

# RELACION ENTRE TECTONICA Y SEDIMENTACION EN LA CUENCA DE ANTEPAIS DEL PALEOZOICO MEDIO DE LOS ANDES CENTRALES DE BOLIVIA (14 a 22°S)

ENRIQUE DIAZ <sup>1</sup>, RODRIGO LIMACHI <sup>2</sup>, VICTOR HUGO GOITIA <sup>2</sup>, DANIEL SARMIENTO <sup>2</sup>, OSCAR ARISPE <sup>3</sup> Y RUBEN MONTECINOS <sup>4</sup>

<sup>1</sup> ORSTOM, Casilla 9214, La Paz, Bolivia, <sup>2</sup> YPFB, Casilla 1659, Santa Cruz, Bolivia,

<sup>3</sup> UMSA, La Paz, Bolivia, <sup>4</sup> UATF, Potosí, Bolivia



## RESUMEN

El Ciclo Cordillerano de Bolivia (Silúrico-Carbonífero inferior) constituye el relleno sedimentario de una cuenca de antepaís adyacente a un cinturón de deformación situado hacia el oeste y sur de la cuenca, y relacionado con subducción oblicua hacia el este. El apilamiento tectónico en el frente de deformación fue posiblemente la causa del aumento de la subsidencia, tasa de sedimentación, e inestabilidad tectónica que facilitaron eventos de resedimentación y la formación de relieves que originaron glaciación local.

## ABSTRACT

The Cordilleran cycle of Bolivia (Silurian-early Carboniferous) corresponds to the sedimentary filling of a foreland basin adjacent to a fold-thrust belt located to the west and south of the basin and related with east-dipping oblique subduction. Tectonic piling in the deformational front was the probable cause for the increased subsidence, sediment supply and tectonic instability which facilitated sediment gravity flows, as well as for the development of reliefs leading to local glaciation.

## INTRODUCCION

La estabilidad o inestabilidad de un sedimento depende tanto de sus propiedades geotécnicas (que están determinadas por el tamaño de grano, densidad, cohesividad y rigidez, contenido en agua, etc.), como de factores externos tales como la pendiente y el tipo de mecanismo o fenómeno que inicia el movimiento. Las cuencas sedimentarias en ambientes tectónicos relativamente estables (márgenes pasivos, interior de cratones) pueden presentar inestabilidad del sedimento cuando las tasas de sedimentación y de subsidencia originan un aumento en la pendiente deposicional. Este efecto es mucho mayor en cuencas tectónicamente activas, donde las elevadas tasas de subsidencia y de sedimentación relacionadas con la formación y erosión de relieves se encuentran en un ambiente tectónicamente inestable, donde los frecuentes terremotos pueden fácilmente iniciar el movimiento del sedimento. En estos ambientes tectónicamente activos, la posibilidad de encontrar depósitos resedimentados de gran espesor y extensión es mucho mayor.

La revisión de una gran parte de las secciones estratigráficas tipo del Ciclo Cordillerano del Paleozoico de Bolivia en el Altiplano, Cordillera Oriental y Subandino ha permitido comprobar la existencia de frecuentes depósitos de flujos de gravedad en la secuencia. Aunque su existencia no es ninguna novedad, su revisión e interpretación es de interés para poder corroborar las últimas interpretaciones sobre la evolución paleozoica de los Andes Centrales bolivianos. Anteriores estudios en la zona han hecho más hincapié en las correlaciones litoestratigráficas regionales, y muy raras veces se ha llevado a cabo en detalle un análisis de facies e interpretación de los ambientes sedimentarios en estas secuencias. Este trabajo resume los principales hallazgos, en relación con los depósitos de flujos de gravedad, que han resultado de una campaña de 7 meses de duración de revisión de la mayoría de las secciones estratigráficas tipo del Silúrico al Carbonífero medio de Bolivia, y establece algunas conclusiones sobre su relación con el ambiente tectónico que existió durante este periodo.

