

# GEOLOGIA Y MAGMATISMO DE ARCO DESDE EL OLIGOCENO SUPERIOR AL RECIENTE EN LA SERRANIA DE LAS MINAS

EDDY BALDELLON P. <sup>1</sup>, MICHEL FORNARI <sup>2</sup>, FELIX ESPINOZA R. <sup>1</sup> & PIERRE SOLER <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Servicio Geológico de Bolivia, Proyecto 1 - Casilla Postal 2729, La Paz-Bolivia

<sup>2</sup> ORSTOM, 213 Rue La Fayette, 75480 París Cedex 10 - France

## INTRODUCCION

En el margen occidental del Río Quetena y Grande de Lipez afloran estructuras, que presentan una compleja historia estructural y sedimentaria, donde se identifican rocas paleozoicas de ambiente marino (turbiditas), y otras rocas correspondientes al Mesozoico de ambiente transicional marino continental (formaciones Chaunaca, Toro Toro y El Molino). El Cenozoico presenta rocas de ambiente continental (formaciones Santa Lucía, Cayara, Potoco y San Vicente), y el inicio de el magmatismo está relacionado un margen convergente activo (Formaciones Suri Pujio, Quehua inferior o San Vicente Superior) en el límite Oligoceno Mioceno, a partir del cual la actividad magmática, aunque con lapsos, fue frecuente hasta el reciente (unidades volcánicas entre 12 y 3 Ma) y

Durante el Cambro-Ordovícico se forma una cuenca de extensión marina en el SW Boliviano y NW de Argentina, esta fosa es lugar de deposición de una espesa (5000 m) serie de sedimentos clásticos de tipo turbiditas; en el norte de Argentina incluyen rocas volcánicas tholeíticas (Coira *et al.*, 1982) la cuales interpretan como el inicio de una distensión oceánica.

En los afloramientos asignados al Ordovícico inferior a medio en el SW de Bolivia (Serranía de las Minas, San Cristóbal-Corregidores, en la parte occidental de la región, Quetena o Peña Barrosa al SE, Pululus en la parte central y San Vicente en la parte oriental, además de una pequeña escama al NW de Alota) corresponden a depósitos clásticos, grauvacas, con una fuerte deformación y esquistosidad; con un espesor promedio de 2000 m.

magmático que incluye representado por riondo, andesitas y andesíticas basálticas, asociadas a un sincrónico emplazamiento de plutones calco alcalinos en la cordillera de Domeyko y en menor proporción plutonismo en la costa de Chile. Este evento magmático

los preexistentes unidades estratigráficas, especialmente los depósitos jurásicos y cretácicos inferiores, sobre el cual se depositara el Cretácico Superior en discordancia angular. (Macksaev *op. cit.*)

