subfacies cuarzo-albita-epidoto-biotita, con un pico térmico en el grado granate. El Grupo Cauçete fue definido por Borrello (1969) en el sector sudoccidental de la sierra de Pie de Palo para integrar de base a techo las unidades: Esquistos Puntilla Blanca, Formación Angacos, Cuarcita El Quemado y Formación Pie de Palo. Este autor lo asignó al Infracámbrico y perteneciente al ciclo geosinclinal «Protoídico». Más tarde, Dalla Salda y Varela (1984) agruparon estas rocas en la Metamorfitita Cauçete. Recientemente, Vujovich (2003) sobre la base de nuevos mapeos, redefinió este grupo que quedó así integrado de base a techo por las unidades: Cuarcita El Quemado, Formación La Paz, Formación El Desecho y Caliza Angacos. En ningún sector se encuentra expuesta la base del Grupo Cauçete.



**Figura 1.** Bosquejo geotectónico con las distribución de terrenos en el centro de Argentina-Chile: A: Pampia; B: Famatina; C: Precordillera-Cuyania; D: Chilenia; C y D: Occidentalía (Basado en Dalla Salda *et al.*, 1992; Ramos, 1995; Astini *et al.*, 1995; Ramos *et al.*, 1998).

**Figure 1.** Geotectonic sketch map with terrane distribution in Argentina-Chile: A: Pampia; B: Famatina; C: Precordillera-Cuyania; D: Chilenia; C y D: Occidentalía (Basado en Dalla Salda *et al.*, 1992; Ramos, 1995; Astini *et al.*, 1995; Ramos *et al.*, 1998).

Nuestros estudios se focalizaron en la Caliza Angacos, que como fuera expresado, pasó a constituir la unidad de menor edad relativa del grupo. Está compuesta por carbonatos transformados en esquistos calcáreos, filitas y mármoles calcáreo-dolomíticos con un fenómeno de cataclasis sobrepuesto producto de la deformación que afectó la zona (Fig. 3). Los afloramientos más importantes comienzan a partir de la quebrada de El Gato (Fig. 2) y se extienden hacia el sector sudoccidental de la sierra. Dalla Salda y Varela (1984) mencionan que los mármoles y esquistos calcáreos forman fajas de espesores variables y que

alcanzan una potencia máxima de 200 m en la quebrada Ancha de la Puntilla (Fig. 2). La composición mineralógica varía desde rocas mayoritariamente conformadas por calcita y/o dolomita, hasta variedades donde el cuarzo, los feldspatos, la muscovita y la biotita se hacen abundantes. El protolito ha sido interpretado por Ramos y Vujovich (2000) como derivado de una roca sedimentaria carbonática-margosa.

En estos carbonatos se pueden observar fajas o zonas donde la deformación y el metamorfismo no han sido intensos y se han preservado algunas estructuras primarias. En la quebrada La Lichona (Fig. 2) la estruc-



**Figura 2.** Ubicación con los lugares de muestreo. Se pueden distinguir la sierra de Pie de Palo y el cerro Salinas, pertenecientes a las Sierras Pampeanas Occidentales y las sierras Chica de Zonda y Villicum de la Precordillera Oriental. (1) Qda. Ancha de la Puntilla; (2) Qda. La Lichona; (3) Qda. Piedras Pintadas; (4) Qda. La Petaca; (5) Qda del Gato; (6) Qda. Grande del Molle; (7) Qda. El Quemado y (8) Qda. Las Pirquitas.

**Figure 2.** Localization of study samples on sierra de Pie de Palo, included in the Western Sierras Pampeanas and the Chica de Zonda and Villicum ranges from the Eastern Precordillera. (1) Qda. Ancha de la Puntilla; (2) Qda. La Lichona; (3) Qda. Piedras Pintadas; (4) Qda. La Petaca; (5) Qda del Gato; (6) Qda. Grande del Molle; (7) Qda. El Quemado and (8) Qda. Las Pirquitas.

tura dominante en los carbonatos estudiados es la alternancia rítmica de láminas entre 30 y 2 mm de espesor. Esta laminación fina (So) forma bandas de colores oscuros con otras más amarillentas correspondientes a pares de calcita-dolomita (Fig. 4). Esto es frecuente en secuencias de carbonatos pelágicos (Scholle *et al.*, 1983) o al menos depositados por debajo de la base de óndulas de tormenta. Gaucher (2000) describen ritmitas compuestas por calcita-dolomita en el Grupo Arroyo del Soldado (Vendiano) de Uruguay y

las interpretan como una alternancia entre sedimentación de base dolomítica, de aguas calmas, y eventos tempestíticos calcáreos. Cabe destacar que es en este sector donde fueron encontrados icnogéneros (*Gordia*, *Didymaulichnus*) asignados al Vendiano-Tommotiano por Bordonaro *et al.* (1992).

Todavía la edad precisa de la Caliza Angacos es motivo de discusión en virtud de la ausencia de fósiles diagnósticos y/o de relaciones estratigráficas que permitan asignarle una ubicación cronoestratigráfica precisa (Tabla 1). En los estudios pioneros realizados por Schiller (1912) y también por Groeber (1948), se correlacionó la secuencia calcárea de Pie de Palo con las rocas carbonáticas de la Precordillera, asignándolas en conjunto al Paleozoico Inferior.

Linares *et al.* (1982), sobre la base del primer estudio con isótopos estables del carbono y oxígeno, llegaron a la conclusión que las rocas carbonáticas del Grupo Cauçete (Pie de Palo) poseen un origen similar a las calizas del Cámbrico de la Formación La Laja en la Precordillera. En una reciente contribución, Galindo *et al.* (2004) consideraron al Grupo Cauçete como equivalente a la plataforma carbonática cámbrica de Precordillera, teniendo en cuenta los valores isotópicos de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{18}\text{O}$ , coincidiendo en este sentido con las interpretaciones previas de Linares *et al.* (1982). Las diversas opiniones sobre asignaciones de edad al Grupo Cauçete se resumen en la tabla 1.

### Carbonatos del Cerro Salinas

El cerro Salinas, aislado entre sedimentitas ceno-



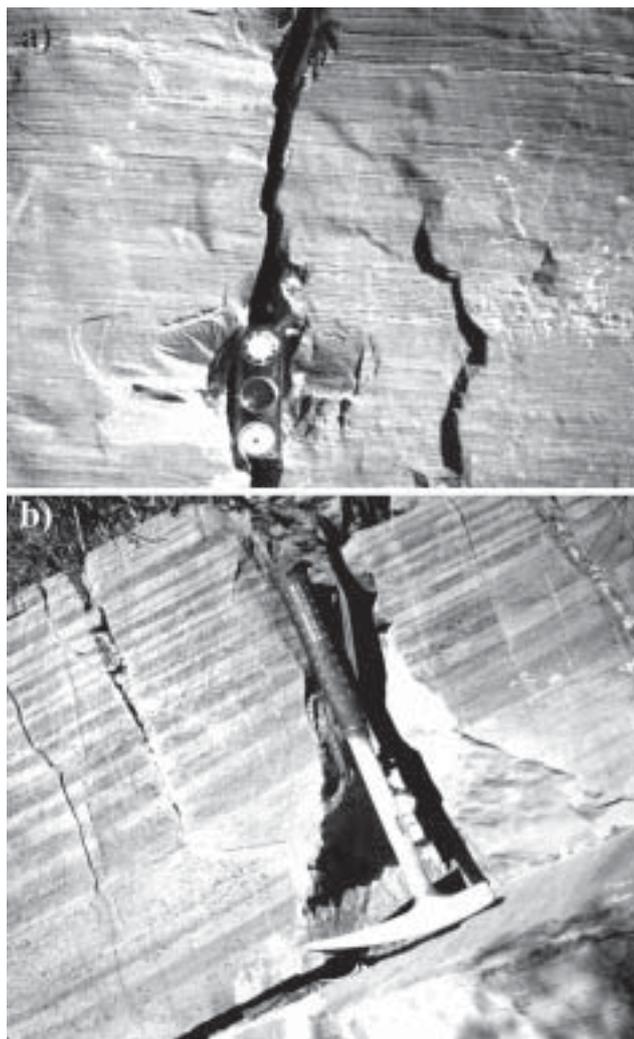
**Figura 3.** Deformación y desarrollo de pliegues isoclinales apretados en la Caliza Angacos. Quebrada La Petaca (sierra de Pie de Palo). **Figure 3.** Isoclinal folding deformation in the Caliza Angacos. Quebrada La Petaca (sierra de Pie de Palo).

zoicas, está ubicado en el límite entre las provincias de Mendoza y San Juan, 80 km al sudoeste de la sierra de Pie de Palo (Fig. 1). Los primeros estudios de reconocimiento geológico fueron realizados por Stappenbeck (1910). Posteriormente Mauri (1943), en un levantamiento geológico detallado, describió dos unidades metamórficas principales: una compuesta por calizas grises y otra formada por esquistos o metasedimentitas, con relación tectónica entre ambas. Este trabajo permitió definir que el cuerpo central del cerro Salinas se compone principalmente de tres escamas calcáreas intercaladas tectónicamente entre una secuencia de metasedimentos clásticos, presentando vergencia predominantemente occidental. Las metasedimentitas son de grano fino a medio y de tonalidades rojizas y verdosas. Las calizas de grano fino se presentan en tonos blanquecinos y grises, se disponen en fajas que pueden llegar hasta 40 m de espesor y que fueron en su momento objeto de explotación. Harrington (1971) en la descripción de la Hoja Geológica 22c - Ramblón, correlacionó las rocas calcáreo-esquistosas que aparecen en el cerro Salinas con la Formación Rinconada, que se desarrolla en las sierras Chica de Zonda y Villicum (Precordillera Oriental) y las asignó al Ordovícico. Distinto es el criterio seguido por Scanavino y Guichón (1973) al ubicar estas rocas, con evidencias de metamorfismo, en el Infracámbrico y homologarlas con la secuencia del Grupo Caucete que se expone en la sierra de Pie de Palo. Los estudios petrográficos de Llano *et al.* (1984) definieron un metamorfismo en facies de esquistos verdes para las rocas aflorantes en el cerro Salinas.

Según nuestras observaciones en los sectores donde la deformación es poco intensa, se distinguen carbonatos con una laminación muy fina de material silíceo (chert) de colores oscuros definiendo estructuras estromatolíticas que ameritan un estudio de mayor detalle (Fig. 5). Este hallazgo al menos sugiere que las calizas del cerro Salinas, registran un ambiente de sedimentación intertidal y de menor profundidad que lo observado en la Caliza Angacos aflorante en la sierra de Pie de Palo ubicada hacia el noreste.

