



## EL CONTACTO CORDILLERA ORIENTAL-ALTIPLANO EN BOLIVIA: Evolución tectónica, sedimentaria y geomorfológica durante el Mioceno.

Gérard HERAIL<sup>1</sup>, Patrice BABY<sup>2</sup>, Pierre SOLER<sup>3</sup>.

La evolución tectónica cenozoica de los Andes y su cronología fueron consideradas, desde los años treinta, a escala de toda la cadena y con enfoque dirigido hacia la individualización de cortas y numerosas fases de deformación. Mas recientemente, las investigaciones se han orientado, ya sea hacia un conocimiento más detallado del desarrollo de la deformación en el espacio, lo que condujo a una reducción notable del número de fases tectónicas<sup>1</sup>, o hacia la cronología fina de la formación de una estructura geológica como, por ejemplo, la aparición de los diferentes cabalgamientos que componen la faja plegada y corrida subandina<sup>2</sup>.

En este trabajo, partiendo del estudio del contacto entre el Altiplano y la Cordillera Oriental en dos zonas de Bolivia, una al Norte y otra al Sur (Fig. 1), nos proponemos considerar el desarrollo de los fenómenos tectónicos, erosivos y sedimentarios con el fin de afinar el conocimiento de la cinética de la deformación y génesis del relieve de este sector de los Andes.

### 1.- La región de Oruro - Sica-Sica.

En la región de Oruro (Fig. 2) el Altiplano corresponde, desde el punto de vista geomorfológico, a una llanura aluvial de aproximadamente 3.800 metros de altitud y cubierta por extensos depósitos cuaternarios. La Cordillera Oriental se eleva paulatinamente desde los alrededores de 4.000-4.200 metros al Oeste hasta 4.600-4.700 metros al Este al pie de los relieves que forman la cresta de la Cordillera y que culminan entre 5.000 y 6.000 metros. El contacto topográfico entre Cordillera y Altiplano es muy sinuoso y avanza mucho más hacia el Este que el contacto estructural. Este contacto estructural (Fig.2) corresponde a la falla Coniri

que separa al Oeste la cuenca de Altiplano y al Este la Zona de Pliegues y Cabalgamientos de Huarina (ZPCH)<sup>3</sup>, que pertenece a la Cordillera Oriental. La ZPCH se compone de una serie de pliegues y escamas con vergencia hacia el SW que afectan terrenos del Paleozoico y Mesozoico.

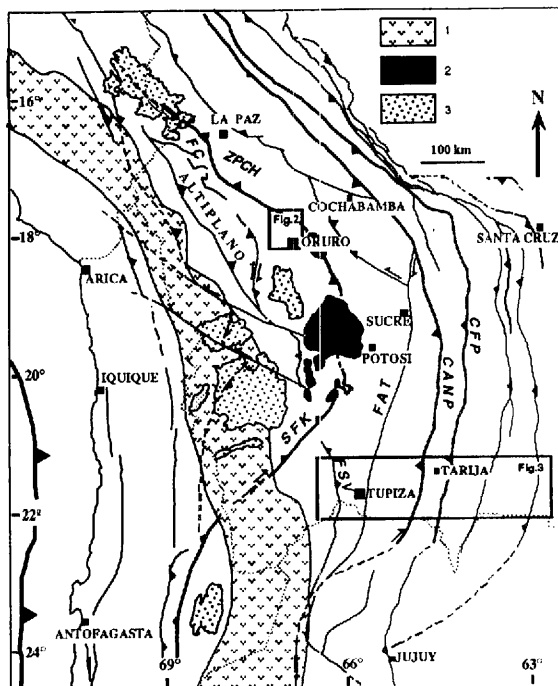


Fig. 1.- Esquema estructural de los Andes de Bolivia.

1.- Arco volcánico alcalino del Mioceno Superior; 2.- Principales cuerpos de rocas magmáticas ácidas de trasarco (Mioceno Sup.-Plioceno Inf.); 3.- Lagos y salares; 4.- Estructuras principales (CANP: Cabalgamiento Andino Principal, CFP: Cabalgamiento Frontal Principal, FAT: Falla Aiquile-Tupiza, FC: Falla Coniri, FSV: Falla San Vicente, SFK: Sistema de la Falla de Khenayani, ZPCH: Zona de Pliegues y Cabalgamientos de Huarina).

