

ORSTOM - BOLIVIE  
DOCUMENTATION

# SINTESIS ESTRATIGRAFICA Y GEODINAMICA DEL CARBONIFERO DE BOLIVIA

ENRIQUE DIAZ MARTINEZ  
ORSTOM, Casilla 9214, La Paz, Bolivia



## RESUMEN

El Carbonífero de Bolivia se puede subdividir en dos "series" o secuencias, que son continuación de ciclos tectosedimentarios más amplios. Existen datos recientes de palinología, micropaleontología, paleobotánica y dataciones absolutas que permiten revisar las edades de las unidades carboníferas de Bolivia. La "serie" inferior corresponde a la terminación del ciclo Cordillerano, es de edad Fameniense superior a Serpukhoviano, y está representada por el Grupo Ambo en el Altiplano, por el Grupo Retama en el Subandino norte, y por los grupos Machareti y Mandiyuti en el Subandino centro y sur y en el Chaco. La "serie" superior corresponde al comienzo del ciclo Subandino, depositado a partir del Bashkiriano, y está representada por la parte inferior del Grupo Titicaca en el Altiplano y en el norte y centro de la Cordillera Oriental y del Subandino, y por la parte inferior del Grupo Cuevo en el sur de la Cordillera Oriental y del Subandino, y en el Chaco. La "serie" inferior corresponde a la finalización de la sedimentación en la cuenca de antepaís silurodevónica de los Andes Centrales (ciclo Cordillerano), y se inicia con un reajuste tectónico a partir del Fameniense superior que dió lugar a la formación de un alto estructural posiblemente transpresivo entre el Altiplano y el Subandino, con desarrollo de glaciación local. La sedimentación sintectónica del Carbonífero inferior registra de forma progresiva (a) una subida de las temperaturas, (b) un descenso relativo del nivel del mar correlacionable a escala global, y (c) una disminución de la actividad tectónica. Los reajustes tectónicos originan actividad magmática sinsedimentaria en la subcuenca del Altiplano a partir del Viseano superior o Serpukhoviano inferior. Después de un importante periodo erosivo en el Carbonífero medio, se inicia la sedimentación de la "serie" superior en un ambiente tectónico relativamente tranquilo, posiblemente transtensional, y con volcanismo sinsedimentario. La sedimentación del Carbonífero superior registra de forma progresiva (a) una subida relativa del nivel del mar correlacionable a escala global, (b) un aumento de la aridez, y (c) un aumento de la sedimentación carbonatada y evaporítica. Los cambios paleoclimáticos registrados por el Carbonífero de Bolivia confirman el desplazamiento latitudinal del margen sudoccidental de Gondwana hacia latitudes más bajas identificado por paleomagnetismo. La presencia de rocas madre y rocas reservorio de hidrocarburos en el Carbonífero de Bolivia exige una interpretación geodinámica y paleogeográfica integrada y coherente de todas las evidencias de superficie y subsuelo para poder comprender su potencial exploratorio y su distribución espacial actual.

## ABSTRACT

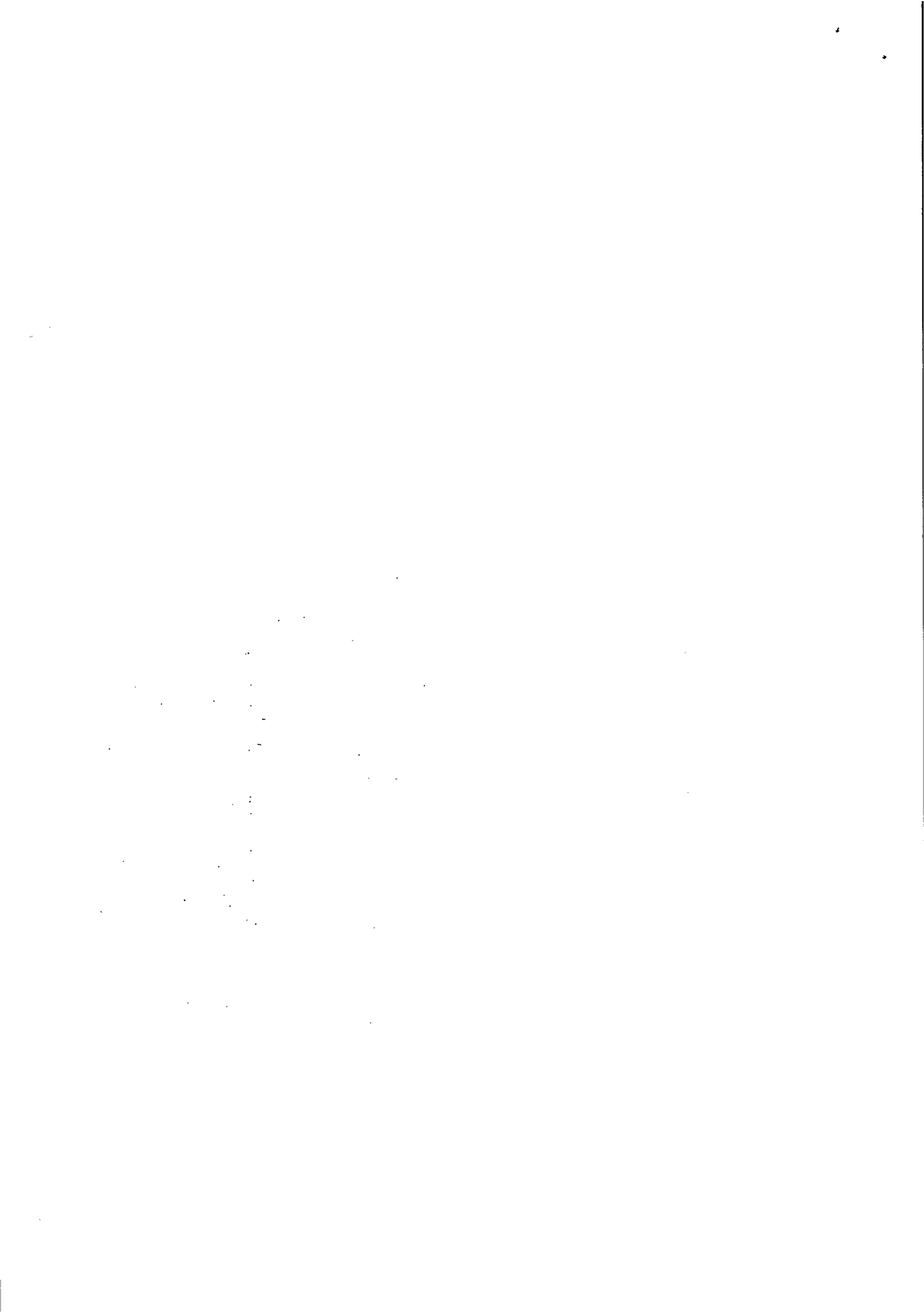
The Carboniferous record of Bolivia may be subdivided into two "series" or sequences, each belonging to a different tectosedimentary cycle. Recent data on palynology, micropaleontology, paleobotany and absolute dating allow to revise the ages of Carboniferous units in Bolivia. The lower "series" is of late Famennian-Serpukhovian (mostly Mississippian) age, and corresponds to the end of the Cordilleran Cycle. It is represented by the Ambo Group in the Altiplano, the Retama Group in the northern Sub-Andes, and the Machareti and Mandiyuti groups in the central and southern Sub-Andes, and Chaco basin. The upper "series" is of early Bashkirian-Gzelian (Pennsylvanian) age, and corresponds to the beginning of the Subandean Cycle. It is represented by the lower part of the Titicaca Group in the northern and central parts of the Altiplano, Eastern Cordillera and Sub-Andes, and the lower part of the Cuevo Group in the southern Eastern Cordillera and Sub-Andes, and Chaco basin. The lower "series" represents the final tectonic and sedimentary events of the Siluro-Devonian foreland basin of the Central Andes (Cordilleran Cycle). It starts with broad structural readjustments in the late Famennian leading to an uplifted, possibly transpressive, and locally-glaciated area between the Altiplano and the Sub-Andes. Syntectonic deposition in the Early Carboniferous records a progressive (a) rise in average temperatures, (b) relative sea-level fall correlatable with global events, and (c) decrease of tectonic activity. Tectonic readjustments originated syndimentary volcanism in the Altiplano sub-basin beginning in the late Visean or early Serpukhovian. After an important middle Carboniferous erosional period of variable span, deposition of the upper "series" began in a relatively quiescent, probably transtensional tectonic setting, with syndimentary volcanism. Deposition in the Late Carboniferous records a progressive (a) relative sea-level rise correlatable with global events, (b) increase of aridity, and (c) increase of carbonate and evaporite deposition. Paleoclimatic changes recorded by the Carboniferous of Bolivia confirm the latitudinal shift of the SW margin of Gondwana towards lower latitudes which has been identified by paleomagnetic studies. Hydrocarbon source rocks and reservoirs present in the Carboniferous of Bolivia require an integrated and coherent geodynamic and paleogeographic approach that takes into account all surface and subsurface evidence, in order to assess and fully understand their potential and modern distribution.

