

# GEOLOGÍA Y EVOLUCIÓN DEL COMPLEJO VOLCÁNICO YUCAMANE - CALIENTES (TACNA)

Marco Rivera<sup>1)</sup>, Pablo Samaniego<sup>1,2)</sup>, Céline Liorzou<sup>3)</sup>, Hervé Guillou<sup>4)</sup>, Jessica Vela<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Observatorio Vulcanológico del INGEMMET (Dirección de Geología Ambiental y Riesgo). mrivera@ingemmet.gob.pe

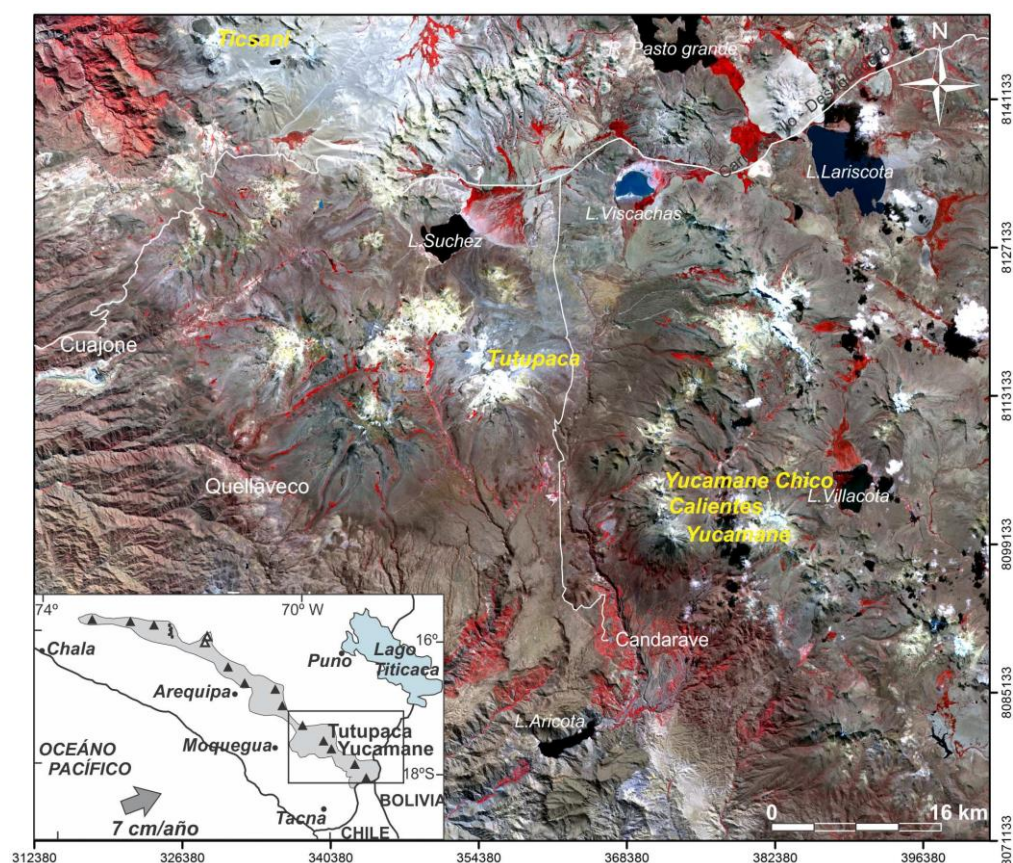
<sup>2)</sup> Laboratoire Magmas et Volcans, Université Blaise Pascal, CNRS, IRD

<sup>3)</sup> Laboratoire Domaines Oceaniques, Université de Bretagne Occidentale, Brest, France

<sup>4)</sup> Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, Université de Versailles, St-Quetin-en-Yvelines, France

