

Composición y procedencia de areniscas del Devónico medio-Carbonífero superior de la Cuenca Madre de Dios, Bolivia: Pozo Manuripi x-1.

*Adolfo GIUSIANO * , Ezequiel DÍAZ ** y P. ISAACSON ****

* Río Negro 253, 8340 Zapala, Neuquén, República Argentina.

** ORSTROM-UR13. Casilla de Correos 9214, La Paz, Bolivia.

*** University of Idaho. Department of Geology.
ID 83843 Moscow, U.S.A.

Resumen. Las sedimentitas paleozoicas de la cuenca Madre de Dios de Bolivia (CMD), atravesadas en el pozo Manuripi X-1, están representadas por fangolitas y areniscas de ambiente de plataforma clástica somera de la Formación Tomachi (Devónico superior) y areniscas, limolitas y fangolitas de ambiente de prodelta a llanura deltaica pertenecientes a la Formación Toregua (Carbonífero inferior). Por encima de esta unidad y a través de una discordancia erosiva se desarrollan los depósitos del Carbonífero superior, representados por areniscas gradadas de ambiente de duna eólica de la Formación Yaurichambi y calizas, dolomías, areniscas finas y fangolitas depositadas en un ambiente de llanura de marea a plataforma carbonática, perteneciente a la Formación Copacabana (Isaacson et al., 1995).

Las muestras de areniscas representadas en el diagrama QmFLt, usando los campos composicionales de Folk (1974), son clasificadas como subarcosas. Estas areniscas se caracterizan por presentar dominante cantidad de Qm y subordinado Qp y F (K>P) correspondiendo a la petrofacies cuarzosa de Dickinson (1988). Los diagramas QmFLt y QtFL (Dickinson, 1985) (Fig. 3c) muestran que las Formaciones Toregua y Tomachi derivan de rocas relacionadas a un cráton interior y que las Formaciones Copacabana y Yaurichambi se ubican en el límite de la zona de cráton interior y orógeno reciclado, en tanto que el diagrama QmPK (Dickinson & Suczek, 1979) (Fig. 3b) indica claramente que las muestras proceden de un bloque continental. Los datos de los perfiles de buzamientos muestran paleocorrientes con dirección SE para las Formación Yaurichambi y SW para las Formaciones Toregua y Tomachi.

Se identificaron como posibles áreas de aporte para las Formaciones Tomachi y Toregua los afloramientos del Escudo Brasileño del este de Bolivia, integrados por rocas del Precámbrico como los esquistos San Ignacio y los granitos Rodonia/Sunsas de 1300 a 1000 Ma (Litherland et al., 1989). Para las Formaciones Yaurichambi y Copacabana, a los afloramientos del Macizo de Arequipa ubicados al oeste de la CMD (Batalito San Nicolás de 390 Ma) (Musaka & Henry, 1990) y sedimentos levantados durante el Devónico tardío-Carbonífero temprano de la Subcuenca Peruana (Isaacson & Sablock, 1990)

Palabras clave: Procedencia, Petrografía de areniscas, Devónico, Carbonífero, Bolivia.

Key words: Provenance, Sandstone petrography, Devonian, Carboniferous, Bolivia.

EXTENDED ABSTRACT

Late Paleozoic deposits in the Madre de Dios basin (MDB) (northern Bolivia) underlay a sedimentary pile of

Mesozoic and Cenozoic deposits reaching 800 m at the Manuripi X-1 well site. There are no Paleozoic outcrops in the area, and all the information available comes from oil exploration wells. At the Pando X-1 well site (Fig. 1),

Proterozoic basement was found at a depth of 1968 m. The Manuripi X-1 did not reach this basement, but instead was terminated within the Mid and Upper Devonian mudstones and fine grained sandstones of the Tomachi Formation. This unit is interpreted as shallow clastic shelf environment (Isaacson et al., 1995) (Fig. 2).

The Lower Carboniferous Toregua Formation concordantly overlies the Devonian. It is composed of graded sandstones, siltstones and mudstones deposited in a pro-delta to delta plain subenvironment. An erosional unconformity separates this unit from the Yaurichambi Formation (Upper Carboniferous) which consists of fine to medium grained, graded sandstones with interbeds of laminated mudstones representing an eolian dune environment. The Copacabana Formation (Upper Carboniferous-Lower Permian) concordantly overlies the Upper Carboniferous, and is composed of limestones, dolostones, fine sandstones and mudstones, deposited in a tidal flat to carbonate shelf environment (Isaacson et al., 1995) (Fig. 2).

The sandstones of Copacabana and Yaurichambi Formations vary from fine to medium grained with sub-rounded and rounded shapes and moderate to good sorting. The Toregua Formation has subangular to rounded, medium to coarse sandstones, and the Tomachi Formation is characterized by fine grained and subangular sandstones (Table 1).

The sandstones plotted in QmFLt diagram (Fig. 3a, Table 2), using the Folk (1974) compositional fields, are classified as subarkoses. These sandstones are characterized by dominantly Qm with minor Qp, and F (K > P), and correspond to the quartzose petrofacies of Dickinson (1988).

The QmFLt and QtFL (Dickinson, 1985) (Fig. 3c, Table 2) plots display that the Toregua and Tomachi Formations are derived from craton interior, but instead the Copacabana and Yaurichambi Formations are plotted at the boundary between craton interior and recycled orogen. QmPK plot (Dickinson & Suczek, 1979) (Fig. 3b, Table 2) indicates clearly that all the samples are derived from a continental block. Paleocurrents taken from dipmeter log, display W-NW direction for sediments of the Yaurichambi Formation and E-NE for the Toregua and Tomachi Formations (Fig. 2).