MEMORIAS DEL XII CONGRESO GEOLOGICO DE BOLIVIA - TARIJA, BOLIVIA: 355 - 367

1996, vol. 1, p.



Fonds Documentaire IRD  
Cote : B\*23221 Ex: *un*



	Estados Unidos de A.		IUGS	NO de Europa	Edad (Ma)	
CARBONIFERO	Pér.	Wolfcampiano	Asseliano	Autuniano	290.0	
		Virgiliano	Gzheliano	Estefaniano		
	Pennsylvaniano	Missouriano	Kasimoviano		Westfaliano	303.0
		Desmoinesiano	Moscoviano			
		Atokano	Bashkiriano	311.3		
		Morrowano				
		Missisipiano		Serpukhoviano	Namuriano	322.8
			Chesteriano			
	Merameciano		Tournaisiano	Tournaisiano	349.5	
Dev.	Louisiana	Fameniano	Fameniano	362.5		

Figura 1: Escala cronoestratigráfica adoptada por la IUGS para el Carbonífero, y su comparación con las subdivisiones tradicionalmente utilizadas en Estados Unidos (izquierda) y en Europa occidental (derecha), ligeramente modificado de Harlam et al. (1990). Obsérvese que, según la escala internacional, la parte inferior del Wolfcampiano es carbonífera (Gzheliano superior), y la parte inferior del Tournaisiano europeo (conocida como "Struniano") es devónica (Fameniano superior). Además, la parte superior del Serpukhoviano no está representada en Estados Unidos.

### INTRODUCCION

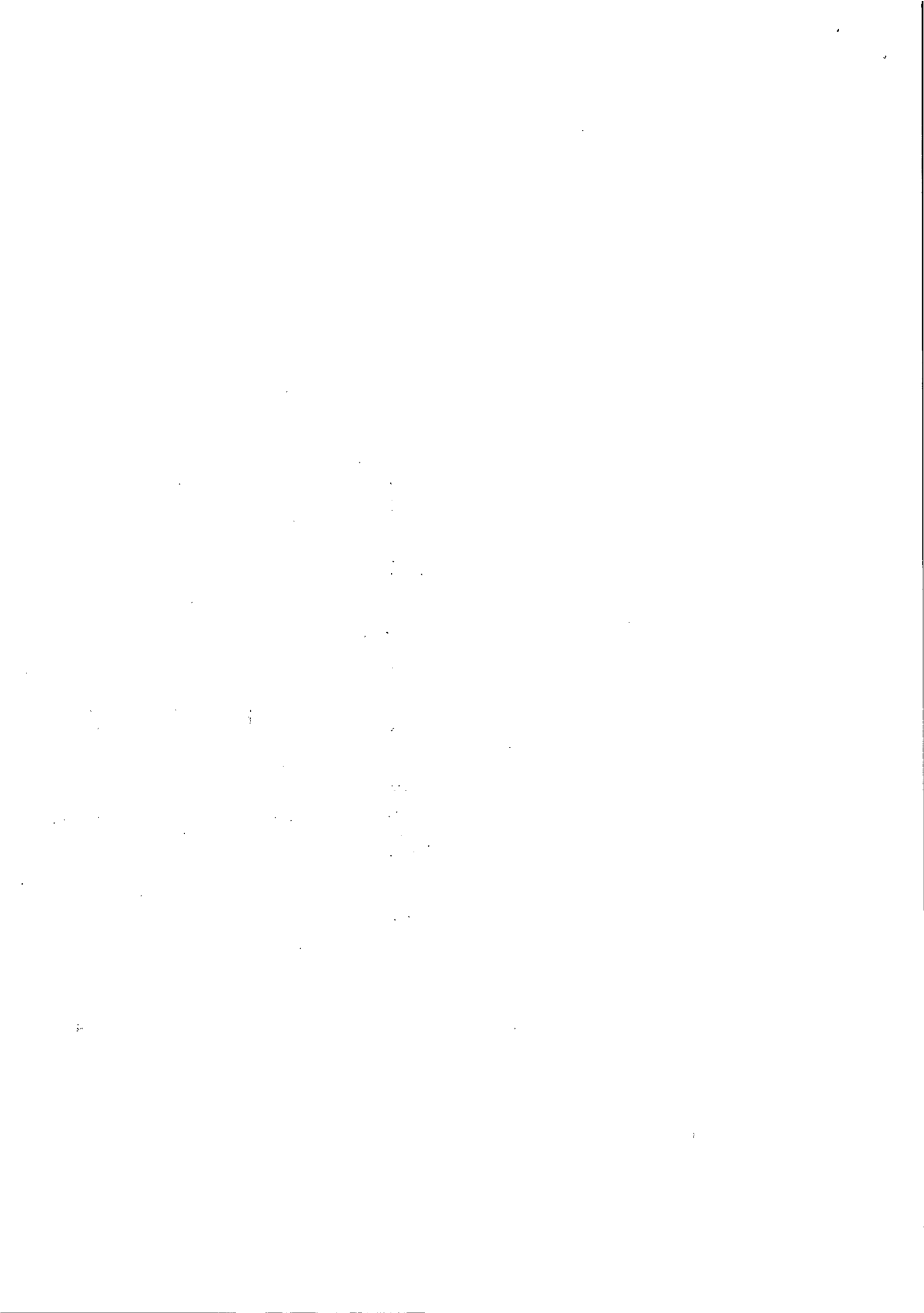
El Carbonífero de Bolivia representa un eslabón importante en la evolución geodinámica de Sudamérica y de Gondwana, ya que registra importantes cambios del ambiente tectónico, de la paleogeografía y de los paleoclimas. En este trabajo se presentan, de forma resumida, los principales resultados de la investigación y recopilación de datos que el autor ha realizado sobre el Carbonífero de Bolivia durante los últimos años, bajo convenios de cooperación científica y técnica con el Servicio Geológico de Bolivia y con Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos. La mayor parte de estos resultados ya han sido presentados en congresos y reuniones científicas, o publicados en revistas geológicas y volúmenes especiales. El objetivo de este trabajo es sintetizar y dar a conocer a la comunidad geológica boliviana los principales resultados y conclusiones, con los últimos datos disponibles hasta la fecha, sobre el Carbonífero de Bolivia.

Con objeto de facilitar la comprensión del texto que sigue, en lo que respecta a las edades que se asignan a las unidades del Carbonífero de Bolivia, en la Figura 1 se presenta la escala cronoestratigráfica internacional adoptada por la IUGS para el Carbonífero, y su correlación con las escalas tradicionalmente utilizadas en Estados Unidos y en Europa.