MEMORIAS DEL XII CONGRESO GEOLOGICO DE BOLIVIA - TARIJA, BOLIVIA: 97 - 102.



01002322

1996, vol. 1, p.

Fonds Documentaire IRD

Cote : B\*23222 Ex : *unq*

**ESTRATIGRAFIA Y TECTONICA**

El esquema estratigráfico básico para el Paleozoico de Bolivia ha sido recientemente revisado y publicado bajo el convenio de cooperación científica entre YPFB y ORSTOM (Sempere, 1990, 1995; Oller, 1992; Suárez & Díaz, 1996). El Ciclo Tacsariano del Paleozoico inferior (Cámbrico medio-Ordovícico) refleja en su mayor parte el desarrollo de una cuenca de trasarco, que continuó del Silúrico al Carbonífero inferior como una cuenca de antepaís (Sempere, 1989, 1995; Isaacson & Díaz, 1995). El Ciclo Cordillerano (Silúrico-Carbonífero inferior; Suárez, 1989) representa el relleno de esta cuenca de antepaís. A continuación se presenta una breve descripción de las unidades que componen este ciclo, con especial énfasis en las que contienen flujos de gravedad y depósitos resedimentados (véase la figura 1 para referencia).

**1. Inicio del funcionamiento de la cuenca de antepaís: la Formación Cancañiri.**

Esta unidad ha sido datada como Silúrico inferior (Llandoveryano) según la fauna más joven y no resedimentada que se ha encontrado en ella (Antelo, 1973; Rodrigo *et al.*, 1977; Suárez, 1995). También se ha propuesto una edad Ashgilliano superior (Hirnantiano) para esta formación (Toro *et al.*, 1991; Toro, 1994). La laguna estratigráfica relacionada con la discontinuidad subyacente aumenta hacia el sur en la Cordillera Oriental, faltando la mayor parte del Ordovícico en la parte más meridional de Bolivia (al sur de Tarija) y en el norte de Argentina (Suárez, 1995). Todavía falta el control en dirección este-oeste de esta laguna estratigráfica, debido a la cobertura cenozoica en el Altiplano, y a la escasez de estudios más detallados. Por lo tanto, sólo se conoce el componente norte-sur de esta tendencia erosiva. La Formación

Edad		Altiplano	Cord. Oriental	Subandino sur	
Carb.	Namur.				
	Viseano	Gr. Ambo			
	Tournais.	Gr. Mandiyutí			
Devónico	Sup.	Fm. Colpacucho	Fm. Iquiri	?	
	Medio	Fm. Sica Sica	Fm. Los Monos	C	
	Inf.	Fm. Belén Fm. Vila Vila	Fm. Icla Fm. Santa Rosa	B	
	Silúrico	Sup.	Fm. Catavi	Fm. Tarabuco	A
		Inf.	Fm. Uncía	Fm. Kirusillas	?
	?		Fm. Llalagua		
?		Fm. Tokochi	Fm. Cancañiri		
Ordov.		Fm. San Benito y otras unidades			

Fig. 1.- Esquema simplificado de la estratigrafía y correlación de unidades del Ciclo Cordillerano (Silúrico-Carbonífero inferior) en Bolivia. Los triángulos indican los dos eventos principales de inestabilidad tectónica y resedimentación. A, B y C: principales ciclos de tercer orden (HST).

