

EL VOLCÁN MISTI: ACTIVIDAD ERUPTIVA PASADA Y EVALUACIÓN DEL PELIGRO VOLCÁNICO

Marco Rivera⁽¹⁾, Jean Claude Thouret⁽²⁾, Jersy Mariño⁽¹⁾

⁽¹⁾ INGEMMET. Urb. Las Begonias B-3, J.L.B y Rivero, Arequipa.

⁽²⁾ PRES Clermont Université, Université Blaise Pascal, CNRS UMR 6524, Laboratoire Magmas et Volcans, et IRD-R163, 5 rue Kessler, 63038 Clermont-Ferrand, France

INTRODUCCIÓN

El Misti (16°16' S; 71°22' O, 5822 m) es uno de los siete volcanes activos del sur peruano, perteneciente a la Zona Volcánica Central (CVZ) de los Andes. Este volcán se emplaza en el borde Oeste de la Cordillera Occidental de los Andes (Fig. 1). El cráter del Misti está situado a 17 km al Noroeste del centro de la segunda ciudad del Perú: Arequipa, que cuenta con aproximadamente 1 millón de habitantes.



Fig. 1. Mapa de localización del volcán Misti y la ciudad de Arequipa.

A lo largo de su historia eruptiva el volcán Misti (≤ 800 ka) ha generado diversos productos: flujos de lavas, depósitos piroclásticos y volcanoclásticos. Estos últimos depósitos han formado un piedemonte, de poca pendiente ($< 10^\circ$), de aproximadamente 200 km^2 , al pie de los flancos sur y suroeste del volcán, sobre el cual se haya asentado gran parte de la ciudad de Arequipa.

Arequipa, durante los últimos 60 años viene experimentando un rápido crecimiento urbano. Tal es así, que en 1940 contaba con poco más de 112,000 habitantes, y hoy en el año 2010, cuenta con una población de cerca del millón de habitantes, convirtiéndola en la segunda ciudad en importancia poblacional y económica del Perú. Dentro de ese contexto, sus distritos vienen experimentando un acelerado crecimiento poblacional y por ende una rápida expansión urbana. Pero este crecimiento es cada vez más desordenado, ya que no cuenta con ningún plan de ordenamiento territorial. Tal como es el caso de los distritos de Mariano Melgar, Alto Selva Alegre, Miraflores y Paucarpata cuyos pobladores construyen sus

viviendas cada vez más cerca al volcán Misti, poniendo en peligro sus vidas, actividades y bienes, en caso de producirse una reactivación del Misti.

Este trabajo presenta una síntesis del conocimiento a cerca de la evolución volcánica del Misti y sobre los peligros latentes en caso de una futura reactivación de este volcán.

ESTRATIGRAFÍA Y EVOLUCIÓN VOLCÁNICA

Según Thouret *et al.* (2001), el volcán Misti comprende dos edificios distintos: un estrato-volcán inferior de 500 m de altura denominado "Misti 1", datado entre 833 y 112 ka. Este cono está cubierto, más al Este y Sur-Este por un cono compuesto, que ha registrado al menos tres etapas de construcción durante los últimos 112 ka: "Misti 2", "Misti 3" y "Misti 4" (Fig. 2).

