

## EVOLUCION TECTONICA Y DIFERENCIACION MAGMATICA DE LA CALDERA DE GUACHA, SUDOESTE DE BOLIVIA

Roberto Mobarec C.\* B. Heuschmidt\*

### INTRODUCCION

La caldera de Guacha se encuentra en el extremo sudoccidental de Bolivia, en la frontera con Chile y Argentina. Pertenece a la zona volcánica central del arco neógeno occidental de los Andes Centrales (fig. 1).

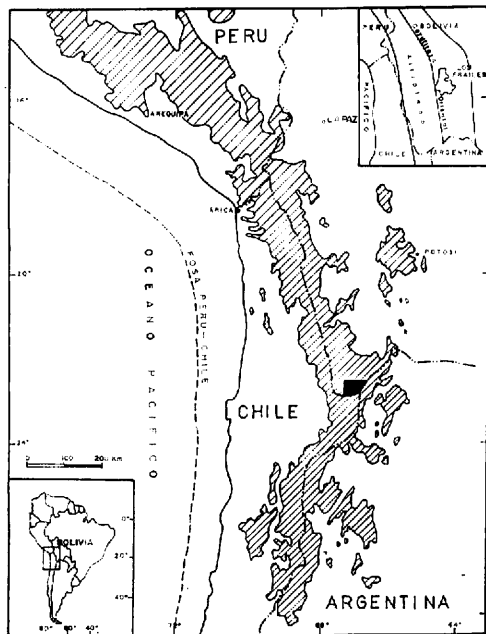


Figura 1. Mapa de ubicación de la caldera de Guacha.

La caldera tiene como basamento terrenos sedimentarios ordovícicos así como capas rojas paleogenas. Estas sedimentitas han sido afectadas por los ciclos tectónicos paleozoicos y andino, brindando este último el marco geodinámico del volcanismo que, a partir del Oligoceno final (24 Ma<sup>6</sup>), desarrolló una intensa actividad y dio origen a esta caldera resurgente.

Si bien han sido escasas las indagaciones en torno a la volcanología del área, algunos autores<sup>1,2,3</sup> han realizado estudios específicos acerca de la estructura y petrología de la caldera.

Así mismo, del lado chileno Gardeweg y Ramirez<sup>4</sup> - como parte de sus investigaciones volcanológicas en la región - estudiaron y dataron (7,6 +/- 0,3 Ma) piroclastitas de dicha caldera, denominándolas "ignimbritas antiguas". En sus trabajos se fundamenta nuestra asunción de una edad miocena superior para la formación y evolución de la estructura en cuestión.

### EVOLUCION TECTONICA DE LA CALDERA

En el emplazamiento tectovolcánico de la caldera pueden diferenciarse tres ciclos sucesivos hacia el interior de la estructura:

\* Servicio Geológico de Bolivia, SGAB Internacional, Proyecto 2. Mapeo temático, casilla 8844, La Paz Bolivia.