### Carbonatos del cerro Pan de Azúcar, Loma de las Chacras y sierras de Umango y El Gigante

En la Loma de Las Chacras (Fig. 1) afloran una serie de fajas de rocas calcáreas orientadas norte-sur que Bastías *et al.* (1984) describieron como calizas intercaladas tectónicamente con metamorfitas y que relacionan, por sus aspectos litológicos, con los carbonatos cambro-



**Figura 4.** Caliza Angacos, sector sur de la sierra de Pie de Palo: a) y b) Carbonatos con escasa deformación donde es posible distinguir ritmitas compuestas por la intercalación de calcita y dolomita. Quebrada La Lichona.

**Figure 4.** Caliza Angacos, Southern sector of the sierra de Pie de Palo: a) and b) Less deformed carbonates, which show rhythmites composed by calcite-dolomite intercalations Quebrada La Lichona.

ordovícicos de la margen oriental de la Precordillera. Por otra parte, Vujovich (1995) definió el Mármol Pan de Azúcar para agrupar a este conjunto de rocas calcáreas junto con cuarcitas y esquistos micáceos miloníticos con metamorfismo de bajo grado. Ramos y Vujovich (2000) lo correlacionaron con los metasedimentos del Grupo Caucete. Castro de Machuca *et al.* (2002), sobre la base de un mapeo detallado de la zona del cerro Pan de Azúcar (Fig. 1), describen una secuencia carbonática integrada por calizas masivas de grano muy fino, con aspecto paquidérmico, presencia de nódulos

Autor	Unidades	Edad	Fundamentos
Schiller (1912)	Describió una sucesión siliciclástica-carbonática en la quebrada La Petaca, sierra de Pie de Palo.	Paleozoico inferior.	Correlación con las calizas paleozoicas de Precordillera por su semejanza litológica.
Groeber (1948)	Calizas de la sierra de Pie de Palo.	Cambro-Ordovícico.	Correlación con la plataforma cambro-ordovícica de la Precordillera, por su litología similar.
Borrello (1969)	Definió el Grupo Caucete para agrupar las rocas silicico-carbonáticas.	Infracámbrico (ciclo Protoídico).	Esquema geosinclinal.
Dalla Salda y Varela (1982)	Calizas del sector sur de la sierra de Pie de Palo (Metamorfita Caucete).	Desde los 850 Ma hasta el Paleozoico inferior.	Por el estudio de fases de deformación.
Linares <i>et al.</i> (1982)	Calizas del Grupo Caucete.	Eopaleozoicas.	Estudios isotópicos de C y O, correlación con datos de Precordillera.
Bordonaro <i>et al.</i> (1992)	Caliza Angacos, sector sur de la sierra de Pie de Palo. Qda. Piedras Pintadas.	Vendiano - Tommotiano.	Icnofósiles. Correlación con la Formación Puncoviscana del noroeste argentino.
Abbruzzi (1994)	Grupo Caucete.	Cámbrico Inferior (?).	Relación inicial de $Sr^{87}/Sr^{86}$ y $^{13}C/^{14}C$ .
Sial <i>et al.</i> (2001)	Caliza Angacos.	Cámbrico.	Estudios de Sr natural, C y O.
Vujovich <i>et al.</i> (2004)	Cuarcita El Quemado.	Edad máxima de depositación ca. 670 Ma.	Edades U/Pb en circones detríticos.
Galindo <i>et al.</i> (2004)	Carbonatos del Grupo Caucete.	Cámbrico.	Isótopos del Sr, C y O. Correlación isotópica con la Precordillera.

**Tabla 1.** Fundamentos de las edades asignadas a las unidades del Grupo Caucete.

**Table 1.** Main ages assigned for the Caucete Group units.

de pedernal y estructuras de tipo estromatolíticas. Los autores sugieren en función de estos hallazgos una correlación entre la secuencia carbonática del cerro Pan de Azúcar y las calizas de la Formación La Flecha de la Precordillera de edad cámbrica superior. Galindo *et al.* (2004) mencionan que no es segura una correlación entre los carbonatos del cerro Pan de Azúcar y los del Grupo Caucete sobre la base de los valores isotópicos de Sr obtenidos en ambas unidades.

Por su parte, en la sierra de Umango (Fig. 1), provincia de La Rioja y hacia el extremo norte del terreno Precordillera, se expone una sucesión de esquistos y mármoles con rocas anfíbolíticas intercaladas. El estudio de la composición isotópica del Sr y C realizado sobre los mármoles por Varela *et al.* (2001), permitió asignarle una edad neoproterozoica y es correlacionada

con la unidad metasedimentaria Difunta Correa de la sierra de Pie de Palo por Galindo *et al.* (2004).

El último asomo a considerar con rocas carbonáticas lo conforma la sierra de El Gigante (Fig. 1) en la provincia de San Luis (Gardini y Dalla Salda, 1997). Constituye éste un bloque aislado de basamento metamórfico en la región austral de las Sierras Pampeanas Occidentales. Cabe destacar que Galindo *et al.* (2004) correlacionan las rocas carbonáticas allí aflorantes, con las del Grupo Caucete sobre la base de estudios isotópicos (Sr y C), en coincidencia con lo expresado por Gardini y Dalla Salda (1997).

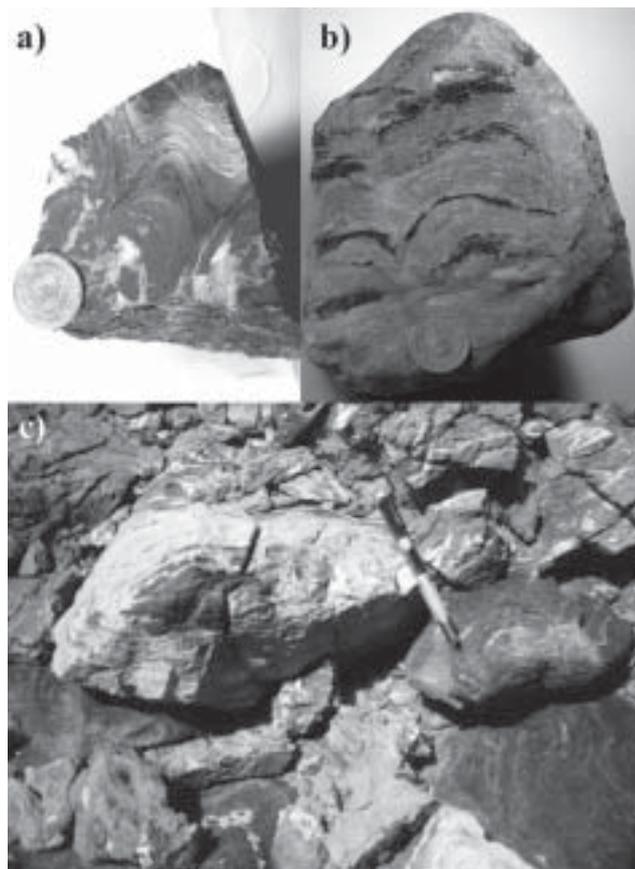
### Calizas Cambro-Ordovícicas de la Precordillera

En la Precordillera se expone una plataforma carbo-

nática con secuencias de tipo miogeoclinal (Cañas, 1999 y referencias) de edad cambro-ordovícica extendida entre las provincias de La Rioja, San Juan y Mendoza. Estos afloramientos continúan hacia el sur, como asomos saltuarios, en el Bloque de San Rafael (Bordonaro *et al.*, 1996) y en el cerro San Jorge en el Bloque de Las Matras (Melchor *et al.*, 1999), conformando en conjunto una secuencia litoestratigráfica de margen pasivo en el terreno Precordillera-Cuyania.

De particular interés resultan para los objetivos del trabajo, los asomos correspondientes al Cámbrico fosilífero. En la evolución paleogeográfica de estos depósitos carbonáticos se pueden distinguir regiones con características sedimentológicas, estratigráficas y paleontológicas bien diferentes. Bordonaro (1990, 2003) señala una zona de plataforma carbonática interna para los afloramientos de la Precordillera Oriental y Central en la provincia de San Juan, Mendoza y parte de La Rioja y otro sector de plataforma externa y talud continental con afloramientos en la Precordillera Occidental de San Juan y Mendoza. La plataforma interna está integrada por una sucesión estratigráfica predominantemente carbonática y abarca un rango cronoestratigráfico desde el Cámbrico Inferior tardío hasta el Ordovícico Inferior-Medio. Esta secuencia continua, sin base expuesta, está integrada de base a techo por las Formaciones: La Laja, Zonda, La Flecha, La Silla y culmina con la clásica unidad carbonática denominada Caliza San Juan (Arenigiano-Llanvirniano Inferior). La Formación La Laja (Caliza La Laja, Borrello, 1962, emend. Bordonaro, 1980) está distribuida a lo largo de las sierras Chica de Zonda y Villicum en la provincia de San Juan y el cerro Pedernal en la provincia de Mendoza. Es una unidad mayormente calcárea a calcárea margosa que tiene la particularidad de presentar aporte de material silicoclástico en la sección inferior. Fue subdividida en diversos miembros por Bordonaro (1980). Esta unidad contiene las clásicas zonas bioestratigráficas del Cámbrico Inferior y Medio, destacándose la presencia de la fauna de *Bonnia-Olenellus* en la sección basal y la Biozona de *Glossopleura-Kootenia* en la parte media.

La Formación Zonda (Bordonaro, 1980) está compuesta por calizas dolomíticas y dolomías con estructuras sedimentarias de ambiente poco profundo. No se han reconocido fósiles, pero su posición estratigráfica corresponde al Cámbrico Superior temprano. Por encima continúa la Formación La Flecha (Baldis y Bordonaro, 1981; Armella *et al.*, 1996) que se caracteriza por una alternancia de calizas y dolomías con chert y por poseer abundantes estructuras algales estromatolíticas



**Figura 5.** Estructuras estromatolíticas encontradas en el sector sur del cerro Salinas. a) Muestra pulida de un corte transversal a la estructura estromatolítica. b) Muestra de un estromatolito compuesto por carbonatos con intercalaciones de chert. c) Vista en planta de los estromatolitos.

