



## Relieves de erosión de los volcanes en los segmentos del Grupo Calipuy

**Diana Pajuelo, Mirian Mamani, Pedro Navarro, Lisenia Chávez, y Elizabeth Ordóñez**

INGEMMET, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Av. Canadá 1470, San Borja, Lima, Perú ([dpajuelo@ingemmet.gob.pe](mailto:dpajuelo@ingemmet.gob.pe))

### 1. Introducción

Volcanes producidos por el magmatismo de subducción han sido estudiados según la geomorfología actual, analizando que la parte superior del cono volcánico varía de acuerdo al índice explosivo o efusivo que haya podido presentar. Además existe un promedio constante en la pendiente de las alturas de estos antiguos volcanes, es decir que los compuestos por ignimbritas tienen formas cónicas y los compuestos por lavas presentan formas cóncavas. Por más que ocurran diversos procesos de erosión, la altura presenta, como indicador matemático, constantes logarítmicas (Karátson et al., 2010), pero con un cierto rango de variación ( $\pm 200$  m). Los estudios se realizaron con volcanes del Mioceno superior a la actualidad.

En la Cordillera Occidental del norte del Perú, existen depósitos volcánicos emitidos por centros eruptivos (Rivera et al., 2005; Navarro & Rivera, 2006; Navarro et al., 2010; Chávez et al. 2010) correspondientes a los volcánicos Calipuy (Cossío, 1964).

Esta actividad volcánica se registra con el trabajo de cartografiado geológico realizado en el proyecto GR4 del INGEMMET ("Geología de las rocas volcánicas de la Cordillera Occidental del norte del Perú"), donde se ha identificado centros de emisión. En la actualidad éstos se encuentran en un avanzado estado de erosión además de ser afectados por fallas y efectos climáticos que ocurrieron hasta la actualidad, lo cual hace difícil el reconocimiento.

El presente trabajo pretende reconocer los relieves actuales que presentan aparatos volcánicos del Oligoceno-Mioceno en el norte del Perú, y en base a ello relacionar el estado de erosión con la edad. Estos resultados son un avance para llegar a calcular las tasas de erosión. Se seleccionaron 4 centros volcánicos con sus respectivas edades radiométricas y otros 2 centros volcánicos que se

les asigna una edad promedio de acuerdo a la estratigrafía. Estos dos grupos se localizan en el segmento Santiago de Chuco y Cordillera Negra (Navarro et al., 2010).

### 2. Ubicación y datos a considerar

En la Cordillera Occidental del norte del Perú afloran muchos centros volcánicos con diferentes relieves erosionados. Dado que algunos de ellos no cuentan con dataciones radiométricas, se propuso reconstruir relieves dentro del arco Calamarca (30-24 Ma) y Calipuy (24-10 Ma). Para este propósito se usó el modelo propuesto por Karátson et al. (2010). También se tomó como base el cartografiado geológico, identificando los eventos volcánicos por dataciones radiométricas, para así diferenciar en qué estado de erosión se encuentran los centros volcánicos. Para realizar este estudio se ha considerado dos segmentos volcánicos (Fig. 1):

1) El segmento Santiago de Chuco agrupa los centros volcánicos de Paccha (34-30 Ma), Alto Dorado (23-18 Ma), Quesquenda (19-18 Ma), y Uromalqui (18-16 Ma). Estas edades radiométricas fueron publicadas por Navarro et al. (2010).

2) En el segmento de la Cordillera Negra se han elegido dos centros volcánicos: Paltacayan (30-24 Ma) y Jatunan (20 Ma); las edades asignadas correspondiendo a su posición estratigráfica.

