



## INFLUENCIA DEL SUSTRATO EN EL TRANSPORTE Y EMPLAZAMIENTO DE LA AVALANCHA DEL VOLCÁN TATA SABAYA, ANDES CENTRALES

J. Clavero<sup>1</sup>, G. Pocoaca<sup>2</sup>, B. Godoy<sup>3</sup>, E. Godoy<sup>1</sup>, C. Rojas<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Servicio Nacional de Geología y Minería-Chile, jclavero@sernageomin.cl*

<sup>2</sup> *Servicio Nacional Geológico y Tecnológico Minero-Bolivia*

<sup>3</sup> *Universidad Católica del Norte-Chile*

### INTRODUCCIÓN

El volcán Tata Sabaya, ubicado en los Andes Centrales, en el extremo norte del Salar de Coipasa, corresponde a un estratovolcán formado por una serie de domos y lavas-domo de composición andesítica a dacítica, con abanicos piroclásticos asociados (de Silva *et al.*, 1993). El edificio ancestral del volcán Tata Sabaya colapsó catastróficamente en el Pleistoceno Sup., generando un extenso depósito de avalancha volcánica que inundó parcialmente el extremo norte del Salar de Coipasa (*i.e.* Francis y Wells, 1988).

Los estudios en curso demuestran que el actual edificio se ha construido casi completamente con posterioridad al colapso que lo afectó, existiendo unidades pre-colapso no incorporadas al flujo de avalancha solo en el flanco norte. Las unidades post-colapso corresponden a domos, lavas-domo y abanicos piroclásticos asociados (Fig. 1a), formados principalmente por depósitos de bloques y ceniza. En menor proporción, afloran en el flanco suroccidental, depósitos de flujo piroclástico ricos en pómez, en uno de los cuales se obtuvo una edad de *ca.* 6.000 años AP (C<sup>14</sup> en madera carbonizada en la base). Este antecedente geocronológico demuestra por primera vez que el volcán Tata Sabaya ha tenido actividad eruptiva explosiva en el Holoceno y que debe ser considerado un volcán activo.

### Avalancha Tata Sabaya

El extenso depósito de avalancha de Tata Sabaya presenta la característica morfología superficial de cerrillos de este tipo de depósitos (*i.e.* Ui, 1983; Siebert, 1984), y puede subdividirse en distintas facies de acuerdo a varios factores: morfología de los cerrillos (“hummocks”), composición de los fragmentos (Fig. 1b), estructuras internas y disposición espacial de los cerrillos.



Figura 1. Fotografías del volcán Tata Sabaya y su depósito de avalancha.

a) Volcán Tata Sabaya visto desde el sur. En primer plano se observa algunos cerrillos proximales lávicos (H), y más atrás los productos post-colapso, como domos (D), lavas-domo (LD) y un abanico piroclástico formado principalmente por depósitos de bloques y ceniza (BA). b) Facies media de la avalancha en que se ve las morfologías contrastantes de los cerrillos salinos (SH) y los cerrillos lávicos (LH). c) Facies central proximal de la avalancha en que se observa depósitos piroclásticos intercalados en depósitos aluviales, basculados y transportados por el flujo de avalancha sin mayor disrupción. d) Detalle de depósitos piroclásticos incorporados a la avalancha, fracturados y plegados (estratificación marcada con líneas negras), cortados por dique clásico (D) "inyectado" desde la base de la avalancha. e) Pliegue antiformal (eje con línea segmentada, perpendicular a dirección local de flujo) formado por depósitos de la cuenca del Salar, incorporados y deformados por el emplazamiento de la avalancha. f) Pliegue antiformal buzante (eje buzante marcado con línea segmentada) formado por depósitos salinos y terrígenos del paleosalar, incorporados y deformados por la avalancha.

En sus facies proximales el depósito está compuesto por grandes cerrillos, variando de bloques Toreva (Reiche, 1937) y voluminosos cerrillos formados, a su vez, por bloques lávicos, andesíticos y dacíticos, algunos de los cuales muestran marcas de impacto (Clavero *et al.*, 2002). En la facies central, habitualmente cubiertos por cerrillos "lávicos" (Fig. 1b), afloran cerrillos formados por alternancias de depósitos piroclásticos y aluviales, los cuales han sido transportados y basculados por la avalancha sin sufrir mayor disrupción, manteniendo sus estructuras originales (Fig. 1c). En otros casos, los depósitos piroclásticos también presentan deformación, fracturamiento (Fig. 1d) e, incluso, estructuras de "inyección" de material dúctil desde la base (Fig. 1d), formadas ya sea por depósitos pre-avalancha o por material del nivel basal de la avalancha, generado por el cizalle necesario para que la masa de roca fluya, similar a lo observado en otros depósitos de avalancha en los Andes Centrales (*i.e.* Clavero *et al.*, 2005) y los Andes del Norte (Bernard *et al.*, 2006).

Los cerrillos tienden a disminuir de volumen con la distancia; sin embargo, a una misma distancia del origen, los cerrillos “lávicos” tienden a ser más voluminosos y a tener pendientes más fuertes que los cerrillos “salinos” (Fig. 1b). También ocurren una serie de cerrillos “mixtos” en que la base está constituida por sedimentos salinos, habitualmente deformados, y la parte superior por fragmentos lávicos. En la facies media, en el paleoborde del antiguo salar, el depósito pasa de uno formado por cerrillos continuos a uno formado por cerrillos aislados en medio del salar, aunque localmente amalgamados.