**Figure 5.** Stromatolitic structures found in the southern sector of cerro Salinas. a) Transversal polished view to the stromatolitic structure. b) Stromatolitic sample composed by carbonate and interbedded cherts. c) General field stromatolitic view.

y trombolíticas que evidencian una plataforma parcialmente restringida. La edad es cámbrica superior por la presencia de trilobites (Baldis y Bordonaro, 1981; Keller *et al.*, 1994). La Formación La Silla (Keller *et al.*, 1994) está integrada por calizas con intercalaciones de dolomías laminadas, que en la base de la unidad registra fósiles del Cámbrico Superior y hacia el techo biozonas del Ordovícico Inferior. La Caliza San Juan está ampliamente desarrollada en la Precordillera Central y Oriental, su edad sobre la base de numerosas asociaciones fosilíferas y la datación de circones de las K-bentonitas que se intercalan, es asignada al Arenigiano-Llanvirniano Inferior (Keller, 1999 y referencias allí indicadas). Los estudios de facies realizados por Cañas

(1999) permitieron una precisa comparación de la evolución de la plataforma precordillerana y sectores de Laurentia (Apalaches) en el llamado Océano Iapetus del Sur.

En la Precordillera riojana, en las cercanías de Guandacol, aflora una sucesión evaporítica-dolomítica (Furque, 1972) reunida en la Formación Cerro Totora (Astini y Vaccari, 1996). Esta sucesión estaría representando los comienzos de la sedimentación cámbrica de tipo sinrift de la Precordillera (Astini *et al.*, 1995). Thomas *et al.* (2001) compararon las relaciones  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  obtenidas en las unidades evaporíticas de la Formación Cerro Totora con las de la Formación Rome del sector sureste de Laurentia y concluyeron que las relaciones isotópicas del Sr de estas unidades son similares y por ende correlacionables. También señalaron que la edad cámbrica inferior registrada por los isótopos de Sr utilizando las curvas de Denison *et al.* (1998) es coincidente con la edad bioestratigráfica portadora de fauna de *Olenellus* de ambas unidades.

Por otra parte, el ámbito de plataforma externa y talud de la Precordillera se caracteriza por no presentar a las unidades cámbricas como una sucesión continua y autóctona, sino por afloramientos aislados compuestos por olistolitos, que están emplazados como bloques resedimentados en rocas silicoclásticas ordovícicas. Es importante mencionar que la composición de los bloques es predominantemente carbonática, con algunas intercalaciones clásticas, representando facies de plataforma somera, borde de plataforma y talud superior (Bordonaro, 1999). En conjunto la unidad fue definida como Formación Los Sombreros (Cuerda *et al.*, 1985), habiendo sido subdividida posteriormente en «bloques olistolíticos» desde el río Jáchal hasta Mendoza (Bordonaro y Banching, 1996).

## MUESTREO Y TECNICAS ANALITICAS

La toma de muestras para estudios isotópicos se realizó en las sierras de Pie de Palo y Chica de Zonda, en los cerros Salinas y Pan de Azúcar y en Loma de Las Chacras (Fig. 1). En la sierra de Pie de Palo, sobre las quebradas La Petaca, El Gato, El Quemado y Las Piriquitas (Fig. 2), se tomaron 18 muestras de carbonatos pertenecientes a la Caliza Angacos para el análisis isotópico de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{18}\text{O}$  y determinación de Sm/Nd. En el sector sur del cerro Salinas, en la faja central carbonática, se colectaron 11 muestras distribuidas en un perfil de aproximadamente 20 m de espesor para analizar por isótopos del Pb,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{18}\text{O}$  y relación

Sm/Nd. Con el fin de establecer una posible correlación con los carbonatos mencionados precedentemente, se analizaron 3 muestras correspondientes a los niveles del Cámbrico Medio de la Formación La Laja, colectadas en la quebrada de Juan Pobre en la sierra Chica de Zonda y dos muestras del Mármol Pan de Azúcar, aflorantes en Loma de las Chacras y en cerro Pan de Azúcar (Figs. 1 y 2).

Para el análisis de los isótopos del Sr, las muestras se prepararon en el laboratorio del Centro de Investigaciones Geológicas (CIG) de la Universidad Nacional de La Plata. Las muestras carbonáticas (roca total) de aproximadamente 1-2 kg se colectaron en afloramientos libres de alteración, luego de remover las venas y porciones alteradas, una alícuota de cada una fue lavada, molida a grano fino y posteriormente disuelta en HCl 0.5N durante no más de 5 minutos. Luego el Sr se concentró en columnas de intercambio catiónico. Las mediciones fueron realizadas en un espectrómetro de masas con el equipo VG multicolector en el Laboratorio de Geología Isotópica de la Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brasil.

En los laboratorios del Instituto de Geocronología y Geología Isotópica (INGEIS), Buenos Aires, se determinaron las relaciones isotópicas del C y O sobre el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) liberado por ataque del carbonato con  $\text{H}_3\text{PO}_4$  100% y purificado criogénicamente de acuerdo con la técnica de McCrea (1950) y modificaciones posteriores. Las determinaciones se realizaron en un espectrómetro de masas Finnigan Mat de triple colector y se expresan como  $\delta\text{‰}$  relativas al estándar internacional V-PDB (Conchilla de Belemnitella de la Formación PeeDee de Carolina de Sur, USA). El error analítico es de  $\pm 0,1\text{‰}$  ( $\pm 2\sigma$ ) para ambos isótopos.

Los análisis de Sm/Nd (roca total) se realizaron en el Laboratorio de Geología Isotópica de la UFRGS. Una vez molidas las muestras, se agregaron trazadores (*spikes*)  $^{149}\text{Sm}$ - $^{150}\text{Nd}$  y se disolvieron en recipientes de teflón usando mezcla de HF-HNO<sub>3</sub> y 6N HCl hasta disolución completa. Se utilizaron columnas cromatográficas con resina catiónica AG-50w-X8 (200-400 mesh) para separación de REE y posteriormente se separó el Sm y el Nd usando resina aniónica HDEHP LN-B50 (100-200  $\mu\text{m}$ ). Cada muestra se secó a sólido y se cargó con  $\text{H}_3\text{PO}_4$  0,25N en filamentos de Ta-Re. Las relaciones isotópicas se midieron en modo estático con un espectrómetro VG sector 54 con multicolector. Las edades Nd de residencia crustal ( $T_{\text{DM}}$ ) se calcularon usando el modelo de DePaolo (1981).

En los análisis por el método  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  se utilizó 1

gr de muestra tratada con HCl 1N. El residuo fue lavado nuevamente con HCl 1N y se tomaron 5 ml de la solución para determinar las relaciones isotópicas. El Pb fue separado en columnas con resina aniónica con HBr 0,6N y extraído con HCl 6M. Las mediciones se realizaron en el mismo equipo mencionado precedentemente de la UFRGS. Las relaciones isotópicas de Pb fueron corregidas por un factor de fraccionamiento basado en sucesivas determinaciones del estándar NBS 981. Para el cálculo de la regresión de la isocrona fue utilizado el modelo ISOPLOT (Ludwig, 1991).

## RESULTADOS

### Análisis isotópicos de Sr, C y O.

**Señales primarias vs. secundarias:** es conocido que las relaciones isotópicas originales del  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ,  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  y  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  en las rocas carbonáticas, pueden sufrir modificaciones post-depositacionales debidas principalmente a cambios diagenéticos y metamórficos. Existen parámetros mineralógicos, químicos e isotópicos que permiten evaluar el grado de alteración que han sufrido los carbonatos en su composición isotópica primaria.

En el presente trabajo las muestras a utilizar para estratigrafía isotópica se seleccionaron en primer término de acuerdo al contenido de calcita y dolomita y posteriormente en función de la concentración de ciertos elementos como Mn, Sr y Fe, y en virtud de la abundancia de los isótopos estables del O. En el primer caso, los carbonatos se analizaron por difracción de rayos-X en el CIG utilizando un equipo Philips Pw 1011/00, 36Kv, 18mA, con tubo de Cu y filtro de Ni. Se seleccionaron sólo aquellas muestras que están compuestas por calcita en proporciones  $\geq 75\%$  (Tabla 2), evitando los posibles procesos de dolomitización.

Teniendo en cuenta que los eventos diagenéticos y metamórficos producen un aumento en el contenido de Mn y Fe y una pérdida en el Sr (Melezhik *et al.*, 2001), las relaciones Mn/Sr y Fe/Sr permiten determinar el grado e importancia de los procesos secundarios que afectaron a los carbonatos. Según Jacobsen y Kaufman (1999) las muestras con valores Mn/Sr  $\leq 0,60$  y Fe/Sr  $\leq 3,00$  no presentan indicios significativos de alteración y ese fue el criterio de selección que adoptamos en este trabajo. La determinación de los elementos mencionados, se realizó mediante fluorescencia de rayos-X en el INGEIS utilizando un espectrómetro Philips PW1410/50 y estándares internacionales como material de referencia. La precisión de los análisis es mejor que 2%

para Sr; 6 y 10% para concentraciones mayores y menores a 0,05% respectivamente de óxido férrico total ( $\text{Fe}_2\text{O}_{3T}$ ); 15 y 20% para abundancias mayores y menores a 0,01% respectivamente en el caso del óxido de manganeso (MnO).

La relación isotópica del oxígeno también se puede utilizar como indicadora de cambios en la composición original. Esto se debe a la elevada relación fluido/roca para este elemento, lo cual produce el re-equilibrio de la composición isotópica del oxígeno con facilidad (Kaufman y Knoll, 1995). En esta contribución descartamos para las interpretaciones aquellas muestras que presentan un valor de la  $\delta^{18}\text{O} \leq -10\text{‰}$  V-PDB.

**Caliza Angacos (Sierra de Pie de Palo):** en función de la composición mineralógica rica en calcita se seleccionaron 7 muestras de carbonatos pertenecientes a la Caliza Angacos para el análisis isotópico del C y O, 4 de las cuales se utilizaron también para determinar la relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ . Los valores obtenidos se presentan en la Tabla 2, junto con las concentraciones de Fe, Mn, Sr y las relaciones Mn/Sr y Fe/Sr.

De acuerdo con los criterios adoptados de selección de carbonatos no alterados por cambios post-depositacionales, se descartaron las muestras CaA 2, QEQ 1, ANG 3V, ANG 4V y ANG 6H, ya que presentan valores Mn/Sr y/o Fe/Sr mayores que 0,60 y 3,00 respectivamente (Fig. 6). La muestra QEQ 1 tiene además un valor de la  $\delta^{18}\text{O} < -10\text{‰}$  (Figs. 7b y 7d) y junto con la muestra CaA 2 son las que se alejan en forma más significativa del grupo de carbonatos con una composición isotópica original (Figs. 7a y 7c). Las muestras que preservan sus señales isotópicas primarias, QPir 1 y CaA 1 presentan valores de la  $\delta^{13}\text{C}$  de -0,1 y 0,3‰, mientras que sus relaciones  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  son de 0,70899 y 0,70911.

