

DOS COLAPSOS SECTORIALES RECIENTES DEL VOLCÁN TUTUPACA: IMPLICACIONES EN LA EVALUACIÓN DE LA AMENAZA VOLCÁNICA

Patricio Valderrama^{1,2}, Pablo Samaniego^{2,3}, Jersy Mariño¹, Benjamín Van Wyk de Vries², Nélida Manrique¹, Olivier Roche², Lionel Fidel¹

¹ Observatorio Vulcanológico de INGEMMET (OVI), Barrio Magisterial 2 B-16 Umacollo – Arequipa.

pvalderrama@ingemmet.gob.pe

² Laboratoire Magmas et Volcans, Université Blaise Pascal, CNRS, IRD, 5, rue Kessler, F-63038 Clermont-Ferrand, Francia

³ IRD, Calle 17 N° 455, Corpac, San Isidro, Lima 27, Perú

INTRODUCCIÓN

El arco volcánico peruano está constituido por al menos una docena de volcanes activos o parcialmente activos que se han desarrollado durante el Pleistoceno y Holoceno sobre la cordillera Occidental de los Andes peruanos. En base a los reportes históricos y a los estudios vulcanológicos llevados a cabo durante las últimas décadas se ha podido identificar al menos 7 edificios con actividad histórica (i.e. posterior a la 1532 AD). Estos volcanes son Ampato-Sabancaya, Misti, Ubinas, Huaynaputina, Ticsani, Tutupaca y Yucamane (Siebert et al., 2010).

El complejo volcánico Tutupaca (17°01' S, 70°21' O; 5875 msnm) se encuentra ubicado en la parte suroriental del arco volcánico peruano, en el departamento de Tacna, a 28 km al norte del poblado de Candarave. Reportes históricos compilados por Siebert et al. (2010) señalan que en esta zona se habrían producido al menos 4 erupciones en tiempos históricos, en los años 1787, 1802, 1862 y 1902 AD. Estas erupciones han sido atribuidas al volcán Yucamane, ubicado a 24 km al sur-sureste del Tutupaca. Sin embargo, los reportes de Zamácolay Jaurequi (1804) (1958) y Valdivia (1874) hablan claramente que el Tutupaca ha tenido al menos dos períodos eruptivos en los años 1787 y 1802. Dentro del marco del convenio de cooperación INGEMMET - IRD, se ha iniciado un estudio exhaustivo de este centro volcánico, el cual incluye la reconstrucción de la evolución geológica y petrológica de este volcán, así como la caracterización geoquímica de sus productos eruptivos recientes.

CONTEXTO GEOLÓGICO DEL COMPLEJO VOLCÁNICO TUTUPACA

El complejo volcánico Tutupaca está emplazado sobre un substrato constituido por depósitos ignimbríticos y secuencias volcano-sedimentarias de edad Mio-Pliocénica (Fidel y Zavala, 2001), las cuales afloran en los valles de los ríos Callazas al Este y Tacalaya al Oeste del volcán. La ubicación y su evolución estructural estuvo controlada por un sistema de fallas de orientación NNW-SSE. Según Manrique (2013), el complejo volcánico Tutupaca está constituido por tres edificios volcánicos sucesivos: el Tutupaca Basal y dos conos más jóvenes, ubicados en la parte norte del complejo y que se denominan Tutupaca Occidental y Tutupaca Oriental.

El **Tutupaca Basal** es un edificio antiguo, bastante erosionado, constituido básicamente por secuencias de flujos de lava de hasta más de 200 m de espesor. La parte central del edificio está constituida por secuencias de lavas erosionadas e intensamente alteradas hidrotermalmente. Las lavas son andesitas porfiríticas de color gris oscuro, que contienen fenocristales de plagioclasa, biotita, anfíbol y piroxeno (Manrique, 2013). Al sur de este edificio se han identificado una serie de pequeños colinas de 250-750 m de diámetro y de hasta 50m de alto, a que corresponden domos alineados en dirección NNW-SSE y que han sido datados en 0.26 ± 0.2 Ma (INGEMMET & ELECTROPERÚ, 1994; Fidel y Zavala, 2001).

El **Tutupaca Occidental** (5815 msnm) es un edificio volcánico que posee una forma ligeramente cónica y está constituido por varios domos lávicos en la parte inferior, los cuales fueron cubiertos por secuencias lávicas y brechas en la parte superior. Las lavas son andesitas y dacitas porfiríticas, con fenocristales de plagioclasa, anfíbol y biotita. Este edificio está afectado por la erosión glacial mostrando importantes circos glaciares y paquetes de morrenas a sus pies. Adicionalmente, en dirección sur-occidental del Tutupaca y a una distancia comprendida entre 15 y 30 km, se ha identificado una potente secuencia de tefras que evidencian una etapa altamente explosiva de este período eruptivo.

