

## VOLCÁN YUCAMANE (SUR DEL PERÚ): ESTUDIO GEOLÓGICO PRELIMINAR Y EVALUACIÓN DE LAS AMENAZAS VOLCÁNICAS

Marco Rivera <sup>(1)</sup> & Sandra Villacorta <sup>(1)</sup>

(1) Dirección de Geología Ambiental - INGEMMET - Av. Canadá 1470, San Borja, Lima-Perú  
E-mail: mrivera@ingemmet.gob.pe; svillacorta@ingemmet.gob.pe

### INTRODUCCIÓN

El volcán Yucamane (17° 11' S; 70° 12' O, 5550 m.s.n.m.) se encuentra localizado 11 km al NE del pueblo de Candarave (Departamento de Tacna) (Figs.1 y 2). Es el más reciente de una cadena N-S de volcanes extintos y erosionados del complejo volcánico Yucamane (Fig.2). Este volcán forma parte de los siete volcanes activos de naturaleza calco-alcalina, del sur peruano, pertenecientes a la Zona Volcánica Central (ZVC) de los Andes, ligado al proceso dinámico de subducción de la Placa de Nazca bajo de la Placa Sudamericana (De Silva & Francis, 1991).



Fig. 1. Cadena volcánica plio-cuaternaria del sur del Perú y volcanes del Pleistoceno

El complejo volcánico Yucamane presenta tres conos poligenéticos: Yucamane Chico al norte, el Calientes al centro; y Yucamane al sur (Fig. 2). Este último, materia del presente estudio, presenta un cráter semicircular de aproximadamente 0.6 km de diámetro y 200 m de profundidad.

La Dirección de Geología Ambiental del INGEMMET, viene efectuando el “Estudio geológico-vulcanológico y evaluación de las amenazas volcánicas del volcán Yucamane”, cuyo objetivo es analizar los tipos de dinamismos eruptivos que presenta dicho volcán, así como las amenazas y los riesgos que implicaría su reactivación, con fines de prevención y mitigación de desastres. Para ello se

prevén nuevas dataciones radiométricas y análisis químicos e isotópicos de rocas.

### CONTEXTO GEOLÓGICO Y VULCANOLÓGICO

El cono poligenético Yucamane tiene forma cónica (Fig. 2). Según La Torre, 1965; Morche & De la Cruz, 1994 se ha edificado sobre una altiplanicie volcánica conformada por ignimbritas y lavas del Eoceno-Mioceno (Grupo Tacaza), e ignimbritas del Pleistoceno (Grupo Barroso). El cono tiene ~1550 m de altura, y cubre un área de ~40 km<sup>2</sup>. Según su morfología, se distinguen dos aparatos volcánicos: “Yucamane I”, que muestra pendientes suaves (20°) situado en la parte inferior del edificio, y el Yucamane II que yace encima y que presenta pendientes pronunciadas  $\geq 40^\circ$ .

El cráter anidado está localizado en la parte occidental de la cumbre, cuyas paredes tienen una altura promedio de 200 m y están constituidas de lavas fracturadas y parcialmente hidrotermalizadas. En el piso del cráter se distingue abundantes bloques de rocas provenientes de los desprendimientos de sus paredes. El cráter actual es probablemente el resultado de variados episodios explosivos sucedidos en el Pleistoceno superior-Holoceno. Los reportes históricos de la actividad eruptiva del Yucamane dan cuenta de un evento ocurrido en el año 1787 (Zamácola y Jáuregui, 1804).



Fig. 2 Complejo volcánico Yucamane, localizado al NE de la localidad de Candarave.

Este evento estuvo posiblemente caracterizado por la emisión de poco volumen ceniza que fue fácilmente removido por el viento, ya que en el campo no son visibles los depósitos ligados a dicha erupción. La actividad actual del volcán se manifiesta por las fumarolas muy tenues existentes en el cráter, principalmente en época de lluvia.