### CARBONIFERO DEL NORTE DEL ALTIPLANO Y CORDILLERA ORIENTAL

La nomenclatura de las unidades del Carbonífero del Altiplano ha sido revisada en los últimos años (Díaz, 1991, 1995). La Figura 2 muestra algunas de las propuestas realizadas en las últimas décadas. La nomenclatura actual utiliza los nombres propuestos por Ascarrúnz & Radelli (1964), aunque con algunas modificaciones en cuanto a los criterios para establecer los límites entre las unidades (véase discusión en Díaz, 1991). Para ayudar a entender a lo que se refiere cada uno de los autores, en la Figura 3 se han representado los diferentes usos que se mantienen

*Santa Cruz de la Sierra*



SECCION TIPO ==> (esquema no a escala)		D.m.	Devónico superior	Carbonífero inferior	Carbonif. sup	P inf.
Blanco (1963)	SE lago Titicaca	"Serie Sica Sica"		Grupo Ambo		
Ascarrunz & Radelli (1964)	Copacab.	Formación Yampupata		Formación Kasa		
	Cumaná	Fm. Aigachi	Formación Cumaná	Formación Kasa		
Oviedo (1965)	SE lago Titicaca	"Serie Icla"		Grupo Ambo		
Urdininea (1968)	Isla del Sol	"Serie Sica Sica"	"Estratos Collpapuchu"	"Serie Gondwana"		
Orellana (1968)	Cumaná	"Estratos Collpapuchu"	Formación Yaurichambi			
Molina (1969)	Cumaná	"Serie Sica Sica"				
Helwig (1972)	Yampupat.	Devónico (no especifica)		Grupos Ambo y Tarma (no diferenciados)		
	Cumaná	Devónico (no especifica)	Grupos Ambo y Tarma (no diferenciados)			
Calvo (1981)	Cumaná	Devónico (no especifica)	Formación Cumaná	Formación Kasa		
Díaz (1991)	Altiplano y borde W Cord. Or	Formación Colpacucho		Formac. Cumaná	Formación Kasa Miembro inferior Mb. sup.	Formac. Yaurich. Formac. Siripaca

Figura 2: Esquema de la terminología utilizada para las unidades del Devónico superior y Carbonífero del Altiplano de Bolivia por diferentes autores que han estudiado la región. La línea negra indica el límite Devónico-Carbonífero.

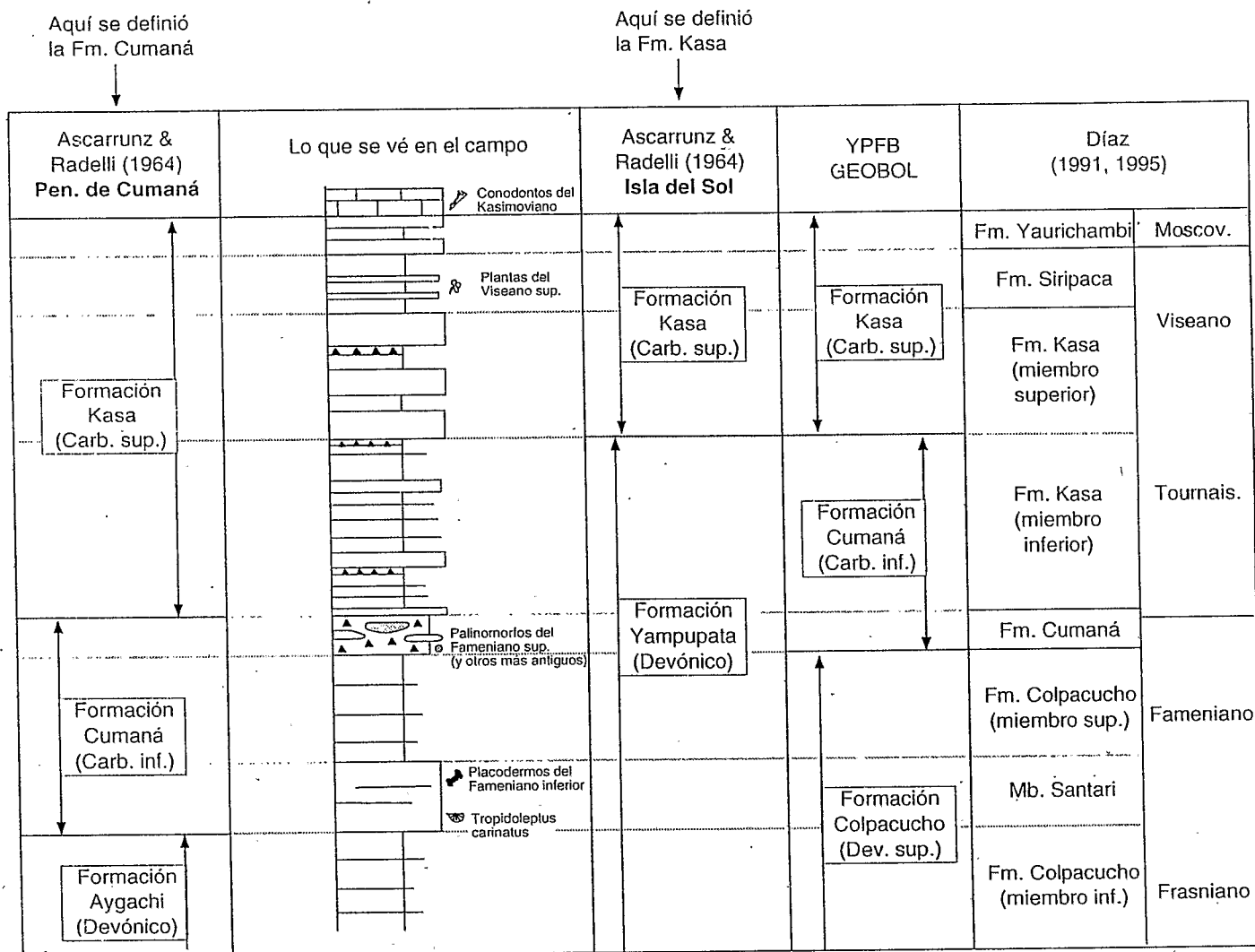


Figura 3: Esquema de comparación de la nomenclatura propuesta y utilizada por diferentes autores (Ascarrunz & Radelli, 1964; YPFB y GEOBOL. varios trabajos; Díaz, 1991, 1995), para la estratigrafía del Carbonífero del Altiplano de Bolivia, según las localidades tipo de cada unidad (véase también la Figura 2).

actualmente. La propuesta de Díaz (1991; Figura 6) permite asignar nombres a las unidades del Carbonífero inferior en secciones como las de Villa Molino o Cohana (Figuras 5, 7 y 9), donde no se depositaron las diamictitas que definen la base del Grupo Ambo. También permite asignar nombres a las unidades del Carbonífero superior en secciones como las de Pacobamba, Ancoraimes, Yaurichambi, Colquencha, Luribay, Yaco, Morochata, Apillapampa, etc. (Figuras 4, 7, 9 y 10), donde las unidades del Carbonífero inferior (y otras unidades más antiguas) han sido erosionadas, y el espesor de las areniscas basales del Grupo Titicaca es considerable.

La diferenciación de la Formación Siripaca (Figuras 2, 3, 6, 7 y 8) en la parte superior del Grupo Ambo se debe a que presenta diferentes facies, secuencias, composición de las areniscas e interpretación paleoambiental respecto a la Formación Kasa. La propuesta de división en Grupo Ambo (Newell, 1949) y Grupo Titicaca (Chamot, 1965) mantenida por Díaz (1991, 1995) facilita la cartografía de estas unidades (Figura 5), separadas por una clara discontinuidad de carácter erosivo correlacionable con el evento regresivo global del Serpukhoviano. La nomenclatura del Grupo Titicaca (formaciones Yaurichambi y Copacabana; Figura 6) es también válida para toda la zona central y oeste de Bolivia (norte y centro del Altiplano, de la Cordillera Oriental y del Subandino;