The Tomachi and Toregua Formations sources were the Precambrian rocks from Brazilian Shield that crop out in eastern Bolivia as the San Ingacio Schist and the 1300 to 1000 Ma old Rodonia/Sunsas granite (Litherland et al., 1989). The Yaurichambi and Copacabana Formations derived from granites and sedimentary rocks from the Arequipa Massif (western MDB) as the 390 Ma San Nicolás batholith (Musaka & Henry, 1990), and uplifted late Devonian-early Carboniferous sediments from the Peruvian Sub-basin (Isaacson & Sablock, 1990).

INTRODUCCIÓN

En los últimos años la información obtenida a través de los estudios bioestratigráficos, sedimentológicos, geoquímicos y paleomagnéticos de detalle han producido cambios en la interpretación geodinámica y paleogeográfica de las cuencas Paleozoicas de los Andes. Para el caso especial de los Andes Centrales de Bolivia (ACB), en la última década se han publicado numerosas síntesis del sur de los ACB, incluyendo la historia del Paleozoico (Buhlburg et al., 1988; Reutter et al., 1994), pero es muy poco lo que se conoce de la región norte de los ACB.

La cuenca Madre de Dios se ubica al norte de los ACB y representa la parte distal del antepaís de la cuenca Andina que se desarrolló durante el Paleozoico (Issacson et al., 1995). La información disponible de esta cuenca proviene de un estudio realizado recientemente por Issacson et al. (1995) sobre testigos coronas obtenidos de los pozos Manuripi X-1 y Pando X-1.

El presente trabajo tiene como objetivo aportar datos sobre la procedencia de las areniscas Paleozoicas de la cuenca Madre de Dios. Con este fin se realizó la petrografía de las secciones psefíticas de la sucesión Devónico-Carbónica atravesadas por el pozo Manuripi X-1. Los resultados fueron volcados en diagramas ternarios y éstos a su vez, relacionados a los afloramientos conocidos de rocas Precámbricas y Paleozoicas.

ESTRATIGRAFÍA REGIONAL

La cuenca Madre de Dios (CMD) representa la parte distal del antepaís de la Cuenca Andina que se desarrolló durante el Devónico-Carbonífero tardío (Isaacson et al., 1995). Esta cuenca es parte de una serie de cuencas de trasarco desarrolladas a lo largo del margen oeste de América del Sur.

En la CMD no hay afloramientos paleozoicos por lo tanto la información geológica disponible proviene de pozos de exploración petrolera. Los pozos Pando X-1 y Manuripi x-1 (Fig. 1) alcanzaron profundidades de 1968 y 1542 m, respectivamente, con registro continuo, terminando el primero de ellos en el basamento cristalino (Proterozoico) y el segundo dentro de la sección media del Devónico superior (Isaacson et al., 1995).

El pozo Manuripi X-1 sólo atravesó 103 m de la Formación Tomachi (Devónico superior). Esta formación está integrada en la base por fangolitas y areniscas finas depositadas en un ambiente de plataforma clástica somera. Por encima y en concordancia se desarrolla la Formación Toregua (Carbonífero inferior) de 300 m de potencia. Esta unidad consiste de dos miembros: 1- el inferior compuesto de limolitas y fangolitas finamente bandeadas con depósitos resedimentados y estructuras de deformación ("slumps"), representando un subambiente de prodelta y 2-