## INTRODUCCIÓN

El INGEMMET en cooperación con el Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD, Francia) viene realizando el estudio geológico y la evaluación de peligros del complejo volcánico Yucamane - Calientes, localizado en la zona altoandina de Tacna, a 11 km al NE de la localidad de Candarave (Fig. 1). El complejo Yucamane - Calientes pertenece a la zona Volcánica Central de los Andes (ZVC) de Thorpe y Francis (1979). Este complejo consta de dos estratovolcanes, en el extremo sur el volcán Yucamane (5550 metros sobre el nivel del mar -msnm-) y en su extremo norte se localiza el volcán Calientes (4980 msnm), de los cuales el Yucamane es el más reciente y activo, emplazado en el Pleistoceno superior-Holoceno. Estos volcanes colindan con el extremo sur del volcán Yucamane Chico (5025 msnm), probablemente del Mioceno – Pleistoceno inferior.



**Fig. 1.** Imagen Aster donde se distingue la localización del complejo volcánico Yucamane-Calientes. En el cuadro inferior se distingue la cadena volcánica Plio-cuaternaria y los volcanes activos y potencialmente activos del sur peruano.

El volcán Yucamane tiene forma cónica, definiendo una diferencia de elevaciones entre su base y la cumbre de 1200 m, y cubriendo una superficie aproximada de 20 km<sup>2</sup>. Este volcán está constituido de una sucesión de lavas, cubiertas por depósitos piroclásticos retrabajados. En su cima se distinguen dos cráteres uno de 900 m de diámetro y otro de menor tamaño, de 400 m de diámetro y de 200 m de

profundidad. Por su parte, el volcán Calientes es un volcán parcialmente destruido, que conserva sólo su extremo occidental, en forma de una cicatriz de caldera de avalancha, dentro del cual se ha emplazado un complejo de domo de lava denominado “Calientes”.

El presente estudio se realiza con el fin de determinar el comportamiento eruptivo pasado del volcán Yucamane, así como la amenaza y riesgo que implicaría su reactivación con fines de prevención y mitigación de desastres. La evaluación del potencial de amenaza volcánica asociada con el Yucamane es crucial considerando que al pie del flanco sur del volcán se localizan al menos siete poblados, entre ellos las localidades de Candarave, Cairani, Huanuara, Quilahuani, Susapaya, Ticaco, entre otros, donde habitan más de 8000 habitantes (INEI, 2008), y cuya actividad económica se basa principalmente en la agricultura y ganadería. Además, en los alrededores del volcán existen importantes fuentes de recursos hídricos de la región Tacna, como las lagunas Aricota, Suches y Vilacota. La zona tiene un gran potencial geotérmico, ya que al este del complejo volcánico se encuentra el sistema geotérmico de río de Calientes.

### ESTRATIGRAFÍA Y EVOLUCIÓN VOLCÁNICA

Basado en estudios geológicos recientes y pasados (Rivera y Mariño, 2004), estudios estratigráficos, dataciones radiométricas ( $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$ ,  $^{14}\text{C}$ ) e interpretación de imágenes satelitales Landsat TM y ASTER efectuado por INGEMMET se propone la siguiente evolución crono-estratigráfica: sobre los remanentes de un antiguo edificio volcánico (Yucamane Chico) y posterior a una secuencia ignimbrítica dacítica de más de 100 m de espesor y de unos 20 km de extensión N-S, datada en 540 ka (France, 1985) se construyó el **volcán Calientes**, el cual presentó tres etapas evolutivas. La etapa más antigua se denomina “Calientes I” (Fig. 2), durante la cual se emplazaron lavas andesíticas y dacíticas (58 - 65 wt.%  $\text{SiO}_2$ ) visibles en la base del volcán que presentan estructuras de flujo. Estas lavas muestran pendientes poco pronunciadas ( $<20^\circ$ ) y rellenan una antigua caldera de colapso asociada con un edificio anterior (Yucamane Chico). Una lava de esta etapa ha sido datada en  $126 \pm 3$  ka (datación K/Ar). La etapa “Calientes II” se caracteriza por el emplazamiento de lavas andesíticas y dacíticas (60-64 wt.%  $\text{SiO}_2$ ) de la cima del volcán que cubren las lavas anteriormente descritas. Estas lavas muestran pendientes pronunciadas ( $<45^\circ$ ). Posteriormente, en la última etapa, denominada “Calientes III” ocurrió el colapso del flanco sur que probablemente generó depósitos de avalanchas de escombros que contienen bloques dacíticos y andesíticos que se aprecian a 8 km al sur de dicho volcán, en el sector de Santa Cruz. Posteriormente se emplaza un complejo de domos dacíticos (64 wt.%  $\text{SiO}_2$ ) localizados en el sector sur-oriental del edificio.

