

# ESTUDIO TEFRO-ESTRATIGRÁFICO PRELIMINAR DEL DEPÓSITO DE CAÍDA DE LA ÚLTIMA ERUPCIÓN DEL VOLCÁN YUCAMANE (TACNA)

Jessica Vela<sup>1</sup>, Pablo Samaniego<sup>2</sup>, Marco Rivera<sup>1</sup>

<sup>1</sup>INGEMMET, Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico. Barrio Magisterial Nro.2 B-16/Umacollo-Arequipa, Perú; E-mail: jvela@ingemmet.gob.pe

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

## INTRODUCCIÓN

El estratovolcán Yucamanese encuentra localizado a 11 km al NE de la localidad de Candarave en el departamento de Tacna. El Yucamane constituye el edificio más joven de un complejo volcánico constituido además por un edificio más antiguo, denominado Calientes, ubicado al norte del Yucamane (Rivera y Mariño, 2004; Rivera et al., 2014). El Yucamane forma parte de los siete volcanes activos del arco volcánico reciente, el cual forma parte de la Zona Volcánica Central de los Andes (Figura 1). Este trabajo está siendo desarrollado en el Observatorio Vulcanológico del INGEMMET (OVI) y está enmarcado dentro del convenio de cooperación entre el Instituto de Investigación por el Desarrollo (IRD, Francia) y el INGEMMET. Es así que desde el año 2012 se viene estudiando la cronología eruptiva de este centro volcánico, así como la evolución geológica y petrológica de los productos eruptivos con el fin de determinar la evaluación de la amenaza volcánica. En este sentido, se ha identificado un importante depósito de caída de tefra que aflora en la parte occidental del cono, el cual correspondería a una de las últimas erupciones importantes del Yucamane (Rivera y Mariño, 2004; Rivera et al., 2014).

El objetivo del presente estudio es cartografiar localmente el depósito de caída, describir la estratigrafía del mismo, describir las características petrológicas de los productos eruptivos y finalmente estimar el volumen y la magnitud de este evento eruptivo. Este estudio es de fundamental importancia para determinar las características propias de este evento volcánico, la cual representa uno de los principales escenarios eruptivos para el volcán Yucamane.