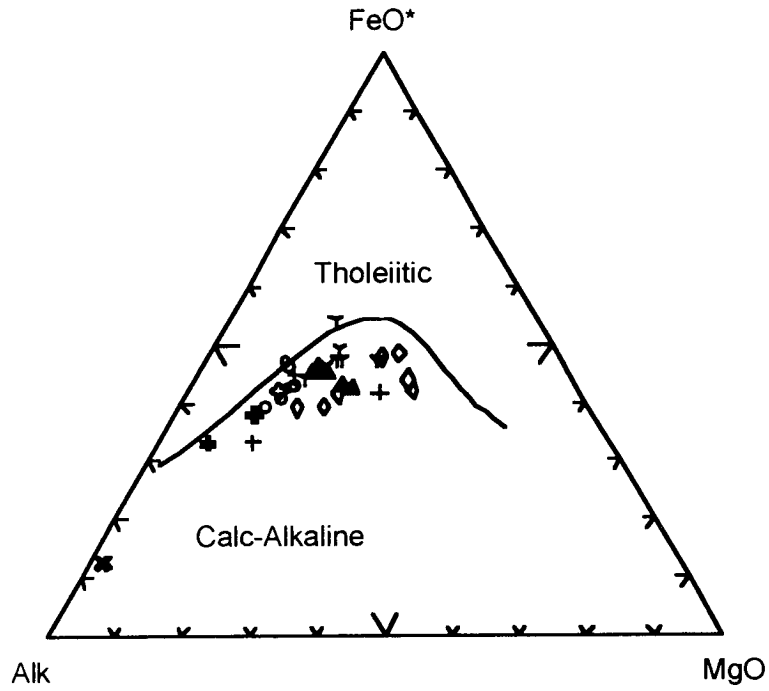


Fig. 1.- Diagrama AFM, donde la mayoría de las lavas de Serranía de las minas cae en el campo calco alcalino

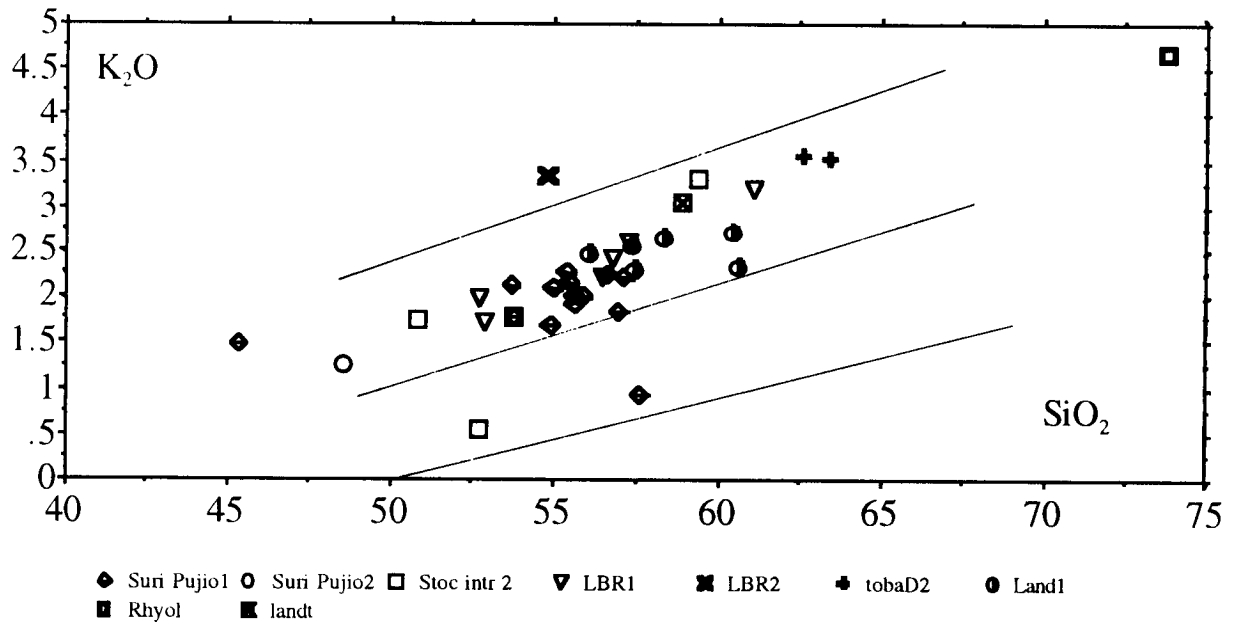


Fig. 2.- Diagrama SiO<sub>2</sub> vs K<sub>2</sub>O. Las líneas de campo son de Gill 1981.

marina de El Molino (ca. 300 m) que cubrirá todo este sector del SW, de facies de plataforma y pasara en forma transicional a la Fm. Santa Lucía y a la vez también el paso transicional a las areniscas entrecruzadas de la Fm. Cayara definiendo para las formaciones cenozoicas basales un ambiente mareico.

Durante este período en el Norte de Chile el arco magmático migra unos 100 km al Este hasta ubicarse en la depresión intermedia, representado por vulcanismo calco-alcalino (basáltico a riolítico) y plutonismo relacionado a la subducción de la placa oceánica Farellón.