Los trabajos realizados por Karátson et al. (2010 y 2012) concluyeron que los volcanes activos del Cuaternario de las zonas de subducción presentan iguales las pendientes inferiores del cono volcánico. Así mismo consideraron importante estudiar la circularidad y la simetría que presentan los diferentes volcanes. Estas

características son las que se conservan ante diferentes procesos de erosión. Estas alturas pueden estar compuestas por los diferentes productos volcánicos (ignimbritas, lavas o subvolcánicos). En base a estos estudios, se encuentran relieves de volcanes con mayor simetría y circularidad, y el que más conserva estas regularidades es el volcán activo Parinacota ubicado en el

norte de Chile. Al comparar el perfil del volcán Parinacota con el perfil del volcán Cotopaxi ubicado en el Ecuador, la variación de sus perfiles con respecto al cono y las laderas es mínima, y es por eso que el volcán Parinacota se puede usar como punto de referencia preferencial para los estudios de los volcanes en los Andes, tanto del Ecuador como en el norte del Perú.

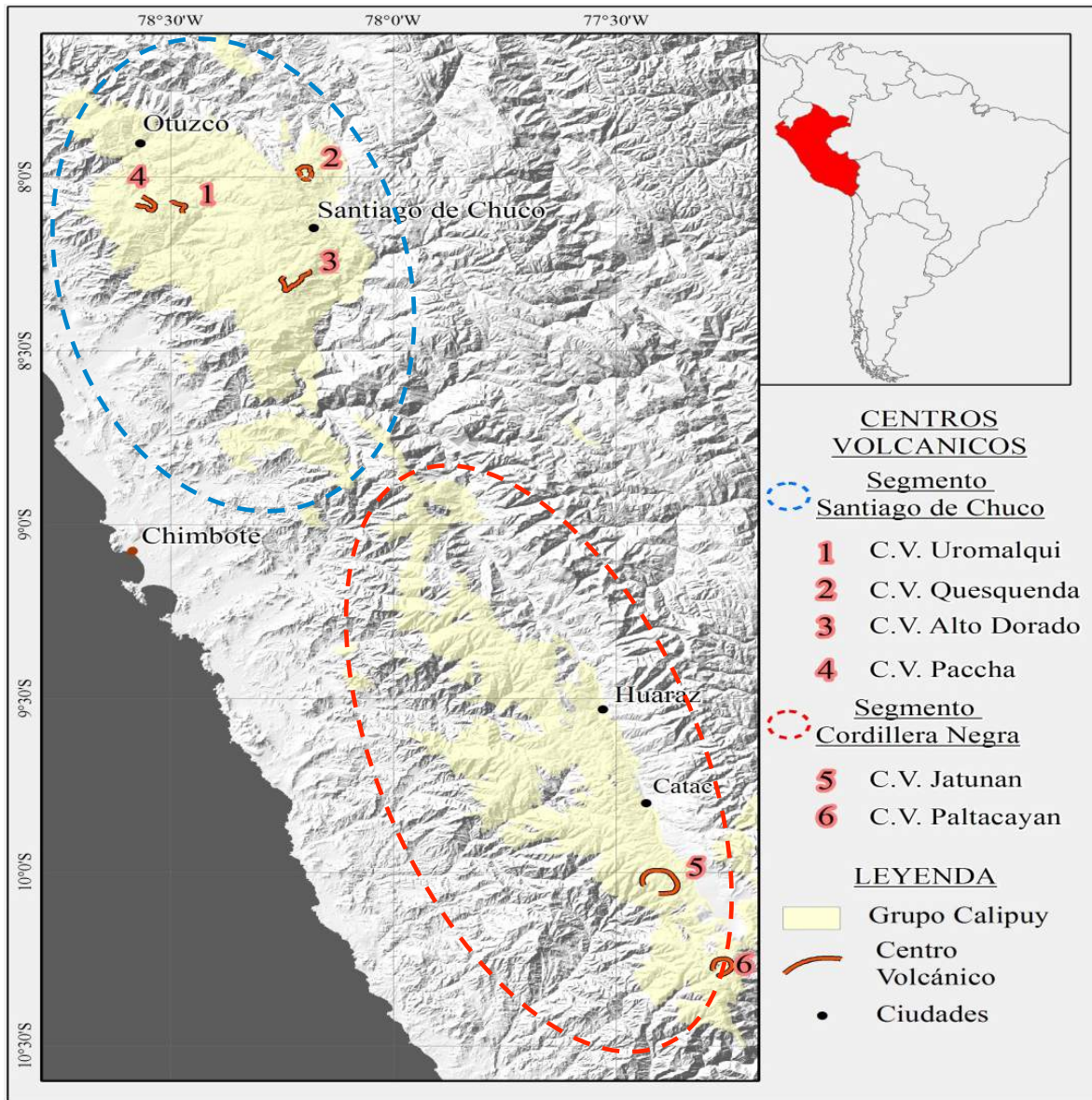


Figura 1. Ubicación de los centros volcánicos (C.V.), en los segmentos Santiago de Chuco y Cordillera Negra.