1.- ORSTOM. Casilla 53390 - Correo Central. Santiago 1. Chile.  
2.- ORSTOM. Casilla 4875. Santa Cruz de la Sierra. Bolivia.  
3.- ORSTOM. 213 rue La Fayette. 75480 Paris - Cedex 10. Francia.

La Falla de Coniri empezó a ser activa después de  $29,2 \pm 0,8$  Ma y antes de  $25,5 \pm 1,7$  Ma<sup>4</sup> y su actividad prosiguió al menos hasta  $16,6 \pm 0,4$  Ma. Del compartimento cabalgado sólo afloran los remanentes de Paleozoico de la región de La Joya. Más hacia el Este la Falla de Eucaliptus (Fig. 2), paralela a la de Coniri, se desarrolló generando la deposición de la Formación Kholpana a partir de 19-15 Ma. Su actividad cesó antes de 11 Ma, como lo indica la presencia en el Cerro Pokhota (Fig. 2) de una colada básica, de afinidad shoshon tica no deformada que descansa, a la vez, sobre el Paleozoico y la Formación Kholpana y que fosiliza la falla. En esta colada fueron medidas dos edades K/Ar sobre roca total de  $11,48 \pm 0,50$  y  $10,83 \pm 0,39$  Ma<sup>5</sup>. Sobre esta misma topografía de erosión, que se eleva desde el SW hacia el NE

recortando el Paleozoico, la Falla de Eucaliptus y las formaciones sedimentarias sintectónicas se han conservado remanentes de coladas shoshon ticas. Las edades de estas coladas est n comprendidas entre  $13,2 \pm 0,7$  y  $10,83 \pm 0,39$  Ma<sup>6</sup>. La distribución de estos remanentes permite reconstituir la paleotopografía sobre la cual se emplazaron las coladas; era muy poco accidentada. De esto se deduce que la actividad de la Falla de Eucaliptus cesó antes de 13 Ma y que sólo fue activa durante menos de 6 Ma.

Esta superficie de erosión elaborada en un ambiente de poca actividad de la deformación, fue profundamente diseada. En estas formas de disección se conservan, en las regiones de Eucaliptus y Soledad (Fig. 2), en fuerte discordancia sobre la Formación Kholpana, sedimentos conglomerádicos. En estos sedimentos, a 400 m por debajo del nivel de la superficie de erosión está conservado un nivel de tobas fechadas entre  $6,5 \pm 0,2$  y  $4,6 \pm 0,3$  Ma<sup>6,7</sup>. Es así que, entre más o menos 11 Ma y 6 Ma, la erosión excavó el relieve del compartimento cabalgado de la Falla de Eucaliptus de, por lo menos, 400 m. Esta fuerte disección es la consecuencia de un ajuste al importante sollevamiento de la Cordillera en comparación al Altiplano.

## 2.- La región de Tupiza-Tarija.

En el sur de Bolivia, entre 21  y 22  S, la relación entre la deformación tectónica y la formación del relieve de la Cordillera Oriental y de su contacto con el Altiplano está bien documentada merced a las series sedimentarias conservadas especialmente en las cuencas de Los Lipez, Estarca, Tupiza, Nazareno, Camargo y Tarija (Fig. 3).

La Cordillera Oriental está constituida por varias unidades tectonoestratigráficas (unidades Tarabuco-Villaz n y de Charazani-Ayoma-Atocha) separadas por la Falla de Aiquile-Tupiza (Fig. 1). En estas unidades la pila sedimentaria preterciaria está conformada por escasos terrenos del Proterozoico Superior y, sobretudo, terrenos del Ordovícico localmente cubiertos en discordancia por capas del Mesozoico. El límite estructural con la cuenca de Los Lipez, que pertenece al Altiplano, y la Cordillera Oriental corresponde a la Falla de San Vicente (Fig. 3). Aquí al igual que en la región de Oruro, las topografías de erosión observadas en la cuenca sedimentaria se prolongan en la Cordillera Oriental.