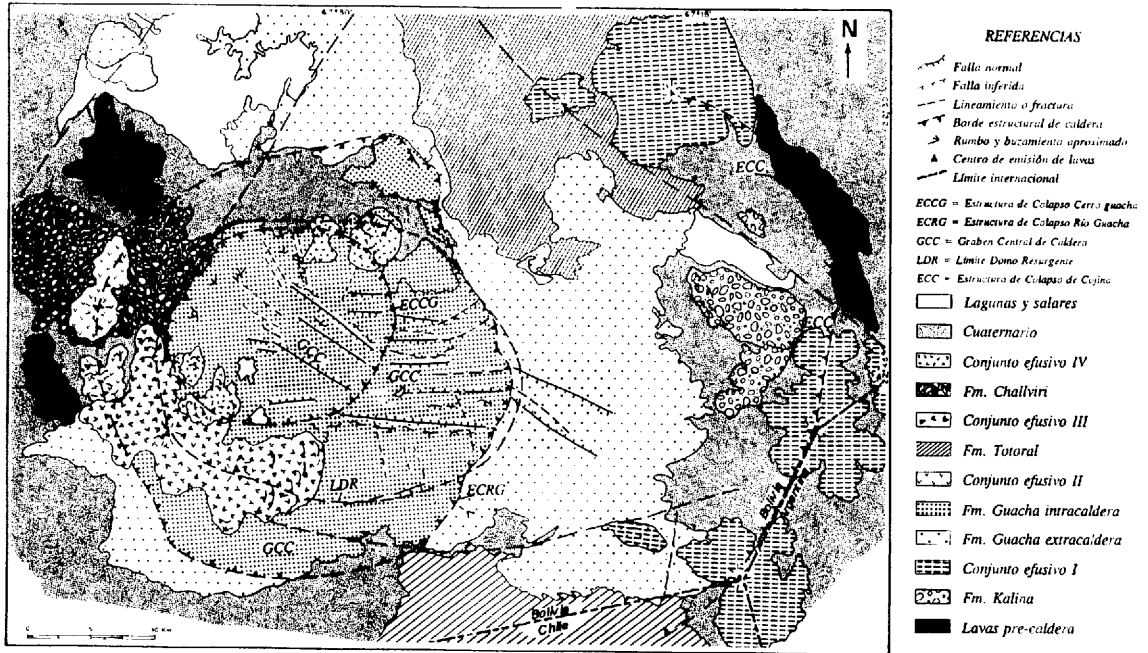


Figura 2. Mapa geológico estructural de la caldera de Guacha

- Como productos del **primer ciclo** se depositaron flujos piroclásticos y una megabrecha (Fm. Kalina; fig 2), unidades que por ser las más antiguas se hallan en su mayor parte erosionadas o cubiertas por volcanitas más recientes. El límite oriental del colapso está definido por un lineamiento (Estructura de Colapso de Cojina) que nace en el volcán Zapaleri (hito fronterizo tripartito) y se extiende en forma de arco hacia el N por una distancia aproximada de 44 km en territorio boliviano; este lineamiento, que corta con un escarpe de fractura las lavas terciarias del Cerro Cojina, se prolonga en territorio chileno parcialmente soterrado por las denominadas ignimbritas Atana<sup>3</sup>. Posteriormente, aprovechando la zona de debilidad dejada por el colapso, se derramaron cuerpos

efusivos andesítico dacíticos (Conjunto efusivo I).

- El **segundo ciclo** se desarrolló dentro de los límites del primero y originó una caldera resurgente de tipo "Valles". Comenzó con la emisión de los extensos flujos piroclásticos intercalados con coladas de lava dacítica, agrupados en la Fm. Guacha, erupción que ocasionó el segundo colapso, anidado dentro del primero. El límite oriental de éste está marcado por un valle de unos 700 m de profundidad perteneciente a las nacientes de la cuenca del río Guacha. A partir de esta cicatriz semicircular (Estructura de Colapso del río Guacha) se emitieron nuevas efusiones, de composición dacítico-andesítica, hacia el W (Conjunto efusivo II).

Posteriormente, la resurgencia magmática levantó en la parte central de la caldera una

estructura dómica de 18 a 24 km de diámetro y 1100 m de altura que deformó los flujos intracaldera de la Fm. Guacha en un área de 460 km<sup>2</sup>. Se puede estimar el volumen del magma subvolcánico resurgente en alrededor de 180 km<sup>3</sup>. Sobre la margen de esta estructura ovoide tuvo lugar un tercer episodio efusivo (Conjunto efusivo III).

El segundo ciclo evolutivo de la caldera finalizó con la subsidencia, al interior del perímetro del segundo colapso, de un *graben central* delimitado por dos series de fallas normales de rumbo general E-W. La liberación de energía que originó esa subsidencia se expresó por una erupción de material piroclástico explosivo (Fm. Totoral) que, al vaciar nuevamente la cámara magmática subyacente, produjo el hundimiento parcial del domo resurgente.

- El tercer y último ciclo formó una caldera del tipo "trapdoor", colapsada por lo esencial a lo largo de su margen occidental en tanto que la margen oriental actuaba como bisagra. El efecto trapdoor dirigió la nube piroclástica inicial (Fm. Challviri) con preferencia hacia el W. Este colapso truncó los flujos lávicos de la Fm. Guacha que desaparecen bruscamente al W de la Estructura de Colapso del Río Guacha, en un sector que permite localizar la linde oriental de dicho colapso final entre el C° Guacha y el C° Filo Guacha (Estructura de Colapso del Cerro Guacha) y definir así una última caldera semicircular de un diámetro medio de 13,5 km y una superficie de 202 km<sup>2</sup>, cuya reactivación magmática postrimera dio origen a los derrames volcánicos agrupados en el llamado Conjunto efusivo IV.

### CONSIDERACIONES PETROLOGICAS

El análisis geoquímico de óxidos mayoritarios lleva a clasificar las volcanitas de la caldera de Guacha, en el diagrama sílice vs. álcalis totales (TAS) (Zanettin, 1984: fig 3), como andesitas, dacitas y riolitas.