**Carbonatos del cerro Salinas:** se seleccionaron 10 muestras de acuerdo a sus bajos contenidos de dolomita (<2% en todos los casos) (Tabla 2). Si bien la totalidad de los mismos presentan relaciones Mn/Sr  $\leq 0,60$  (Fig. 6), el valor de la  $\delta^{18}\text{O}$  en las muestras CS' 1v, CS 1h y CS 3v es  $< -10\text{‰}$  (Fig. 7b) por lo que se descartaron, en virtud de que estarían indicando un cierto grado de alteración post-depositacional. Además, el carbonato CS3v tiene una relación Fe/Sr mayor que 3,00 (Fig. 6).

Los 7 carbonatos del cerro Salinas que conservan su señal isotópica original presentan relaciones  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  entre 0,70915 y 0,70945 y valores de  $\delta^{13}\text{C}$  que oscilan entre 0,6‰ y 1,5‰ (Tabla 2).

Muestra N°	Sitio de Muestreo	Lat/Long (GPS)	Calcita (%)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Sr (ppm)	Mn/Sr	Fe/Sr	( <sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr)	δ <sup>13</sup> C (V-PDB)	δ <sup>18</sup> O (V-PDB)
<i>Caliza Angacos (sierra de Pie de Palo)</i>											
Ca A 2	Qda. La Petaca	31°27'23"S/68°10'36"O	94	937	147	207	0,71	4,53	<b>0,70892</b>	<b>-0,5</b>	<b>-7,7</b>
Qp 1	Qda. Las Pirquitas	31°20'41"S/68°08'52"O	98	783	39	428	0,09	1,83	<b>0,70899</b>	<b>0,3</b>	<b>-9,5</b>
Ca A 1	Qda. La Petaca	31°26'51"S/68°11'43"O	92	280	46	193	0,24	1,45	<b>0,70911</b>	<b>-0,1</b>	<b>-8,3</b>
QEQ 1	Qda. El Quemado	31°20'58"S/68°09'17"O	96	3399	457	471	0,97	7,22	<b>0,70947</b>	<b>-1,2</b>	<b>-11,4</b>
ANG 3V	Qda. La Petaca	31°27'05"S/68°10'18"O	75	1581	77	341	0,23	4,64		<b>-0,2</b>	<b>-8,3</b>
ANG 4V	Qda. La Petaca	31°27'05"S/68°10'18"O	80	1525	85	293	0,29	5,20		<b>-0,1</b>	<b>-8,6</b>
ANG 6H	Qda. La Petaca	31°27'05"S/68°10'18"O	75	1903	77	310	0,25	6,14		<b>-0,1</b>	<b>-8,7</b>
<i>Carbonatos del cerro Salinas</i>											
CS 7 h	Extremo sur	32°11'46"S/68°40'53"O	98	231	39	201	0,19	1,15	<b>0,70915</b>	<b>0,7</b>	<b>-9,2</b>
CS 2 h	Extremo sur	32°11'46"S/68°40'53"O	98	175	62	191	0,32	0,92	<b>0,70916</b>	<b>1,2</b>	<b>-9,5</b>
CS 5 h	Extremo sur	32°11'46"S/68°40'53"O	98	196	46	202	0,23	0,97	<b>0,70921</b>	<b>0,7</b>	<b>-9,6</b>
CS' 1 v	Extremo sur	32°11'46"S/68°40'53"O	98	322	46	272	0,17	1,18	<b>0,70925</b>	<b>0,8</b>	<b>-10,5</b>
CS 6 h	Extremo sur	32°11'46"S/68°40'53"O	98	245	46	204	0,23	1,20	<b>0,70928</b>	<b>0,6</b>	<b>-9,6</b>
CS 2 v	Extremo sur	32°11'46"S/68°40'53"O	98	322	62	187	0,33	1,72	<b>0,70929</b>	<b>1,5</b>	<b>-9,9</b>
CS 3 h	Extremo sur	32°11'46"S/68°40'53"O	98	301	70	287	0,24	1,05	<b>0,70938</b>	<b>0,8</b>	<b>-9,9</b>
CS 1 v	Extremo sur	32°11'46"S/68°40'53"O	98	259	46	212	0,22	1,22	<b>0,70945</b>	<b>1,5</b>	<b>-9,9</b>
CS 1 h	Extremo sur	32°11'46"S/68°40'53"O	98	329	23	202	0,11	1,63	<b>0,70966</b>	<b>1,3</b>	<b>-10,3</b>
CS 3 v	Extremo sur	32°11'46"S/68°40'53"O	98	930	116	267	0,43	3,48	<b>0,70993</b>	<b>0,4</b>	<b>-10,3</b>
<i>Carbonatos de la Loma de las Chacras</i>											
LCh2	Loma Alta	31°13'54"S/67°30'47"O		1453	596	417	1,43	3,48		<b>-1,3</b>	<b>-19,7</b>
<i>Carbonatos del cerro Pan de Azúcar</i>											
CPA 1	Extremo norte			1252	588	511	1,15	2,45		<b>0,3</b>	<b>-18,4</b>
<i>Calizas del Miembro Juan Pobre, Formación La Laja (Precordillera)</i>											
MCM1	Qda Juan Pobre	31°33'51"S/68°42'08"O	92	1238	62	639	0,10	1,98	<b>0,70884</b>	<b>-0,3</b>	<b>-7,8</b>
MCN1	Qda. Juan Pobre	31°33'51"S/68°42'08"O	88	1637	46	719	0,26	2,28	<b>0,70896</b>	<b>0,4</b>	<b>-6,6</b>

Sr: aproximadamente ±100 relaciones isotópicas, modo estático, 1,0 V intensidad iónica y multicolector, con 86 en colector axial.  
 \*normalizado de <sup>86</sup>Sr/<sup>87</sup>Sr: 0,1194 y ajustado por bias SrCO3 NBS-987 asumido (<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr)<sub>n</sub> = 0,71025

**Tabla 2.** Composición mineralógica, geoquímica e isotópica de muestras pertenecientes a: Caliza Angacos (sierra de Pie de Palo), carbonatos del cerro Salinas, sierra de La Huerta (cerro Pan de Azúcar y Loma de Las Chacras) y calizas sin metamorfismo del Miembro Juan Pobre (Fm La Laja) de la Precordillera Oriental.

**Table 2.** Mineralogical, geochemical and isotopic composition of samples from: Caliza Angacos (sierra de Pie de Palo); cerro Salinas, sierra de La Huerta (cerro Pan de Azúcar y Loma de Las Chacras) carbonates and unmetamorphosed limestones from Juan Pobre Member (La Laja Formation), Eastern Precordillera.

**Carbonatos de la Loma de las Chacras y del cerro Pan de Azúcar:** los carbonatos estudiados en esta región, presentan valores tanto de Mn/Sr como de δ<sup>18</sup>O fuera de los límites establecidos para muestras no alteradas por procesos post-depositacionales (Tabla 2), razón por la cual no se utilizaron en las interpretaciones. Adicionalmente, la muestra LCh2 tiene una relación Fe/Sr mayor que 3,00.

**Calizas de la Formación La Laja (Miembro Juan Pobre):** con fines comparativos se analizaron tres muestras de la Formación La Laja (Miembro Juan Pobre) integrada por calizas fosilíferas del Cámbrico Medio, Biozona *Glossopleura-Kootenia*. Dos de ellas preservarían las señales isotópicas primarias de acuerdo con los parámetros de selección establecidos (Figs. 6 y 7). Los valores <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr obtenidos son de 0,70884 y

0,70896 y los de la  $\delta^{13}\text{C}$  de  $-0,3$  y  $0,4\text{‰}$  (Tabla 2).

### Sistemática $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$

Diez muestras pertenecientes a los carbonatos aflorantes en el cerro Salinas, se investigaron también mediante la sistemática  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ . Las rocas estudiadas presentan valores de  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  en un rango entre 20 y 31 (Tabla 3) y definieron una recta isocrónica  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  vs.  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  con una edad de  $546 \pm 75$  Ma (Fig. 8). El valor obtenido corresponde al límite Precámbrico-Cámbrico, pero el margen de error matemático (1s) de la recta no permite definir una mayor precisión de la edad (Cingolani *et al.*, 2003).

### Isótopos de Nd, edades $T_{\text{DM}}$

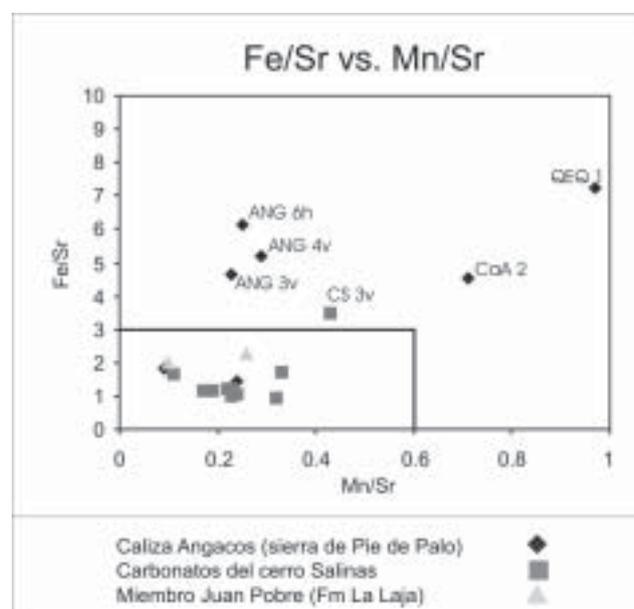
Se analizaron 5 muestras de carbonatos por Sm/Nd pertenecientes a la Caliza Angacos (Pie de Palo), las edades modelos obtenidas varían entre 1,4 y 1,7 Ga y los  $\epsilon_{\text{Nd}}$  entre  $-4,72$  y  $-7,48$ . Para los carbonatos expuestos en el cerro Salinas se estudiaron 2 muestras, las cuales arrojaron edades de 1,7 y 1,8 Ga y  $\epsilon_{\text{Nd}}$  fuertemente negativos,  $-11,04$  y  $-30,51$ . Por otro lado, se obtuvieron tres edades modelo en cuarcitas intercaladas en calizas pertenecientes al Miembro Soldano de la Formación La Laja, aflorante en el flanco oriental del cerro Marquesado. Las edades varían entre 1,3 y 1,7 Ga y los  $\epsilon_{\text{Nd}}$  entre  $-8,32$  y  $-10,90$  (Tabla 4).