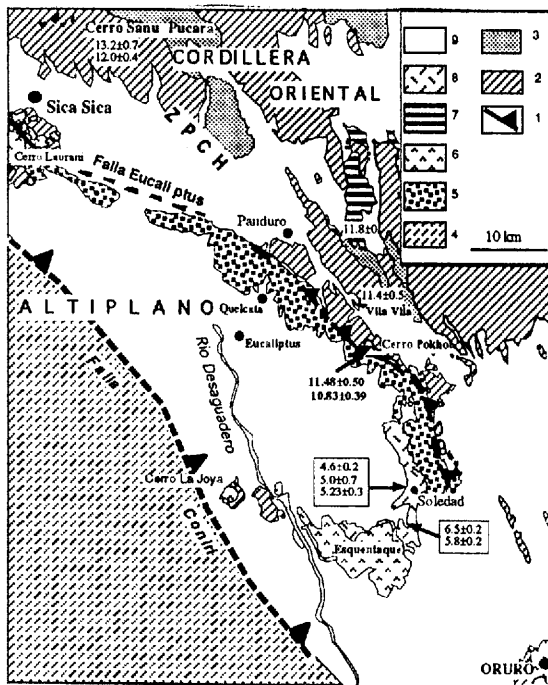
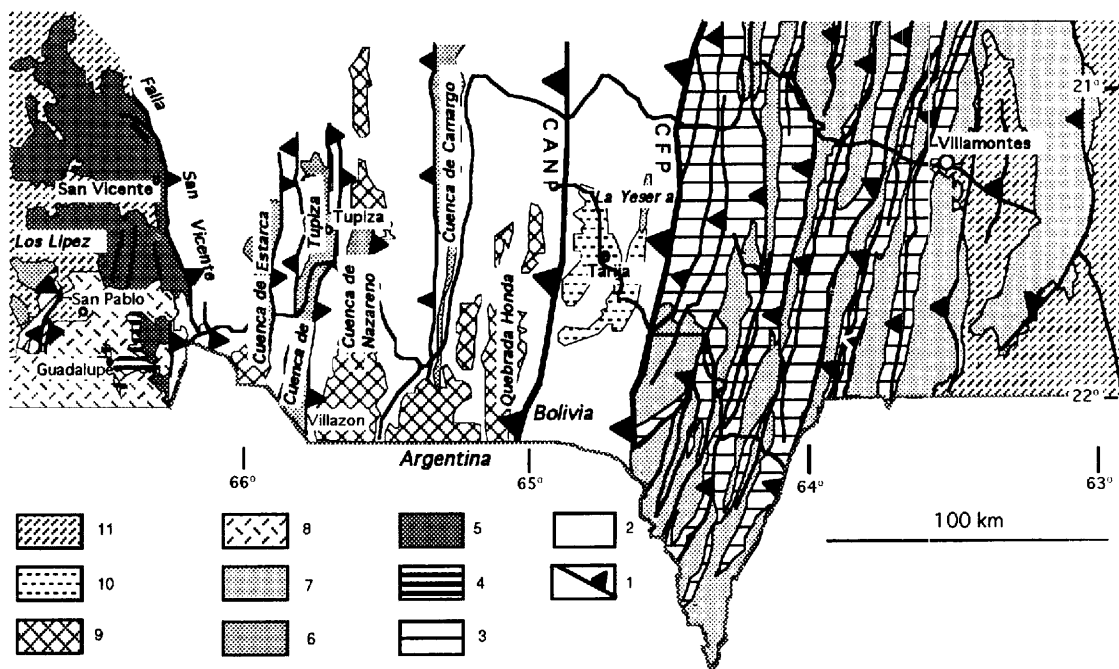


Fig. 2.- El contacto Cordillera Oriental-Altiplano en la región de Oruro.

1.- Principales cabalgamientos, 2.- Paleozoico y Mesozoico, 3.- Cenozoico indiferenciado, 4.- Formación Kholpana (Mioceno), 5.- Dacitas miocenas, 6.- Shoshonitas miocenas, 7.- Tobas mio-pliocenas, 8.- Cuaternario. La extensión del Cuaternario marca la superficie del Altiplano como unidad morfológica, mientras que la Falla Coniri limita al este-noreste el Altiplano como estructura tectono-sedimentaria.



**Fig. 3.-** El contacto Cordillera Oriental-Altiplano en el sur de Bolivia y su entorno regional.

1.- Principales cabalgamientos, 2.- Ordovícico, 3.- Paleozoico y Mesozoico del subandino, 4.- Formación Rondal, 5.- Formación San Vicente, 6.- Formaciones cenozoicas de la Cordillera Oriental, 7.- Formaciones cenozoicas del subandino, 8.- Ignimbritas, 9.- Superficie San Juan de Oro, 10.- Cuenca de Tupiza, 11.- Cuaternario.