Durante el Eoceno tardío, una fase de compresión (fase Incaica, Steinmann, 1929) afecta a los depósitos del Cretácico y Paleógeno inferior, marcando el inicio del desarrollo de las cuencas continentales del Oligoceno inferior en el Altiplano, es así que en Soniquera las capas rojas asignadas al Oligoceno (del Carpio, 1972), Fm. Potoco de ca 2000 m de espesor presentan un conglomerado basal discordante sobre las formaciones Molino y Santa Lucía.

La actividad magmática en el Norte de Chile disminuye fuertemente, y solo está representada por stocks subvolcánicos, de composición granodiorítica, a lo largo de la cordillera de Domeyko.

El evento tectónico Incaico parece corresponder con un cambio global de disposición de las placas que ocurre primariamente durante el Eoceno medio y tardío (Rona & Richardson, 1978, Cande, etc. en Macksaev *op. cit.*).

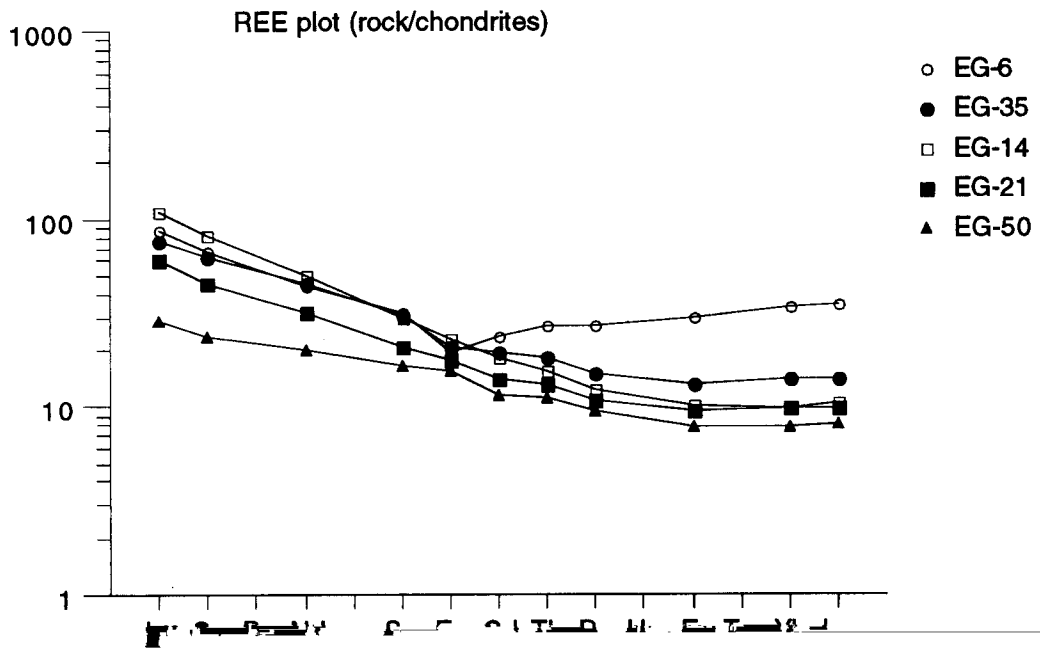
de tipo calco-alcalino y el desarrollo de magmatismo calco alcalino, entre Serranía de Las Minas y el SE del Salar de Uyuni (lavas asignadas a la Fm. Suri Pujio ca 2000 m, Baldellón (1995) y los subvolcánicos que intruyen a la Fm. Potoco) y también el volcanismo Rondal 24 y 22 Ma (Kussmaul, 1975).

Esos datos permiten dar la edad de este evento tectónico registrado en el SW de Bolivia entre los 26 Ma y 19 Ma; correspondientes a la Fase Pehuenche (Irigoyen, 1979 en Avila Salinas, 1991), o Aymara de Sébrier *et al.*, (1982). También esta fase tectónica está acompañada de un desplazamiento tierra adentro del arco magmático calco alcalino.