Cancañiri presenta todos los tipos de evidencia de inestabilidad del sedimento submarino, incluyendo deslizamientos en masa, capas y bloques deslizados, repliegues sinsedimentarios (slumps), flujos de detrito (tanto de alta como de baja densidad), flujos de lodo, y turbiditas. Las capas y bloques deslizados pueden alcanzar espesores que sobrepasan los 50 m, y extensiones que sobrepasan varios kilómetros. El tamaño de grano del material resedimentado varía mucho, originando diferentes litologías en función del grado de desagregación y de mezcla durante el transporte. La presencia de grandes clastos de granitoide, y de clastos facetados y estriados, dentro de los depósitos de flujos de detrito, indica una glaciación en el área madre del sedimento. Sin embargo, no existen evidencias de depósitos subglaciales (tillitas, pavimentos estriados, etc.) que demuestren la presencia de los glaciares en el área de sedimentación, y se plantea la posibilidad de que se trate de una glaciación local, que temporalmente alcanzó los márgenes de la cuenca en forma de glaciares de costa (tidewater glaciers). El espesor de esta unidad varía enormemente, desde unos pocos metros o ausente, hasta más de 1 km en las áreas occidentales. En la Formación Cancañiri se pueden reconocer varios eventos diferentes de resedimentación catastrófica, junto con fases intermedias de sedimentación "normal". Probablemente, estos eventos afectaron a áreas diferentes en momentos diferentes, empezando en el Ashgilliano superior y terminando en el Wenlockiano. Hacia el oeste, la Formación Cancañiri yace entre dos unidades de lutitas marinas profundas: las formaciones Tokochi y Huanuni. La Formación Llallagua suprayacente consiste en turbiditas con un área fuente hacia el oeste o suroeste. El área de depocentro común que aloja a las formaciones Tokochi, Cancañiri, Huanuni y Llallagua probablemente corresponde a la parte más profunda de la cuenca de antepaís (foredeep), debida a la acentuada subsidencia que se origina como respuesta a la deformación tectónica y apilamiento de bloques cabalgados que se situarían hacia el oeste y sur.

## 2. Relleno sedimentario marino somero de la cuenca de antepaís del Silúrico y Devónico.

El relleno de la cuenca de antepaís de retroarco del Paleozoico medio de los Andes Centrales de Bolivia tuvo lugar en un ambiente de plataforma marina somera dominada por el oleaje y las tormentas, comenzando en el Wenlockiano con las formaciones Uncía, Kirusillas, y terminando en el Fameniano con las formaciones Colpacucho e Iquiri. Las elevadas tasas de subsidencia y de sedimentación interactuaron con los cambios globales de nivel del mar, permitiendo el reconocimiento de por lo menos tres ciclos de tercer orden con cortejos de sistemas (systems tracts) de variable desarrollo. Los depocentros y áreas de mayor subsidencia se desplazaron progresivamente hacia el este y hacia el norte desde el Ordovícico hasta el Carbonífero (Montemurro, 1994). Esta tendencia está relacionada con un frente de deformación activo situado hacia el sur y oeste. El mayor grado de erosión y más amplia laguna estratigráfica pre-cretácica en la misma dirección corroboran esta inferencia.

En todas las unidades del Silúrico y Devónico se han encontrado evidencias de inestabilidad del sedimento, y en especial hacia el sur

y hacia el oeste (Figura 2). La sobrepresión por el oleaje durante las tormentas es un mecanismo que puede originar la formación de pequeños flujos del sedimento por gravedad (Clukey *et al.*, 1985; Myrow & Hiscott, 1991), pero el tamaño de la mayoría de los depósitos resedimentados que hemos observado indica un origen por grandes terremotos como el mecanismo más probable para la inestabilidad. De igual forma que para la Formación Cancañiri, en la secuencia del Silúrico y Devónico se pueden observar todos los diferentes estadios posibles en flujos de gravedad submarinos, desde deslizamientos en masa, bloques deslizados, replegamientos (slumps), flujos de detrito, flujos de lodo y turbiditas. Las facies observadas coinciden con las características descritas para este tipo de depósitos por diferentes autores (Moore, 1961; Dott, 1963; Hampton, 1972; Carter, 1975; Fisher, 1983; Posuna, 1984; Myrow & Hiscott, 1991). La Figura 2 resume la ubicación geográfica y la distribución en la columna estratigráfica de los eventos de resedimentación más importantes.