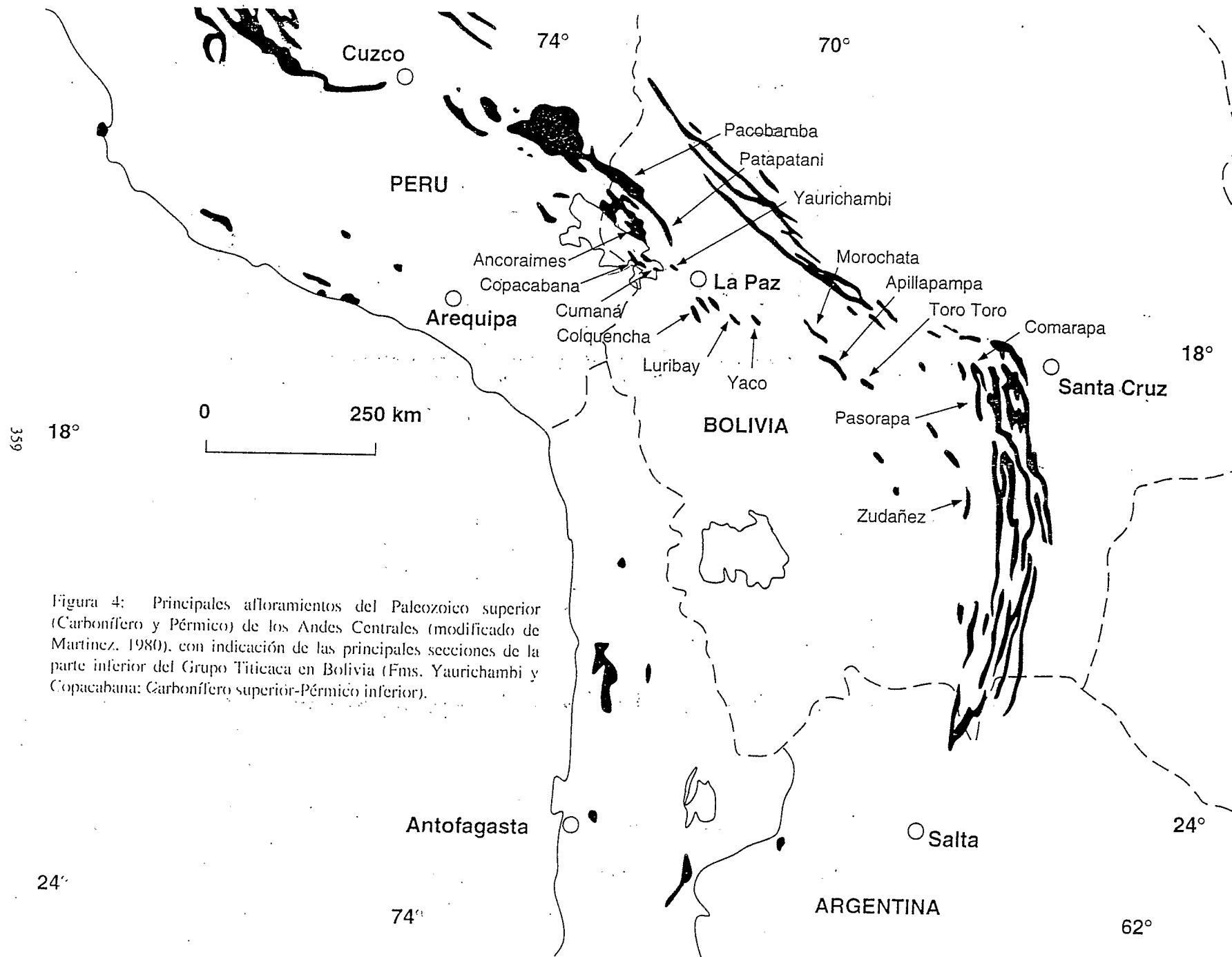


Figura 4: Principales afloramientos del Paleozoico superior (Carbonífero y Pérmico) de los Andes Centrales (modificado de Martínez, 1980), con indicación de las principales secciones de la parte inferior del Grupo Titicaca en Bolivia (Fms. Yaurichambi y Copacabana: Carbonífero superior-Pérmico inferior).

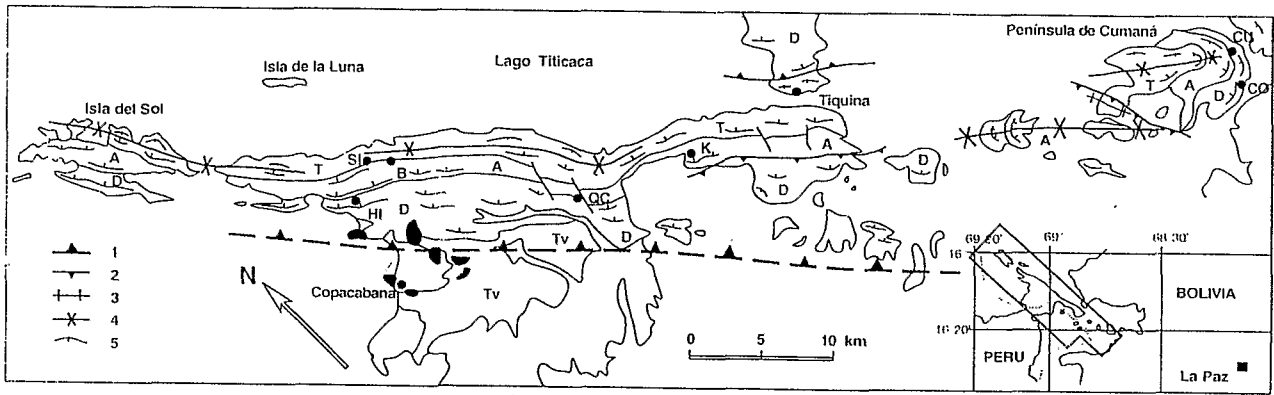


Figura 5: Mapa geológico de la Isla del Sol y penínsulas de Copacabana, Tiquina y Cumaná (modificado de Ascarrunz & Radelli, 1964). Se indican los depósitos devónicos (D), Grupo Ambo (A), Grupo Titicaca (T), intrusiones subvolcánicas (en negro) y depósitos volcánicos (Lv) asociados a la Falla Coniri (1), así como otros depósitos clásticos del Terciario (punteado). También otros cabalgamientos y retrocabalgamientos (2) asociados a la falla Coniri, anticlinales (3), sinclinales (4) y contornos estructurales de capas (5). Localidades: Belén (B), Cohana (CO), Cumaná (CU), Hinchaka (HI), Kalata (K), Quebrada Chamacani (QC) y Siripaca (S).

Figura 4), y ha sido utilizada también para las unidades de subsuelo encontradas en los pozos de Manuripi y Pando, en la cuenca del Madre de Dios (Isaacson *et al.*, 1995).

**EDAD DE LAS UNIDADES**

Según los datos de palinología y paleobotánica de la Formación Kaka del Grupo Retama del Subandino norte (Azcuy & Oñtone, 1987) y de la Formación Siripaca del Grupo Ambo del Altiplano norte (Iannuzzi *et al.*, 1993), la sedimentación de estos dos grupos termina en el Viseano superior o Serpukhoviano inferior. Según los datos de conodontos, braquiópodos y foraminíferos de las formaciones Yaurichambi y Copacabana (Merino & Blanco, 1990; Dalenz & Merino, 1994; Díaz & Dalenz, 1995; Isaacson *et al.*, 1995; Mamet, 1996), la edad de estas unidades en algunas secciones es Bashkiriano (Namuriense superior), y en otras secciones, especialmente hacia el sur, es más moderna. Por ejemplo, la base de la Formación Copacabana en El Tunal (Figura 10), 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 Taiguati). 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.*, 1998). Por lo tanto, lo más probable es que la sedimentación de los grupos Macharetí y Mandiyutí haya tenido lugar antes del

principal evento global regresivo del Serpukhoviano superior, y que por lo tanto sean de edad Carbonífero inferior, tal como se ha representado en la Figura 11, y tal como ya han expresado algunos autores (Sempere, 1995).

La correlación de eventos tectónicos, eustáticos y climáticos a escala regional corrobora esta afirmación, en contraposición a la edad Carbonífero superior que tradicionalmente se ha asignado a parte del Grupo Macharetí y a todo el Grupo Mandiyutí. Sólo algunos datos de palinología basados en formas de los géneros *Florinites* y *Verrucosisporites* parecen estar en contradicción con la edad Carbonífero inferior de estas dos unidades. Hacen falta estudios más detallados, y una revisión y mejor calibración de la edad de estos taxones (que tenga en cuenta todos los nuevos datos bioestratigráficos regionales), para poder establecer con un mínimo de fiabilidad la edad de estas unidades. Sólo así podrán explicarse las importantes implicaciones tectónicas y paleoclimáticas que tendría la asignación de una edad Carbonífero superior a estas unidades.