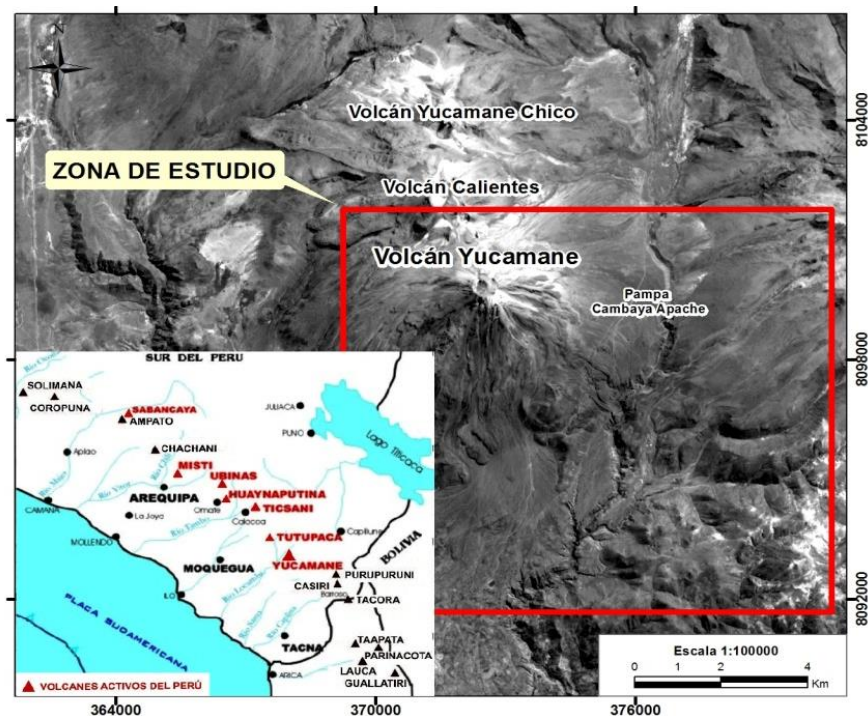


Figura 1. Mapa de localización de la zona de estudio

## ESTRATIGRAFÍA HOLOCÉNICA DEL YUCAMANE

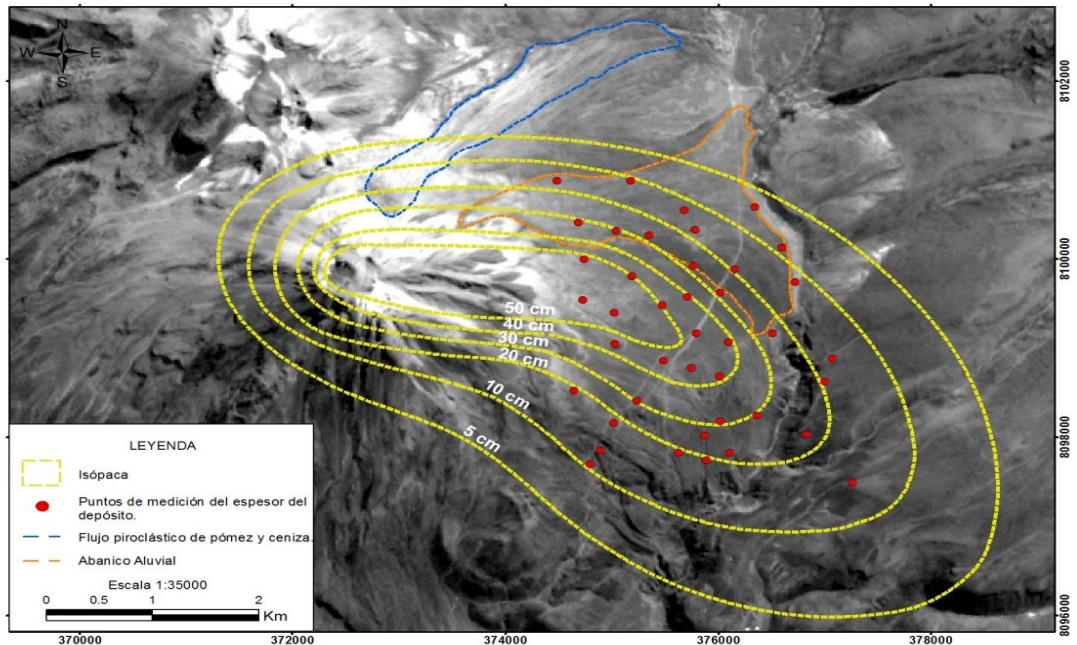
Los estudios geológicos que están siendo realizados en este volcán permiten indicar que el Yucamane (Figura 2a) es un edificio relativamente joven, cuya parte superior debe tener una edad Holocénica (Rivera et al, 2014). Esta estimación está basada en ausencia de erosión glaciaria importante en la parte superior del cono y sería corroborada por dataciones radiométricas en curso. Por otro lado, los estudios tefrocronológicos señalan que durante la época post-glaciaria (post-LGM, i.e. < 18-24 ka), se han identificado al menos 4-5 erupciones explosivas importantes, cuyos depósitos de tefra se encuentran distribuidos en la parte oriental y sur-oriental del edificio. El depósito más reciente de esta secuencia aflora muy bien en la parte oriental y suroriental del edificio (Figura 2b) y es el objeto del presente estudio.