### 3. Metodología y resultados

Este trabajo tiene como base el cartografiado a escala 1:50,000 realizado en los cuadrángulos de Santiago de Chuco (17g), Cajabamba (16-g-II y III), Salaverry (17-f-I), Chiquián (21-i), y Recuay (20-i-III), donde se encuentra detallada la estratigrafía volcánica. Se han procesado curvas de nivel cada 100 m en formato *shape* (shp.) con lo que se procedió a construir un modelo de terreno denominado *tin*. Éstos fueron procesados y analizados en el SOFTWARE ArcGis 10.00. Al activar la extensión 3D Analyst se interpola una línea que abarca el área en

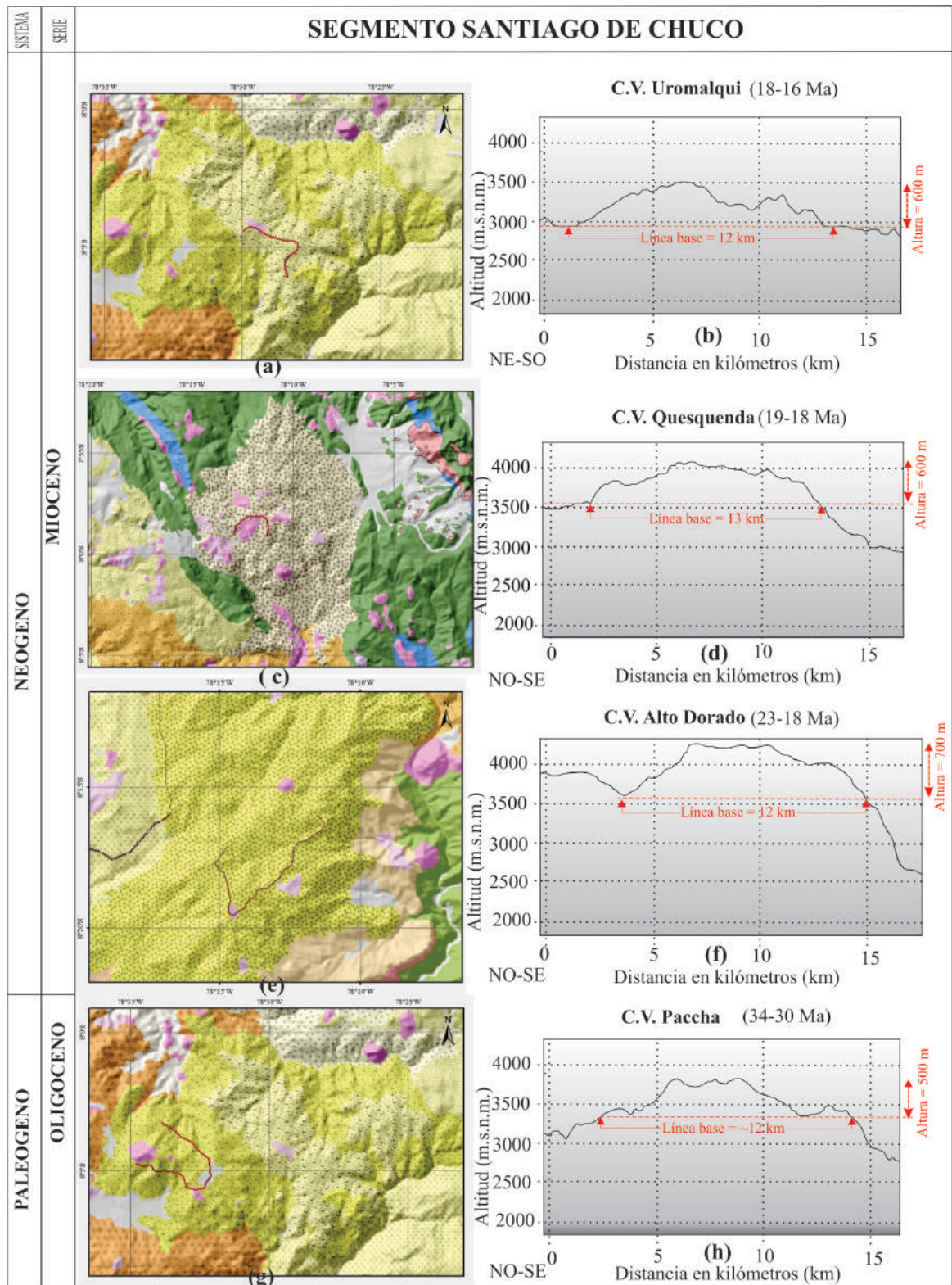
estudio y se genera un gráfico a manera de perfil, en base a las alturas que tengamos como base de datos. En base a este procedimiento se analizan los centros volcánicos.