## 3. Fin del funcionamiento de la cuenca de antepaís y cambio de régimen tectónico en el Carbonífero.

La tendencia gradual regresiva y de somerización de las unidades del Devónico superior esta interrumpida de forma brusca por una marcada profundización y el inicio de resedimentación acentuada a partir del Fameniano superior (Estruniano) (Díaz, 1992, 1995). Las formaciones Cumaná e Itacua sobreyacen a un evento de profundización corto y pobremente preservado, e inician la llegada de un considerable volumen de sedimentos clásticos que caracteriza la sedimentación del Grupo Ambo en el norte del Altiplano y Cordillera Oriental, y de los grupos Macharetí y Mandiyutí en el Subandino centro y sur, y llanura del Chaco. La edad de estas secuencias del Carbonífero inferior indica que la finalización de este tipo de sedimentación y el cambio de régimen tectónico tuvieron lugar en el Serpukhoviano (Namuriano inferior), según los datos de palinología y paleobotánica de las unidades superiores en el norte y oeste de Bolivia (Azcuy & Ottone, 1987; Iannuzzi *et al.*, 1993), y según la edad Bashkiriano (Namuriano superior) de la base de la secuencia suprayacente (Merino & Blanco, 1990; Dalenz & Merino, 1994; Díaz, 1995; Díaz & Dalenz, 1995; Isaacson *et al.*, 1995; Mamet, 1996). Por ejemplo, la base de la Formación Copacabana en El Tunal, en el Subandino centro, es Atokano (Moscoviano inferior) de acuerdo a la bioestratigrafía de conodontos (Dalenz & Merino, 1994), y sobreyace a la Formación Yaurichambi (de probable edad Bashkiriano superior) y al Grupo Mandiyutí (Suárez, 1962). Por lo tanto, el final de la sedimentación del Grupo Mandiyutí tuvo lugar antes del Bashkiriano superior (es decir, antes del Westfaliano). La datación relativa de las unidades del Carbonífero inferior del Subandino sur se basa en fósiles de la zona bioestratigráfica de *Levipustula levis*, que se encuentran hacia el tope del Grupo Macharetí (Formación Tiguati). La edad geocronológica de la base de esta biozona ha sido recientemente revisada y "bajada" al Viseano por dataciones absolutas de tobas volcánicas (Roberts *et al.*, 1993). Por lo tanto, no existe ningún problema estratigráfico con la sedimentación de los grupos Macharetí y Mandiyutí antes del principal evento global regresivo del Serpukhoviano superior. De igual forma que para la Formación Cancañiri, la presencia de grandes clastos de granitoide, y de