**Figura 2.** (a) Flanco sur del estratovolcán Yucamane, (b) Caída de tefra en la parte oriental del edificio.

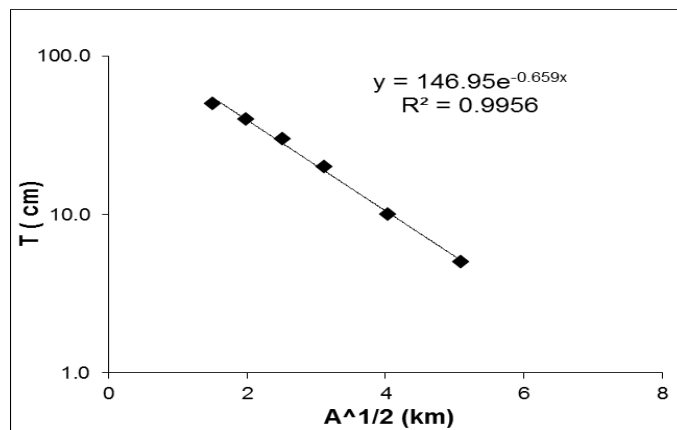
### DEPÓSITO DE CAÍDA DE TEFRA RECIENTE

El depósito de tefra más reciente asociado con el volcán Yucamane aflora en la planicie denominada Pampa Cambaya Apache ubicada al oriente del volcán, entre el flanco del volcán y el valle del río Salado. En este sector se realizó 59 calicatas, ubicadas entre 2 km y 6.2 km desde el cráter del volcán, en las cuales se hizo la descripción del depósito, así como la medida del espesor del mismo y de los fragmentos máximos de la pómez (MP) y de los líticos (ML). La Figura 3 muestra la distribución del depósito, el cual presenta un alargamiento hacia el occidente y sur-occidente. En base a las medidas de espesores se pudo definir 6 isópacas que cubren los espesores comprendidos entre 50 y 5 cm respectivamente. El eje mayor de la isópaca más proximal (50 cm) se encuentra a 3.2 km del cráter, mientras que el eje mayor de la isópaca más distal (5 cm) se encuentra a 7 km del cráter, todos en dirección SE, lo cual indica que la dirección predominante de los vientos durante la erupción fue al SE. Dos edades  $^{14}\text{C}$  han sido realizadas en material carbonizado de la base de este depósito y dan valores coherentes de  $3085 \pm 35$  y  $3270 \pm 50$  años.



**Figura 3.** Mapa de isópacas del depósito lapilli de pómez que muestra la variación en el espesor del depósito con la distancia.

En base al mapa de isópacas se estimó el volumen del depósito de caída, utilizando para ello los métodos de Pyle (1989) y de Fierstein y Nathenson (1992). Estos métodos asumen que el espesor de un depósito de caída disminuye exponencialmente con la distancia, así el método consiste en plotear el espesor de cada caída con respecto a la raíz cuadrada del área de cada isópaca (Figura 4). El cálculo preliminar del volumen del depósito emplazado por esta erupción es de  $7 \times 10^6 \text{ m}^3$ .



$T$  = Espesor de la isópaca.  
 $A$  = Área de la isópaca.

**Figura 4.** Gráfico  $T$  vs  $A^{1/2}$

### ESTRATIGRAFÍA DEL DEPÓSITO

En base al área cubierta por depósito de lapilli de pómez, nosotros hemos establecido tres facies: proximal (localizado hasta 4.2 km del cráter), medial (localizado entre 4.2-7 km del cráter) y distal (superior a 7 km del cráter). La facie distal aún no ha sido posible estudiar debido a que no se han encontrado afloramientos, probablemente porque estos han sido erosionados.

En la zona proximal el depósito de lapilli pómez tiene un espesor máximo de 50 cm. Aquí las pómez tienen 70% de vesículas y son de color gris verdoso, mientras que los componentes líticos son densos y masivos. Los pómez tienen un MP de 6.5 cm y los líticos tienen un ML de 6.1 cm. Por el contrario, en la zona media, el depósito tiene un espesor máximo de 20 cm y se reduce gradualmente a 5 cm hasta una distancia de 7 km del volcán. Las pómez son de color gris verdoso y los líticos son masivos y de colores marrones. Los pómez tienen un MP de 4 cm y los líticos un ML de 3.5 cm.

## **CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA Y GEOQUÍMICA**

Los fragmentos de pómez presentan una textura porfirítica y contienen fenocristales de plagioclasa, anfíbol, piroxeno, biotita y óxidos de Fe-Ti. Estos fenocristales son poco abundantes en la pasta vítrea (70%). Las plagioclasas tienen hábitos subhedrales a euhedrales, algunas están zonadas y miden hasta 1 mm, mientras que los fenocristales de anfíbol miden hasta 0.8 mm. También se distinguen fenocristales de piroxenos con hábitos anhedrales a subhedrales, que miden entre 0.5 a 0.7 mm. Los fenocristales de biotita miden hasta 0.5 mm.

Se realizaron análisis químicos en roca total en la pómez, los resultados muestran que las pómez son de composición andesítica (61.1 - 62.5 wt.% SiO<sub>2</sub>) perteneciente a la serie calco-alcalina.

## **DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN**

El volcán Yucamane presentó una erupción explosiva importante que generó un depósito de caída de lapilli de pómez de composición andesítica, cuyos vestigios se observan en el sector Suroriental a una distancia comprendida entre los 2-3 km y los 6-7 km de distancia. En esta zona, los espesores varían entre 50 y 5 cm para las zonas proximales y distales.