El **Tutupaca Oriental** (5790 msnm) es el edificio más joven del complejo volcánico, y se caracteriza por estar exento de erosión glaciaria, lo que sugiere una edad Holocénica. Está constituido por al menos 7 domos de lava, cuyas características petrográficas y geoquímicas han sido recientemente descritas por Manrique (2013). En general se trata de andesitas silíceas y dacitas, de texturas porfíricas muy pronunciadas y compuestas por plagioclasa, anfíbol y biotita incluidos en una pasta parcialmente vesiculada que varía entre microcristalina a vítrea. La característica morfológica del Tutupaca Oriental es la presencia de un gran anfiteatro de colapso de más de 1 km de diámetro en su parte superior, abierta hacia el NE.

LOS PRODUCTOS ERUPTIVOS RECIENTES

LA AVALANCHA DE ESCOMBROS “AZUFRE”: Al Sur y Noreste del Tutupaca Oriental aflora una secuencia volcánica constituida por una brecha heterogénea que está mayormente distribuida en las quebradas Zuripujo al este y Azufre al sureste, mientras que un tercer ramal se dirigió al suroccidente (Fig. 1). En estos depósitos se presentan dos facies bien diferenciadas, una facies inferior constituida por una brecha heterogénea, masiva, que presenta colores blanco-amarillentos y con espesores de 30-40 m. Los bloques (0.5-3 m) de este depósito son angulosos, presentan un alto grado de fracturación (cataclasis) y están englobados en una matriz de grano fino-medio. Por el contrario, la facies superior está constituida por lóbulos ricos en bloques de domo con espesores de hasta 15 m. Se trata de un depósito bloque soportado, constituido por bloques subangulosos, de tamaño comprendido entre 3 y 7 m y mayormente constituidos por rocas de domo de composición dacítica, muy similares a la de los domos recientes del Tutupaca Oriental (Manrique, 2013). Cabe recalcar que el contacto entre estas dos unidades es marcado, aunque se observan evidencias de interacción entre estas subunidades. Estos depósitos están fuertemente canalizados por los valles anteriormente citados, en los cuales se pueden observar sobre elevaciones de hasta 100 m sobre el fondo de los valles. En la parte distal, a 4.5 km de la cumbre del Tutupaca Oriental) se pueden identificar numerosas acumulaciones de material brechado, los característicos *hummocks*, con un tamaño promedio de 140 m de diámetro.

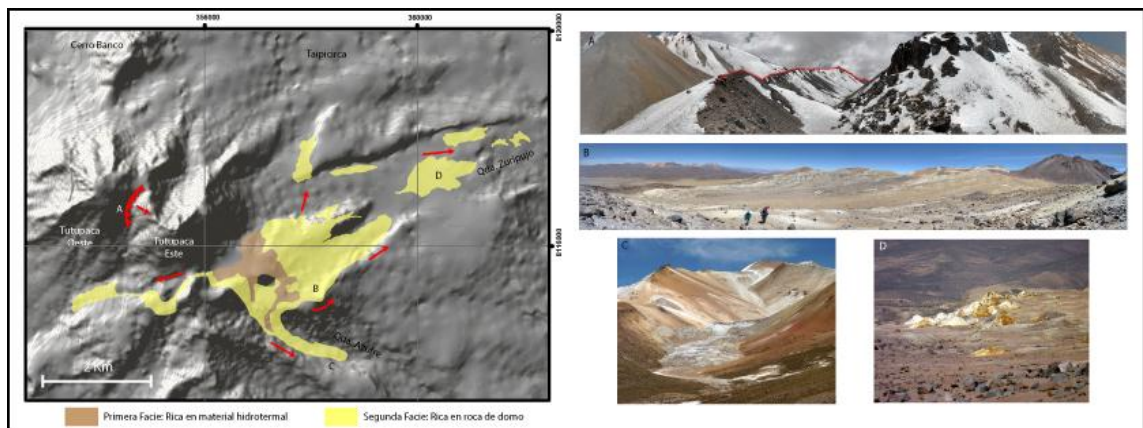


Figura 1: Mapa de la avalancha de escombros Azufre. (A) Cicatriz de colapso, origen de la avalancha Azufre. (B) Depósito rico en material hidrotermalizado (C) Depósito distal de la avalancha (D) Hummocks asociados a la avalancha.