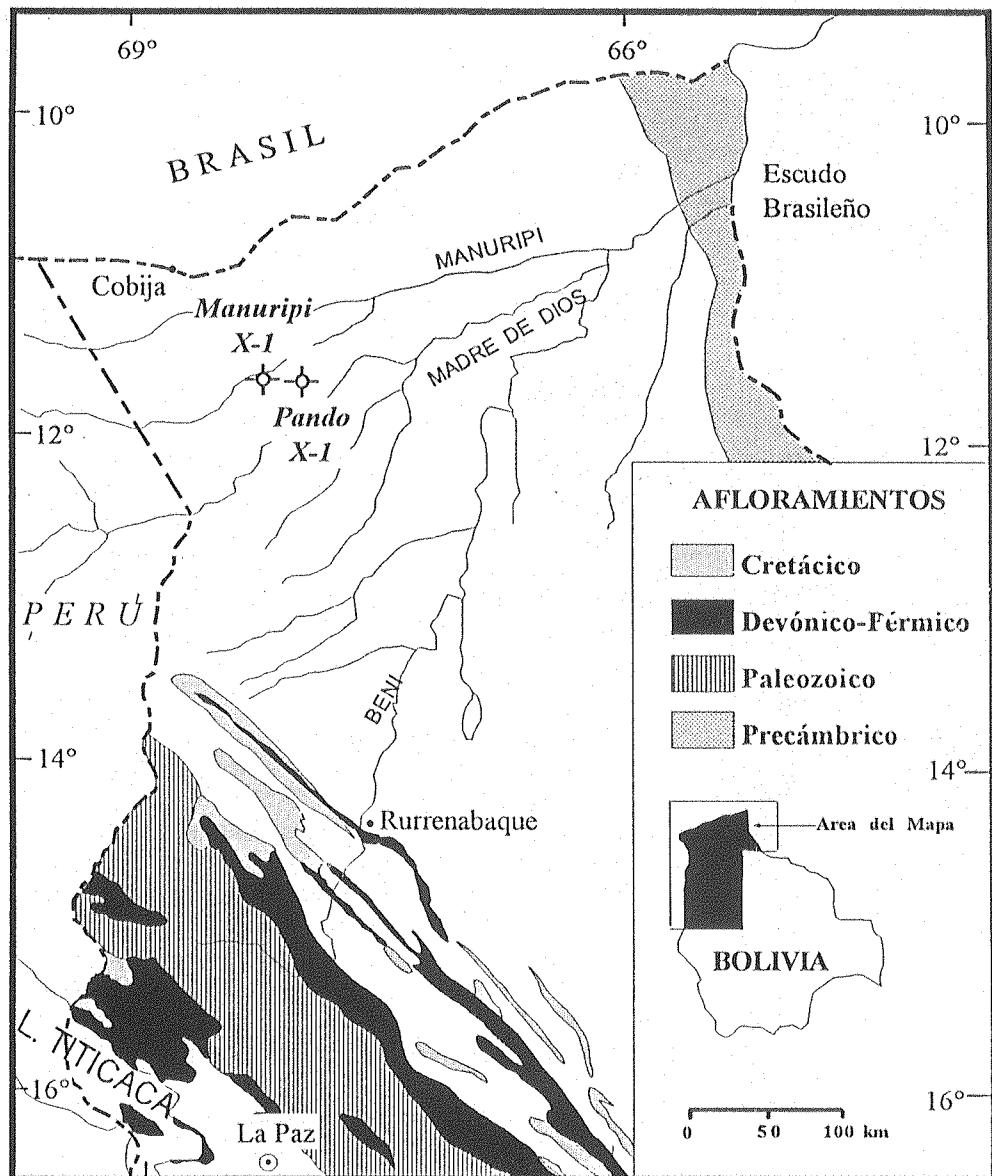


Figura 1. Mapa geológico. Ubicación de los pozos Manuripi X-1 y Pando X-1.
Figure 1. Geological map. Location of Manuripi X-1 and Pando X-1 wells.

un miembro superior integrado por capas de areniscas intercaladas con delgados niveles de fangolitas bioturbadas, indicando depósitos de llanura deltaica (Isaacson et al., 1995) (Fig. 2). A continuación, y separadas por una discordancia erosiva, se desarrollan 50 m de areniscas gradadas, finas a medias con intercalaciones de limolitas laminadas de ambiente de duna eólica, perteneciente a la Formación Yaurichambi. Esta unidad constituye la base del ciclo transgresivo del Carbonífero superior y es concordante en gradual transición con la Formación Copacabana (Díaz, 1994) de edad Carbónica superior-Pérmino inferior. Esta última entidad se compone de 300 m de calizas, dolomías, areniscas finas, anhidrita y fangolitas, depositadas en un ambiente de llanura de marea

a plataforma carbonática (Isaacson et al., 1995) (Fig. 2).

Una discordancia erosiva separa los depósitos del Paleozoico superior de las sedimentitas mesozoicas y cenozoicas, que alcanzan en el pozo Manuripi X-1 una potencia de 800 m.

MÉTODO DE ESTUDIO

El análisis de procedencia fue realizado sobre 19 muestras seleccionadas en las que se determinaron las modas detríticas por conteo de puntos usando el método Gazzi-Dickinson (Ingersoll et al., 1984) con la finalidad de

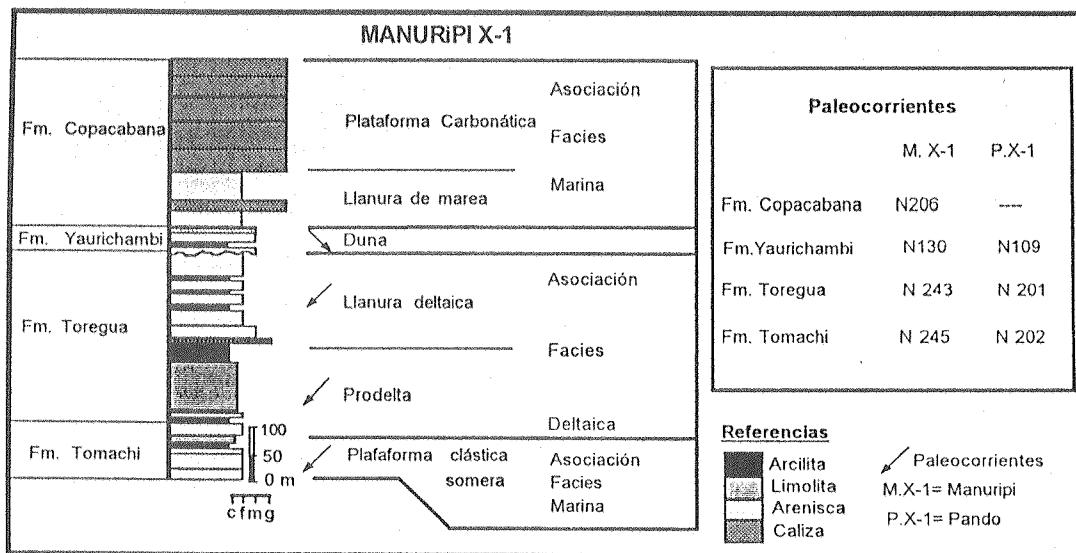


Figura 2. Columna estratigráfica generalizada del pozo Manuripi X-1. Adaptada de Isaacson et al. (1995).
Figure 2. Stratigraphic column of Manuripi X-1 well. Adapted from Isaacson et al. (1995).

minimizar el efecto del tamaño de grano. Los componentes gruesos ($> 0.0625 \text{ mm}$) fueron contados como granos minerales individuales y los componentes finos ($< 0.0625 \text{ mm}$) como fragmentos líticos. Se contaron entre 400 y 500 puntos por cada muestra, con un espaciamiento que varió en función del tamaño de grano; el mayor espacio fue usado en las areniscas gruesas para evitar contar un grano más de una vez (Devaney & Ingersoll, 1993). Los parámetros de conteo de puntos utilizados fueron los propuestos por Dickinson (1985). Para una mejor y rápida identificación de los feldespatos potásicos y plagioclásas las muestras fueron teñidas siguiendo la metodología propuesta por Dickinson (1985).