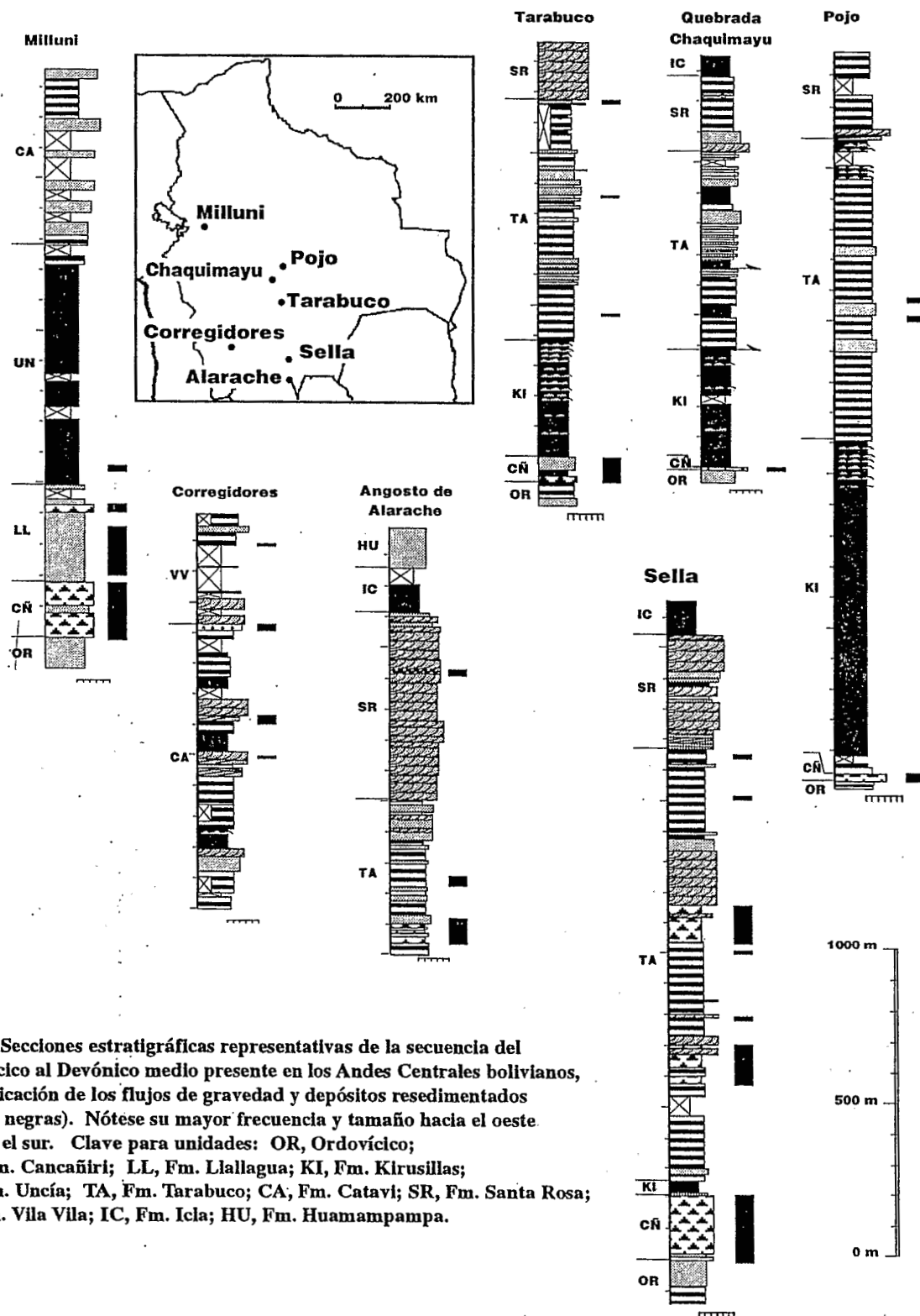


Fig. 2.- Secciones estratigráficas representativas de la secuencia del Ordovícico al Devónico medio presente en los Andes Centrales bolivianos, con indicación de los flujos de gravedad y depósitos resedimentados (barras negras). Nótese su mayor frecuencia y tamaño hacia el oeste y hacia el sur. Clave para unidades: OR, Ordovícico; CÑ, Fm. Cancañiri; LL, Fm. Llallagua; KI, Fm. Kirusillas; UN, Fm. Uncía; TA, Fm. Tarabuco; CA, Fm. Catavi; SR, Fm. Santa Rosa; VV, Fm. Vila Vila; IC, Fm. Icla; HU, Fm. Huamampampa.

clastos facetados y estriados, dentro de los depósitos de flujos de detrito, o como clastos caídos (cadilitos), indica una glaciación en el área madre del sedimento. Sin embargo, no existen evidencias de depósitos subglaciales en Bolivia (tillitas, pavimentos estriados, etc.) que demuestren la presencia de los glaciares en el área de sedimentación, y se plantea la posibilidad de que se trate de una glaciación local, que temporalmente alcanzó los márgenes de la cuenca en forma de glaciares de costa (tidewater glaciers) (Díaz & Isaacson, 1994).