Inmediatamente después, la antigua placa Farellón se fragmenta en las placas de Cocos y Nazca (Mammerickx *et al.*, *op. cit.*), el consiguiente cambio da a la placa de Nazca una dirección de convergencia EW y la subducción de la placa oceánica con una velocidad máxima de 12 cm/año, y la migración del frente magmático al W en la correspondiente Zona volcánica Central (CVZ de Thorpe, 1984) entre ca 17 Ma. y 12 Ma hasta el reciente.

Posterior a esta etapa de deformación, en la zona de estudio, se produce una extensa sedimentación volcano-sedimentaria distal, de origen S-SE, que alcanza ca 1000 m de espesor, intercalada con ignimbritas en el Altiplano Sud occidental, que corresponde a la Fm. Quehua Inferior (Del Carpio, 1972).

Esta unidad presenta edades entre 19 Ma y 15 Ma. o quizás hasta 11 Ma. Conglomerados fluviales, flujos de barro y depósitos lacustres con alta influencia volcánica, intercalados con eventos



complejos andesíticos (Drey et al., 1990) representada por pequeños cuerpos con sus edificios volcánicos bien preservados; son de pequeña dimensión y de carácter básico-andesítico; se emplazan relacionado a fallas de desgarres longitudinales y transversales.

Existe desarrollo de período transtensional reciente, asociado a fisuras cuyas trazas reflejan rombos en los depósitos recientes y fallas normales muy actuales; estas fallas normales que afectan suelos cuaternarios son origen de actividad sísmica muy superficial que también a provocado estructuras de colapsos (sismicitas) en sedimentos lacustres cuaternarios.

inductivamente acoplado, del cual se emision para elementos mayores y traza (Si, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, Ti, P, P.F. y Se) y por ICP MS (espectrómetro de masa) para los restantes elementos menores y las tierras raras (Ba, Be, Co, Cr, Cu, Nb, Ni, Rb, Sr, V, Zn, Zr, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Er, Yb, Lu, Y, Th); el control de calidad en base a Geostandar Internacionales.

Las rocas generalmente son clasificadas de acuerdo al % de sílice, tomando la clasificación de Gill (1981), las rocas de Serranía de las Minas son clasificadas de la siguiente manera: basaltos < a 53 % de SiO<sub>2</sub>, andesitas basálticas entre 53 y 57 % de SiO<sub>2</sub>.