Por su parte, el **volcán Yucamane** se ha construido al menos en tres etapas evolutivas, y probablemente en parte de manera sincrónica al volcán Calientes. La etapa “Yucamane I” constituye el periodo inicial de construcción del edificio, en el cual se emplazaron flujos de lavas de composición andesítica y andesítica básica (55-62 wt.%  $\text{SiO}_2$ ). Una lava de la base ha sido datada en 380 ka (De la Cruz y De la Cruz, 2000). Estas lavas presentan suaves pendientes ( $<15^\circ$ ) y descansan sobre la secuencia ignimbrítica dacítica. En una fase evolutiva posterior denominada “Yucamane II” se produjo el crecimiento y colapso de domos andesíticos y dacíticos (62-66 wt.%  $\text{SiO}_2$ ) que emplazaron al menos cinco depósitos de flujo de bloques y ceniza, visibles hasta a 9 km en el flanco sur y sureste del volcán (Quebrada Honda). Entre ellos, en una primera etapa se generó un depósito de blast que aflora en la base de la secuencia de flujos de bloques y ceniza visible en el sector oeste y suroeste del volcán, datada por el método  $^{14}\text{C}$  en  $36450 \pm 270$  años AP. (este estudio).

Una tercera etapa, denominada “Yucamane III”, se caracterizó por el emplazamiento de flujos de lavas andesíticos y dacíticos (59 - 65 wt.% de  $\text{SiO}_2$ ) que yacen en la cima del volcán y que se consideran del Pleistoceno Superior - Holoceno. Los flujos de lavas presentan pendientes muy inclinadas ( $>40^\circ$ ). Después de la efusión de las lavas el estilo de actividad eruptiva se volvió más explosivo y en orden cronológico se emplazaron los siguientes depósitos: (1) Una secuencia de flujos de escorias grises que mide hasta 10 m de espesor, aflorando hasta a 9 km al pie del flanco sur y suroeste del volcán (Quebradas Honda y Campanani); (2) dos depósitos de flujos piroclásticos de bloques y ceniza