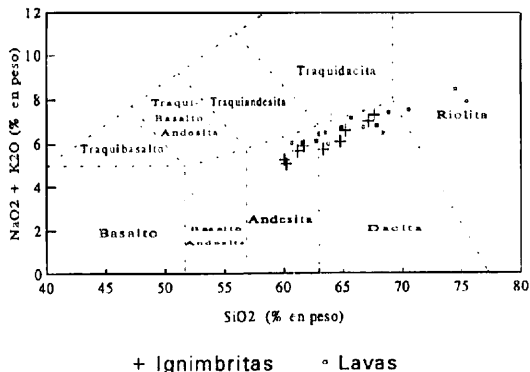


Fig. 3 Diagrama total álcalis vs sílice (TAS, Zanettin, 1984).

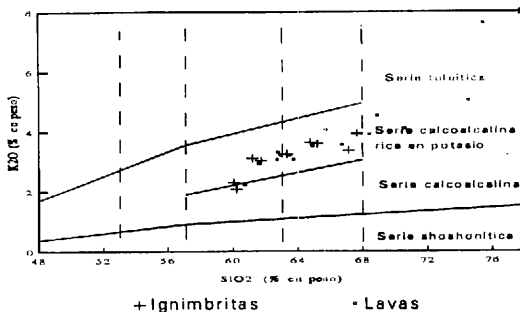


Fig. 4. Diagrama de variación K<sub>2</sub>O vs SiO<sub>2</sub> de las rocas de la caldera de Guacha (Pecerillo y Taylor, 1976).

Entre ellas las ignimbritas se caracterizan por una proporción muy variable de SiO<sub>2</sub> (desde 61.5 hasta 75.45) mientras que las lavas presentan un menor rango de variación (desde 60.06 hasta 67.5). Tales rocas corresponden a una serie calcoalcálica rica en

potasio según el diagrama de Peccerillo y Taylor (1976) (fig 4). Finalmente, los diagramas de Harker (Fig 5) muestran que la cristalización fraccionada fue el proceso petrogenético dominante durante la evolución magmática y estuvo controlada por minerales tales como las plagioclasas, la biotita, la hornblenda y los piroxenos.

De Silva<sup>3</sup> considera que las potentes capas ignimbríticas de la caldera poseen una "monótona composición dacítica", con un rango de variación de su porcentaje de sílice inferior al 1 % en volumen. A partir de esta suposición, plantea una zonificación de la cámara magmática basada en el análisis de las temperaturas de formación de minerales de determinados elementos (K, Sr) y emite la hipótesis de que la diversidad en el quimismo de las erupciones piroclásticas es inversamente proporcional al volumen de las mismas.

Sin embargo, contrariamente a lo que asevera de Silva<sup>3</sup>, las ignimbritas de Guacha, lejos de ser monótonas dacitas, ostentan a la inversa una notable amplitud de variación composicional que en términos de contenido de sílice supera el 10 % en volumen (Tabla 1). El ejemplo de Guacha demuestra que calderas emisoras de grandes erupciones piroclásticas (> 600 km<sup>3</sup>) pueden presentar caracteres petroquímicos heterogéneos y dependencia del fraccionamiento cristalino del magma primario.

#### CONCLUSIONES

- Las ignimbritas de la caldera de Guacha son producto de la emisión explosiva de magmas ácidos a través de las fracturas anulares

de una estructura anidada resurgente sometida a una sucesión de episodios de colapso cada vez más circunscritos a su parte central.