LA AVALANCHA DE ESCOMBROS “RECIENTE”: Desde la cicatriz de colapso del volcán Tutupaca Oriental y en dirección NE, hasta la Pampa Paipatja y el valle del río Callazas, se encuentra una zona con abundantes depósitos volcánicos asociados con la actividad reciente del volcán Tutupaca Oriental. Describiremos estos depósitos en la zona proximal, media y distal (Fig. 2).

En la **zona proximal** (<3 km desde el anfiteatro), se observa una serie de megabloques y *hummocks*, constituidos por una brecha heterolítica con bloques altamente fracturados que presentan texturas de tipo *jigsaw* o rompecabeza. Por el tipo petrográfico dominante, se puede identificar dos unidades: la parte inferior, que corresponde al cuerpo de las colinas descritas precedentemente, y constituida por bloques de composición andesítica, altamente hidrotermalizada de colores amarillo-verdosos; mientras que la parte superior está constituida por fragmentos líticos de composición andesita-dacita gris

oscura, vesiculada y altamente porfirítica, similar a los domos que constituyen el edificio Tutupaca Este.

La **zona media** (3 y 6 km de distancia desde el anfiteatro) se caracteriza por presentar una morfología de crestas y valles (denominadas “estrías”) que tienden a apuntar hacia el anfiteatro. Estas estrías tienen 5-10 m de ancho por 150-400 m de largo y una altura de 2-5 m. Los depósitos de la zona media afloran en la parte NNE del anfiteatro, alcanzando el valle de la Quebrada Taipicirca y definiendo una sobre-elevación en el Cerro Villaque. El otro ramal fue canalizado entre dos grandes morrenas en dirección NE. En esta zona media, se ha podido identificar tres unidades diferentes. En la base se observa la brecha volcanoclástica con abundante material hidrotermalizado, mientras que al tope se observa la unidad caracterizada por rocas frescas dacíticas de domo. Entre las dos unidades se encuentra intercalado un depósito piroclástico caracterizada por la presencia de abundantes bombas de tipo “coliflor”. Estas texturas son características para la presencia de agua (o hielo) en el momento de erupción.

La **zona distal** (entre 6 y 12 km desde el anfiteatro), corresponde a la Pampa Paipatja y el río Callazas (zona NE), así como la Laguna Suches (zona N). En la pampa Paipatja, se ha identificado el depósito de avalancha de escombros rico en material hidrotermalizado, el cual está cubierto de manera extensiva por la secuencia piroclástica rica en bombas volcánicas, y que se canaliza hasta llegar al río Callazas. Aquí, esta unidad presenta un espesor de 5-6 m y forma un depósito de flujo de bloques y ceniza con un enriquecimiento en bombas tipo “coliflor” y “corteza de pan” hacia el tope del depósito. Los bloques densos son dacitas gris oscuras muy porfiríticas que contienen fenocristales de plagioclasa, anfíbol y biotita, mientras que las bombas vesiculadas tipo “corteza de pan” son de color gris claro, con grandes fenocristales de plagioclasa, anfíbol y biotita. Finalmente, en la pampa Paipatja se ha identificado una unidad superior, caracterizada por el enriquecimiento en bombas de tipo coliflor y que presenta espesores de 1-2 m.

En la parte SE del volcán, hacia la parte inferior de la Quebrada Zuripujo, se ha identificado otra secuencia piroclástica, constituida por varias unidades de flujos de bloques y ceniza, con espesores comprendidos entre 2 y 5 m, intercalados con niveles de oleadas piroclásticas y un nivel enriquecido en ceniza al tope de la secuencia con un espesor de 1-2 m. Evidencias de campo muestran que estos piroclásticos se encuentran bajo la secuencia piroclástica de la facies distal. Análisis de material orgánico carbonizado encontrado en la parte superior de la secuencia piroclástica de la Qda. Zuripujo dio una edad radiométrica ^{14}C de 220 ± 30 aAP.