## DISCUSION

Los valores obtenidos de  $\delta^{13}\text{C}$  en la Caliza Angacos (Pie de Palo) son de  $-0,1$  y  $0,3\text{‰}$  y se encuentran comprendidos dentro de los intervalos de variación presentados por Linares *et al.* (1982) de  $-2,5$  y  $1,2\text{‰}$  y Sial *et al.* (2001) de  $-1,4\text{‰}$  y  $1,3\text{‰}$  para la misma unidad. Los carbonatos del cerro Salinas muestran valores entre  $0,6$  y  $1,5\text{‰}$  y se diferencian de los anteriores por estar marcadamente más enriquecidos en  $^{13}\text{C}$ . Por el contrario, las calizas estudiadas del Miembro Juan Pobre de la Formación La Laja (Precordillera), de edad cámbrica media, registran valores ( $-0,3$  y  $0,4\text{‰}$ ) similares a los de la Caliza Angacos (Pie de Palo). Asimismo cabe destacar que Buggisch *et al.* (2003) presentan también para el Miembro Juan Pobre un intervalo de valores de  $\delta^{13}\text{C}$  entre  $-1,0$  y  $1,0\text{‰}$ , concordante con nuestros resultados.

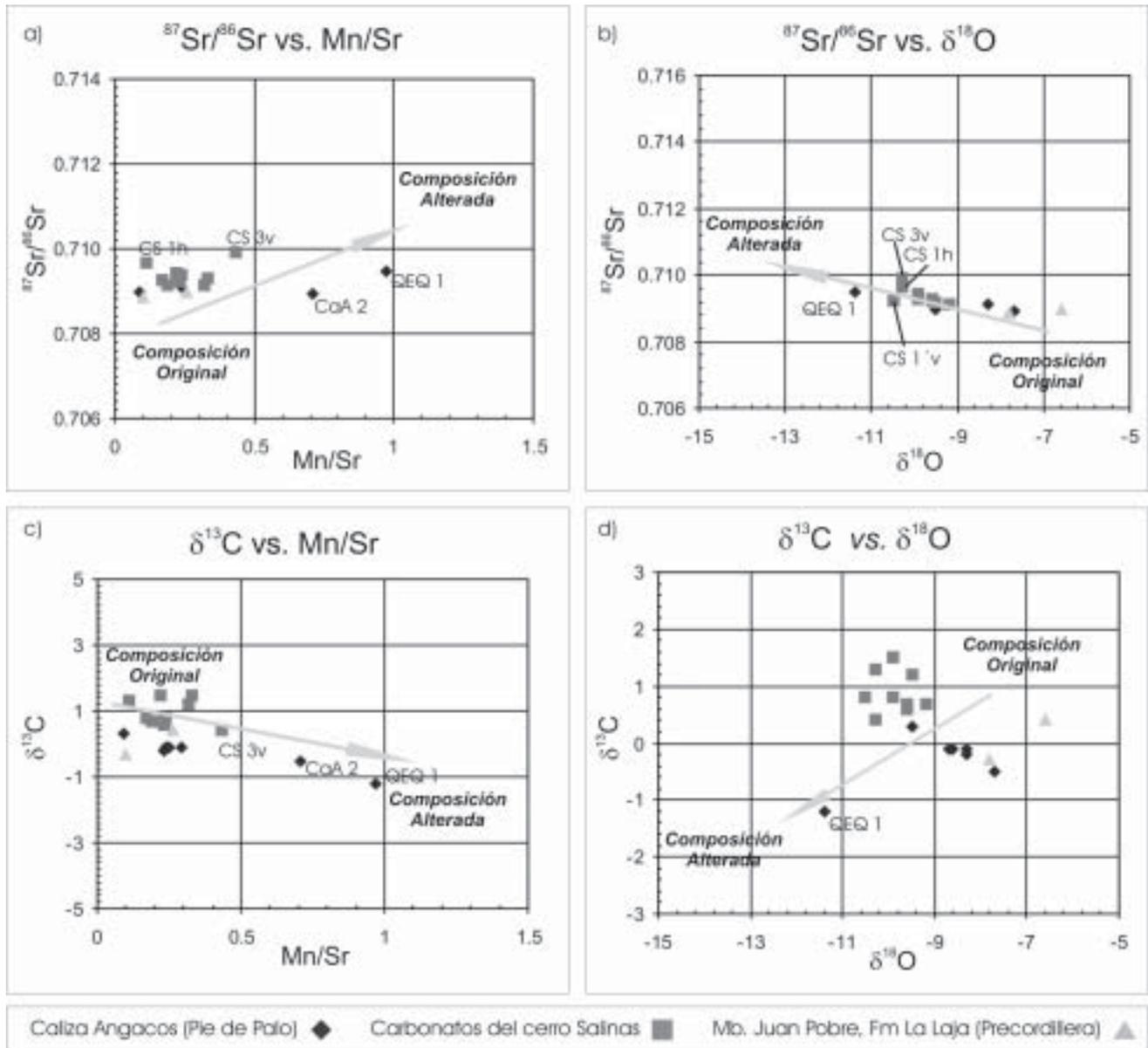
Las relaciones isotópicas del Sr calculadas en la Caliza Angacos (Pie de Palo) resultaron de 0,70899 y

0,70911. En el trabajo de Galindo *et al.* (2004) se analizaron 5 carbonatos pertenecientes al Grupo Cauce y se obtuvieron datos más elevados, entre 0,70917 y 0,70938. Las calizas estudiadas en el Cámbrico Inferior de la Precordillera por Thomas *et al.* (2001), Formación Cerro Totorá y su comparación con la Formación Rome del sudeste de Laurentia, registran datos isotópicos más bajos (0,70867 a 0,70877) y no coinciden con los valores de la Caliza Angacos (Pie de Palo). La relación aumenta en las calizas de la Formación La Laja, Miembro Juan Pobre (Cámbrico Medio), hasta aproximadamente 0,70896 (este trabajo) acercándose a los valores de la Caliza Angacos. Galindo *et al.* (2004) calcularon para la Formación Los Hornos, aflorante en las cercanías de Guandacol y de edad cámbrica inferior a media, relaciones de Sr aproximadas a 0,70903, estos valores se asemejan también a los obtenidos en la Caliza Angacos (Pie de Palo). En la quebrada de Zonda, en la base de la secuencia de la Formación La Laja de edad cámbrica inferior, Sial *et al.* (2001) presentaron valores entre 0,70926 y 0,70950, cercanos a los registros más altos obtenidos para la Caliza Angacos (Pie de Palo) por Galindo *et al.* (2004).



**Figura 6.** Valores Fe/Sr vs. Mn/Sr de los carbonatos analizados. Las muestras sin alteración en su composición original quedan comprendidas dentro del rectángulo (Derry *et al.*, 1994).

**Figure 6.** Fe/Sr vs. Mn/Sr ratios analyzed on carbonates. Unaltered samples with original composition plotted inside the rectangle (Derry *et al.*, 1994).



**Figura 7.** En los gráficos de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  vs. Mn/Sr (a),  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  vs.  $\delta^{18}\text{O}$  (b),  $\delta^{13}\text{C}$  vs. Mn/Sr (c) y  $\delta^{13}\text{C}$  vs.  $\delta^{18}\text{O}$  (d) se muestran trenes de alteración, indicados por las flechas, de los carbonatos analizados en el Grupo Cauce (Caliza Angacos), en el cerro Salinas y en la Precordillera (Fm La Laja) (Modificado de Jacobsen y Kaufman, 1999).

**Figure 7.**  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  vs. Mn/Sr (a),  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  vs.  $\delta^{18}\text{O}$  (b),  $\delta^{13}\text{C}$  vs. Mn/Sr (c) y  $\delta^{13}\text{C}$  vs.  $\delta^{18}\text{O}$  (d) graphics shown alteration trends indicated by arrows from Caliza Angacos, cerro Salinas and La Laja Formation (Modified alter Jacobsen y Kaufman, 1999).

Los valores de Sr obtenidos en los carbonatos del cerro Salinas, entre 0,70915 a 0,70945, se aproximan al intervalo de la Caliza Angacos (Pie de Palo) de acuerdo a los valores aportados por Galindo *et al.* (2004), pudiendo en este sentido ser correlacionados. Los resultados del cerro Salinas también pueden ser comparables en parte con los presentados por Sial *et al.* (2003) para la Formación La Flecha (0,70914 a 0,71011) de edad cámbrica superior y aflorante en la Pre-

cordillera. Asimismo, las estructuras estromatolíticas asociadas a niveles de chert encontradas en las calizas del cerro Salinas, permiten sugerir también una correlación litoestratigráfica tentativa con la Formación La Flecha, aunque es necesario un estudio de mayor detalle de los estromatolitos descubiertos. Cabe mencionar que los estudios realizados por Ramos *et al.* (1999) y Buggisch *et al.* (2003) sobre la composición isotópica del C en los carbonatos de la Formación La

Muestra N°	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	Error	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	Error	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	Error
		(%)				(%)
<i>Carbonatos del cerro Salinas</i>						
CS1'v	20,064	0,019	15,689	0,019	38,106	0,019
CS1 v	21,300	0,023	15,772	0,023	38,173	0,024
CS2 v	30,824	0,018	16,308	0,018	38,13	0,019
CS3 v	27,145	0,023	16,119	0,024	38,321	0,025
CS1 h	21,412	0,016	15,779	0,016	38,191	0,016
CS2 h	20,119	0,026	15,693	0,026	38,071	0,026
CS3 h	20,742	0,017	15,717	0,018	38,102	0,017
CS5 h	19,926	0,019	15,687	0,019	38,074	0,019
CS6 h	19,697	0,017	15,663	0,018	38,147	0,017
CS7 h	20,670	0,018	15,725	0,018	37,959	0,018
	1,002		1,003		1,004	
NBS-981*	16,877	0,008	15,422	0,008	36,498	0,008
NBS-981**	16,937		15,491		36,721	

NBS 981: 0,001%/u.m.a. Promedio de más de 50 relaciones isotópicas, intensidad iónica 0,5 V para  $^{206}\text{Pb}$  multicolector con 206 colector axial.

\* LGI/UFRGS  
 \*\* international

Tabla 3. Datos isotópicos de Pb de los carbonatos del cerro Salinas.

Table 3. Pb isotopic data from cerro Salinas carbonates.