En base al mapa de isópacas, el volumen estimado para el depósito de caída de lapilli de pómez es de  $7 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Este valor representa el volumen mínimo de material emplazado por esta erupción ya que a este volumen no se le está considerando el volumen de ceniza y tefra depositada en la parte distal. Adicionalmente se debe añadir el volumen de un depósito del flujo piroclástico, el cual en base a su posición estratigráfica, a su edad y a la composición de la pómez, correspondería al mismo evento eruptivo. Este flujo aflora en el flanco NE del volcán y está interestratificado con el depósito de la caída. Este depósito está siendo estudiado en la actualidad. Esta erupción alcanza un índice de explosividad volcánica de 2, aunque si consideramos el volumen de tefra distal y del flujo piroclástico, probablemente se alcance un nivel de 3.

En base a la distribución de tefra y a las características sedimentológicas del depósito de caída, se debe considerar esta erupción como de tipo subpliniana a pliniana.

En base a la historia eruptiva del Yucamane, este tipo de erupciones se han repetido en al menos 4-5 veces en la historia reciente (últimos miles de años del volcán), siendo la última ocasión hace aproximadamente 3000 años. Esto implica que este volcán presenta un patrón recurrente de erupciones explosivas, razón por la cual es fundamental un estudio integral de la amenaza volcánica, la elaboración de un mapa de peligro y la instalación de una red de monitoreo en el volcán.

## **REFERENCIAS**

1. Harpel, C. (2011). The 2 ka Eruption of Misti Volcano, Southern Peru-The Most Recent Plinian Eruption of Arequipa's Iconic Volcano. *Papers* 2011;484;1-72.
2. Pyle, D. (1989). The thickness, volume and grain size of tephra fall deposits. *Papers* 51:1-15.
3. Rivera, M. & Mariño, J. (2004). Volcán Yucamane (Sur del Perú) geología, petrología y evaluación preliminar de las amenazas volcánicas. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú* v. 98, p. 7-27.
4. Rivera, M.; Samaniego, P.; Liorzou, C.; Guillou, H.; Vela, J. (2014). Geología y evolución del complejo volcánico Yucamane-Calientes. *Resumen XVII Congreso Peruano de Geología*.



# ESTUDIO TEFRO-ESTRATIGRAFICO PRELIMINAR DEL DEPOSITO DE CAIDA DE LA ÚLTIMA ERUPCIÓN PLINIANA DEL VOLCÁN YUCAMANE (TACNA)

Jessica Vela<sup>1</sup>, Pablo Samaniego<sup>2</sup>, Marco Rivera<sup>2</sup>

<sup>1</sup>INGEMMET, Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, Barrio Magisterial Nro.2 B-16/Umacollo-Arequipa, Perú; E-mail: jvela@ingemmet.gob.pe  
<sup>2</sup>Laboratoire Magmas et Volcans, Université Blaise Pascal, CNRS, IRD, 5, rue Kessler, F-63038 Clermont-Ferrand, Francia

## INTRODUCCIÓN

El volcán Yucamane se encuentra localizado a 11 km al NE de la localidad de Gandarive en el departamento de Tacna. El Yucamane constituye el edificio más joven de un complejo volcánico constituido además por un edificio más antiguo, denominado Calentosa, ubicado al este del Yucamane.

El Yucamane forma parte de los siete volcanes activos del arco volcánico reciente, el cual forma parte de la Zona Volcánica Central de los Andes (Figura 1). Este trabajo está siendo desarrollado en el Observatorio Volcanológico del INGEMMET (OVNI) y está financiado dentro del convenio de cooperación entre el Instituto de Investigación por el Desarrollo (IRD, Francia) y el INGEMMET.

El objetivo del presente estudio es cartografiar localmente el depósito de caída, describir la estratigrafía del mismo, describir las características petrográficas de los productos eruptivos y finalmente estimar el volumen y la magnitud de este evento eruptivo. Este estudio es de fundamental importancia para determinar las características propias de este evento volcánico, lo cual representa uno de los principales escenarios eruptivos para el volcán Yucamane.



Figura 1. Ubicación digital del sistema que muestra la ubicación y los volcánicos históricos del complejo volcánico Yucamane. (a) Ubicación del Complejo Volcánico Yucamane y el volcánico anterior y (b) ubicación, ubicado en el centro del OVNI con una línea roja.