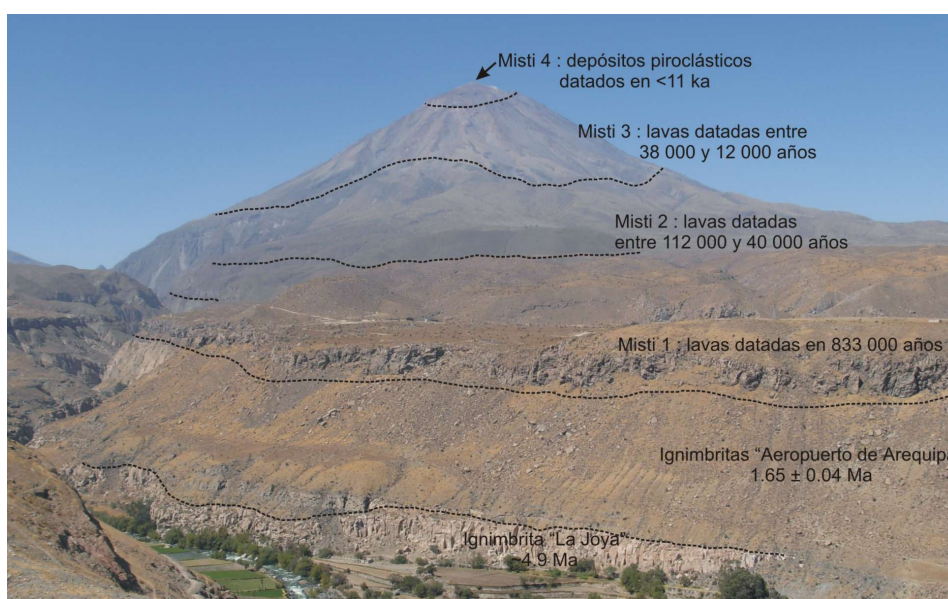


Fig. 2. Flanco oeste del volcán Misti donde se distingue los tres estrato-conos: "Misti 2", "Misti 3" y "Misti 4".

Misti 1 (833 000 – 112 000 años)

El estrato-volcán "Misti 1" consiste de flujos de lava de composición andesítica, y algunos flujos de escorias emplazados entre 833 y 112 ka (Thouret *et al.*, 2001), Fig. 2. Esas unidades son visibles en el fondo del cañón del río Chili (al pie del flanco noroeste) y al pie del flanco sur y suroeste del volcán. Esas lavas yacen sobre una secuencia volcanoclástica e ignimbritas soldadas y no soldadas del Neógeno, cuya edad está comprendida entre 4,9 y 1,7 Ma (Paquereau-Lebti *et al.*, 2006).

Después del emplazamiento de los productos pertenecientes al "Misti 1", se produjo el colapso del flanco sur del edificio volcánico que generó avalanchas de escombros, de aproximadamente 120 m de espesor. Estos depósitos son visibles al pie de los flancos sur, suroeste y oeste (Quebrada San Lázaro, sector Villa Ecológica y Quebrada Mariano Melgar).

Misti 2 (112 000 – 40 000 años)

Según Thouret *et al.* (2001), el "Misti 2" comprende tres grupos de depósitos: Grupo 2-1, Grupo 2-2 y Grupo 2-3, emplazados entre 3000 y 4400 msnm y datados entre 112 y 40 ka BP.

El grupo 2-1 ha sido datado entre 112 y 70 ka (Thouret *et al.*, 2001). Este grupo está compuesto de flujos de lava y domos de composición andesítica, que forman el cono medio del aparato volcánico (Fig. 2). Las lavas tienen entre 40 y 80 m de espesor. El conjunto alcanza aproximadamente 500 m de espesor. El grupo 2-2 (70 y 50 ka BP) corresponde a depósitos de bloques de lava andesítica, densos, prismáticos, sin matriz, de 10 a 20 m de espesor. Estos depósitos están localizados a 10 km al sur y suroeste del cráter (Quebradas Pastores, y Huarangal) (Fig. 3). Estos depósitos son atribuidos a colapsos de domos de lava. Encima de los depósitos de bloques de lava yacen al menos cuatro depósitos de caída de escoria de color verdoso, que provienen del volcán Chachani, visibles en la Quebrada Pastores (Fig. 3).



Fig. 3. Vista de la secuencia estratigráfica del volcán Misti de hace menos 70 ka, emplazado en la Quebrada Pastores (7 km al suroeste del cráter).

Al final del periodo "Misti 2" se produjo el colapso del flanco sur del edificio volcánico cuyos depósitos resultantes son depósitos de avalancha de escombros, visibles a 8 km al pie del flanco sur (Quebradas San Lazaro y Huarangal), donde ellos miden 40 m de espesor en promedio.

El grupo 2-3 (50 a 40 ka BP) consiste de depósitos de flujos de pómez y cenizas de composiciones dacítica y andesítica, que tienen entre 12 y 25 m de espesor. El volumen estimado varía entre 4 y 5 km³. Esos depósitos son visibles al pie del flanco sur y sureste del Misti (sector Chapi Chico, y Quebradas Honda y Grande). Según Thouret *et al.* (2001) estos

depósitos reflejan la formación de una "caldera de colapso" (de 5 o 6 km de diámetro) o de un grupo de grandes cráteres.

Misti 3 (38 000 – 11 000 años)

Según Thouret *et al.* (2001), la etapa "Misti 3", consiste de cuatro grupos: Grupo 3-1, Grupo 3-2, Grupo 3-3 y Grupo 3-4, datados entre 38 y 11 ka BP.