**CAMBIO DE REGIMEN TECTONICO EN EL CARBONIFERO MEDIO**

El Ciclo Cordillerano de Bolivia (Silúrico-Carbonífero inferior; Suárez, 1989) 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; Díaz *et al.*, este congreso). La tendencia gradual regresiva y de somerización de las unidades del Devónico superior esta interrumpida de forma brusca por una marcada profundización en el Fameniano medio-superior, y el inicio de resedimentación



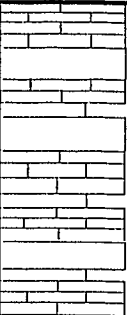
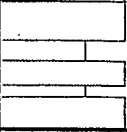
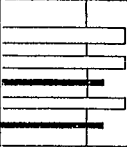
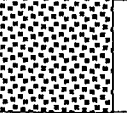
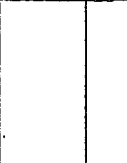
<b>PERMICO</b>	Aseliiano	<b>Grupo Titicaca</b>	<b>Formación Copacabana</b> (200-500 m)		<b>Rampa homoclinal mixta siliciclástico-carbonatada</b>
	Moscov.-Gzhei.		<b>Formación Yaurichambi</b> (10-120 m)		<b>Llanura costera</b>
<b>CARBONIFERO</b>	Viseano	<b>Grupo Ambo</b>	<b>Fm. Siripaca</b> (40-120 m)		<b>Llanura aluvial distal</b> <b>Llanura deltaica</b>
	Tournaisiano		<b>Formación Kasa</b> (500-1000 m)		<b>Progradación de deltas sobre plataforma marina siliciclástica somera</b>
	Fameniiano		<b>Fm. Cumaná</b> (0-120 m)		<b>Depósitos glaciomarinos y de resedimentación sintectónica</b>
<b>DEVONICO</b>	Fameniiano		<b>Formación Colpacucho</b> (>500 m)		<b>Plataforma marina somera distal</b>

Figura 6: Columna estratigráfica tipo de las unidades del Carbonífero del Altiplano de Bolivia, con indicación de su interpretación paleoambiental, y de las edades y espesores aproximados (ligeramente modificado de Díaz, 1991, 1995).

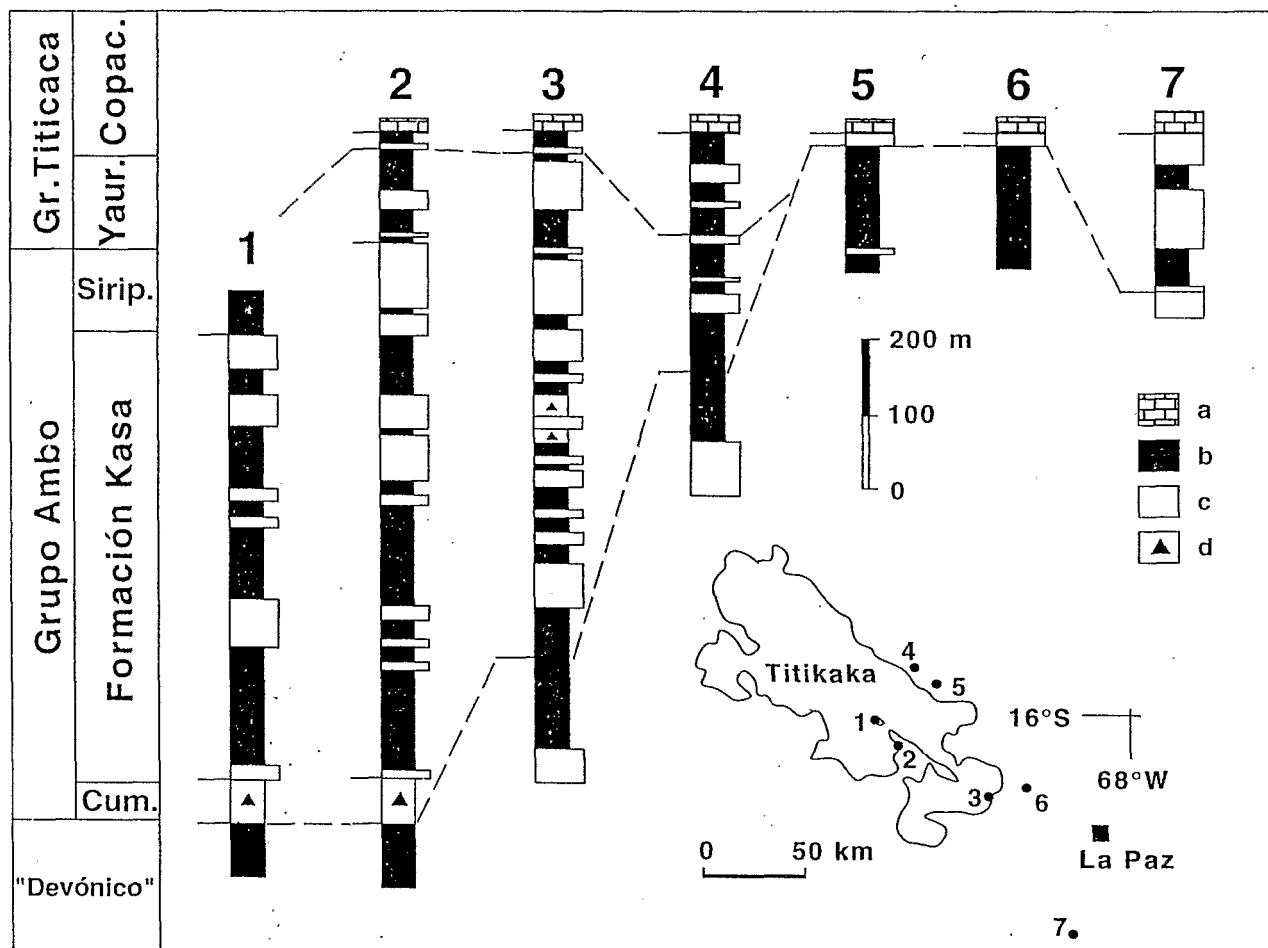


Figura 7: Esquema general de correlación de las principales secciones de la parte siliciclástica del Devónico superior y Carbonífero del Altiplano norte de Bolivia. Localidades: (1) Isla del Sol, (2) Hinchaka-Siripaca, (3) Cohana, (4) Villa Molino, (5) Ancoraimes, (6) Yaurichambi y (7) Colquencha. Litologías predominantes (muy simplificado): (a) carbonatos, (b) lutitas y areniscas finas, (c) areniscas y conglomerados, y (d) diamictitas. Obsérvese la ausencia de la Formación Cumaná en algunas de las secciones, ya sea por no deposición (3 y 4), o por haber sido erosionado todo el Grupo Ambo y parte del Devónico (5, 6 y 7).

acentuada a partir del Fameniano terminal (Estruniano) (Díaz, 1992, 1995). Las formaciones Cumaná (base del Grupo Ambo), Toregua (base del Grupo Retama) e Itacua (base del Grupo Macharetí) sobreyacen a un evento de profundización corto y pobremente preservado, e inician la llegada y resedimentación de un considerable volumen de sedimentos clásticos que caracteriza la sedimentación del Grupo Ambo en el norte del Altiplano y Cordillera Oriental, del Grupo Retama en el Subandino norte, y de los grupos Macharetí y Mandiyutí en el Subandino centro y sur, y llanura del Chaco. Según lo expresado en el punto anterior, la finalización de este tipo de sedimentación y el cambio de régimen tectónico tuvieron lugar en el Serpukhoviano (Namuriano inferior; Figura 11).

Los reajustes tectónicos originaron actividad magmática sinsedimentaria en la subcuenca del Altiplano a partir del Viseano superior o Serpukhoviano inferior (Díaz, 1995), tal como indica el cambio en la composición de las areniscas de la Formación Siripaca (Figura 8). Esta influencia de actividad magmática sinsedimentaria se observa también en todo el Grupo Titicaca en la composición de las areniscas (líticos neovolcánicos) y en la presencia de tobas volcánicas intercaladas. La ausencia de esta influencia volcánica en los grupos Macharetí y Mandiyutí es otro punto a favor de que son anteriores al Grupo Titicaca y, por lo tanto, de edad Carbonífero inferior. Los grupos Ambo, Retama, Macharetí y Mandiyutí representan un importante periodo de inestabilidad y resedimentación con que termina el Ciclo Cordillerano.