### CONCLUSIONES

Diferentes tipos de evidencias indican que el Ciclo Cordillerano de Bolivia (supersecuencias Chuquisaca y Villamontes: Silúrico-Carbonífero inferior) corresponde al relleno sedimentario de una cuenca de antepaís adyacente a un frente de deformación (cinturón de deformación o faja plegada y corrida de antepaís) situado hacia el oeste y sur de la cuenca, y relacionado con subducción oblicua de corteza oceánica hacia el este (Sempere, 1995; Isaacson & Díaz, 1995). El desarrollo de este ciclo se inicia y termina respectivamente con dos periodos principales de eventos de inestabilidad y resedimentación. Estos dos periodos (Ordovícico terminal-Silúrico inferior y Devónico terminal-Carbonífero inferior) están caracterizados por material resedimentado con un espesor que localmente puede sobrepasar 1 km. Estas unidades evidencian una influencia tectónica (con aumentos rápidos de las tasas de subsidencia y de sedimentación) en los ciclos eustáticos globales que afectaron a la cuenca de los Andes Centrales. El aumento de la laguna estratigráfica hacia el oeste y sur, y el progresivo desplazamiento de la parte más subsidente de la cuenca (foredeep) y de los depocentros hacia el este y norte, están probablemente relacionados con la propagación del frente de deformación hacia esta última dirección. La presencia de depósitos de flujos de gravedad de diferente tamaño, composición y extensión en toda la secuencia estratigráfica evidencia un ambiente tectónicamente inestable durante todo el Ciclo Cordillerano (Figura 2). El apilamiento tectónico en el frente de deformación es la causa más probable para el aumento de la subsidencia, de la tasa de sedimentación y de la inestabilidad tectónica que facilitaron la resedimentación, así como para la formación de relieves que originaron glaciación local durante los periodos de clima frío y orientación favorable (Ashgilliano terminal-Llandoveryano inferior y Faméniano superior-Tournaiano).

### REFERENCIAS

- ANTELO, B., 1973. La fauna de la Formación Cancañiri (Silúrico inferior) en los Andes centrales de Bolivia. *Revista del Museo de La Plata*, 7 (Paleont., 45), 267-277.
- CARTER, R.M., 1975. A discussion and classification of subaqueous mass-transport with particular application to grain-flow, slurry-flow, and fluxo-turbidites. *Earth-Science Reviews*, 11, 145-177.
- CLUKEY, E.C., F.H. KULHAWY, P.L.-F. LIU & G.B. TATE, 1985. The impact of wave load and pore-water pressure generation on initiation of sediment transport. *Geo-Marine Letters*, 5, 177-183.
- DALENZ, A. & D. MERINO, 1994. Comportamiento asociativo y bioestratigrafía de la Formación Copacabana de los departamentos de Cochabamba y oeste de Santa Cruz. *11º Cong. Geol. de Bolivia*. Santa Cruz. *Memorias*, 186-198.
- DÍAZ, E., 1992. Inestabilidad tectónica en el Devónico superior del Altiplano de Bolivia: evidencias en el registro sedimentario. *8º Congr. Latinoam. de Geología*, Salamanca. *Actas*, 4, 35-39.
- DÍAZ, E., 1995. Regional correlations with Late Paleozoic events in Bolivia. *2º Simp. Cronoestratigrafía Cuenca Paraná*. Porto Alegre. *Bol. Resumos Expandidos*, 98-100.
- DÍAZ, E. & A. DALENZ, 1995. La Formación Yaurichambi (Carbonífero superior): depósitos siliciclásticos costeros y fluviodeltaicos de la base del Grupo Titicaca de Bolivia. *1º Encuentro Geol. Cono Sur*. Porto Alegre. *Bol. Resumos Expandidos*, 245-247.
- DOTT, R.H., 1963. Dynamics of subaqueous gravity depositional processes. *AAPG Bulletin*, 47, 104-128.
- FISHER, R.V., 1983. Flow transformations in sediment-gravity flows. *Geology*, 11, 273-274.
- HAMPTON, M.A., 1972. The role of subaqueous debris flow in generating turbidity currents. *Journal of Sedimentary Petrology*, 42, 775-793.
- IANNUZZI, R., O. RÖSLER & R. SUAREZ, 1993. A flora carbonífera da Formação Siripaca em Belén, Península de Copacabana, e a importância das formas trifoliadas. *Revista Técnica YPFB*, 13/14, 181-194.
- ISAACSON, P.E. & E. DIAZ, 1995. Evidence for a Middle-Late Paleozoic foreland basin and significant latitudinal shift, Central Andes. *AAPG Memoir*, 62, 231-249.
- ISAACSON, P.E., B.A. 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. *AAPG Memoir*, 62, 501-510.
- MAMET, B., 1996. Late Paleozoic small foraminifers (endothyrids) from South America (Ecuador and Bolivia). *Canadian Journal of Earth Sciences*, 33 (3), 452-459.
- MERINO, D. & J. BLANCO, 1990. Conodontos de la Formación Copacabana (Carbonífero superior-Pérmico inferior) en la sección de Huarachani-Pacabamba, Departamento de La Paz, Bolivia. *Revista Técnica YPFB*, 11 (2-3), 105-116.
- MOORE, D.G., 1961. Submarine slumps. *Journal of Sedimentary Petrology*, 31, 343-357.
- MONTEMURRO, G., 1994. Estratigrafía y ambiente sedimentario del Silúrico y Devónico en la cuenca del Chaco boliviano. *11º Congr. Geol. Boliviano*. *Memorias*, 151-160.
- MYROW, P.M. & R.N. HISCOTT, 1991. Shallow-water gravity-flow deposits, Chapel Island Formation, southeast Newfoundland, Canada. *Sedimentology*, 38, 935-959.
- OLLER, J., 1992. Cuadro cronoeestratigráfico de Bolivia. Documento interno de YPFB.
- PEREZ, H., 1989. Contribución al estudio geológico de la Formación Cancañiri. *8º Congr. Geol. Bolivia*. *Memorias*, 1, 117-130.
- POSTMA, G., 1984. Slumps and their deposits in fan delta front and slope. *Geology*, 12, 27-30.