## ESTRATIGRAFÍA Y EVOLUCIÓN

El estudio estratigráfico en ejecución, la morfología actual, así como los análisis de imágenes de satélite Landsat TM y fotografías aéreas muestran que el Yucamane se ha construido en dos períodos: "Yucamane I" y "Yucamane II". El último período está compuesto de dos etapas: "Cono de la Cumbre" y "Cráter Reciente".

### YUCAMANE I (PLEISTOCENO MEDIO?, DATACIÓN EN PROCESO)

Período eruptivo esencialmente efusivo, donde se emplazaron coladas de lava en bloques de composición andesítica que cubren una superficie aproximada de 40 km<sup>2</sup> y constituyen el edificio inferior (Fig. 2 y 3). El emplazamiento de estas lavas fue anterior y coetáneo con las lavas del volcán Calientes (Fidel & Huamani, 2001). Cada colada tiene entre 20 y 50 m de espesor y el conjunto alcanza aproximadamente 600 m. Estas coladas yacen sobre ignimbritas riolíticas y lavas andesíticas emplazadas durante el Eoceno - Pleistoceno.

Posteriormente se produjo el crecimiento y colapso de domos cuyos depósitos de flujos de bloques y cenizas de composición dacítica son visibles en Quebrada Honda, (a 9 km al Sur del volcán) en donde alcanzan 12 m de espesor.

### YUCAMANE II (PLEISTOCENO SUPERIOR HASTA LA ÉPOCA HISTÓRICA)

#### Cono de la Cumbre

En esta etapa se produjo el emplazamiento de flujos de lavas dacíticas y andesíticas en bloques que conforman el edificio superior del volcán (Figs. 2 y 3). Este evento se dio alternadamente con el crecimiento y colapso de domos que produjeron flujos de bloques y cenizas de composición dacítica, visibles en las quebradas del flanco sur (Quebrada Honda). Los flujos de lava superpuestos presentan en general pendientes  $\geq 40^\circ$  y han recorrido una distancia máxima de 4 km con dirección radial al cráter.

#### Cráter de la Cumbre

Durante el Pleistoceno superior y Holoceno, la actividad eruptiva del Yucamane fue caracterizada por erupciones explosivas de leve magnitud que depositaron varias capas de caídas de tefras y flujos piroclásticos de poco volumen (Fig. 3). Estas erupciones explosivas (principalmente vulcanianas, subplinianas y freatomagmáticas) formaron el cráter actual (Fig. 2).

Desde la base hasta el tope se distinguen varios depósitos agrupados en tres tipos:

- 1) Cuatro depósitos de flujos de cenizas de colores ocre y gris de poco volumen. En la base del último depósito de flujo yace un nivel de oleada piroclástica gris clara de 20 cm de espesor (Qda. Honda). En general los depósitos de flujos de cenizas son masivos y cada uno posee entre 0.15 a 1.5 m de espesor; yacen sobre el depósito de flujos de bloques y cenizas del Yucamane II (Qda. Honda).
- 2) Un depósito de flujo de escorias grises de 6 m de espesor emplazado sobre paleoquebradas del flanco sur. Sobre este depósito yacen un flujo de cenizas y otro de bloques y cenizas de colores gris de 0.40 y 3.0 m de espesor, respectivamente.
- 3) Durante los últimos miles de años se emplazaron varios depósitos de caídas piroclásticas, distinguiéndose tres depósitos delgados de cenizas y lapilli pómez que varían entre 0.10 a 0.40 m de espesor. Estos depósitos afloran 9 km al Sur y al Este del cráter. En general las cenizas y pómez muestran características freatomagmáticas.