PETROGRAFÍA DE ARENISCAS

Características texturales.

Las areniscas de la Formación Tomachi se caracterizan por su granulometría promedio de arena fina (Tabla 1). Con respecto a la forma de los granos predominan los subangulares, mientras que la selección es moderada.

La Formación Toregua (Tabla 1) está representada por areniscas cuyo tamaño de grano promedio varía entre arena media a gruesa. Debido a la variedad de ambientes sedimentarios que se han evaluado en estas muestras (ver columna estratigráfica, Fig. 2), la forma de los granos varía de subangular a redondeada con moderada a mala selección. Algunas muestras poseen matriz limosa y/o cemento calcáreo, no representando en ambos casos más del 5 %.

La muestras de la Formación Yaurichambi (Tabla 1)

están integradas por areniscas de granulometría que varía entre arena fina a media. Los clastos son subredondeados a redondeados con moderada a buena selección. Presentan escasa matriz limolítica. Las areniscas de la Formación Copacabana (Tabla 1) poseen una granulometría promedio de arena fina con granos que alcanzan a arena media. Los clastos son subredondeados y la selección es moderada a buena. El cemento calcáreo no representa más del 10%.

Descripción del tipo de grano.

Cuarzo monocristalino (Qm). representa más del 80% de la población de las muestras analizadas. Posee extinción ondulatoria a escasamente ondulatoria con individuos límpidos o con ligera turbidez debido a trenes de inclusiones fluidas. Las inclusiones minerales más comunes son de apatita, con escasos ejemplares de turmalina.

Cuarzo policristalino (Qp). se encuentra en pequeñas cantidades (1-2%). Se pudieron distinguir dos tipos de poblaciones: 1) Agregados cristalinos con granos equidimensionales y contactos fuertemente suturados, 2) Agregados cristalinos con diferentes tamaños de granos y contactos poligonales.

Feldespatos (F). tanto plagioclásas (P) como feldespatos potásicos (K) están presentes y han sido incluidos en este rubro.

Feldespato potásico (K): es claramente la variedad más abundante dentro de los feldespatos, con una población

Composición y procedencia de areniscas del Devónico medio-Carbonífero superior. Cuenca Madre de Dios, Bolivia.

| Muestra | Tamaño grano | Qm | Qp | Qt | K | P | F | Ls | Lv | L | Lt |
|-----------------|--------------|------|-----|------|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| Fm. Copacabana | | | | | | | | | | | |
| M941 | fino | 80.8 | 1.3 | 82.1 | 9.7 | 4.7 | 14.4 | 0.1 | 2.6 | 2.7 | 4.0 |
| M1056 | fino | 80.6 | 0.5 | 81.1 | 15.1 | 0.6 | 15.7 | 0.1 | 2.8 | 2.9 | 3.4 |
| M1089 | fino | 84.7 | 1.2 | 85.9 | 8.6 | 1.2 | 9.8 | 0.2 | 4.0 | 4.2 | 5.4 |
| Fm. Yaurichambi | | | | | | | | | | | |
| M1094 | fino | 89.4 | 1.5 | 90.9 | 3.9 | 0.9 | 4.8 | 0.7 | 3.3 | 4.0 | 5.5 |
| M1097 | fino | 88.0 | 1.7 | 89.7 | 5.4 | 1.3 | 6.7 | 1.1 | 2.0 | 3.1 | 4.8 |
| M1101 | fino-medio | 90.3 | 1.9 | 92.2 | 3.0 | 1.2 | 4.2 | 0.7 | 2.6 | 3.3 | 5.2 |
| M1137 | fino-medio | 89.3 | 2.1 | 91.4 | 4.1 | 0.9 | 5.0 | 0.1 | 3.1 | 3.2 | 5.3 |
| Fm. Toregua | | | | | | | | | | | |
| M1174 | fino-medio | 83.9 | 1.9 | 85.8 | 6.8 | 3.9 | 10.7 | 0.1 | 3.1 | 3.2 | 5.1 |
| M1195 | fino-medio | 87.2 | 0.3 | 78.5 | 7.5 | 8.3 | 15.8 | 0.7 | 4.6 | 5.3 | 5.6 |
| M1229 | medio-grueso | 94.9 | 0.3 | 95.2 | 1.9 | 1.6 | 3.5 | 0.7 | 0.3 | 1.0 | 1.3 |
| M1232 | medio-grueso | 94.2 | 0.7 | 94.9 | 2.5 | 0.8 | 3.3 | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 2.2 |
| M1287 | medio-grueso | 81.4 | 0.4 | 81.8 | 17.0 | 0.2 | 17.2 | 0.2 | 0.2 | 0.4 | 0.8 |
| M1290 | medio-grueso | 80.6 | 0.4 | 81.0 | 18.6 | 0.0 | 18.6 | 0.0 | 0.2 | 0.2 | 0.6 |
| M1292 | medio-grueso | 81.8 | 0.9 | 82.7 | 16.5 | 0.3 | 16.8 | 0.3 | 0.0 | 0.3 | 1.2 |
| M1313 | medio-grueso | 85.2 | 1.0 | 86.2 | 12.6 | 0.4 | 13.0 | 0.6 | 0.0 | 0.6 | 1.6 |
| M1314 | medio-grueso | 85.2 | 0.8 | 86.0 | 11.7 | 0.5 | 12.2 | 0.6 | 0.0 | 1.6 | 2.4 |
| M1424 | fino | 86.2 | 0.8 | 87.0 | 6.6 | 2.3 | 8.9 | 1.2 | 2.6 | 3.8 | 4.6 |
| Fm. Tomachi | | | | | | | | | | | |
| M1477 | fino | 94.6 | 0.1 | 94.7 | 3.3 | 1.1 | 4.4 | 0.3 | 0.1 | 0.4 | 0.5 |
| M1496 | fino | 90.2 | 0.2 | 90.4 | 7.2 | 0.7 | 7.9 | 1.0 | 0.5 | 1.5 | 1.7 |