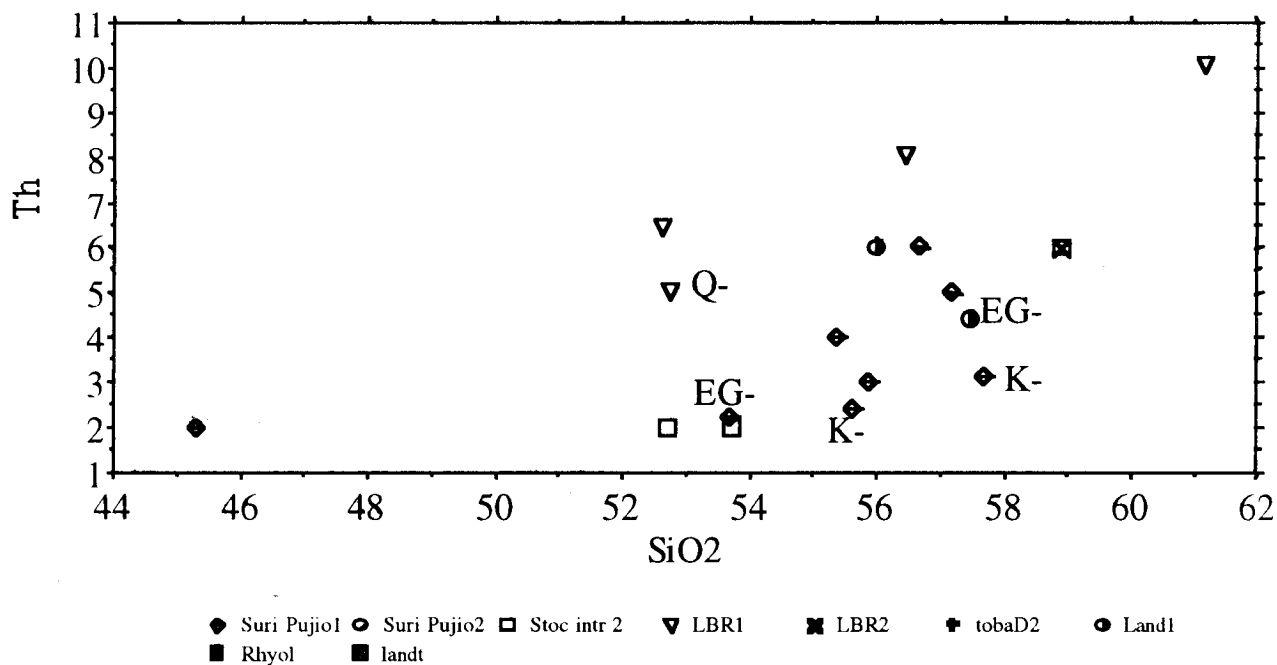


Fig. 5.- Diagrama de SiO<sub>2</sub> vs Th. En este diagrama solo se consideran las muestras EG-31, K2, K3, para las lavas de suri Pujio; EG-90, para las lavas posteriores a 19 Ma. Y Q-1 para las lavas recientes; el Th aumenta cuando la roca es más joven o reciente, probablemente relacionado al aumento del espesor de la corteza.

andesitas entre 57 y 63 % SiO<sub>2</sub>, dacitas entre 63 y 70 % SiO<sub>2</sub> y riolitas > a 70.

El magmatismo predominante es calco-alkalino, compuesto por andesitas básicas con alto K, relacionado a un margen convergente y a procesos de subducción con bajos contenidos de Nb entre 6.22 a 12.3, altos contenidos de La entre 19.03 a 29.26, con anomalías > 63, los contenidos de Yb 1.1 a 3.1, con anomalías en los cuerpos volcánicos cuaternarios (Salle Loma 1 y 2) que son de ~ 7.4.

Con el diagrama AFM de Irvine & Baragar, 1971 (Fig. 1), las rocas de Serranía de las Minas muestran un agrupamiento, el cual cae en el campo calco-alkalino, a su vez no muestran incremento en hierro, el diagrama SiO<sub>2</sub> vs K<sub>2</sub>O (Fig. 2) y las líneas de división de campo son de Gill, 1981, se observa que la mayoría de las rocas de Serranía de Las Minas caen en el campo de Andesitas Básicas y Andesitas con alto K.

De la comparación de los modelos en los diagramas de REE de Nakamura, 1974, (Fig. 3). Las lavas derivan de una lertzolita con granate, los cuerpos Salle Loma 1 y 2 de una Lertzolita con espínela y el domo riolítico de la Juvina anatexis cortical.

La mayoría de las lavas son de carácter metaluminoso. Se han identificado cuatro eventos magmáticos importantes.

plagioclasa y anfíbol; en las coladas superiores donde existe anfíbol a partir de 56.7 de Sílice, las texturas de tamiz en las plagioclasas con bordes de crecimiento de plagioclasa cálcica, indican que la mezcla de magmas es importante en la diferenciación; también la asimilación es importante, por el enriquecimiento en incompatibles que se observa en el diagrama MORB de Pearce, 1983.