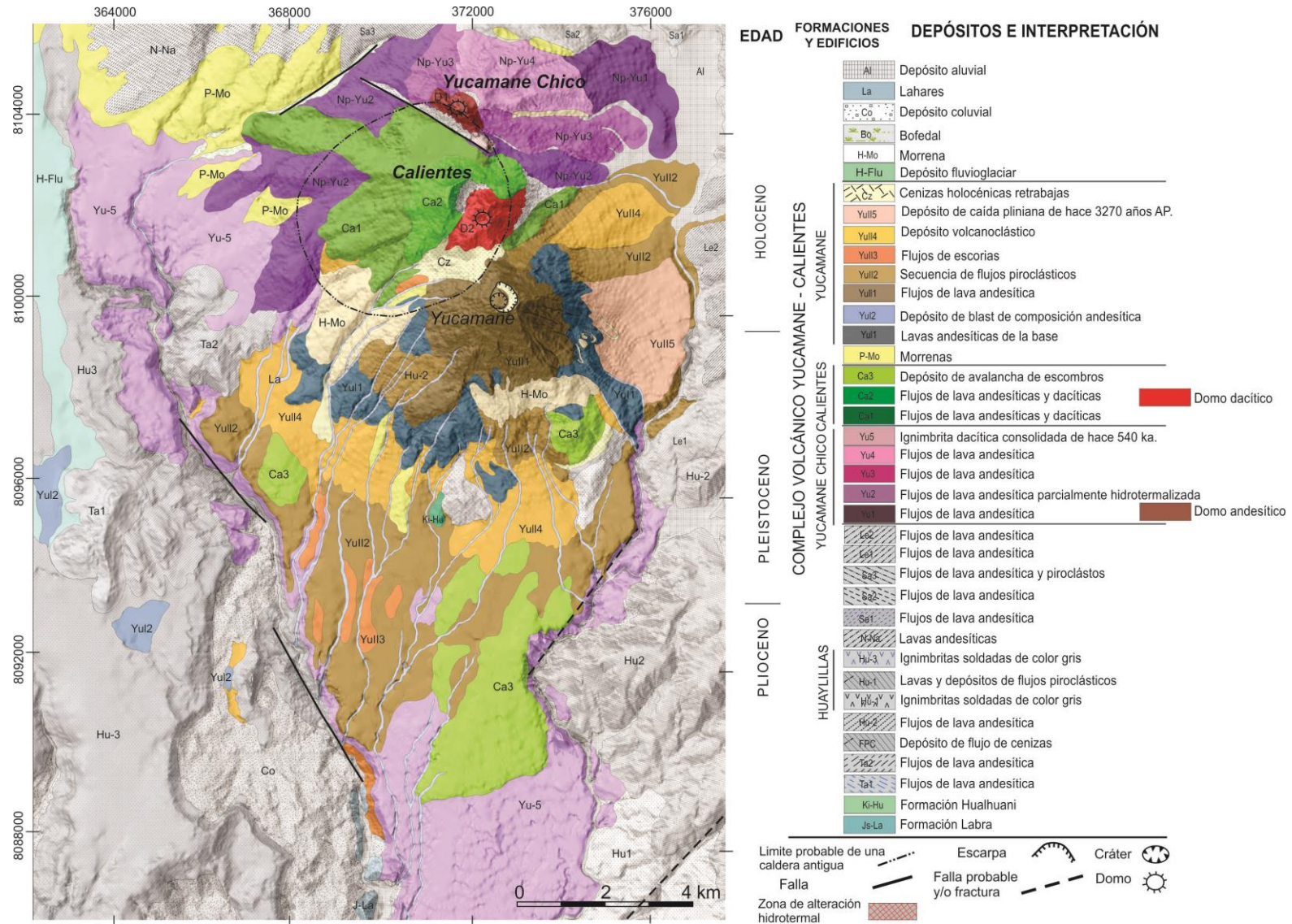


Fig. 2 Mapa geológico del volcán Yucamane (Tacna) y sus alrededores.

andesíticos y dacíticos poco consolidados de menos de 2 m de espesor, visibles hasta a 8 km al SO del volcán Yucamane; (3) tres depósitos delgados de caída de escorias que tienen entre 0.10 a 0.30 m de espesor a 8 km al sur y sureste del cráter. Estos depósitos fueron emplazados hace más de tres mil años. (4) Un depósito de caída de lapilli de pómez y flujo de pómez y ceniza asociado, de  $<0.1 \text{ km}^3$  en volumen y datado en 3270 años A.P., producto de una erupción pliniana, la que tuvo una dispersión lobular cuyo eje estaba dirigido hacia el SE del cráter. Los reportes históricos de la actividad eruptiva del Yucamane dan cuenta de un evento ocurrido en el año 1787 AD (Zamácola, 1804). Sin embargo, en el campo no se distinguen depósitos asociados a una erupción tan joven. Por otro lado, estudios recientes llevados a cabo en el volcán Tutupaca (Valderrama et al., 2014) muestran que los reportes históricos corresponden a una erupción explosiva del volcán Tutupaca ocurrida entre 1787 y 1802 AD. Actualmente, la actividad del volcán Yucamane se manifiesta eventualmente por la emisión de fumarolas muy tenues y difusas existentes al interior del cráter reciente.