La incorporación de material del sustrato en la avalancha ocurrió de varias formas, dependiendo de la rigidez o ductilidad del material pre-avalancha involucrado. Los fragmentos más rígidos como calizas y sedimentos de playa fuertemente consolidados, fueron arrancados, fragmentados, rotados e incorporados al flujo, en tanto que los depósitos no consolidados y dúctiles (sedimentarios y piroclásticos) fueron deformados, fallados y, en parte, inyectados a través de fracturas desde la base de la avalancha.

Hacia las facies laterales y central distal del depósito, los cerrillos están constituidos por sedimentos salinos y terrígenos del paleosalar inundado por el flujo de avalancha. Éstos se encuentran fuertemente deformados y fallados, presentando pliegues antiformes (Fig. 1 e,f) y sinformes, y fallas tanto inversas como normales. Los ejes de pliegue y rumbos de falla son, generalmente, perpendiculares a la dirección de flujo local. En sectores, los pliegues se presentan buzantes (Fig. 1f). Sin embargo, a pesar de todas estas estructuras de deformación, los sedimentos conservan la morfología general de cerrillo en superficie, en ocasiones con algunos bloques lávicos en la superficie del mismo.

#### *Discusiones preliminares*

El depósito de avalancha del volcán Tata Sabaya está formado en un 30 a 40 % (vol.) por depósitos piroclásticos, aluviales y salinos del sustrato del volcán y de la cuenca del Salar de Coipasa. El depósito varía de facies formadas por cerrillos constituidos en un 100% (vol.) por fragmentos volcánicos del edificio colapsado, a facies formadas a su vez por cerrillos constituidos por un 100% (vol.) de material salino de la cuenca del Salar.

La morfología de los cerrillos está fuertemente controlada por: i) distancia al origen del colapso; ii) composición del material del cerrillo; y iii) estructuras internas. El ingreso del flujo de

avalancha en la paleocuenca del salar, generó un importante cambio en la movilidad del mismo. Comenzó a incorporar mayor proporción de material del sustrato dúctil y, en parte, aún húmedo; y por otro lado, el flujo de avalancha comenzó a disgregarse al responder los cerrillos como dominios individuales que se separaron y continuaron movilizándose de forma independiente (*sensu* Clavero *et al.*, 2002), formando mayor cantidad de cerrillos aislados, inundando una gran parte de la cuenca septentrional del salar.

La incorporación de un importante volumen de material del sustrato dúctil, tuvo varios efectos en la movilidad y emplazamiento de la avalancha. En un principio, el paso sobre sedimentos aún húmedos y no consolidados, ayudó a disminuir la fricción basal, aumentando la distancia que pudo recorrer el flujo, similar a la avalancha del volcán Ollagüe (Clavero *et al.*, 2005). Luego, la incorporación de mayores volúmenes del material del sustrato y de la cuenca, generó numerosas estructuras de deformación, produciendo el efecto contrario, disminuyendo la movilidad del flujo y llevándolo a su detención.

### AGRADECIMIENTOS

Este estudio es financiado por el P. Fondecyt 1040137. Contribución al Programa de riesgo volcánico del Servicio Nacional de Geología y Minería, autorizada y patrocinada por la Subdirección Nacional de Geología del Sernageomin. Los autores agradecen la colaboración prestada en terreno por los Sres. J. Lemp y M. Paredes, y el apoyo del PMA-GCA a través de los Sres. J. Muñoz (Chile) y G. Quenta (Bolivia).

### REFERENCIAS

- Bernard, B., *et al.* 2006. Partial collapse of the Chimborazo volcano as a typical potential threat of large Ecuadorian stratovolcanoes. Abstracts 4<sup>th</sup> Cities on Volcanoes IAVCEI Conference, Quito, Ecuador.
- Clavero, J., Sparks, S., Huppert, H., Dade, B. 2002. Geological constraints on the emplacement of debris avalanche deposits: evidence from Parinacota Debris Avalanche, Central Andes of Northern Chile. *Bulletin of Volcanology* 64: 40-54.
- Clavero, J. *et al.* 2005 Substrata influence in the transport and emplacement mechanisms of the Ollagüe debris avalanche, northern Chile. *Acta Vulcanologica Special Issue on Debris avalanches and Debris Flows in Volcanic Terrains: Origins, Behaviors, and Mitigation*. J.L. Macías and K. Scott (editors).
- de Silva, S., Davidson, J., Croudace, I., Escobar, A. 1993. Volcanological and petrological evolution of volcán Tata Sabaya, SW Bolivia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 55:305-335.
- Francis, P., Wells, G. 1988. Landsat thematic mapper observations of debris avalanche deposits in the Central Andes. *Bulletin of Volcanology* 50:258-278.
- Reiche, P. 1937. The Toreva block-A distinctive landslide type. *Journal of Geology* 45:538-548.
- Siebert, L. 1984. Large volcanic debris avalanches: characteristics of source areas, deposits, and associated eruptions. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 22:163-197.
- Ui, T. 1983. Volcanic dry avalanche deposits: identifications and comparison with nonvolcanic debris stream deposits. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 18:135-150.