El grupo 3-1 (38 a 31 ka) comprende flujos de lava que forman el cono superior del volcán (entre 4400 y 5600 msnm.), así como depósitos piroclásticos de flujos de cenizas y pómez de composición riolítica a andesítica, y caídas de lapilli pómez dacíticas y riolíticas. Las dataciones ^{14}C muestran que depósitos de flujos de cenizas y pómez fueron emplazados entre 34 y 31 ka BP (Fig. 3).

El grupo 3-2 (30 a 25 ka) consta de varios tipos de depósitos de flujos de cenizas y pómez dacíticos, y de depósitos de flujos de bloques y cenizas andesíticos, intercalados con algunos depósitos de caída de lapilli pómez. El espesor total es estimado entre 80 y 100 m. Esos depósitos afloran entre 6 y 10 km del flanco sur del volcán, en las Quebradas Huarangal, Honda y Grande (Fig. 4).

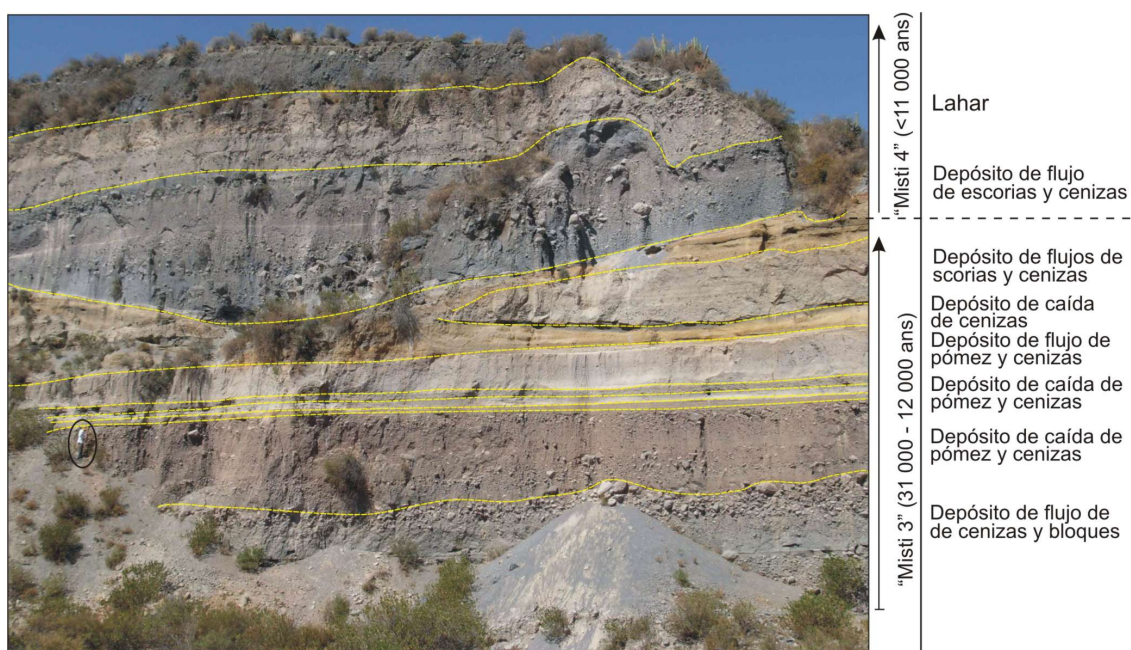


Fig. 4. Vista de la secuencia estratigráfica del volcán Misti, en la quebrada Honda (8 km al sur del cráter), emplazada hace menos de 30 ka.

El grupo 3-3 (25 a 20 ka) corresponde al menos de cinco depósitos de flujos de bloques y cenizas de composición andesítica, intercalados con algunos depósitos de caída de pómez andesíticos. Los depósitos de flujos tienen entre 5 y 20 m de espesor, y afloran en las quebradas localizadas al pie del flanco sur (Quebrada Grande y Honda). Esos depósitos han sido generados por colapsos de domos. Hacia el tope del grupo 3-3 distinguimos también algunos depósitos de lahares, y caídas de tefras (Fig. 3.11), intercalados con depósitos de flujos de bloques y cenizas.

El grupo 3-4 (14 a 11 ka BP) consiste de dos depósitos de flujos de cenizas y pómez dacíticos ($\sim 1 \text{ km}^3$ en total), intercalados con dos capas de caída de lapilli pómez y dos depósitos de oleadas piroclásticas. Los depósitos de flujos de cenizas y pómez afloran a 12 km al sur y suroeste del cráter (urbanización Los Gráficos y San Luis) donde ellos tienen entre 6 y 8 m de espesor.