Los cuerpos hipoabisales que intruyen a la Formación Potoco, son dioritas, con texturas holocristalinas inequigranular, la mineralogía básica consta de augita en las rocas básicas, corroídas y parcialmente remplazadas por plagioclasa básica An 54, la ortosa y el cuarzo son de carácter intersticial, no existe vidrio; se puede observar albitización de las plagioclasas; además la existencia de calcita, epidota, pistacita, y esfena, además de opacos como pirta, lo cual indica que estas rocas han sufrido alteración propilítica, reflejado en sus altos contenidos en Na<sub>2</sub>O (4.13 a 6.91) en relación al CaO (3.12 a 5.09), sus rangos de sílice varían de 50.80 a 59.37. Los incompatibles, el Th (2) y Rb 43 a 68 incrementa con el aumento de SiO<sub>2</sub>, los compatibles el Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, Ni, Sc, decrecen con el incremento de SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub> (0.53 a 1.35), las relaciones de incompatibles Ba/La ~40, Nb/Y (0.26 a 0.51).

El sill de Khonas microgabro olivínico, constituido por olivinos, titanoaugitas, augitas, menas de Fe, plagioclasa básica An 60; existe biotita intersticial. este sill básico con 48.50 de SiO<sub>2</sub>. tiene

también el Torio incrementa probablemente con el aumento en espesor de la corteza, la lava miocena, EG-90, 57.44 de SiO<sub>2</sub> el Th 4.4, es mayor, en comparación con las lavas oligo-miocenas y para el Cuaternario, lo es aun más con Q1 que para SiO<sub>2</sub> 52.67, el Th aumenta a 6.4.

### CONCLUSIONES

Las rocas de la zona de Serranía de las Minas son en su mayoría Andesita Básicas con Alto Potasio, de carácter calcoalcalino, evidenciado en la presencia Modal de Ortopiroxeno (Hipersteno), y sustentado en sus bajos contenidos de Nb entre 5.1 y 21.8.

Las lavas son predominantemente andesitas básicas con alto K. Los fluidos derivados del manto debido a procesos de asimilación muestran enriquecimientos en elementos incompatibles, lo cual se observa en el incremento de Th, relacionado al engrosamiento de la corteza debido a los diferentes procesos de acortamientos sufridos por la corteza continental como indican varios autores (Isacks, 1988; Roeder, 1986 y Baby, 1991).

\*.- San Vicente S.S., se refiere a los conglomerados de roca paleozoica que se depositan al tope de la Fm. Potoco.



## MEMORIAS DEL XII CONGRESO GEOLOGICO DE BOLIVIA - TARIJA, BOLIVIA

Muestra	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI	Zr	Ba	Sr	Rb	V	Co	Ni
EG-26	53,66	1,34	16,26	10,9	,19	2,88	7,2	3,3	2,11	,37	1,54	204	782	484	58	293	23,4	10,2
EG-31	53,73	,95	15,76	9,46	,16	4,6	8,2	3,14	1,76	,95	1,68	148	582	433	39	237	34	25,8
EG-69	54,9	,87	17,71	8,86	,16	3,39	7	3,74	1,68	,32	1,1	146	551	499	30	166	18	10,5
EG-37	54,98	,96	16,33	9,35	,2	3,18	6,62	3,34	2,09	,32	2,48	171	657	491	49	206	22,9	29,6
EG-35	55,42	1	16,2	7,56	,14	3,71	7,71	3,23	2,15	,34	2,23	194	848	492	48	209	20,8	28,9
EG-59	55,65	,93	17,15	7,48	,13	3,52	7,23	3,4	2,02	,2	1,53	128	833	559	47	183	17,6	16,3
K-2	55,66	,94	17,99	8,37	,2	2,99	6,67	3,81	1,93	,41	,72	185	776	575	45	128	20,3	7,4
EG-42	57,04	,72	18,40	7,47	,18	3,55	7,23	3,74	2,11	,37	1,54	204	782	484	58	293	23,4	10,2