Se distinguen claramente dos grupos de aplanamientos<sup>8,9</sup>:

- uno, culminante, conservado entre 4.200-4.000 m, denominado Superficie Chayanta,
- otro, encajonado en el precedente, conservado entre 3.700-3.500 m, denominado Superficie San Juan de Oro.

La organización del relieve y el desarrollo de la deformación así como su propagación regional están bastante bien establecidos. La cuenca de Tupiza se abre en cuenca "pull-apart" a partir de los alrededores de 29 Ma<sup>10</sup>, pero ya en la misma época, la Falla San Vicente (Fig. 3) empezaba a funcionar como cabalgamiento. En la zona de Tupiza solamente a partir de 22-20 Ma se activan los cabalgamientos y se desarrollan cuencas en "piggy-back" como las de Estarca o Nazareno (Fig. 3).

El análisis del relleno sedimentario de estas cuencas muestra:

- que fué generado por la actividad de cabalgamientos ubicados en el borde oriental de las cuencas,
- que recubre en "onlap" el borde occidental, lo que indica que hubo una previa desactivación (o, al menos, una notable disminución de la actividad) de los cabalgamientos que generaron los relieves situados más al Este. Así, la actividad de la Falla de San Vicente (Fig. 3) era nula o muy reducida cuando la Falla de Estarca se activ <sup>11</sup>. Esto está corroborado por la evolución tectónica del compartimiento cabalgado por la Falla San Vicente. Al Oeste de esta falla, en la región de Guadalupe (Fig.3), ignimbritas datadas a 15,05±0,5 Ma est n sólo levemente deformadas.

Estas ignimbritas cubren una formación conglomerádica, el Conglomerado Hornocucho<sup>11</sup>, depositada en una red fluvial poco encajonada o sobre pedimentos. Este conglomerado cubre en discordancia erosiva terrenos del Cenozoico y también del Ordovícico, en los bordes de la cuenca de Los Lipez. El Conglomerado Hornocucho materializa una

superficie de erosión que se desarrolló a expensas de relieves donde afloran edificios volcánicos dacíticos y el Ordovícico como lo muestran los clastos que contiene. Podría estar asociado con la Superficie Chayanta.

En la Cordillera, entre la Falla Estarca y el CANP, a unos 500 m más bajo que la Superficie Chayanta se conservan remanentes de la Superficie San Juan de Oro (Fig. 3). Están cubiertos localmente por depósitos aluviales no deformados cuyas edades están comprendidas entre 9 y 10 Ma<sup>12</sup>. Eso indica que la actividad de los cabalgamientos con vergencia hacia el Oeste, comprendidos entre la CANP y la Falla San Vicente, cesó antes de 10 Ma (había empezado después de 22 Ma y antes de 20 Ma). Posteriormente hubo un importante sollevamiento que causó el encajonamiento de los valles en varios cientos de metros de profundidad, pero sin deformación tectónica local.

Al contrario, al Este del CANP, la deformación tectónica es activa después de 10 Ma. En la cuenca de Tarija, la Formación La Yesera, en la que obtuvimos una edad K/Ar de 6,4±0,4 Ma, está deformada por pliegues NS. En la zona subandina, la deformación de la faja plegada y corrida empezó en los alrededores de 10 Ma<sup>13</sup>.

### 3.- Conclusión.

Poco antes de 10 Ma la deformación de la corteza superior había cesado entre las Fallas Coniri y San Vicente al Oeste y el CANP al Este. En este momento se produjo un salto de la deformación hacia el Este al nivel del CFP y de la zona subandina.

Tanto en el Norte como en el Sur de Bolivia, el borde Oeste de la Cordillera Oriental corresponde a una faja plegada y corrida con vergencia hacia el Oeste. Estas estructuras se activaron después de los 29 Ma, pero numerosos cabalgamientos sólo se desarrollaron a partir de alrededor de 20 Ma. Sin embargo, antes de los 10 Ma (probablemente antes de los 13 Ma, en muchos casos), la erosión había arrasado los relieves elaborando las superficies de erosión Chayanta y San Juan de Oro. La deformación había cesado en esta zona, pero no el sollevamiento, como lo atestan las formas de agradación de las superficies de erosión y su fuerte disección. Este sollevamiento se debió a la activación de los cabalgamientos ubicados al Este del CANP.