#### 3.1. Segmento Santiago de Chuco

En el segmento Santiago de Chuco la línea base se encuentra entre los 3000 y 3600 msnm (Fig. 2). Se analizan los siguientes centros volcánicos y depósitos minerales relacionados:

**Uromalqui** (18-16 Ma; Au-Ag): Está constituido esencialmente por lavas (Fig. 2a; Navarro et al., 2010). En el relieve topográfico se observa cambios bruscos en las pendientes (Fig. 2b), lo cual evidencia la línea base de 12 km y con una altura de 600 m. El relieve se muestra incisivo pero aún con las laderas y pendientes conservadas.

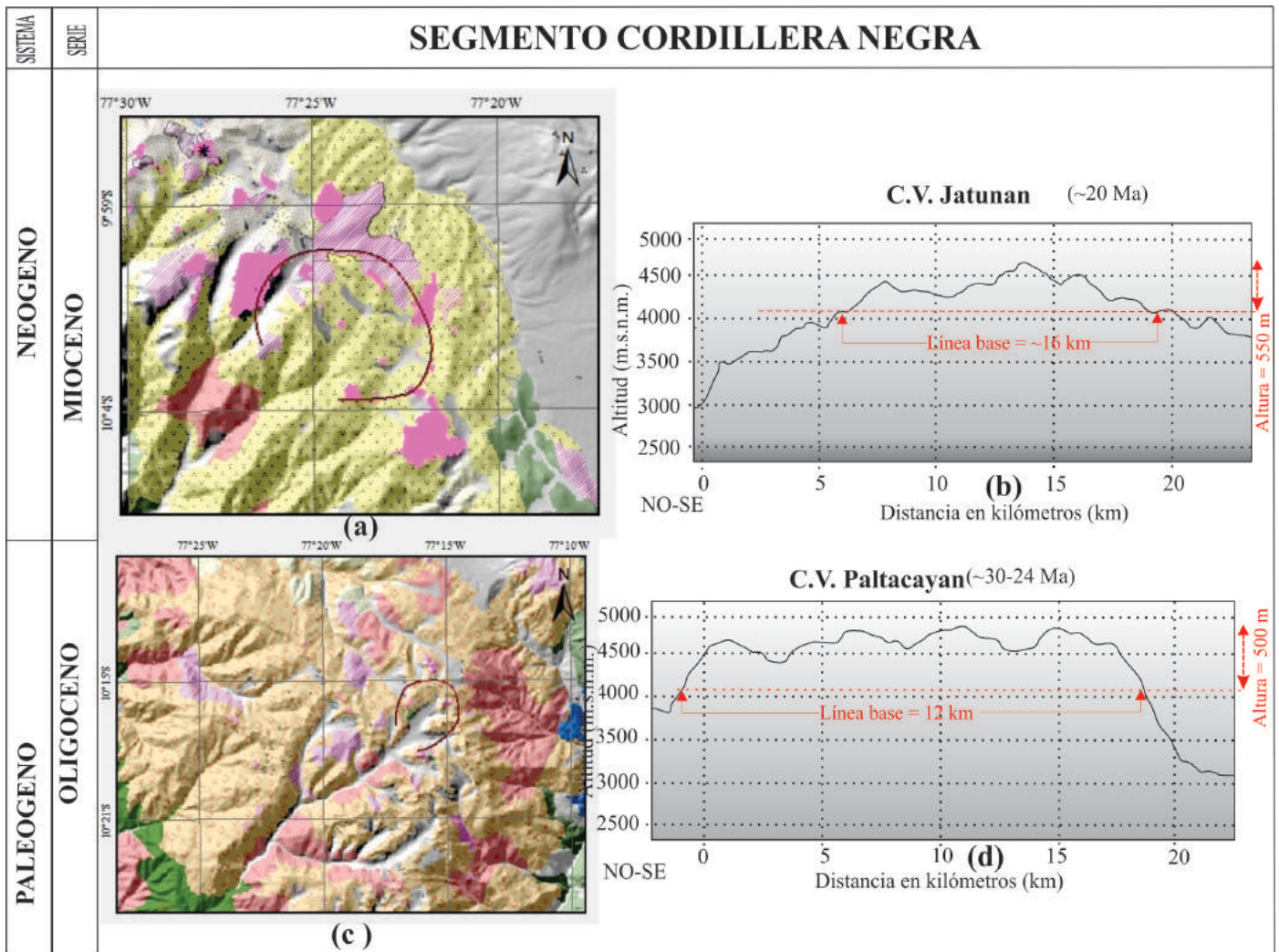
**Quesquenda** (19-18 Ma; Au-Ag-Cu): Es un centro eruptivo conformado por domos dacíticos a andesíticos y flujos piroclásticos (Fig. 2c; Navarro et al., 2010). Según el relieve (Fig. 2d), presenta cambios bruscos, con lo que identificamos la línea base que presenta 13 km de ancho y conserva una altura de 600 m de altura. El relieve ligeramente redondeado presenta en algunos sectores abombamientos que representarían los domos.