- massive volcanic belt in the northern Chile. Pags. 277-293 en *Tectonics of the Southern Central Andes* by Reutter K. J., E.Scheuber, P. J.Wigger. Structure and Evolution of an Active Margen Continental. Springer-Verlag, 1994.
- CANDE, S. C., E. M.HERRON & B. R.HALL, 1982.** The early Cenozoic tectonic history of the Southeast Pacific: *Earth and Planetary Science Letters*; 57 : 63-74.
- COIRA, B., J.DAVIDSON, C.MPODOZIS & V.RAMOS, 1982.** Tectonic and magmatic evolución of the Andes of northern Argentina y Chile. *Earth Sci. Rev.*, 18 : 303-332.
- DALMAYRAC, B., 1978.** Géologie des Andes Péruviennes- Géologie de la Cordillère Orientale de la Région de Huanuco: Sur place dans une Transversale des Andes de Pérou (9° a 30° S). *Travaux et Documents de l'ORSTOM* 93 : 160.
- DALZIEL, I. W. D., B. C.STOREY, S. W.GARRET, A. M. GRUNOW, L. D. B.HERROD & R.J.PANKHURST, 1987.** Extensional tectonics and the fragmentation of Gondwanaland, en *Continental Extensional Tectonics*: Coward, M.P., J.F.Dewey & P. L.Hancock. eds. Geol. Soc. of London, Esp. Pub. 28 : 433-441.
- DAMM, K. W., S.PICHOWIAK & W.TODT, 1986.** Geochemie, Petrologie und Geochronologie der Plutonite und des metamorphen grungebirges in Nordchile. *Berliner Geowissenschaftliche Abhandlungen*, A 66, I : 73-146.
- DEL CARPIO DIAZ EDILBERG, 1972.** Estudio Geológico de la Región de Soniquera. *Tesis de Grado UMSA*, 145 pag.
- GILL J. B., 1981.** *Orogenic andesites and Plate Tectonics*. Springer Verlag: Berlin : 390.
- HERVE, M., 1987.** Movimiento sinistral en el Cretácico inferior de la zona de la falla de Atacama, Chile. *Rev. Geol. de Chile*, 31 : 37-42.
- IRVINE, T. N. & W. R. A.BARAGAR, 1971.** *Canadian Journal Earth Sciences*, 8 : 523-548.
- ISACKS, B. L., 1988.** Uplift of the central Andean plateau y bending of the Bolivian Orocline: *Journal of the Geophysical Research*, 93 : 3211-3231.
- KENNAN, L., S. LAMB & C. RUNDLE, 1995.** K Ar dates from the Altiplano and Cordillera Oriental of Bolivia.- *Journal of South American Earth Sciences*, 8 : 165-186.
- 166.
- MAKSAEV, V., 1990.** Metallogeny, geological evolution and thermochronology of the Chilean Andes between latitudes 21° and 26° south, and the origin of major porphyry copper deposits. *PHD. Thesis Dalhousie University Halifax Canadá* : 554.
- MARQUILLAS, R. & J. A.SALFITTY, 1988.** Tectonic framework and correlations of the Cretaceous Eocene Salta group, Argentina. En Bahlburg H. Breikreutz C, Giese P (eds) *The southern Central Andes*, Lecture notes in Earth Sciences 17. Springer Berlin, Heidelberg, New York : 119-136.
- MPODOZIS, C., F.HERVE, J.DAVIDSON & S.RIVANO, 1983.** Los Granitoides del Cerro de Lila, manifestaciones de un episodio intrusivo y termal del paleozoico inferior en los Andes del Norte de Chile. *Rev. Geol. Chile*, 18 : 3-14.
- NAKAMURA, N., 1974.** Determination of Rb, Ba, Mg, Na, and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 38 : 757-775.
- NARANJO, J. A., A.PUIG & M.SUAREZ, 1986.** A note on Lower Jurassic magmatism in the Coastal Cordillera of Atacama, Chile : *Geological Magazine*, 123 : 699-702.
- PEARCE, J. A., 1982.** Trace elements characteristics of lavas from destructive plate boundaries. *Andesites*: Thorpe R. S. : 526-548 John Wiley y Sons.
- RAMOS, V. A., 1984.** Patagonia : Un continente a la deriva?. *IX Congr. Geol. Arg.*, Bariloche (Río Negro), 2 : 311-328.
- RAMOS, V. A., 1986.** Principios de Geotectónica, Curso de Actualización, Sociedad Geológica de Bolivia, 1986 : 141.
- RAMOS, V. A., 1994.** Terranes of southern Gondwanaland and their control in the Andean Structure pp 249-261 en *Tectonics of the Southern Central Andes* by Reutter K. J., E.Scheuber, P. J.Wigger. Structure and Evolution of an Active Margen Continental. Springer-Verlag 1994.
- RAPELA, C. W., B.COIRA, A.TOSELLI, J.SAAVEDRA, 1992.** El Magmatismo del paleozoico Inferior en el Sudoeste de Gondwana. *Paleozoico Inferior de Latinoamérica* : 21-67.
- RICHTER D. H., W. E.BROOKS, S.LUDINGTON A.HINOJOSA-VELASCO, A.ESCOBAR-DIAZ, E. H. MCKEE & N.SHEN, 1975.** San Cristobal district.- (in: U.S. Geological Survey & Servicio Geológico de Bolivia (eds). *Geology and Mineral Resources of Altiplano and Cordillera Occidental, Bolivia*) U.S. Geol. Surv. Bull., 1975 : 153-156.