## ESTRATIGRAFIA HOLOCÉNICA DEL YUCAMANE

Los estudios geológicos que están siendo realizados en este volcán permiten indicar que el Yucamane (Figura 2a) es un edificio relativamente joven, cuya parte superior debe tener una edad Holocénica.

El depósito más reciente de esta erupción afecta muy bien en la parte oriental y suroriental del edificio (Figura 2b) y es el objeto del presente estudio.



Figura 2a. Volcán Yucamane.



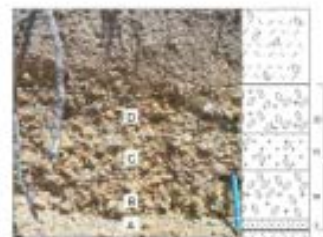
Figura 2b. Caída de cenizas en la parte oriental del edificio.

## TEFRO-ESTRATIGRAFÍA DEL DEPOSITO

En este trabajo consideramos tres facies proximal (0-3.6 Km), medial (3.6-5.5 Km) y distal (superior a 5.5 Km). La facie distal no ha sido posible estudiar debido a que no se han encontrado afloramientos debido a que estos han sido erosionados por efectos atmosféricos.

El depósito tiene un espesor máximo de 50 cm en la facie proximal, en la fase medial de 40 cm y se reduce gradualmente a 10 cm.

El depósito está compuesto de lapilli pómicos y lílicos (vecinos y medales), estos lílicos forman parte del conducto. A continuación se muestra la variación de estos componentes en las zonas proximal (Fig. 3) las cuales se identifican con los niveles A, B, C, D.



Deposito de lapilli de pómicos reemplazados.

Deposito de caída de lapilli de pómicos. Abundante contenido de pómicos (80%), contienen ferromagnesio de plagioclasas, anfíbol y biotita. Se vea mejor los lílicos (20%), estos son de color gris oscuro y negro.

Deposito de caída de lapilli de pómicos. El contenido de pómicos es de 40%, estos son de color gris oscuro y tienen ferromagnesio de plagioclasas, anfíbol y biotita. El contenido de lílicos es de 60% y son de color negro.

Deposito de caída de lapilli de pómicos. En esta capa los pómicos son abundantes (80%) y la proporción de lílicos es de 20%. Los pómicos son de color gris oscuro y negro, que incluyen los anfíbricos y cenizas plagioclasas, anfíbol y biotita. Los lílicos son gruesos y de color gris oscuro.

Deposito de caída de color negro con alto contenido de lílicos (80%). Contiene mayor cantidad de lílicos con algunas fragmentos de pómicos.

Figura 3. Distribución de cenizas en la zona proximal.

## DEPOSITO DE CAIDA DE TEFRA RECIENTE

En el depósito de cenizas se realizaron 59 calicatas, ubicadas entre 20m y 6.3 km desde el cráter del volcán, en las cuales se hizo la descripción del depósito, así como la medición del espesor del mismo y de las fragmentas máximas de la pómez (MP) y de los lílicos (ML). La Figura 4 muestra la distribución del depósito, el cual presenta un alargamiento hacia el occidente y sur-occidente. En base a las mediciones de espesores se pudo definir 4 isotopos que cubren los espesores comprendidos entre 50 y 5 cm respectivamente. Dos edades 14C han sido realizadas en material carbonizado de la base de este depósito y dan valores coherentes de 3065 ± 36 y 3270 ± 50 años.

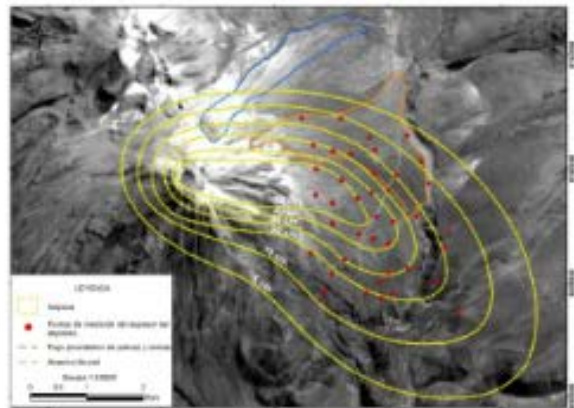


Figura 4. Mapa de distribución del depósito de cenizas que muestra la variación en el espesor del depósito con la distancia.