### **PETROGRAFÍA Y MINERALOGÍA DE LOS PRODUCTOS**

Las rocas del complejo volcánico Yucamane-Calientes en su gran mayoría son de composición andesítica (80-85% en volumen) y dacitas (10-12% en volumen) y algunas andesitas básicas (2-3% en volumen) de la serie calco-alcalina. Las lavas son principalmente de textura porfirítica y en su gran mayoría contienen grandes fenocristales de plagioclasa (a veces alcanzan hasta 1 cm), anfíbol, biotita, clinopiroxeno, ortopiroxeno y óxidos de Fe-Ti, y eventualmente cristales de olivino presentes en los productos más básicos.

### **CONCLUSIONES**

El volcán Calientes se ha edificado en tres etapas: “Calientes I, II y III”. Durante las dos primeras etapas se emplazaron principalmente lavas andesíticas y dacíticas ligadas a una actividad efusiva. En la etapa Calientes “III”, el edificio sufrió un colapso sectorial generando el emplazamiento de un depósito de avalancha de escombros localizada al pie del flanco sur del edificio. Posteriormente se construyó un complejo de domos: “Calientes III”. A continuación, o de manera sincrónica se emplazó el volcán Yucamane, construido en tres períodos consecutivos: “Yucamane I” se caracterizó por el emplazamiento de flujos de lava de composición andesita y andesita básica ligados a una actividad efusiva. En una segunda etapa “Yucamane II”, hace menos de 36 ka, se generó una secuencia de flujos de bloques y cenizas asociados al crecimiento y colapso parcial de un complejo de domos. Finalmente en la tercera etapa “Yucamane III” se produjo el emplazamiento de flujos de lavas dacíticas y andesíticos que forman el cono superior del volcán. La actividad del cono joven del Yucamane estuvo caracterizada por una actividad explosiva recurrente responsable de la generación de flujos y caídas de escoria de poco volumen ( $<0.01 \text{ km}^3$ ), que yacen principalmente en el flanco sur y sureste del volcán, y un depósito de caída de lapilli de pómez producto de una erupción pliniana, ocurrida hace 3270 años AP. Las rocas del complejo Yucamane-Calientes son de composición andesítica a dacítica con unidades menores de composición andesítica básica, pertenecientes a la serie calco-alcalina.

### **REFERENCIAS**

1. De La Cruz N & de la Cruz O., (2000). Mapa Geológico del Cuadrángulo de Tarata, a escala 1:50,000, INGEMMET.
2. France, L., (1985). Geochronology, stratigraphy, and petrochemistry of the Upper Tertiary volcanic Arc, Southernmost Peru, central Andes. Diss., Queen's University, Kingston, Notario, Canada.
3. INEI, (2008). Censos Nacionales 2007 (XI de Población y VI de vivienda). Resultados definitivos a nivel provincial y distrital: Provincias Tacna, Candarave, Jorge Basadre y Tarata.
4. Thorpe, R.S. y Francis, P.W. (1979). Variations in andean andesite compositions and their petrogenetic significance. *Tectonophysics*, 57(1): 53-70.
5. Valderrama, P., Samaniego, P., Mariño, J., Manrique N. (2014). Estudio geológico de las erupciones recientes del volcán Tutupaca (Tacna). Resumen presentado en el presente XVII Congreso Peruano de Geología 2014. SGP.
6. Zamácola, J. (1804). Apuntes para la historia de Arequipa. Primer festival del Libro Arequipeño, Arequipa, Edición 1958, 15 p.