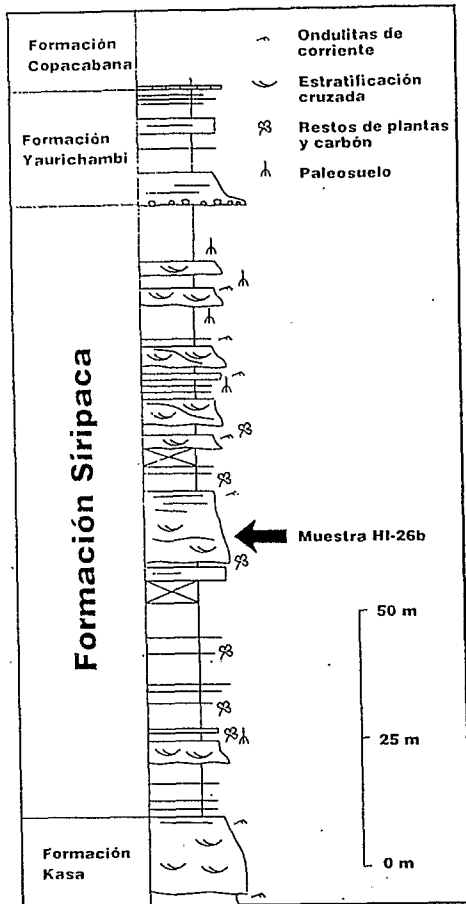


Figura 8: Columna estratigráfica de la Formación Siripaca en la localidad tipo, con indicación de la ubicación de la muestra HI-26b, que indica el cambio de composición de las areniscas.

El espesor de estos depósitos puede sobrepasar 1 km, aunque generalmente es menor por haber sido total o parcialmente erosionado antes de depositarse los grupos Titicaca y Cuevo (Figura 11). Estas unidades del Carbonífero inferior 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.

La presencia de depósitos de flujos de gravedad de diferente tamaño, composición y extensión en toda la secuencia estratigráfica evidencia un ambiente tectónicamente inestable. 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. A partir del Bashkiriano se observa un ambiente tectónico diferente, posiblemente transtensional, con influencia de actividad magmática y subsidencia mucho menor. La Figura 11 resume todas estas consideraciones (obsérvese que la escala vertical no es de espesores, sino de tiempo).

## EVIDENCIAS DE GLACIACION

La presencia de grandes clastos de granitoide (hasta de 2 m en la Formación Cumaná en la Quebrada Chamacani; Figura 5), y de clastos facetados y estriados, dentro de los depósitos de flujos de detrito, o como clastos caídos (cadillitos), indica una glaciación en el área madre del sedimento de la Formación Cumaná, y de la mayor parte del Grupo Macharetí. 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 lo más probable es que se trate de una glaciación local en zonas elevadas, que temporalmente alcanzó los márgenes de la cuenca en forma de glaciares de costa (tidewater glaciers) (Díaz & Isaacson, 1994). Muy posiblemente, los relieves que dieron lugar a esta glaciación local se originaron por apilamiento tectónico durante las últimas fases de compresión en el frente de deformación de antepaís, y coincidiendo con los máximos de profundización y resedimentación en la cuenca y periodos de clima frío y orientación favorable (Fameniano superior y Tournaisiano).

## CAMBIO DE REGIMEN CLIMATICO EN EL CARBONIFERO MEDIO

Los indicadores paleoclimáticos presentes en las formaciones Yaurichambi y Copacabana (evaporitas, dolomías, depósitos eólicos, fósiles de aguas cálidas, silcretas y otros paleosuelos, etc.) indican una marcada aridización (disminución de las precipitaciones medias) y aumento de las temperaturas medias a partir del Serpukhoviano superior. Este hecho se ha interpretado como resultado del desplazamiento del margen de Gondwana hacia latitudes más cálidas (Díaz *et al.*, 1993; Díaz, 1995), corroborando las interpretaciones de paleomagnetismo.

En el Subandino sur, los depósitos marinos del Carbonífero inferior (grupos Macharetí y Mandiyutí) están afectados por una intensa alteración de carácter oxidante y asociada a ferruginización que origina coloraciones rojas en materiales permeables y nodulizaciones (marmorizaciones; los llamados "ojos verdes") en materiales semipermeables. Esta alteración, que alcanza cientos de metros, es anterior a la sedimentación de la Formación Vitiacua (por lo tanto, anterior al Pérmico superior) y debe haber tenido lugar antes y durante la sedimentación de la Formación Cangapi, en el Carbonífero superior y Pérmico inferior.

## CARBONIFERO INFERIOR DEL SUBANDINO SUR

Existen algunas concepciones erróneas sobre la interpretación del ambiente de sedimentación de las unidades del Carbonífero inferior del Subandino sur (grupos Macharetí y Mandiyutí). En ningún caso se trata de depósitos fluviales o fluvio-glaciales (con excepción de la parte superior del Grupo Mandiyutí en algunos lugares). La presencia de fósiles (braquiópodos, gasterópodos, bivalvos y palinomorfos) marinos, ondulitas de oleaje (escasas) y depósitos turbidíticos indica que se trata de sedimentación marina. Los canales que se observan tanto en campo como en sísmica son canales submarinos, rellenos por flujos de detrito subácuos y

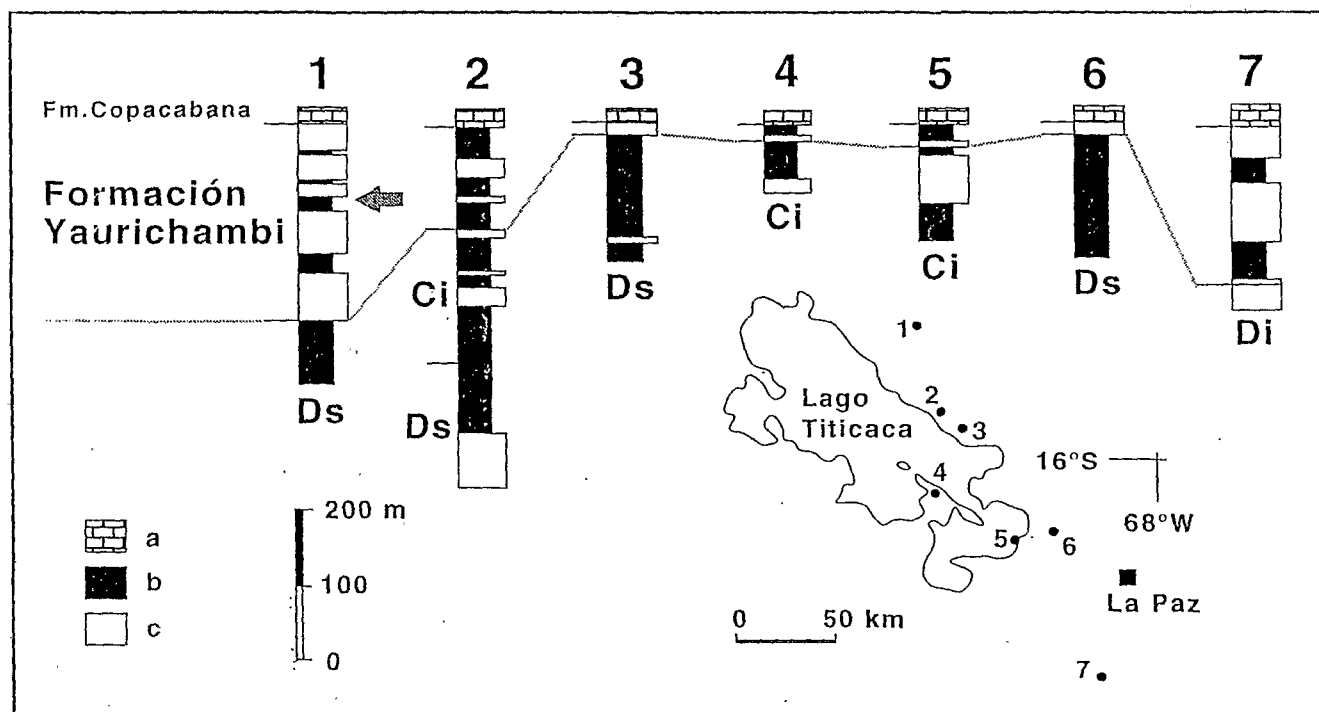


Figura 9: Correlación de la Formación Yaurichambi (base del Grupo Titicaca) en el norte del Altiplano y Cordillera Oriental de Bolivia. Localidades: 1, Carretera de Cariquiña a Pacobamba; 2, Villa Molino (carretera de Choguaya a Mina Matilde); 3, Ankoraimes; 4, Siripaca-Santa Ana, en la Península de Copacabana; 5, Península de Cumaná; 6, Yaurichambi; y 7, Colquencha. Unidades: Ci, Carbonífero inferior (Grupo Ambo); Ds, Devónico superior-medio (Fms. Colpacucho o Sica Sica); Di, Devónico inferior (Fms. Belén o Vila Vila). Litologías predominantes (simplificadas): (a) caliza, dolomía y margas, (b) lutita y arenisca, (c) arenisca y conglomerado. La flecha indica la situación aproximada de las muestras de fósiles encontradas en la Formación Yaurichambi (Díaz & Dalenz, 1995).