- ROBERTS, J., J. CLAOUÉ-LONG & P.J. JONES, 1993.** Revised correlations of Carboniferous and Early Permian units of the Southern New England Orogen, Australia. *Carboniferous Newsletter*, 11, 23-26.
- RODRIGO, L.A., A. CASTAÑOS & R. CARRASCO, 1977.** Nota preliminar sobre la petrografía y paleogeografía de la Formación Cancañiri. *Revista Geológica UMSA*, 1 (1), 1-22.
- SEMPERE, T., 1989.** Paleozoic evolution of the Central Andes (10-26°S). *28th Int. Geol. Congr.*, Washington D.C., *Abstracts*, 3, 73.
- SEMPERE, T., 1990.** Cuadros estratigráficos de Bolivia: propuestas nuevas. *Revista Técnica YPFB*, 11 (2-3), 215-227.
- SEMPERE, T., 1995.** Phanerozoic evolution of Bolivia and adjacent regions. *AAPG Memoir*, 62, 207-230.
- SUAREZ, H., 1962.** La sección estratigráfica del río Tunal. *Petróleo Boliviano*, 4 (4), 32-34.
- SUAREZ, R., 1989.** El Ciclo Cordillerano (Silúrico-Carbonífero inferior) en Bolivia y su relación con países limítrofes. *Revista Técnica YPFB*, 10 (3/4), 233-243.
- SUAREZ, R., 1995.** Comentarios sobre la edad de la Formación Cancañiri. *Revista Técnica YPFB*, 16 (1-2), 51-54.
- SUAREZ, R. & E. DIAZ, 1996.** Léxico Estratigráfico de Bolivia (versión preliminar). *Revista Técnica YPFB*, 17 (1-2).
- TORO, M., 1994.** Los trilobites hirsantianos de la Formación Cancañiri. *11° Congr. Geol. Boliviano. Memorias*, 260-264.
- TORO, M., C. VARGAS & R. BIRHUET, 1991.** Los trilobites ashgillianos de la Formación Cancañiri, región de Milluni, Cordillera Real, Depto. La Paz. *10° Congr. Geol. Boliviano. Resúmenes*.