Tabla 1. Datos del conteo de puntos y parámetros calculados para el análisis de procedencia. Qt: total de granos de cuarzo ($Qt=Qm+Qp$); Qm: cuarzo monocristalino ($>0,0625$ mm); Qp: cuarzo policristalino. F: total de feldespatos ($F=P+K$); P: plagioclasa; K: feldespato potásico. Lt: total de fragmentos líticos ($Lt=L+Qp$); L: total de fragmentos líticos inestables ($L=Ls+Lv$); Ls: total de fragmentos líticos sedimentarios/metasedimentarios; Lv:total de fragmentos líticos volcánicos/subvolcánicos.

Table 1. Count points data and calculated parameters for provenance analysis. Qt: total quartz grains ($Qt=Qm+Qp$); Qm: monocrystalline quartz ($>0,0625$ mm); Qp: polycrystalline quartz. F: total feldspar ($F=P+K$); P: plagioclases; K: potassium feldspars. Lt: total rock fragments ($Lt=L+Qp$); L: total unstable rock fragments ($L=Ls+Lv$); Ls: sedimentary/metasedimentary rock fragments; Lv: volcanic/subvolcanic rock fragments.

| Tipo de Diagrama | QmFLT | | | | QtFL | | | | QmPK | | |
|------------------|-------|----|----|----|------|----|---|----|------|----|--|
| | n | Qm | F | Lt | Qt | F | L | Qm | P | K | |
| Fm. Copacabana | 3 | 82 | 14 | 4 | 83 | 14 | 3 | 86 | 2 | 12 | |
| Fm. Yaurichambi | 4 | 89 | 6 | 5 | 91 | 6 | 3 | 95 | 1 | 4 | |
| Fm. Toregua | 10 | 85 | 12 | 3 | 86 | 12 | 2 | 88 | 2 | 10 | |
| Fm. Tomachi | 2 | 92 | 6 | 2 | 93 | 6 | 1 | 94 | 1 | 5 | |

Tabla 2. Datos del conteo de puntos y parámetros calculados para el análisis de procedencia. n: número de muestras; Qm: cuarzo monocristalino ($>0,0625$ mm); Qt: total de granos de cuarzo; F: total de feldespatos; P: plagioclases; K: feldespato potásico; Lt: total de fragmentos líticos; L: fragmentos líticos inestables.

Table 2. Count points data and calculated parameters for provenance analysis. n: number of samples; Qm: monocrystalline quartz ($>0,0625$ mm); Qt: total quartz; F: total feldspar; P: plagioclases; K: potassium feldspars; Lt: total rock fragments; L: unstable rock fragments.

que alcanza en algunos casos al 18%. Se destacan los individuos de ortoclasa monocristalina y los de microclino con frecuente maclado polisintético. Incipiente grado de alteración argílica afecta a este grupo.

Plagioclasa (P): se encuentra subordinada con valores que no superan el 2%. Por lo general se presenta en cristales tabulares con maclado polisintético. Como los granos de feldespato potásico (K), presentan alteración argílica moderada.

Fragmentos de roca (L). representan una pequeña fracción dentro de la moda detrítica (3%). Se trata de líticos sedimentarios y metasedimentarios (Ls) y líticos volcánicos (Lv). Dentro de los líticos sedimentarios se destacan los fragmentos de limolitas con matriz arcillosa mientras que los líticos metasedimentarios están repre-

sentados por fragmentos compuestos de cuarzo, mica y feldespato; los líticos volcánicos muestran pastas felsíticas con cuarzo micro y macrocristalino.

ANÁLISIS DE PROCEDENCIA

Como se puede observar en la tabla 2, los contenidos promedios de los diferentes componentes no presentan variaciones notables entre las Formaciones Copacabana, Yaurichambi, Toregua y Tomachi. Según el diagrama QmFLT de Folk, (1974) (Fig. 3a) las areniscas de estas formaciones son clasificadas como subarcosas. Estos tipos de areniscas corresponden a la pretróficas cuarzosa de Dickinson (1988) con contenido dominante de Qm, escasos Qp y F(K>P), lo cual es indicativo de masa cratónica profundamente meteorizada o sedimentos reciclados

levantados en un cinturón plegado.

Las areniscas de las Formaciones Tomachi presentan alto contenido de cuarzo (Qm), elevada relación K/P y bajo contenido de fragmentos líticos (Ls y Lv). Las areniscas de la Formación Toregua poseen características similares a las de la Formación Tomachi siendo remarcable el alto contenido en feldespatos K que en algunas muestras llega a sumar hasta el 18% de los componentes.

Las muestras de las Formaciones Yaurichambi y Copacabana presentan alto contenido de cuarzo (Qm) y elevada relación K/P. Aunque el contenido de fragmentos líticos (L) continúa siendo bajo, se observa un incremento en la relación Lv/Ls (2-3/1).

Los resultados de las modas detriticas volcados en los diagramas QmFLt y QtFL (Fig. 3c) de Dickinson (1985) muestran que las areniscas de las Formaciones Toregua y Tomachi han sido derivadas de un cratón interior, en tanto que las sedimentitas de las Formaciones Copacabana y Yaurichambi caen en el límite de la zona de cratón interior y orogenio reciclado.

La información del diagrama QmPK (Dickinson & Suczek, 1979) (Fig. 3b) refleja claramente que la mayoría de las sedimentitas analizadas proceden de un bloque continental.