La presencia de flujos de pómez y cenizas de $\sim 1 \text{ km}^3$, así como de otros argumentos morfológicos y geofísicos, han permitido a Thouret *et al.* (2001) proponer la formación de una caldera de 2 km de diámetro aproximadamente, en la cima del estrato-cono "Misti 3" (a 5400 msnm.) entre 14 y 11 ka BP.

Misti 4 (< 11 000 años)

Durante la última etapa eruptiva denominada "Misti 4", se han emplazado al menos diez capas delgadas de depósitos de caídas de pómez y cenizas, ligadas a erupciones explosivas de tipo subpliniano, freatomagmático y vulcaniano. Cada capa tiene entre 5 y 35 cm de espesor. Esos depósitos son visibles entre 6 y 8 km al pie de los flancos oeste y noroeste del volcán (Fig. 3.12). Esos productos muestran que el Misti ha conocido al menos 10 erupciones "mayores" desde hace 11 ka.

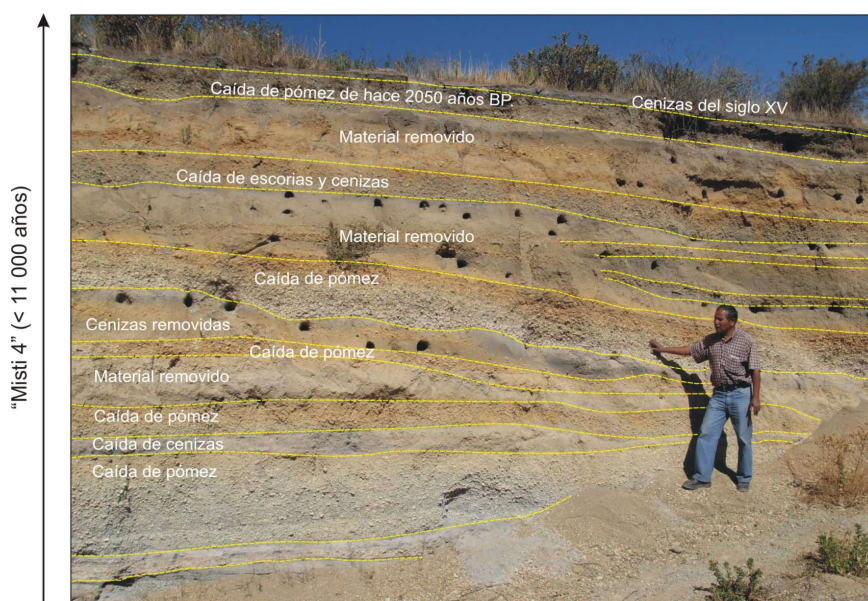


Fig. 5. Secuencia estratigráfica reciente (menos de 11 ka) del volcán Misti, emplazada al pie del flanco oeste (6 km del cráter, sector Pacheco).

La última erupción explosiva de gran magnitud (pliniana) se produjo hace 2050 años BP (Thouret *et al.*, 2001). Durante esta erupción se han emplazado depósitos de caída de lapilli pómez, flujos de cenizas y pómez, y lahares. El volumen total de los productos emitidos ha sido estimado en $\sim 1,2 \text{ km}^3$ (Cobeñas, 2009). El depósito de caída frecuentemente presenta pómez con figuras bandeadas, de composición andesítica. Ese depósito de 30 cm de espesor (a 10 km al suroeste del volcán Misti) ha sido dispersado en forma de un lóbulo cuyo eje estuvo orientado hacia el suroeste del cráter. En ciertas quebradas de los flancos sur, sureste y suroeste del volcán (Quebradas San Lazaro,

Huarangal y Agua Salada), sobre el depósito de caída yacen al menos cuatro niveles de flujos de pómez y cenizas (Fig. 6) de 3 a 5 m de espesor.



Fig. 6. Depósitos de flujos de pómez y cenizas de hace 2050 años B.P., canalizados en la Quebrada San Lazaro (8 km al sur del volcán Misti). En ambas márgenes de la quebrada se distinguen depósitos de avalancha de escombros.