Las superficies de erosión cenozoicas características de la Cordillera Oriental de Los Andes<sup>8,14</sup>, fueron elaboradas en un contexto de disminución de la actividad de los cabalgamientos de la vertiente Oeste de la Cordillera Oriental antes del salto de la deformación hacia el Este. Esto explica la ubicación y extensión de estas superficies alargadas sobre el reverso de la Cordillera en posición y dinámica de "piggy-back". Los sedimentos procedentes de estas zonas de erosión están acumulados en la parte axial de la cuenca del Altiplano y su gran espesor refleja la importancia de los volúmenes de rocas erosionadas en la Cordillera Oriental.

### Referencias.

- 1.- Sempere, Th., 1991. Cenozoic tectonic "phases" in Bolivia: some needed clarifications. 6º Cong. Geol. Chileno, 877-881.
- 2.- Jordan, T.E., Allmendinger, R.W., Damanti, J.F., Drake, R.E., 1993. Chronology of Motion in a Complete Thrust belt: the Precordillera, 30-31° S. Andes Mountains. *Journal of Geol.*, 101, 135-156.
- 3.- Sempere, Th., Hérail, G., Oller, J., 1988. Los aspectos estructurales del oroclino boliviano. 5º Cong. Geol. Chileno, A127-A142.
- 4.- Sempere, Th., Hérail, G., Oller, J., Bonhomme, M., 1990. Late Oligocene-early Miocene major tectonic crisis and related basins in Bolivia. *Geology*, 18, 946-949.
- 5.- Hérail, G., Soler, P., Bonhomme, M., Lizeca, J.L., 1993. Evolution géodynamique de la transition entre l'Altiplano et la Cordillère Orientale au Nord d'Oruro (Bolivie). Implications sur le déroulement de l'orogénèse andin. C.R. Acad. Sciences, Paris, 317, Série II, 515-522.
- 6.- Redwood, S., McIntyre, R., 1989. K-Ar dating of Miocene magmatism and related epithermal mineralization of the Northeastern Altiplano of Bolivia. *Econ. Geol.*, 84, 618-630.
- 7.- Lavenu, A., Bonhomme, M., Vatin-Perignon, N., de Pachtère, P., 1989. Neogene magmatism in the Bolivian Andes between 16° and 18° S. Stratigraphy and K-Ar geochronology. *J. of South. Amer. Earth Sci.*, 2, 35-47.

- 8.- Servant, M., Sempere, Th., Argollo, J., Bernat, G., Feraud, G., Lo Bello, P., 1989. Morphogenèse et soulèvement de la Cordillère Orientale des Andes de Bolivie au Cénozoïque. C. R. Acad. Sci. Paris, 309, Série II, 417-422.
- 9.- Sempere, Th., Vargas, E., Hérail, G., 1990. Las superficies de erosión "Chayanta" y "San Juan de Oro" en el segmento N.S. de la Cordillera Oriental: geometría y edad aproximada. 9º Cong. Geol. Bol., 15.
- 10.- Hérail, G., Oller, J., Baby, P., Blanco, J., Bonhomme, M., Soler, P., 1993. The Tupiza, Nazareno and Estarca bassins (Bolivia): Strike-slip faulting and thrusting during the Cenozoic evolution of the southern branch of the Bolivian Crocline. ISAG 1993, 191-194.
- 11.- Fornari, M., Hérail, G., Pozzo, L., Viscarra, G., 1989. Estratigrafía y dinámica de emplazamiento de las volcanitas del área de Guadalupe. Orstom en Bolivia. Informe 19, 26 p.
- 12.- Gubbels, T., Isacks, B., Farrar, E., 1993. High-level surfaces, plateau uplift and foreland development, Bolivian central Andes. *Geology*, 21, 695-698.
- 13.- Marshall, L.G., Sempere, Th., Gayet, M., 1993. The Petaca (Late Oligocene-Middle Miocene) and Yecua (Late Miocene) formations of the Subandean-Chaco basin, Bolivia, on a their tectonic significance. *Doc. Geol. Lyon*, 125, 291-301.
- 14.- Walker, A., 1949. Andean uplift and erosion surfaces near Uncia, Bolivia. *Am. Journ. Sci.*, 241, 646-663.