Los datos obtenidos de la lectura de los perfiles de buzamientos del pozo Manuripi X-1 y Pando X-1 (ver columna estratigráfica, Fig. 2) muestran paleocorrientes con dirección NE-SW para las Formaciones Toregua y Tomachi y NW-SE para la Formación Yaurichambi. Para la Formación Copacabana no se han podido obtener valores confiables de paleocorrientes debido a que contiene más carbonatos que areniscas.

ÁREAS DE APORTE

Antecedentes.

Los afloramientos del basamento Precámbrico y Paleozoico inferior, tales como el Macizo de Arequipa, las Sierras Pampeanas del noroeste de Argentina y el Escudo Brasileño, han sido sugeridos por distintos autores como las posibles áreas de aporte de la Secuencia Silicoclástica Devónica-Carbonífera de Bolivia (Isaacson, 1975; Isaacson & Sablock, 1988, 1990; Boucot et al., 1980; Laubacher et al., 1982).

Los estudios de procedencias realizados por Díaz (1994) para el Carbonífero y para el Devónico tardío del Altiplano Boliviano muestran que, en el caso del Devónico tardío, existió una fuente de aporte ubicada al oeste y al sur. En el Tournaisiano y Viseano temprano (Formación Kasa) el área de aporte se ubica al este mientras que para el Viseano tardío y el Carbonífero tardío, este autor define marcada influencia de un arco

magmático.

El Macizo de Arequipa, que fuera definido como largamente siálico (Bellido & Guevara, 1963; Cobbing et al., 1977; Dalmayrac et al., 1980), ha contribuido a lo largo de su historia con gran cantidad de sedimentos clásticos a las cuencas intracrátónicas de Bolivia y Perú (Isaacson, 1975; Zeil, 1979; Dalmayrac et al., 1980). Dentro de la suite de rocas que se describen en este macizo se incluyen metasedimentos de bajo grado, rocas graníticas y pegmatitas (Issacson & Díaz, 1995). Según Dalmayrac et al. (1980) las rocas del Macizo de Arequipa son composicionalmente similares a las rocas que forman el Escudo Brasileño. En el este de Bolivia este escudo incluye gneises, granitos y otros protolitos (Litherland et al., 1989). En cuanto al ciclo de las Sierras Pampeanas, éste ha sido descripto como similar al ciclo Brasilero (Rapela et al., 1982).

Resultados.

Para las Formaciones Tomachi y Toregua el análisis de procedencia muestra un área de aporte relacionada con un cratón interior y las paleocorrientes indican un área ubicada al E-NE de la CMD. Se deduce que el área de aporte está relacionada a afloramientos de rocas del Precámbrico como son los plutones y esquistos San Ignacio de 1300 Ma y los granitos Rodonia/Sunsas de 1000 Ma (Litherland et al., 1989) del Escudo Brasileño del este de Bolivia.

Para la Formación Yaurichambi los resultados del análisis de procedencia indican un área de aporte relacionada a un cratón interior, con influencias de una orogenia reciclada ubicada, según las paleocorrientes, al O-NO de la CMD. El Macizo de Arequipa, aunque no responde estrictamente a las características de un cratón interior, presenta eventos ígneos como el batolito San Nicolás de 390 Ma (Musaka & Henry, 1990) que lo ubican como una de las principales fuentes de aporte de esta formación. En cuanto a la influencia de una orogenia reciclada, se sugiere como zona de aporte a las sedimentitas de la Subcuenca del sudeste de Perú, levantadas durante el Devónico tardío-Carbonífero temprano como resultado de la compresión del Macizo de Arequipa y el Escudo Brasileño (Isaacson & Sablock, 1990). En tanto, los resultados del análisis de procedencia indican para la Formación Copacabana un área de aporte similar a la de la Formación Yaurichambi.

CONCLUSIONES

Las areniscas analizadas fueron clasificadas como subarcosas. Estas presentan cuarzo monocristalino dominante, escasa participación de cuarzo policristalino y