turbiditas. Se trata de un complejo sistema de rampa siliciclástica con múltiples fuentes de aporte, y asociado a un área fuente tectónicamente activa, intermedio entre los modelos rico en lutita/arenisca y rico en arenisca descritos por Reading & Richards (1994).

Las direcciones de flujo hacia el N y NE evidenciadas por los canales en sísmica indican que este sistema estaba relacionado con depósitos marinos profundos en la zona distal, que únicamente pueden estar representados por el Grupo Retama en el Subandino norte y llanuras del Beni y Madre de Dios. Ésta es, por lo tanto, una evidencia más de que los grupos Machareú y Mandiyutí son de edad Carbonífero inferior, pues el marco paleogeográfico y geodinámico es totalmente incompatible con la sedimentación de rampa mixta siliciclástico-carbonatada de la Formación Copacabana, que comienza en el Bashkiriano (Isaacson *et al.*, 1995; Mamet, 1996), después del evento regresivo del Serpukhoviano.

#### REFERENCIAS

- ASCARRUNZ, R. & L. RADELLI, 1964. Geologia della Penisola di Copacabana e delle Isole del settore sud del Lago Titicaca. *Atti della Società Italiana di Scienze Naturali e del Museo Civico di Storia Naturale in Milano*, 103 (3), 273-284.
- BLANCO, F., 1963. Estudio geológico de la región sudoriental del Lago Titicaca (Provincia Manco Kapac, Departamento de La Paz). Tesis de grado, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz.
- CALVO, J.C., 1981. Estudio estratigráfico y sedimentológico de las unidades litoestratigráficas del Paleozoico superior en el área comprendida entre las poblaciones de Tiquina, Cumaná y Yaurichambi, Departamento de La Paz. Tesis de grado, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz.
- CHAMOT, G.A., 1965. Permian section at Apillapampa (Bolivia) and its fossil content. *Journal of Paleontology*, 39 (6), 1112-1124.

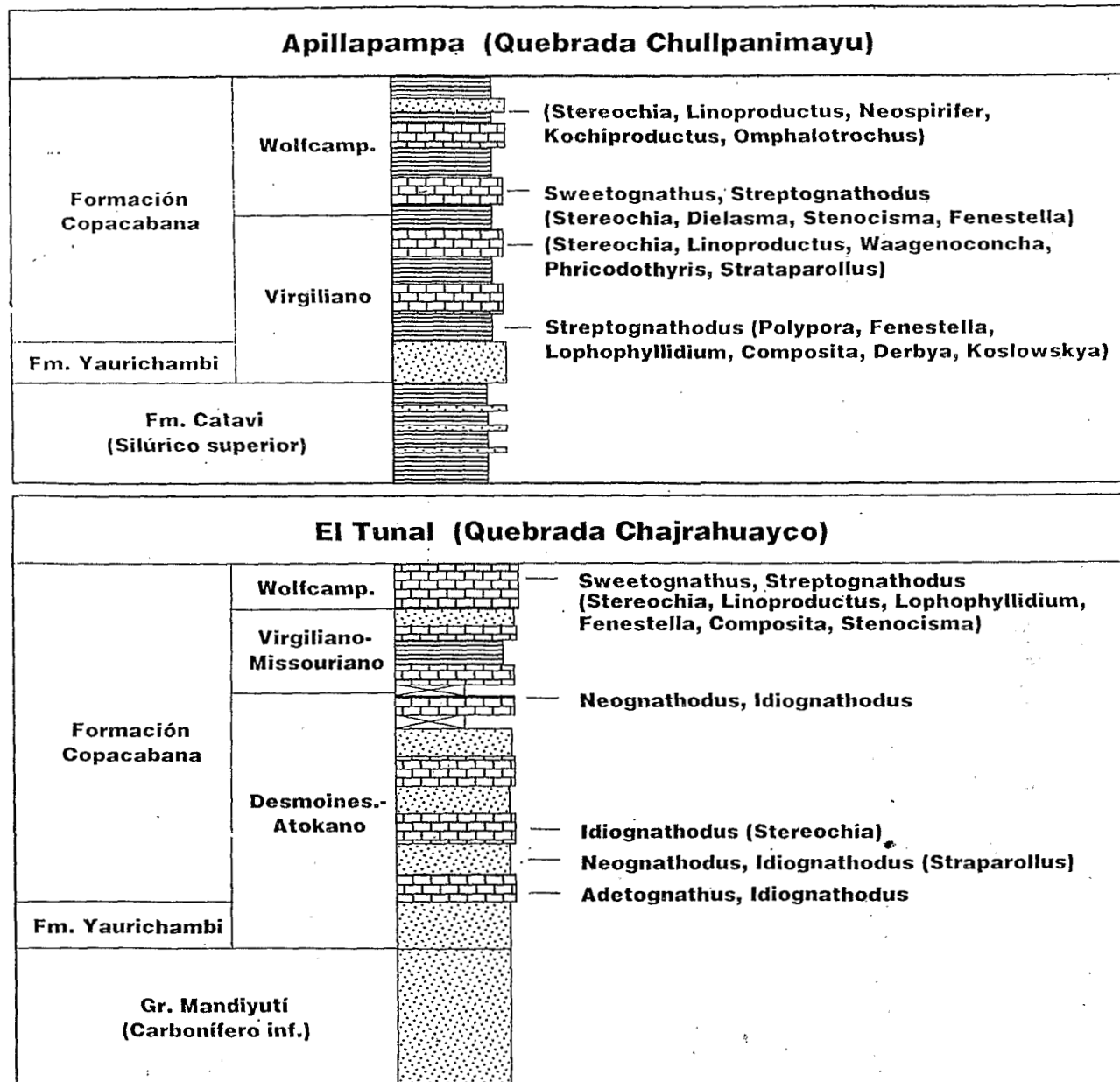
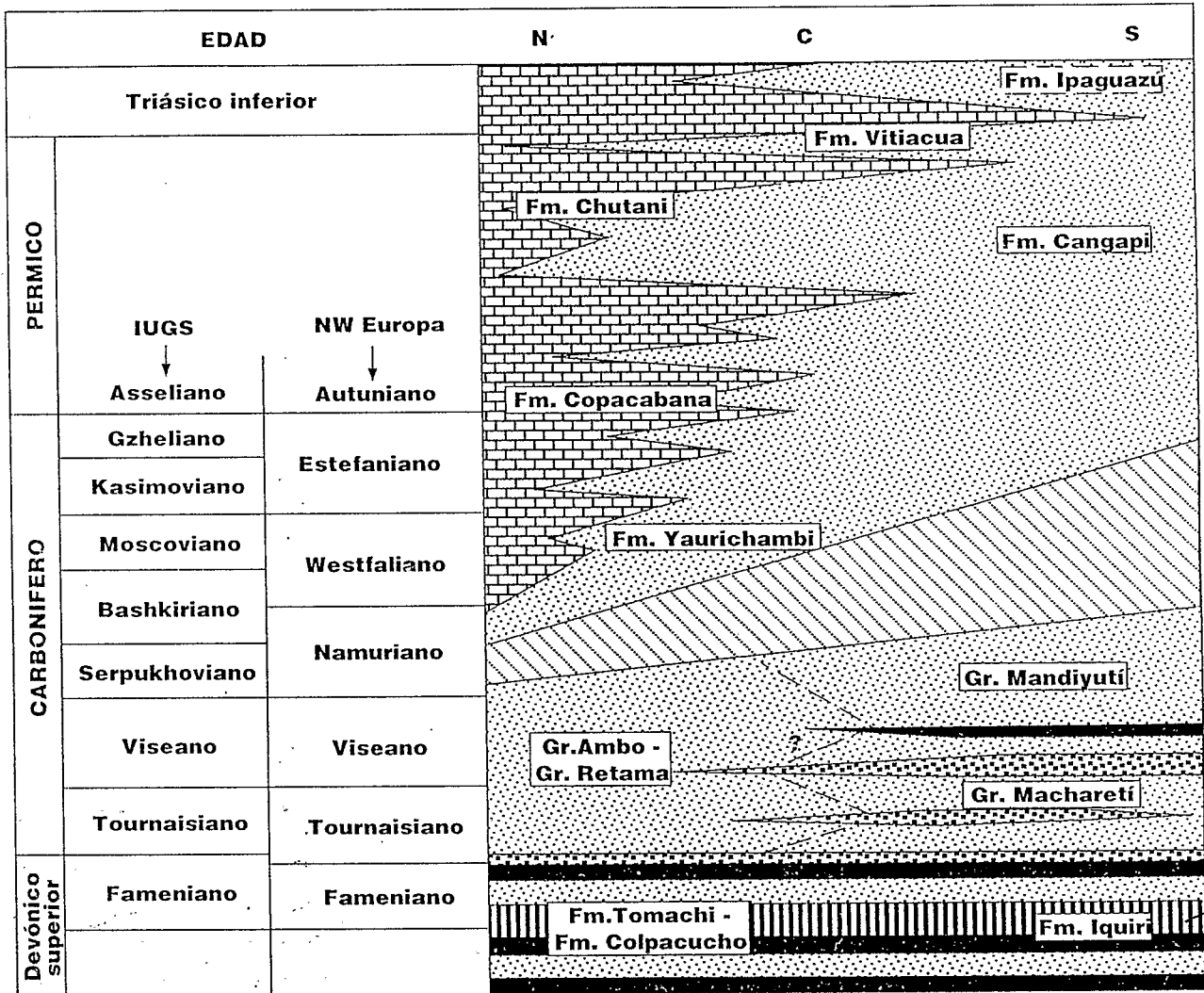