**Figura 2.** Centros volcánicos estudiados en el segmento Santiago de Chuco. Ubicaciones: (a) C.V. Uromalqui, (c) C.V. Quesquenda, (e) C.V. Alto Dorado, y (g) C.V. Paccha y sus respectivos depósitos volcánicos emitidos; (b), (d), (e), (f) : perfiles topográficos de los respectivos centros volcánicos, la línea roja representando la línea base.

**Alto Dorado** (23-18 Ma; Au, Au-Cu): Centro volcánico constituido en su mayoría por lavas andesíticas y flujos piroclásticos (Fig. 2e; Navarro et al., 2010). Aquí debemos tener en cuenta la cercanía de la caldera Calamarca, que es más antigua que Alto Dorado (Fig. 2f). La línea base se extiende en aproximadamente 12 km y la altura es de 700 m. El relieve es más redondeado con respecto a los gráficos anteriores.

**Paccha** (34-30 Ma; Au-Ag): Cercano al C.V. Uromalqui, es constituido principalmente de lavas andesíticas basálticas; sobreyacen depósitos piroclásticos de las calderas Calamarca y Carabamba (Fig. 2f; Navarro et al., 2010). Se tomó en cuenta el cambio de pendiente y los depósitos que sobreyacen a este centro. Se calcula una altura menor a 500 m, con una base ancha de ~12-13 km. El relieve es mucho más abrupto, similar a lo observado en el C. V. Uromalqui (Fig. 2h).



**Figura 3.** Centros volcánicos estudiados en el segmento Cordillera Negra. Ubicaciones: (a) C.V. Jatunan, (c) C.V. Paltacayan, y sus respectivos depósitos volcánicos emitidos; (b) y (d) : perfiles topográficos de los respectivos centros volcánicos, la línea roja representando la línea base.