En base al mapa de isotopos se estimó el volumen del depósito de caída, utilizando para ello los métodos de Pye (1989) y de Fournier y Matherson (1992). Estos métodos asumen que el espesor de los depósitos de caída disminuye exponencialmente con la distancia (Figura 5). El cálculo preliminar del volumen del depósito empacado por esta erupción es de  $7 \times 10^{16} \text{ m}^3$ .

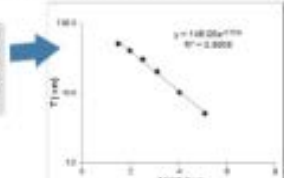


Figura 5. Gráfico T vs Ancho. Donde T = Espesor de la capa y Ancho = Ancho de la calicata.

## CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA Y GEOQUÍMICA



Los fragmentos de pómez presentan una textura porfirica y contienen fenocristales de plagioclasa, anfíbol, perovskita, biotita y óxidos de Fe-Ti. Estos fenocristales son poco abundantes en la pasta vítrea (70%). Se realizaron análisis químicos en masa total en la pómez, los resultados muestran que los pómicos son de composición andesítica (81.1 - 82.5 wt.% SiO<sub>2</sub>) perteneciente a la serie calco-alcalina (Figura 6).

Figura 6. Clasificación de pómicos en un diagrama TAS (total álcali vs sílice) en pómicos de un 3000 años en el volcán Yucamane.

## ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO

Los histogramas muestran una deposición asimétrica en la facie proximal y medial (Fig. 7). La distribución de la mediana (M<sub>50</sub>) en la facie proximal varía de 2 a 3 g/m<sup>3</sup>, en la facie medial su valor varía de 2 a 3 g/m<sup>3</sup>. La distribución del tamaño de grano promedio (M<sub>50</sub>) del depósito, varía de 1.7 a 2.7 φ en la facie proximal y de 1.5 a 2.5 φ en la facie medial. La desviación estándar (σ<sub>0</sub>) en las facies proximal varía de 1 a 2 y en la facie medial es de 1, lo que indica que el depósito se ubica dentro del campo de caídas.

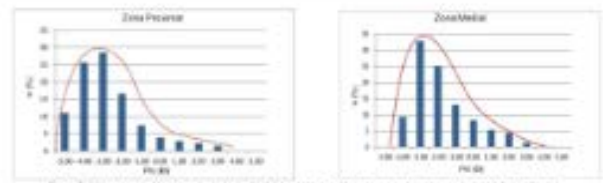


Figura 7. Histogramas en la zona proximal y medial del depósito de caída de cenizas que muestran una distribución asimétrica.

## CONCLUSIONES

En base al mapa de isotopos, el volumen estimado para el depósito de caída de lapilli de pómicos es de  $7 \times 10^{16} \text{ m}^3$ . Esta erupción alcanza un índice de explosividad volcánica de 2, aunque si consideramos el volumen de cenizas distal y del flujo productivo, probablemente se alcance un nivel de 3.

En base a la distribución de cenizas y a las características sedimentológicas del depósito de caída, se debe considerar esta erupción como de tipo subpliniana a pliniana.

En base a la historia eruptiva del Yucamane, este tipo de erupciones se han repetido en el menos 4-5 veces en la historia reciente (últimos miles de años del volcán), siendo la última ocasión hace aproximadamente 3000 años aproximadamente. Esto implica que este volcán presenta un patrón recurrente de erupciones explosivas, razón por la cual es fundamental un estudio integral de la amenaza volcánica, la elaboración de un mapa de peligro y la instalación de una red de monitoreo en el volcán.

## REFERENCIAS

- Harrell, J., 2014. The 1944 eruption of Mt. Rainier, Washington, USA. The Bulletin of the Geological Society of America, v. 126, p. 1-10.
- Harrell, J., 1989. The 1944 eruption of Mt. Rainier, Washington, USA. The Bulletin of the Geological Society of America, v. 101, p. 1-10.
- Harrell, J., 1988. The 1944 eruption of Mt. Rainier, Washington, USA. The Bulletin of the Geological Society of America, v. 100, p. 1-10.
- Harrell, J., 1987. The 1944 eruption of Mt. Rainier, Washington, USA. The Bulletin of the Geological Society of America, v. 99, p. 1-10.