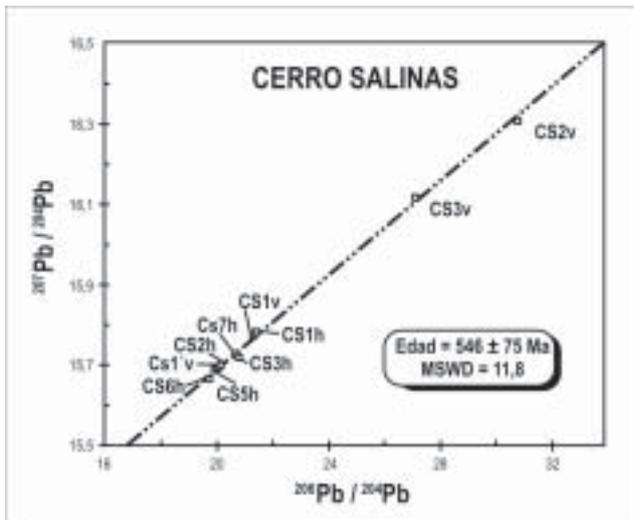


Figura 8. Isocrona Pb/Pb de los carbonatos del cerro Salinas.

Figure 8. Pb/Pb isochrone data from cerro Salinas carbonates.

Flecha indican que presentan evidencias significativas de alteración post-depositacional, lo que dificultaría su comparación con los carbonatos del cerro Salinas desde

este punto de vista.

Por otro lado, las muestras de la Caliza Angacos (Pie de Palo) poseen edades modelo Sm/Nd ( $T_{DM}$ ) entre 1,4 y 1,7 Ga, semejantes a las obtenidas en las cuarcitas intercaladas en calizas de la Formación La Laja (1,3-1,7 Ga), también los valores de  $\epsilon_{Nd}$  son concordantes y negativos. Por su parte los carbonatos del cerro Salinas se diferencian muy poco entre si, poseen edades modelo de 1,7 y 1,8 Ga y los  $\epsilon_{Nd}$  negativos, del orden de -30 (Fig. 9).

La edad  $^{206}\text{Pb}/\text{Pb}^{207}$  de  $546 \pm 75$  Ma obtenida por isocrona en carbonatos del cerro Salinas, no permite precisar la edad, pero en el contexto general de datos presentados puede ser de utilidad para elaborar el cuadro de conclusiones.

## CONCLUSIONES

1) Los datos de los isótopos del Sr obtenidos para la Caliza Angacos (Pie de Palo) están de acuerdo con los valores de la curva de variación secular aportada por Montañez *et al.* (2000) para el Cámbrico Inferior

alto y parte del Cámbrico Medio (ca. 510 a 503 Ma) (Fig. 10). Por otra parte, si consideramos los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  para la misma unidad, observamos que los mismos se distribuyen en la curva de variación secular del C en coincidencia con las relaciones  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , particularmente en el Cámbrico Inferior alto e inicios del Cámbrico Medio (Fig. 10).

2) Las relaciones  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  y  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  medidas en las muestras de calizas del Miembro Juan Pobre de la Formación La Laja se ubican en el Cámbrico Medio en las curvas isotópicas y en coincidencia con su contenido fosilífero (Biozona de *Glossopleura*).

3) Los carbonatos del cerro Salinas presentan relaciones  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  más altas en comparación con las de la Caliza Angacos (Pie de Palo) y en concordancia con el lapso de la curva (Montañez *et al.*, 2000) correspondiente al Cámbrico Medio alto y Cámbrico Superior (Fig. 10). Este incremento en la relación isotópica del Sr está acompañado por un enriquecimiento en los valores de la  $\delta^{13}\text{C}$ , que se ubican en el tramo más joven del Cámbrico Superior (Fig. 10) en la curva de variación secular del C en el agua de mar. De acuerdo con Montañez *et al.* (2000) este incremento en la relación

$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  en las Biozonas de *Crepicephalus - Aphelaspis* detectado en Laurentia, marca el inicio de una excursión isotópica positiva de carácter global que podría estar vinculada a cambios eustáticos durante el denominado «Dresbachiano». La isocrona  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  calculada para carbonatos del cerro Salinas, sugiere una edad ubicada en el Cámbrico Inferior, pero considerando el margen de error calculado se podría extender desde los 621 hasta los 471 Ma. Por la presencia de estromatolitos y la composición isotópica del Sr (Sial *et al.*, 2003) esta unidad podría tener correlación con la Formación La Flecha del Cámbrico Superior de la Precordillera.

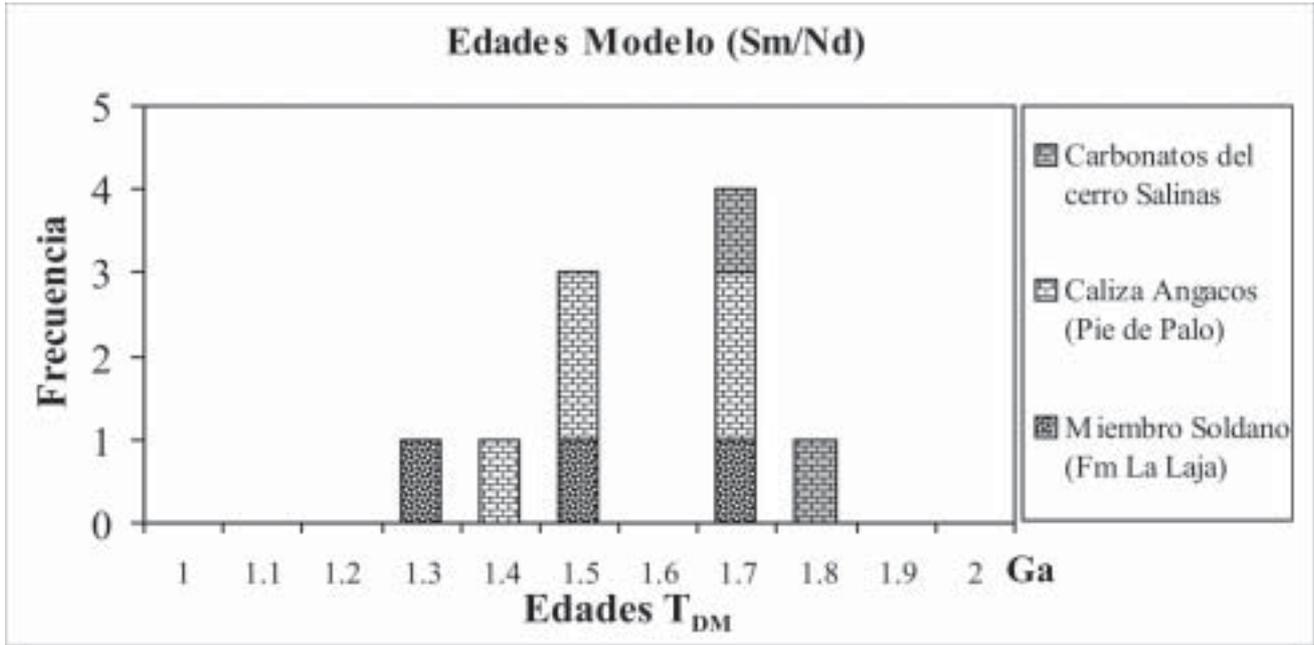
4) Las edades  $T_{\text{DM}}$  calculadas en los niveles silicoclásticos intercalados en el Miembro Soldano de la Formación La Laja, son coincidentes con las obtenidas en la Caliza Angacos. Estas edades sugieren que el área de procedencia para la Caliza Angacos y las unidades del Cámbrico Inferior alto de la Precordillera fue similar. Las rocas madres de estos sedimentos tienen como característica la presencia de dos picos bien diferenciados de edades modelo, uno Paleoproterozoico (1,7 Ga) y otro Mesoproterozoico (1,5 Ga).

Muestra N°	Sitio de Muestreo	Lat/Long (GPS)	Sm (ppm)	Nd (ppm)	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	SE %	$\epsilon_{\text{Nd}} (t=0)$	$T_{\text{DM}}$ (Ga)
	<i>Caliza Angacos (Grupo Cauçete)</i>								
<b>Ca A 1</b>	Qda. La Petaca	31°26'51"S/68°11'43"O	0,09	0,38	0,138	0,512	0,0017	-7,48	<b>1,5</b>
<b>QLP 2</b>	Qda. La Petaca	31°27'29"S/68°10'27"O	4,18	17,36	0,146	0,512	0,0012	-6,72	<b>1,7</b>
<b>QEG 8</b>	Qda. El Gato	31°26'56"S/68°10'29"O	1,96	9,16	0,129	0,512	0,0015	-7,42	<b>1,4</b>
<b>QEQ 1</b>	Qda. El Quemado	31°20'58"S/68°09'17"O	0,71	2,88	0,149	0,512	0,0018	-4,72	<b>1,5</b>
<b>Qpir 1</b>	Qda. Las Firquitas	31°20'41"S/68°08'52"O	0,44	1,74	0,152	0,512	0,0022	-5,75	<b>1,7</b>
<i>Carbonatos del cerro Salinas</i>									
<b>CS 1h</b>	Extremo sur	32°11'46"S/68°40'53"O	0,11	0,53	0,125	0,512	0,0036	-11,04	<b>1,7</b>
<b>CS 7h</b>	Extremo sur	32°11'46"S/68°40'53"O	0,05	0,59	0,048	0,511	0,0025	-30,51	<b>1,8</b>
<i>Cuarzitas del Miembro Soldano-Formación La Laja</i>									
<b>CLN 2</b>	C° Marquesado	31°29'43"S/68°39'48"O	0,14	0,81	0,102	0,512	0,0047	-10,9	<b>1,3</b>
<b>CLN 3</b>	C° Marquesado	31°29'43"S/68°39'48"O	0,34	1,47	0,141	0,512	0,0014	-8,32	<b>1,7</b>
<b>CLN 5</b>	C° Marquesado	31°29'43"S/68°39'48"O	0,29	1,37	0,127	0,512	0,0017	-8,77	<b>1,5</b>

Resultados Sm/Nd son el promedio de alrededor de 100 relaciones isotópicas con 10 V de intensidad iónica en  $^{146}\text{Nd}$  y multicolector con  $^{146}\text{Nd}$  en el colector axial. Normalización de  $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.7219$  y encuadre bias usando Nd SPEX, con  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.511110$  y calibrado según Nd La Jolla usando valores de  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.511856$ . Las edades modelo  $T_{\text{DM}}$  calculadas usando modelo DePaolo (1981).

**Tabla 4.** Datos de las edades Sm/Nd ( $T_{\text{DM}}$ ) y  $\epsilon_{\text{Nd}}$  de la Caliza Angacos (Pie de Palo), de los carbonatos del cerro Salinas y de las cuarcitas del Miembro Soldano, Formación La Laja.