FIG. 3 COLUMNA LITOESTRATIGRAFICA PRELIMINAR DEL VOLCAN YUCAMANE

SERIES NOMINADA	ETAPAS DE EVOLUCION VOLCANICA	ESPESOR	LITOLOGIA	DESCRIPCION Y FACIES
HOLOCENO	ESTRATO-CONO YUCAMANE II CRATER DE LA CUMBRE	0.0-0.12 (0.0)	0 0 0 0 0 0 0 0	Caída de lapilli pómez con características freatomagmáticas (datación en proceso).
		0.12-0.30 (0.18)	0 0 0 0 0 0 0 0	Caídas de cenizas gruesas de color gris oscuro.
		0.30-0.40 (0.35)	0 0 0 0 0 0 0 0	Caídas de lapilli pómez y escorias de granulometría fina (de 1 a 5 cm) con características freatomagmáticas.
		0.40-0.50 (0.45)	0 0 0 0 0 0 0 0	Depósito de flujo de bloques y cenizas de color gris claro.
		0.50-0.60 (0.55)	0 0 0 0 0 0 0 0	Depósito de flujo piroclástico gris rico en litos juveniles dentro de una matriz de cenizas.
		0.60-0.70 (0.65)	0 0 0 0 0 0 0 0	Depósito de flujo de escorias de color gris oscuro, con bloques de hasta 40 cm de diámetro. Los bloques están en forma de cojillo.
		0.70-0.80 (0.75)	0 0 0 0 0 0 0 0	Depósito de flujo de ceniza de color ocre.
		0.80-0.90 (0.85)	0 0 0 0 0 0 0 0	Lapilli.
		0.90-1.00 (0.95)	0 0 0 0 0 0 0 0	Depósito de oleada piroclástica (ceniza blanca con estratificación cruzada).
		1.00-1.15 (1.07)	0 0 0 0 0 0 0 0	Depósitos de flujo piroclástico de varios niveles: base lapilli escoria y ceniza, en la parte media ceniza, y parte superior lapilli de color ocre.
PLEISTOCENO	ESTRATO-VOLCAN YUCAMANE I CONSTRUCCION DE LA CIMA DEL ESTRATO-VOLCAN	1.15-1.30 (1.22)	0 0 0 0 0 0 0 0	Depósito de flujo de ceniza de color gris.
		1.30-1.50 (1.40)	0 0 0 0 0 0 0 0	Flujos y coladas de lavas dacíticos y andesíticos en bloques del cono superior del volcán.
		1.50-1.60 (1.55)	0 0 0 0 0 0 0 0	Depósito de flujo de bloques y cenizas de color ocre rojizo claro (con bloques de hasta 1.2 m de diámetro), datación en proceso.
		1.60-1.70 (1.65)	0 0 0 0 0 0 0 0	Depósito de flujo de ceniza ocre, con poco contenido de fragmentos líticos andesíticos de hasta 3 cm.
		1.70-1.80 (1.75)	0 0 0 0 0 0 0 0	Nivel de suelo rojizo.
		1.80-1.90 (1.85)	0 0 0 0 0 0 0 0	Depósitos de flujos de bloques y cenizas, con fragmentos de litos de hasta 20 cm de diámetro. Matriz de ceniza gruesa producto de moliente.
		1.90-2.00 (1.95)	0 0 0 0 0 0 0 0	Flujos de lavas andesíticas de la base del volcán. Datación en 0.38±0.3 Ma (De la Cruz & De la Cruz, 2001).
		2.00-2.10 (2.05)	0 0 0 0 0 0 0 0	
		2.10-2.20 (2.15)	0 0 0 0 0 0 0 0	
		2.20-2.30 (2.25)	0 0 0 0 0 0 0 0	
GRUPO BARROSO	ESTRATO-VOLCAN YUCAMANE I CRECIMIENTO Y DESTRUCCION DE DOMOS	2.30-2.40 (2.35)	0 0 0 0 0 0 0 0	Ignimbritas no soldadas de color gris claro, con un tope color amarillento. Presencia de pómez de hasta 40 cm de diámetro. Concentración de pómez al tope. Depósito datado en 0.54±0.17 Ma (France, L. 1985).
		2.40-2.50 (2.45)	0 0 0 0 0 0 0 0	
		2.50-2.60 (2.55)	0 0 0 0 0 0 0 0	
		2.60-2.70 (2.65)	0 0 0 0 0 0 0 0	
		2.70-2.80 (2.75)	0 0 0 0 0 0 0 0	
		2.80-2.90 (2.85)	0 0 0 0 0 0 0 0	
		2.90-3.00 (2.95)	0 0 0 0 0 0 0 0	
		3.00-3.10 (3.05)	0 0 0 0 0 0 0 0	
		3.10-3.20 (3.15)	0 0 0 0 0 0 0 0	
		3.20-3.30 (3.25)	0 0 0 0 0 0 0 0	
PLUCENO (PUNO)	ESTRATO-VOLCAN PRE-CONO YUCAMANE I COLAPSO DE CALDERA?	3.30-3.40 (3.35)	0 0 0 0 0 0 0 0	Flujos de lavas en bloques de composición dacítica y andesítica datada en 0.97 ±0.04 Ma (De la Cruz & De la Cruz, 2001).
		3.40-3.50 (3.45)	0 0 0 0 0 0 0 0	Ignimbritas soldadas de color ocre, con prismación vertical, que forman parte del basamento del Yucamane.