- RICHTER D. H., W. E. BROOKS, N. SHEN, A. HINOJOSA-VELASCO & A. ESCOBAR-DIAZ, 1975.** Cerro Eskapa.- (in: U.S. Geological Survey & Servicio Geológico de Bolivia (eds). *Geology and Mineral Resources of Altiplano and Cordillera Occidental, Bolivia*) U.S. Geol. Surv. Bull., 1975 : 116-119.
- ROEDER, D. 1988.** Andean-age structure of Eastern Cordillera (Province of La Paz, Bolivia): *Tectonics*, 7 : 23-39.
- SAUNDERS A. D., NORRY M. J. & TARNEY J., 1991.** Fluid influence on the trace element compositions of subduction zone magmas. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* (1991) 335 : 377-392.
- SCHEUBER E., BOGDANIC, A. JANSEN & K. J. REUTER, 1994.** Tectonic development of the North Chilean Andes in relation plate convergence and magmatism since the Jurassic : 121-153; en *Tectonics of the Southern Central Andes* by Reutter K. J., E. Scheuber, P. J. Wigger, Structure and Evolution of an Active Margen Continental. Springer-Verlag 1994.
- SEBRIER, M., A. LAVENU, M. FORNARI & J. P. SOULAS, 1988.** *Tectonic and uplift in the Central Andes* (Perou, Bolivia and Northern Chile) from Eoceno to Present. *Géodynamique*, 3 (1-2) : 85-106.
- SOLER P., G. CARLIER, M. G. BONHOME & M. FORNARI, 1993.** Field observations and K-Ar dating of the Cerro Chiar Kollu (Southern Altiplano, Bolivia) : *Second ISAG*. Oxford (UK) : 443-446.
- SOLER, P. & TH. SEMPÈRE, 1993.** Stratigraphie, géochimie et signification paléotectonique des roches volcaniques basiques mésozoïques des Andes boliviennes. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 316, II : 777-784.
- THORPE, R. S., 1984.** The Tectonic Setting of Active Andean Volcanism. En *Andean Magmatism. Chemical and isotopic constraints*. R. A. Harmon and B. A. Barreiro eds. : 4-8.
- TORRICO B. H., 1966.** Estudio Geológico de la región de San Cristóbal, *Tesis de Grado UMSA*, 89 pag.
- TURNER J. C. M. & V. MENDEZ, 1979.** Puna. II *Simp Geol. Argent.* 1 : pag 13-56.