**Table 4.** Sm/Nd ( $T_{\text{DM}}$ ) ages data and  $\epsilon_{\text{Nd}}$  from Caliza Angacos, cerro Salinas carbonates and quartzites from Soldano Member (La Laja Formation).



**Figura 9.** Edades T<sub>DM</sub> calculadas en la Caliza Angacos, en los carbonatos del cerro Salinas y en las cuarcitas del Miembro Soldano de la Formación La Laja.

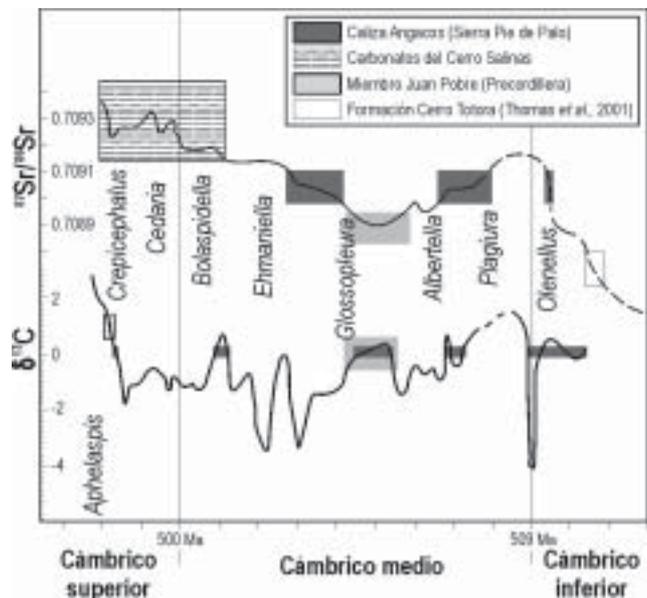
**Figure 9.** T<sub>DM</sub> model ages from Caliza Angacos, cerro Salinas carbonates and quartzites from Soldano Member (La Laja Formation).

5) Las evidencias isotópicas apoyan el modelo donde los carbonatos analizados de Precordillera-Caliza Angacos-cerro Salinas podrían haber formado parte de una plataforma común para los tiempos cámbricos, registrando profundización de la cuenca y aumento progresivo del metamorfismo en dirección este. Es en este

sector donde el borde de la plataforma, luego de la colisión y acreción del terreno Precordillera-Cuyania en el Ordovícico Medio, registra la superposición tectónica del Complejo Pie de Palo mediante el corrimiento Las Piriquitas con vergencia oeste y los efectos metamórficos superpuestos.

**Figura 10.** Ubicación de las muestras analizadas en este trabajo correspondientes a la Caliza Angacos (sierra de Pie de Palo), a los carbonatos del cerro Salinas y a la Formación La Laja (Miembro Juan Pobre), en las curvas de variación secular de <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr y de la δ<sup>13</sup>C del agua de mar para el Cámbrico con las Biozonas clásicas de trilobites, según Montañez *et al.* (2000). Para comparación se agrega la Formación Cerro Totorá del Cámbrico Inferior, según datos de Thomas y Astini (2001). Obsérvese que las muestras estudiadas se ubican en todos los casos dentro del Cámbrico.

**Figure 10.** Analyzed data from Caliza Angacos (sierra de Pie de Palo), cerro Salinas carbonates and La Laja Formation (Member Juan Pobre) samples plotted in the <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr and δ<sup>13</sup>C secular variation sea water graphic during Cambrian time with classic trilobites Biozones (after Montañez *et al.*, 2000). For comparison we add Cerro Totorá Formation data from Thomas and Astini (2001). The studied samples plotted in all cases inside Cambrian time.



## Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración prestada y facilidades de utilización de laboratorios brindadas por el personal técnico de la Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil. La Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica posibilitó los trabajos de campo y laboratorio mediante el PICT 07-10829. Por su parte el CONICET ha financiado parcialmente gastos de análisis isotópicos y geoquímicos. A la Lic. Adriana Ramos (INGEIS) y Lic. Jorge Maggi (CIG) por los datos de FRX y DRX respectivamente. Agradecemos también el apoyo logístico brindado por el SEGEMAR-San Juan. Este trabajo es una contribución al proyecto IGCP 478 «Neoproterozoic-Early Palaeozoic Events in SW-Gondwana».

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abbruzzi, J. M.**, 1994. *The chemistry, Pb isotopic signature, and age of the Central Andean Precordillera Basement: implications for «flat - slab» volcanic rocks and Laurentia - Gondwana connections*. Bachelor Thesis, Cornell University, 113 pp. (inédito).
- Aceñolaza, E.G., H. Miller y A. Toselli**, 2002. Proterozoic-Early Paleozoic evolution in western South America—a discusión. *Tectonophysics* 354:121-137.
- Armella, C., N. Cabaleri y S. Valencio**, 1996. Modelo paleoambiental de la Formación La Flecha (Cámbrico superior) en el área de Jáchal, Provincia de San Juan. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 51:165-176.
- Astini, R.A., J.L. Benedetto y N.E. Vaccari**, 1995. The Early Paleozoic evolution of the Argentine Precordillera as a Laurentian rifted, dirted and collided terrane: A geodynamic model. *Geological Society of America Bulletin* 107:235-273.
- Astini, R. y E. Vaccari**, 1996. Sucesión evaporítica del Cámbrico Inferior de la Precordillera: significado geológico. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 51:97-106.
- Babinski, M., F. Chemale Jr. y W.R. van Schmus**, 1995. The Pb/Pb age of the Minas Supergroup carbonate rocks, Cuadrilátero Ferrífero, Brazil. *Precambrian Research* 72:235-245.
- Baldis, B. y O. Bordonaro**, 1981. Evolución de facies carbonáticas en la cuenca cámbrica de la Precordillera de San Juan. *VIII Congreso Geológico Argentino*, Actas II:385-397, San Luis.
- Baldo, E., C. Casquet y C. Galindo**, 1998. Datos preliminares sobre el metamorfismo de la Sierra de Pie de Palo, Sierras Pampeanas Occidentales (Argentina). *Geogaceta* 24:39-42.
- Bastías, H., J. Baraldo y L. Pina**, 1984. Afloramientos calcáreos en el borde oriental del valle del Bermejo, provincia de San Juan. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 39:153-155.
- Bordonaro, O.**, 1980. El Cámbrico de la quebrada de Zonda. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 35:26-40.
- Bordonaro, O.**, 1990. El sistema Cámbrico de la Provincia de San Juan. *XI Congreso Geológico Argentino*, Relatorio de Geología y Recursos Naturales de la Provincia de San Juan:18-31.
- Bordonaro, O.**, 1999. Cámbrico y Ordovícico de la Precordillera y Bloque de San Rafael. En: R. Caminos (Ed.), *Geología Regional Argentina*, SEGEMAR Anales 29:189-204.
- Bordonaro, O.**, 2003. Evolución Paleoambiental y Paleogeográfica de la cuenca cámbrica de la Precordillera Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 58:329-346.
- Bordonaro, O., E.G. Aceñolaza y M.E. Pereyra**, 1992. Primeras trazas fósiles de la sierra de Pie de Palo, San Juan, Argentina. *Ciencias* 1:7-14.
- Bordonaro, O. y A. Banchig**, 1996. Estratigrafía de los olistolitos cámbricos de la Precordillera Argentina. *XIII Congreso Geológico Argentino*, Actas V:471-479, Buenos Aires.
- Borrello, A. V.**, 1962. Caliza La Laja (Cámbrico Medio de San Juan). Notas. *Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires* 2:3-8, La Plata, Argentina.
- Borrello, A. V.**, 1969. Los geosinclinales de la Argentina. *Dirección Nacional de Geología y Minería*, Anales 14:1-136, Buenos Aires.
- Buggisch, W., M. Keller y O. Lehnert**, 2003. Carbon isotope record of Late Cambrian to Early Ordovician carbonates of the Argentine Precordillera. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 195:357-372.
- Burke, W.H., R.E. Denison, E.A. Hetherington, R.B. Koepnick, H.F. Nelson y J.B. Otto**, 1982. Variation of seawater <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr throughout Phanerozoic time. *Geology* 10:516-519.
- Caminos, R.**, 1979. Sierras Pampeanas Noroccidentales. Salta, Tucumán, Catamarca, La Rioja y San Juan. En Turner, J.C.M. (Ed.), *II Simposio de Geología Regional Argentina*, Academia Nacional de Ciencias: 224-291, Córdoba.
- Cañas, E.**, 1999. Facies and sequences of the Late Cambrian-Early Ordovician carbonates of the Argentine Precordillera: a stratigraphic comparison with Laurentian Platforms. En Ramos, V.A. and Keppie, J.D. (Eds.), *Laurentia-Gondwana connections before Pangea*. Geological Society of America, Special Paper 336:43-62.
- Castro de Machuca, B.**, 1984. *Geología del Extremo Sudoccidental de la sierra de Pie de Palo, Provincia de San Juan*. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de San Juan, 187 pp. (inédito).
- Castro de Machuca, B., A. Conte-Grand, S. Pontoriero, S. Meissl y M.S. Beresi**, 2002. Geología del cerro Pan de Azúcar, Sierras Pampeanas Occidentales, San Juan, Argentina. *XV Congreso Geológico Argentino*, Actas I:129-135, El Calafate.
- Cingolani, C., K. Kawashita, M. Naipauer, R. Varela y F. Chemale Jr.**, 2003. Sr isotopic composition and Pb–Pb age of Neoproterozoic–Lower Paleozoic carbonate sequences at Salinas Hill and Pie de Palo Range, Western Argentina. *IV South American Symposium on Isotope Geology*, Abstracts:164-167.
- Cuerda, A., C. Cingolani y R. Varela**, 1985. Los graptofaunas de la Formación Los Sombreros, Ordovícico inferior de la vertiente oriental de la Sierra del Tontal, Precordillera de San Juan. *Ameghiniana* 30:239-260.
- Dalla Salda, L. y R. Varela**, 1984. El metamorfismo en el tercio sur de la sierra de Pie de Palo, San Juan. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 39:68-93.
- Dalla Salda, L., C.A. Cingolani y R. Varela**, 1992. Early Paleozoic orogenic belt of the Andes in southwestern South America: results of Laurentia-Gondwana collision?. *Geology* 20:617-621.
- Denison, R.E., R.B. Koepnick, W.H. Burke y E.A. Hetherington**, 1998. Construction of the Cambrian and Ordovician seawater <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr curve. *Chemical Geology* 152:325-340.
- DePaolo, D.J.**, 1981. Neodymium isotopes in the Colorado Front Range and implications for crust formation and mantle evolution in the Proterozoic. *Nature* 291:193-196.
- Derry, L.A., M.D. Brasier, R.M. Corfield, A.Y. Rozanov y A.Y.**