Uno de los depósitos más recientes de caída de lapilli pómez, tiene un volumen < 0.1 km<sup>3</sup>, y fue probablemente emplazado algunos cientos años atrás (datación en proceso), producto de una actividad freatomagmática del Yucamane. Dicho depósito está constituido de lapilli pómez amarillenta, y fragmentos líticos centimétricos alterados e hidrotermalizados. Este depósito yace al pie del flanco Este del volcán y sobre la altiplanicie volcánica, tuvo probablemente una dispersión lobular cuyo eje estaba dirigido hacia el SE hasta una distancia de 10 km desde el cráter (Fig. 4).

### EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LAS AMENAZAS VOLCÁNICAS

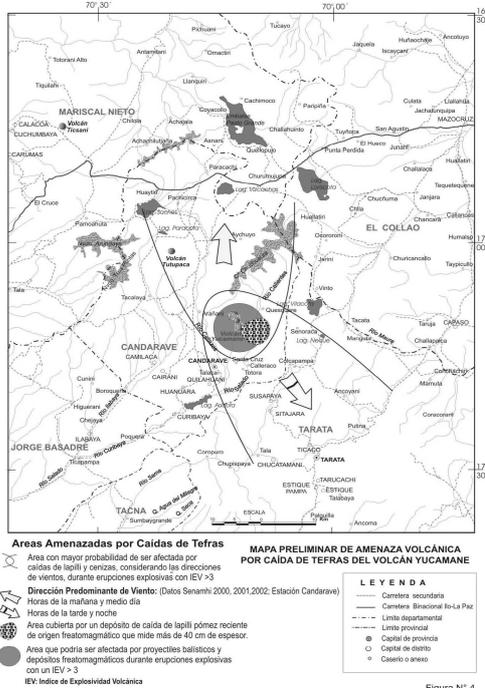
Esta evaluación está basada en el estudio estratigráfico en ejecución, el cartografiado de los depósitos eruptivos recientes, el grado de recurrencia de los eventos, la interpretación de imágenes de satélite, y datos sobre direcciones de viento de los años 2000, 2001 y 2002, obtenidos de SENAMHI.

Durante una reactivación del volcán se presentan cuatro tipos principales de amenazas volcánicas que afectarían a los más de 6500 habitantes que viven dentro de un radio de 16 km alrededor del volcán, principalmente en el pueblo de Candarave (11 Km al SO del volcán), donde habitan cerca de 3482 pobladores. Asimismo, afectarían los poblados de Cairani, Camilaca, Huanuara, Quilahuani, Susapaya, Ticaco, entre otros. Además se verían afectadas muchas obras de infraestructura de riego (principalmente canales), viales (como un tramo de la Carretera Binacional, Ilo-La Paz y las carreteras afirmadas como la de Tacna-Tarata-Candarave-Puno), e importantes lagunas como Aricota, Suches, Vilacota (principales patrimonios hídricos del sector).