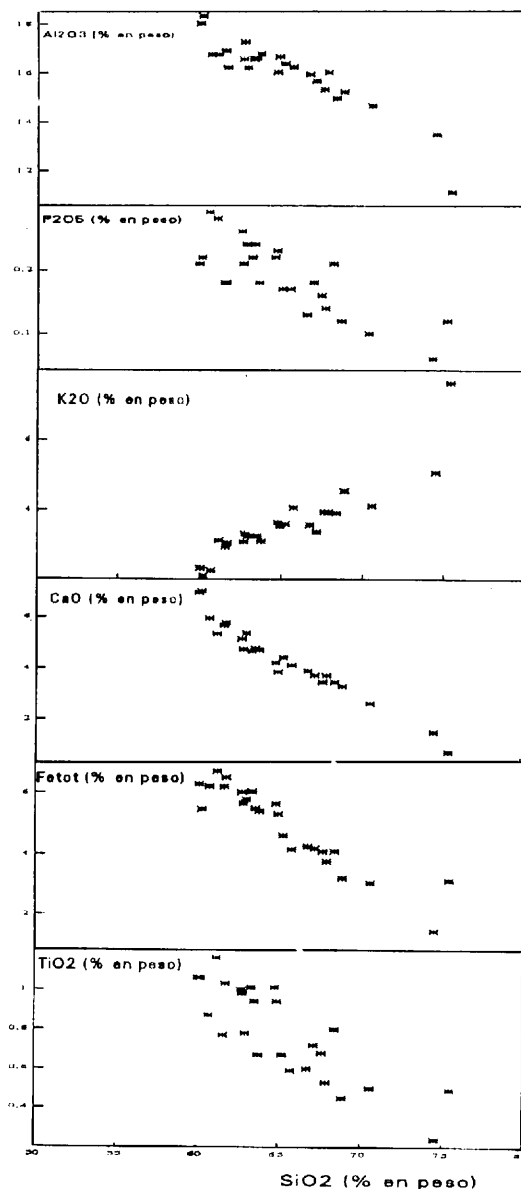


Figura 5. Diagramas de Harker para rocas de la caldera de Guacha.

## R. Mobarec; B Heuschmidt

*Tabla I. Análisis químico, para rocas de la caldera de Guacha. (Todos los valores de los óxidos mayoritarios expresados en porcentaje en peso. Procedencia de las muestras: I, Promedio de lavas dacíticas; II, promedio lavas andesíticas; III, promedio lavas andesíticas; IV, promedio ignimbrias dacíticas; V, promedio ignimbrias andesíticas.*

#	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CuO	TiO <sub>2</sub>	MnO	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Total
I	2.989	1.759	15.953	65.727	0.193	3.668	4.036	0.801	0.081	1.499	3.289	99.99
II	3.014	2.720	17.204	60.777	0.236	2.561	6.208	0.0994	0.097	3.275	2.937	100.0
III	2.361	0.753	13.060	73.522	0.095	5.613	1.612	0.409	0.058	0.372	2.115	99.97
IV	2.967	1.594	16.052	66.172	0.179	3.688	4.015	0.719	0.068	1.108	3.379	99.94
V	3.032	2.190	16.718	62.520	0.222	3.146	5.227	0.909	0.097	1.503	4.383	99.95

- El estudio de los ciclos volcánicos de esta caldera evidencia un primer máximo de presión magmática antes de cada explosión iniciadora de colapso y, luego, otro máximo durante la fase de resurgencia que generó una típica tumescencia dómica y posteriormente el derrame de fases efusivas que aprovecharon las fracturas anulares.

- Los análisis geoquímicos permiten afirmar que las rocas de la caldera de Guacha son andesitas, dacitas y riolitas calcoalcalinas, ricas en potasio, metaluminosas y sobresaturadas en sílice, en tanto que los diagramas petrológicos establecen que el proceso preponderante en la evolución de la cámara ígnea subyacente fue la cristalización fraccionada, controlada por la separación de la plagioclasa, biotita y hornblenda.

- De esta investigación se desprende que las calderas resultantes de voluminosas erupciones plinianas pueden resultar petroquímicamente muy variadas.

emprendidas por el Proyecto TDP-USGS-GEOBOL. Los autores manifiestan su agradecimiento a Eduardo Soria y Waldo Avila.

### REFERENCIAS

1. Baker, M.C.W., Francis, P.W., 1978. Upper Cenozoic Volcanism in the Central Andes-ages and Volumes. Earth Planet. Sci. Lett., 41: 175-187.
2. de Silva, S.L., 1989. Altiplano-Puna volcanic complex of the central andes. Geology, v.17, p.1102-1106. December 1988.
3. de Silva, S.L., 1991. Styles of zonation in central Andean ignimbrites; Insights into magma chamber processes, in Harmon, R.S., and Rapela, C. W., eds., Andean magmatism and its tectonic setting; Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper 265.
4. Gardeweg, M., y Ramirez, C.F., 1985. Hoja rio Zapaleri. II región de Antofagasta. Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile 89 p.
5. Ramirez y Gardeweg, 1982. Hoja Toconao. Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile.
6. Kussmaul, S., Jordán, L., y Ploskonka, E., 1975. Isotopic ages of Tertiary volcanic rocks of the SW Bolivia. Geol. Jahrb., 14, p.111-120.

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó como parte de las investigaciones