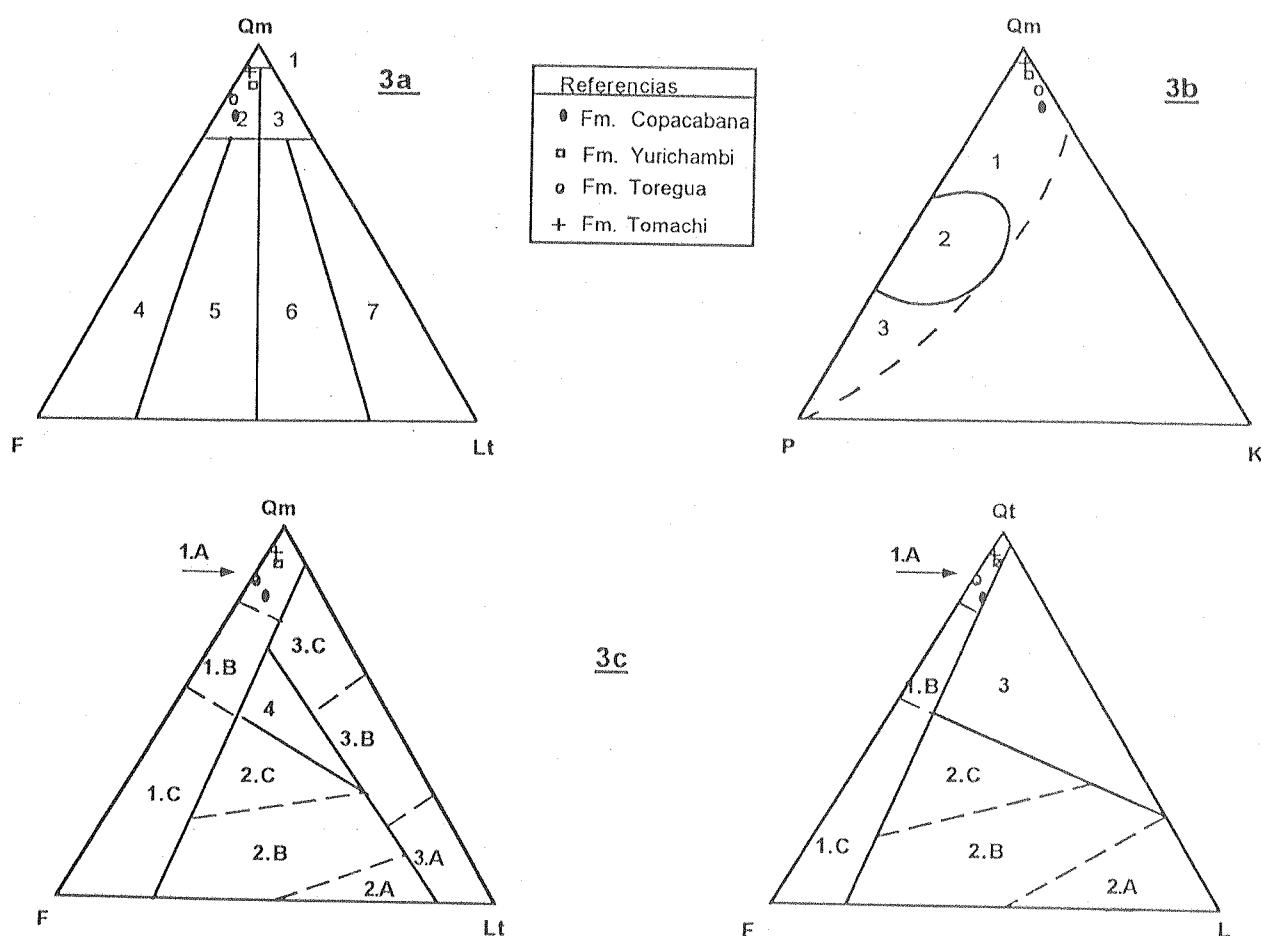


Figura 3a. Clasificación de las muestras de areniscas usando la moda detrítica QmFLt y los campos composicionales de Folk (1974): 1, cuarzoarenita; 2, subarcosa; 3, sublitoarenita; 4, arcosa; 5, arcosa lítica; 6, litoarenita arcósica; 7, litoarenita.

Figura 3b. Diagrama QmPK de discriminación de procedencia, según Dickinson (1985). 1, bloque continental; 2, rocas volcánicas-plutónicas del círculo pacífico; 3, arco magnético.

Figura 3c. Diagramas QmFLt y QtFL de discriminación de procedencias, según Dickinson (1985). 1, bloque continental; 1A, interior cratónico; 1B, continental transicional; 1C, basamento elevado; 2, arco magnético; 2A, no disectado; 2B, transicional; 2C, disectado; 3, orógeno reciclado; 3A, lítico; 3B, transicional; 3C, cuarzoso; 4, mezcla.

Figura 3a. Classification of sandstone samples using QmFLt detrital modes and the compositional fields of Folk (1974): 1, quartzarenite; 2, subarkose; 3, sublitharenite; 4, arkose; 5, lithic arkose; 6, arkosic litharenite; 7, litharenite.

Figura 3b. QmPK provenance discrimination diagram after Dickinson (1985). 1, continental block; 2, circum-Pacific volcano-plutonic suite; 3, marmatic arc.

Figura 3c. QmFLt and QtFL provenance diagrams after Dickinson (1985). 1, continental block; 1A, craton interior; 1B, transitional continental; 1C, basement uplift; 2, magmatic arc; 2A, undissected; 2B, transitional; 2C, dissected; 3, recycled orogen; 3A, lithic; 3B, transitional; 3C, quartzose; 4, mixed.

mayor contenido de feldespatos potásicos que plagioclásas, correspondiendo estas características a la petrofacies cuarzosa de Dickinson (1988). Estos resultados son indicativos de una masa cratónica profundamente meterizada o sedimentos reciclados.

El análisis de procedencia sugiere dos áreas de aporte diferentes para estas areniscas. En el caso de las areniscas del Devónico superior-Carbonífero inferior (Formaciones Tomachi y Toregua) el área de aporte estuvo localizada al E-NE y relacionada con un cratón interior que se puede

asimilar a rocas del Escudo Brasileño expuestas al este de Bolivia. Para el Carbonífero superior (Formación Yaurichambi y quizás también para la Formación Copacabana) el área de aporte está relacionada a un cráton interior y orógeno reciclado proveniente del O-NO. Para estas areniscas se sugieren dos áreas alternativas de aporte: una con rocas ígneas del Macizo de Arequipa y otra correspondiente a sedimentos levantados durante el Devónico tardío y Carbonífero temprano de la subcuenca Peruana.