Las amenazas volcánicas comprenden:

- 1) Caída de tefras, se distingue dos casos: emisiones de cenizas y proyecciones balísticas; hipótesis basada en las cenizas y lapilli finos recientes que yacen en las quebradas que surcan la altiplanicie volcánica (principalmente aquellos localizados en el flanco sur del volcán). Así como bloques balísticos de 3 m de diámetro localizados a 0.5 km al Oeste del cráter (Fig. 4).
- 2) Flujos piroclásticos. Se presentan tres casos:
  - *Flujos de bloques y cenizas* que pueden ser generados por el crecimiento y destrucción de domos. Basado en la presencia de variados depósitos de flujos de cenizas y bloques de 2 a 12 m de espesor que yacen 6 km al sur del cráter.

- *Flujos de escorias* generados por erupciones vulcanianas que yacen en las quebradas Honda y Campanani (Flanco Sur).
- *Oleadas piroclásticas*, basada en un depósito de oleada que precedió al emplazamiento de uno de los flujos piroclásticos recientes que yace en el flanco sur del volcán (Quebrada Honda), producto de una erupción explosiva.



3) Lahares, que pueden ser producidos en periodos de lluvias excepcionales, o debido al contacto del material volcánico con la nieve que yace desde diciembre a abril sobre la cumbre del volcán y/o con el agua de infiltración que aflora en las quebradas del flanco sur. Basado en los flujos de detritos que yacen en las quebradas del flanco sur.

4) Avalanchas de escombros pueden producirse por colapso de una parte de la cumbre (considerando que el flanco sur es delgado y muy fracturado), esto en el caso de una erupción violenta o del crecimiento de un domo dentro del edificio y/o en el cráter del volcán.

En base al estudio efectuado se presentan dos mapas de amenazas volcánicas preliminares (Figs. N° 4 y 5) que muestran las áreas que pueden ser afectadas en caso de una reactivación del volcán, durante erupciones explosivas con moderado IEV (Self and Newhall, 1982). El objetivo de estos mapas es el de planificar el uso de tierras y determinar las áreas que deberían ser evitadas durante erupciones.

## REFERENCIAS

- DE LA CRUZ N & DE LA CRUZ O., 2000. Mapa Geológico del Cuadrángulo de Tarata, a escala 1:50000, INGEMMET.
- DE SILVA S.L., FRANCIS P.W., 1991. Volcanoes of the Central Andes. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, 219p.
- FIDEL S., Y HUAMANI A., 2001. Mapa Preliminar de Amenaza Volcánica Potencial del Yucamane. Bol. N°26, Serie C, INGEMMET, 158 p.
- FRANCE, L., 1985. Geochronology, stratigraphy, and petrochemistry of the Upper Tertiary volcanic Arc, Southernmost Peru, central Andes". Diss., Queen's University, Kingston, Notario, Canada.
- JAEN LA TORRE, H., 1965. Geología del Cuadrángulo de Tarata. Boletín N° 11, Serie A, INGEMMET.
- MORCHE, W. & DE LA CRUZ, N., 1994. Geología y Petrografía de los Volcanes Pleistocénicos Yucamane y Tutupaca (Tacna). Resúmenes Extendidos, VIII Congreso Peruano de Geología, p. 209-213.
- NEWHALL, C.G. & SELF, S. 1982. The Volcanic Explosivity Index (VEI): An estimate of Explosive Magnitude for Historical Volcanism; JGR, v. 87, pág. 1231-38
- ZAMÁCOLA Y JÁUREGUI, 1804. En Barriga WM. 1954. I Terremotos de Arequipa, 332 p.