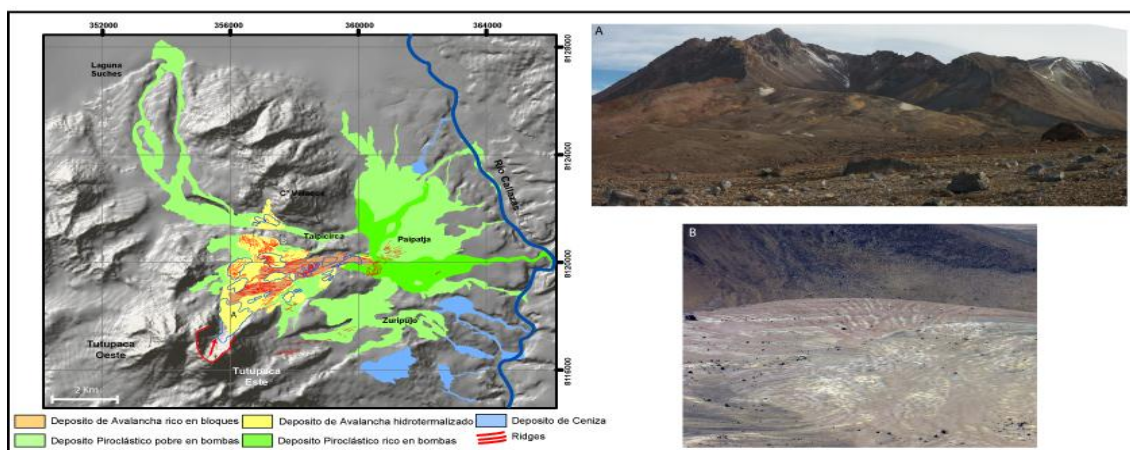


Figura 2: Mapa de depósitos de avalancha “reciente”. (A) Cicatriz de colapso y anfiteatro en el edificio Este del CVT. (B) Ridges elongados en el depósito rico en material hidrotermalizado.

IMPLICACIONES SOBRE LA AMENAZA VOLCÁNICA

Los depósitos de la avalancha “Azufre” están asociados a un colapso sectorial que afectó un complejo de domos anterior a los domos que se observan actualmente en el Tutupaca Oriental. Evidencia de este

colapso sectorial es la cicatriz que se observa entre el Tutupaca Occidental y los domos del Tutupaca Oriental. En base al escaso grado de erosión de los depósitos de la avalancha “Azufre” se considera que su edad debe corresponder al Holoceno superior. Posteriormente, el Tutupaca Oriental se reconstruyó, constituyendo un segundo complejo de domos, el cual fue nuevamente afectado por un segundo colapso sectorial que produjo la avalancha de escombros “reciente”.

En base a la secuencia de depósitos descrita para la avalancha reciente, se concluye que se trata de un colapso sectorial que estuvo acompañado por una fase explosiva importante. Por el contrario, la ausencia de depósitos piroclásticos asociados con la avalancha “Azufre” sugiere que el primer colapso sectorial aparentemente no estuvo acompañado por una fase explosiva.

En base a la falta de erosión de ambos depósitos se concluye que los depósitos de avalanchas de escombros y de bloques y cenizas dacíticos juveniles son muy jóvenes, algo que ha sido corroborado con las dataciones por radiocarbono que permiten constatar que la avalancha “Reciente” ocurrió hace tan solo 200-215aAP, concordando con los reportes históricos que describen una erupción importante acaecida en el año de 1802 AD (Zamácola y Jauregui, 1804; Valdivia, 1874). Estos resultados importantes permiten catalogar al Tutupaca como un volcán activo y potencialmente peligroso con una historia de erupciones muy violentas en el pasado reciente.

REFERENCIAS

1. Fidel L. y Zavala B. (2001). Mapa preliminar de amenaza volcánica del volcán Tutupaca. Boletín 24 Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica INGEMMET 109 p.
2. Manrique, N. (2013). Evolución Vulcanológica y Magmática del Edificio Reciente del Complejo Volcánico Tutupaca (Tacna). Universidad Nacional San Agustín de Arequipa. Tesis. 90 p.
3. INGEMMET & ELECTROPERÚ (1994). Estudio geovolcánico e inventario sistemático de manifestaciones geotermales del lote Tutupaca., INGEMMET, Lima, t. I-3 (Informe interno).
4. Siebert L., Simkin T., Kimberly P. (2010). Volcanoes of the world. Third edition. Smithsonian Institution and University of California press. 551 p.
5. Valdivia Cornejo J.G. (1874). Fragmentos para la historia de Arequipa. Folletín de “El Deber”, Arequipa, 109-111 p.
6. Zamacola y Jauregui J.D. (1804). Apuntes para la historia de Arequipa. Primer festival del libro arequipeño, Arequipa, Edición 1958, 15 p.