Agradecimientos. Departamento de Geología de la Universidad del Estado de Idaho, U.S.A. por haber brindado los medios para realizar el trabajo. A las correcciones de los árbitros Luis Cazau y Carlos Disalvo y especialmente al Dr. Luis Spalletti por las sugerencias aportadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BAHLBURG, H., C. BREITKREUZ, & P. GIESE, 1988. The southern central Andes: Contributions to the structure and evolution of active continental margin.. *Lecture notes in Earth Science* 17: 261pp. Springer.
- BELLIDO, E. & C. GUEVARA, 1963. Geología de los cuadrangulos de Punta de Bombón y Clemesi. *Comisión Carta Geología Nacional de Perú*. Boletín 5. 92 pp. Lima.
- BOUCOT, A. J., P. E. ISAACSON & G. LAUBACHER, 1980. An Early Devonian, Eastern American faunule from the coast of southern Peru. *Journal of Paleontology* 54: 359-365.
- COBBING, E. J., J. M. OZARD & N. J. SNELLING, 1977. Reconnaissance geochronology of the crystalline basement rocks of the Coastal Cordillera of Peru. *Geological Society of America Bulletin* 88: 241-246.
- DALMAYRAC, B., G. LAUBACHER, R. MOROCCHO, C. MARTINEZ & P. TOMASI, 1980. La chaîne hercynienne d'Amérique du sud: structure et évolution d'un orogène intracratonique: *Geologische Rundschau* 69: 1-21.
- DEVANEY, K. A. & R. V. INGERSOLL, 1993. Provenance evolution of Upper Paleozoic sandstones of north-central New Mexico. *Geol. Society of America Special Paper* 284: 91-108.
- DIAZ MARTINEZ, E., 1994. Upper Devonian and Carboniferous of the Altiplano of Bolivia: stratigraphy, sedimentology and paleogeographic evolution. PhD Thesis, *University of Idaho*, 208 pp. (inédita).
- DICKINSON, W. R., 1985. Interpreting provenance relation from detrital modes of sandstones. En G. G. Zuffa (Ed.) *Provenance of arenites*. D. Reidel, Boston: 333-361.
- DICKINSON, W. R., 1988. Provenance and sediment dispersal in relation to paleogeography of sedimentary basins. En K. L. Kleinspehn & C. Paloa (Eds.). *New Perspectives in Basin Analysis*. Springer-Verlag: 3-25.
- DICKINSON, W. R. & C. A. SUCZEK, 1979. Plate tectonic and sandstone composition. *American Association of Petroleum Geologist Bulletin* 63(12): 2164-2182.
- FOLK, R. L., 1974. Petrology of sedimentary rocks. *Hemphill Publ.* Austin. 182 pp.
- INGERSOLL, R. V., T. F. BULLARD, J. P. GRIMM & J. D. PICKLE, 1984. The effect of grain size on detrital modes: A test of the Gazzi-Dickinson point-counting method. *Journal of Sedimentary Petrology* 54(1): 103-116.
- ISAACSON, P. E., 1975. Evidence for western extracontinental land source during the Devonian Period in the central Andes. *Geological Society America Bulletin* 86: 39-46.
- ISAACSON, P. E. & E. DÍAZ MARTÍNEZ, 1995. Evidence for a Middle and Late Paleozoic Foreland Basin and Significant Paleolatitudinal Shift, Central Andes. En A. J. Tankard, R. Suárez Soruco & H. J. Welsink (Eds.), *Petroleum Basins of South America*. American Association of Petroleum Geologists Memoir 62: 231-249.
- ISAACSON, P. E., B. P. PALMER, B. L. MAMET, J. C. COOKE & D. E. SANDERS, 1995. Devonian - Carboniferous stratigraphy in the Madre de Dios basin, Bolivia: Pando X-1 and Manuripi X-1 Wells. En A. J. Tankard, R. Suárez Soruco & H. J. Welsink (Eds.), *Petroleum Basins of South America*. American Association of Petroleum Geologists Memoir 62: 501-509.
- ISAACSON, P. E. & P. E. SABLOCK, 1988. Devonian System in Bolivia, Peru and Northern Chile. En N. J. McMillan, A. F. Embry & D. J. Glass (Eds.), *Devonian of the World*. Canadian Society of Petroleum Geologist Memoir 14(1): 719-728.
- ISAACSON, P. E. & P. E. SABLOCK, 1990. Devonian palaeobiogeography of the central Andes. En W. S. McKerrow & C. R. Scotese (Eds.), *Paleozoic Palaeogeography and Biogeography*. Geological Society of London Memoir 12: 431-435.
- LAUBACHER, G., A. J. BOUCOT & J. GRAY, 1982. Additions to Silurian stratigraphy, lithofacies, biogeography and paleontology of Bolivia and southern Peru. *Journal of Paleontology* 56: 1138-1170.
- LITHERLAND, M., R. N. ANNELLS, D. P. F. DARBYSHIRE, C. J. N. FLETCHER, M. P. HAWKINS, B. A. KINCK, W. I. MITCHEL, E. A. O'CONNOR, P. E. J. PITFIELD, G. POWER, & B. C. WEBB, 1989. The Proterozoic of Eastern Bolivia and its Relationship to the Andean Mobile Belt. *Precambrian Research* 43: 157-174.
- MUKASA, S. B. & D. J. HENRY, 1990. The San Nicolás Batholith of coastal Peru: early Paleozoic continental arc or continental rift magmatism? *Journal of Geological Society of London* 147: 27-39.
- RAPELA, C. W., L. M. HEAMAN & R. H. McNUTT, 1982. Rb-Sr geochronology of granitoid rocks from the Pampean Ranges, Argentina. *Journal of Geology* 90: 574-582.
- REUTTER, K., E. SCHEUBER & P. J. WIGGER, 1994. Tectonics of the Southern Central Andes: structure and evolution of an active continental margin. *Springer*. 333 pp.
- ZEIL, W., 1979. The Andean-a geological review. *Gebrüder Borntraeger*, Berlin. 260 pp.

Adolfo GIUSIANO

Río Negro 253

8340 ZAPALA

República Argentina

Ezequiel DÍAZ

ORSTROM-UR13

C. C. 9214

LA PAZ - Bolivia

P. ISAACSON

Dept. of Geology - University of Idaho

ID 83843 MOSCOW

U.S.A.

Recibido: 27 de mayo de 1996.

Aceptado: 20 de octubre de 1997.