**3.2. Segmento Cordillera Negra**

En el segmento Cordillera Negra, las líneas bases de los centros volcánicos oscilan alrededor de 4000 msnm (Fig. 3). En este caso no se cuenta con edades radiométricas pero se les atribuye una edad en base a la estratigrafía volcánica obtenida a partir del cartografiado geológico. Los dos centros volcánicos relacionados a depósitos minerales son:

**Jatunan** (~20 Ma; Au, Ag): Este centro eruptivo presenta flujos piroclásticos en las bases, y lavas en la parte superior (Fig. 3a). Según el perfil topográfico (Fig. 3b), se

observa que la base conserva una altura de 550 m y una línea base de 16 km. El relieve no es muy abrupto pero tiende a presentar las partes altas suaves y redondeadas.

**Paltacayan** (~30-24 Ma; Zn-Pb, Ag-Cu): Este centro volcánico está conformado en su mayoría por flujos piroclásticos de ceniza (Fig. 3c). El perfil (Fig. 3d) muestra pendientes abruptas en las laderas. La altura conserva poco más de 500 m y la línea base es de 20 km. El relieve presenta incisiones, pero suaves y redondeadas.

#### 4. Conclusiones

En el segmento Santiago de Chuco, los centros volcánicos presentan una línea base promedio de 12-13 km, mientras que en el segmento Cordillera Negra están en un rango de 16-20 km. Por lo tanto existe una variación en el ancho de las líneas base de los centros volcánicos de cada segmento, lo cual indicaría una variación en las cámaras magmáticas.

Con respecto al relieve, se observa que en el segmento Cordillera Negra se presentan incisiones más suaves y terminaciones más redondeadas a comparación con los otros casos estudiados.

Los centros volcánicos formados entre 23 y 16 Ma conservan una altura restante de 600-700 m, y los del intervalo 30-23 Ma se encuentran actualmente con una altura de 500-600 m. Por lo tanto, la altura que se encuentra en la actualidad está relacionada a la edad de los centros volcánicos.

Se comprueba que el modelo propuesto por Karátson et al. (2010) se puede aplicar para volcanes mayores a 14 Ma.

La siguiente etapa en el estudio consistirá en calcular las tasas de erosión y obtener el porcentaje que ha sido removido de estos centros eruptivos; esto se procederá en comparación con el volcán Cotopaxi.

#### Referencias

- Chávez, L., Navarro, P., Rodríguez, F., Martiarena, R. 2010. Estratigrafía volcánica del Cenozoico - Grupo Calipuy: Segmento Cordillera Negra (zona norte), Ancash. XV Congreso Peruano de Geología, Cusco, Resúmenes extendidos, p. 838-841.
- Cossío, A. 1964. Geología de los cuadrángulos de Santiago de Chuco y Santa Rosa. INGEMMET, Carta Geológica Nacional, Serie A, v. 8, 69 p.
- Karátson, D., Favalli, M., Tarquini, S., Fornaciai, A., Wörner, G. 2010. The regular shape of stratovolcanoes: A DEM-based morphometrical approach. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 193, p. 171-181.
- Karátson, D., Telbisz, T., Wörner, G. 2012. Erosion rates and erosion patterns of Neogene to Quaternary stratovolcanoes in the Western Cordillera of the Central Andes: An SRTM DEM based analysis. *Volcanology*, v. 139-140, p. 122-135.
- Navarro, P., Rivera, M. 2006. Estratigrafía volcánica del Cenozoico (Grupo Calipuy) en Otuzco y Huamachuco, norte del Perú. XIII Congreso Peruano de Geología. Resúmenes extendidos, p. 558-561.
- Navarro, P., Rivera, M., Monge, R. 2010. Geología y metalogenia del Grupo Calipuy (volcanismo cenozoico), segmento Santiago de Chuco, Norte del Perú. *Boletín del INGEMMET, Serie D, Estudios regionales*, v. 28, 202 p.
- Rivera, M., Monge, R., Navarro, P. 2005. Nuevos datos sobre el volcanismo cenozoico (Grupo Calipuy) en el Norte del Perú: departamentos de la Libertad y Ancash. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, v. 99, p. 7-21
- Rivera, M., Navarro, P., Monge, R., Rolin, D. 2006. Evolución del volcanismo cenozoico en el norte del Perú: departamento de la Libertad (7°45'-8°25'S). XIII Congreso Peruano de Geología, Resúmenes extendidos, p. 304-307.