- Zhuravlev**, 1994. Sr and C isotopes in lower Cambrian carbonates from the Siberian craton: A paleoenvironmental record during the «Cambrian explosion». *Earth and Planetary Science Letters* 128:671-681.
- Furque, G.**, 1972. Descripción Geológica de la hoja 16b, Cerro La Bolsa, Provincias de La Rioja y San Juan. *Servicio Geológico Minero Argentino*, Boletín 125:1-69.
- Galindo, C., C. Casquet, C. Rapela, R.J. Pankhurst, E. Baldo and J. Saavedra**, 2004. Sr, C and O isotope geochemistry and stratigraphy of Precambrian and lower Paleozoic carbonate sequences from the Western Sierras Pampeanas of Argentina: tectonic implications. *Precambrian Research* 131:55-71.
- Gardini, C. y L. Dalla Salda**, 1997. El complejo metamórfico de El Gigante, San Luis, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 52:132-142.
- Gaucher, C.**, 2000. Sedimentology, palaeontology and stratigraphy of the Arroyo del Soldado Group (Vendian to Cambrian, Uruguay). *Beringeria* 26:1-120.
- González Bonorino, E.**, 1950. Algunos problemas geológicos de las Sierras Pampeanas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 5:81-110.
- Groeber, P.**, 1948. Geología de la Provincia de San Juan: Datos Geológicos. *Anales Ministerio de Agricultura, Comisión Nacional de Climatología y Aguas Minerales* 9:27-42.
- Harrington, H.J.**, 1971. Descripción geológica de la Hoja 22c Ramblón, provincias de Mendoza y San Juan. *Dirección Nacional de Geología y Minería*, Boletín 114:1-81, Buenos Aires.
- Jacobsen, S.B. y A.J. Kaufman**, 1999. The Sr, C and O isotopic evolution of Neoproterozoic seawater. *Chemical Geology* 161:37-57.
- Jenkyns, H.C., C.E. Jones, D.R. Gröcke, S.P. Hesselbo y D.N. Parkinson**, 2002. Chemostratigraphy of the Jurassic System: applications, limitations and implications for palaeoceanography. *Journal of the Geological Society of London* 159:351-378.
- Kaufman, A.J. y A.H. Knoll**, 1995. Neoproterozoic variations in the C-isotopic composition of seawater: stratigraphic and biogeochemical implications. *Precambrian Research* 73:27-49.
- Kawashita, K.**, 1996. *Rochas carbonáticas neoproterozoicas da America do Sul: Idades e inferencias quimioestratigráficas*. Tese de Livre Docente, Instituto de Geociencias, Universidade de Sao Paulo, 126 pp.(inédito).
- Keller, M., F. Cañas, O. Lehnert y E. Vaccari**, 1994. The Upper Cambrian and Lower Ordovician of the Precordillera (Western Argentina): Some stratigraphic reconsiderations. *Newsletters in Stratigraphy* 31:115-132.
- Keller, M.**, 1999. Argentine Precordillera: Sedimentary and Plate Tectonic History of a Laurentian Crustal Fragment in South America. *Geological Society of America*, Special Paper 341:131 pp.
- Linares, E., H.O. Panarello, S.A. Valencio y C.M. García**, 1982. Isótopos de carbono y oxígeno y el origen de las calizas de las sierras Chica de Zonda y de Pie de Palo, provincia de San Juan. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 37:80-90.
- Llano, J.A., A.M. Esparza, N. Rossa y A. Vaca**, 1984. Geología y petrografía del cerro Salinas, provincia de San Juan. *IX Congreso Geológico Argentino*, Actas I:298-309, Buenos Aires.
- Ludwig, K.R.**, 1991. ISOPLOT: A plotting and regression program for radiogenic isotope data. *USGS Open File Report*:91-445.
- Mauri, E.T.**, 1943. *Observaciones Geológicas en los alrededores de Retamito, San Juan*. Tesis Doctoral 43, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, 111 pp. (inédito).
- McCrea, J.M.**, 1950. On the isotopic chemistry of carbonates and a paleotemperature scale. *Journal of Chemical Physics* 18:849-857.
- Melchor, R.N., H. Tickyj. y L.V. Dimieri**, 1999. Estratigrafía, sedimentología y estructura de las calizas de la Formación San Jorge (Cámbrico-Ordovícico), oeste de La Pampa. *XIV Congreso Geológico Argentino*, Actas I:389-392, Salta.
- Melezhik, V.A., I.M. Gorokhov, A.E. Fallick y S. Gjelle**, 2001. Strontium and carbon isotope geochemistry applied to dating of carbonate sedimentation: an example from high-grade rocks of the Norwegian Caledonides. *Precambrian Research* 108:267-292.
- Montañez, I.P., Banner, J.L., Osleger, D.A., Borg, L.E., y Bosserman, P.J.**, 1996. Integrated Sr isotope stratigraphy and relative sea-level history in Middle Cambrian platform carbonates. *Geology* 24:917-920.
- Montañez, I.P., D.A. Osleger, J.L. Banner, L.E. Mack y M.L. Musgrove**, 2000. Evolution of the Sr and C isotope composition of Cambrian oceans. *Geological Society of America Today* 10:1-7.
- Podlaha, O.G., J. Mutterlose y J. Veizer**, 1998. Preservation of the  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  in belemnite rostra from the Jurassic/early Cretaceous successions. *American Journal of Science* 298:324-347.
- Popp, B.N., T.F. Anderson y P.A. Sandberg**, 1986. Brachiopods as indicators of original isotopic compositions in some Paleozoic limestones. *Geological Society of America Bulletin* 97:1262-1269.
- Ramos, A.M., S.A. Valencio, H.O. Panarello, C. Armella y N.G. Cabaleri**, 1999. Isotope and trace element evidences of post-depositional changes in carbonates of La Flecha Formation, San Juan, Argentina. *II Simposio Sudamericano de Geología Isotópica*, Actas:437-440.
- Ramos, V.A.**, 1995. Sudamérica: un mosaico de continentes y océanos. *Ciencia Hoy* 6:24-29.
- Ramos, V.A., D. Dallmeyer y G. Vujovich**, 1998. Time constraints on the Early Paleozoic docking of the Precordillera, Central Argentina. En: Pankhurst, R. and C.W. Rapela (Eds.), *The Proto-Andean margin of Gondwana*, Geological Society, London, Special Publication 142:143-158.
- Ramos, V. y G. Vujovich**, 2000. Hoja Geológica 3169-VI, San Juan. *Servicio Geológico Minero Argentino*, Boletín 243:1-82, Buenos Aires.
- Scanavino, R.A. y M.E. Guichón**, 1973. Extensión de la estructura protoidica al área del cerro Salinas, Departamento Las Heras, Mendoza. *V Congreso Geológico Argentino*, Actas IV:235-247, Mendoza.
- Schiller, W.**, 1912. La alta cordillera de San Juan y Mendoza y parte de la provincia de San Juan. *Ministerio de Agricultura de La Nación, Sección Geología, Mineralogía y Minería*, Anales VII:1-68.
- Scholle, P.A., M.A. Arthur y A.A. Ekdale**, 1983. Pelagic environments. En: Scholle, P.A., D.G. Bebout and C.H. Moore (Eds.), *Carbonate Depositional Environments*, American Association of Petroleum Geology, 619-691, Tulsa.
- Sial, A.N., V.P. Ferreira, F.G. Aceñolaza, M.M. Pimentel, M.A. Parada y R.N. Alonso**, 2001. C and Sr isotopic evolution of carbonate sequences in NW Argentina: implications for probable Precambrian-Cambrian transition. *Carbonates and Evaporites* 16:141-152.
- Sial, A.N., S. Peralta, V.P. Ferreira, A.J. Toselli, F.G. Aceñolaza, M.A. Parada, C. Gaucher, R.N. Alonso y M.M. Pimentel**, 2003. C-, O-, Sr-isotope chemostratigraphy of Cambrian carbonates sequences, Precordillera, western Argentina. *IV South American Symposium on Isotope Geology*, Abstracts:390-393.
- Stappenbeck, R.**, 1910. La Precordillera de San Juan y Mendoza. *Ministerio de Agricultura de la Nacional, Sección Geología, Mineralogía y Minería*, Anales IV:1-187.

- Thomas, W.A., R.A. Astini y R.E. Denison**, 2001. Strontium isotopes, age, and tectonic setting of Cambrian salinas along the rift and transform margins of the Argentine Precordillera and southern Laurentia. *Journal of Geology* 109:231-246.
- Van Staal, C., G.I. Vujovich, y B. Davis**, 2002. Tectonostratigraphic relationships and structural evolution of the western margin of the Sierra de Pie de Palo, Cuyania (Precordillera) Terrane, Argentina. *Geological Society of America Meeting*, Abstract:223-7, Denver.
- Varela, R., S. Valencio, A. Ramos, K. Sato, P. González, H. Panarello y D. Roverano**, 2001. Isotopic strontium, carbon and oxygen study on Neoproterozoic marbles from Sierra de Umango, Andean Foreland, Argentina. *III South American Symposium on Isotope Geology*, Abstracts:450-453.
- Veizer, J., D. Buhl, A. Diener, S. Ebneth, O.G. Podlaha, P. Bruckschen, T. Jasper, Ch. Korte, M. Schaaf, D. Ala y K. Azmy**, 1997. Strontium isotope stratigraphy: potential resolution and event correlation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 132:65-77.
- Veizer, J., D. Ala, K. Azmy, P. Bruckschen, D. Buhl, F. Bruhn, G. Carden, A. Diener, S. Ebneth, Y. Godderis, T. Jasper, C. Korte, F. Pawellek, O. Podlaha y H. Strauss**, 1999.  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  evolution of Phanerozoic seawater. *Chemical Geology* 161:59-88.
- Vujovich, G.**, 1995. Geología del basamento ígneo-metamórfico de la Loma de las Chacras, sierra de La Huerta, provincia de San Juan. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 49:321-336.
- Vujovich, G. y V. Ramos**, 1994. La faja de Angaco y su relación con las Sierras Pampeanas Occidentales. *VII Congreso Geológico Chileno*, Actas I:215-219, Concepción.
- Vujovich, G.I., C.R. van Staal y W. Davis**, 2004. Age constrains on the tectonic evolution and provenance of the Pie de Palo Complex, Cuyania composite terrane, and the Famatinian Orogeny in the Sierra de Pie de Palo, San Juan, Argentina. *Gondwana Research* 7:1041-1056.