Figura 10: Secciones estratigráficas de Apillapampa (Qda. Chullpanimayu) y El Tunal (Qda. Chajrahuayco), con indicación de los principales géneros de conodontos (y otros invertebrados entre paréntesis) identificados en las unidades carboníferas del Grupo Titicaca (Fms. Yaurichambi y Copacabana), modificado de Dalenz & Merino (1994).



*esta forma debería ser horizontal*

Figura 11: Esquema simplificado de correlación y edades propuestas para las unidades del Paleozoico superior de Bolivia. Aunque es posible que la sedimentación de la Formación Yaurichambi y de la parte superior del Grupo Mandiyutí (Formación San Telmo) haya podido coincidir en el tiempo, el marco tectónico y paleoclimático del resto de las unidades son incompatibles como para que puedan haberse depositado al mismo tiempo. Exceptuando algunos datos de palinología de los grupos Machareti y Mandiyutí, que son irreconciliables con la bioestratigrafía de conodontos y foraminíferos de la Formación Copacabana, el esquema es válido para el resto de los grupos fósiles encontrados (palinoflora y plantas de los grupos Ambo y Retama, e invertebrados de las formaciones Copacabana y Taiguatí).

- DALENZ, A. & D. MERINO, 1994.** Comportamiento asociativo y bioestratigrafía de la Formación Copacabana de los departamentos de Cochabamba y oeste de Santa Cruz. 11° Cong. Geol. de Bolivia, Santa Cruz. *Memorias*, 186-198.
- DIAZ, E., 1991.** Litoestratigrafía del Carbonífero del Altiplano de Bolivia. *Revista Técnica de YPFB*, 12 (2), 295-302.
- DIAZ, E., 1992.** Inestabilidad tectónica en el Devónico superior del Altiplano de Bolivia: evidencias en el registro sedimentario. 8° Congr. Latinoam. de Geología, Salamanca. *Actas*, 4, 35-39.
- DIAZ, E., 1995.** Devónico superior y Carbonífero del Altiplano de Bolivia: estratigrafía, sedimentología y evolución paleogeográfica. *Informe ORSTOM Bolivia*, 46, 164 p.
- DIAZ, E., 1995.** Regional correlations with Late Paleozoic events in Bolivia. 2° Simp. Cronoestratigrafía Cuenca Paraná, Porto Alegre. *Bol. Resumos Expandidos*, 98-100.
- DIAZ, E., P.E. ISAACSON & P.E. SABLOCK, 1993.** Late Paleozoic latitudinal shift of Gondwana: stratigraphic/sedimentologic and biogeographic evidence from Bolivia. *Documents des Laboratoires Géologiques de Lyon*, 25, 119-138.
- DIAZ, E. & P.E. ISAACSON, 1994.** Late Devonian glacially-influenced marine sedimentation in western Gondwana: the Cumaná Formation, Altiplano, Bolivia. *Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir*, 17, 511-522.
- DIAZ, E. & A. DALENZ, 1995.** La Formación Yaurichambi (Carbonífero superior): depósitos siliciclásticos costeros y fluviodeltaicos de la base del Grupo Titicaca de Bolivia. 1° Encuentro Geol. Cono Sur, Porto Alegre. *Bol. Resumos Expandidos*, 245-247.
- DIAZ, E., R. LIMACHI, V.H. GOITIA, D. SARMIENTO, O. ARISPE & R. MONTECINOS, 1996.** Relación entre tectónica y sedimentación en la cuenca de antepaís del Paleozoico medio de los Andes Centrales de Bolivia (14 a 22°S). 12° Cong. Geol. de Bolivia, Tarija.
- HELWIG, J., 1972.** Stratigraphy, sedimentation, paleogeography, and paleoclimates of Carboniferous ("Gondwana") and Permian of Bolivia. *AAPG Bulletin*, 56, 1008-1033.
- IANNUZZI, R., O. RÖSLER & R. SUAREZ, 1993.** A flora carbonífera da Formação Siripáca em Belen, 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.
- MARTINEZ, C., 1980.** Structure et évolution de la chaîne hercynienne et de la chaîne andine dans le nord de la Cordillère des Andes de Bolivie. *Travaux et Documents de l'ORSTOM*, 119, 352 p.
- MERINO, D. & J. BLANCO, 1990.** Conodontos de la Formación Copacabana (Carbonífero superior-Pérmico inferior) en la sección de Huarachani-Pacobamba, Departamento de La Paz, Bolivia. *Revista Técnica YPFB*, 11 (2-3), 105-116.
- MOLINA, C., 1969.** Estudio geológico de la Península de Cumaná y contribución al conocimiento de los foraminíferos Pérmicos de Yaurichambi, Colquencha y Apillapampa (Provincia Los Andes, Departamento La Paz). Tesis de grado, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz.
- NEWELL, N.D., 1949.** Geology of the Lake Titicaca region, Peru and Bolivia. *GSA Memoir*, 36, 111 p.
- ORELLANA, N., 1968.** Estudio sedimentológico y petrográfico de la Península de Cumaná (Provincia Los Andes, Departamento La Paz). Tesis de grado, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz.
- OVIDO, C., 1965.** Estratigrafía de la Península de Copacabana, Lago Titicaca. *Boletín del Instituto Boliviano del Petróleo*, 5, 1-15.
- READING, H.G. & M. RICHARDS, 1994.** Turbidite systems in deep-water basin margins classified by grain size and feeder system. *AAPG Bulletin*, 78 (5), 792-822.
- ROBERTS, J., J. CLAUÉ-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.
- SEMPERE, T., 1989.** Paleozoic evolution of the Central Andes (10-26°S). 28th Int. Geol. Congr., Washington D.C.. *Abstracts*, 3, 73.
- 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.
- URDININEA, M.H., 1968.** Estudio geológico y paleontológico de la región de la Isla del Sol: Tesis de grado, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz.