Actividad eruptiva pre-histórica e histórica

Las crónicas y los estudios geológicos muestran que la actividad eruptiva del volcán Misti durante los últimos 2000 años, ha sido moderada. En efecto, alrededor del volcán Misti, existen al menos dos capas delgadas de cenizas negras finas que cubren el depósito de caída pliniana de hace 2050 años BP. (Fig. 6). Estos depósitos han sido producidos por pequeños eventos vulcanianos, y probablemente freatomagmáticos o freáticos. El depósito de cenizas mejor conservado tiene 4 cm de espesor a 8 km al suroeste del cráter. Ese depósito corresponde a un pequeño evento vulcaniano del siglo XV (1440-1470 A.D., Chávez, 1992). Esas cenizas han sido dispersadas bajo forma de un lóbulo cuyo eje está orientado hacia el oeste y suroeste del Misti.

Por otro lado, las crónicas mencionan también eventos menores de tipo fumarólico o freáticos en 1542, 1599, 1826, 1830-31, 1869 y 1870 (Simkin y Siebert, 1994; Suni, 1999), cuyo depósitos son poco o no reconocidos en el campo, ya que ellos han sido probablemente removidos por los vientos. Con menos incertidumbre, cuatro eventos (erupciones freatomagmáticas o eventos sísmicos?) ocurrieron en mayo de 1677, el 9 de julio de 1784, y del 28 de julio a 10 octubre de 1787 (Simkin y Siebert, 1994 ; Chávez Chávez, 1992). Algunos productos ligados a esos eventos han sido probablemente incorporados en diferentes lahares del valle del río Chili y en las quebradas que drenan del volcán Misti hacia la cuenca de Arequipa. Esos lahares han sido datados entre 1000 y 300 años BP. (Delaite *et al.*, 2005). Ciertas crisis fumarólicas moderadas han sido reportadas en 1948-1949 y en 1984-1985 (Chávez Chávez, 1992). La actividad actual del Misti se manifiesta por leves emisiones de gases del domo situado al fondo del cráter histórico y sobre la cima del flanco ENE.

EVALUACIÓN DE LOS PELIGROS VOLCÁNICOS

Los diversos estudios geológicos-vulcanológicos efectuados sobre el volcán Misti (Thouret et al., 2001; Rivera, 2010) permiten comprender mejor sobre las características y frecuencias de las erupciones pasadas, estos a su vez permiten elaborar escenarios eruptivos futuros y por ende conocer los tipos de peligros volcánicos en cada escenario.

El estudio geoquímico de rocas del Misti efectuados por Rivera, (2010) muestran que, aunque el Misti a presentado diversos tipos de actividad volcánica, la composición química de rocas emitidas ha sido casi homogénea en el tiempo. Tal es así, que las erupciones explosivas moderadas y las erupciones de gran magnitud presentadas por el Misti, han sido generadas con magmas cuya composición química ha sido casi similar. En consecuencia, dado que el material emitido por el Misti los últimos 1000 años (durante erupciones leves) ha sido andesítica, no podemos estar seguros que una próxima reactivación del Misti, a pesar que este emita andesitas, la actividad no tendería a ser de tipo explosiva leve (vulcaniana, freatomagmática, etc), similar a las erupciones recientes y/o históricas. En tal sentido, se debe prever también escenarios con erupciones de importante magnitud como la ocurrida hace 2000 años, que puede generar caída de pómez, e incluso generar flujos piroclásticos que pueden causar graves daños en la ciudad de Arequipa.

Según las estimaciones de volumen de los productos emitidos durante la historia del volcán, Thouret *et al.* (2001) proponen una tasa eruptiva aproximada de $0,63 \text{ km}^3$ par cada mil años, durante los últimos 112 ka. Es decir tres veces mayor al del volcán Ubinas (Rivera, 2010), en consecuencia en una próxima erupción el volumen de material emitido puede ser muy grande.

En base a los estudios geológicos, los principales peligros volcánicos reconocidos en el Misti son los siguientes:

a) Peligros por caídas o lluvias de pómez y cenizas

En cualquier tipo de erupción explosiva caídas de cenizas y pómez pueden afectar a los habitantes de la ciudad de Arequipa (provocar males respiratorios, males estomacales, afecciones a la vista, etc.), así como afectar los terrenos de cultivos, el transporte terrestre y aéreo. Lo más grave sería la contaminación de las aguas para consumo humano de los ríos Chili y Andamayo, así como las represas de Aguada Blanca y El Fraile.

b) Peligros por flujos piroclásticos

Los flujos piroclásticos están constituidos por una mezcla de cenizas, pómez, gases y fragmentos de roca, que descienden por los flancos del volcán a grandes velocidades (decenas a centenas de metros por segundo) y poseen temperaturas de más de 700°C (Cas y Wright, 1987). Flujos piroclásticos serían generados durante erupciones explosivas (vulcanianas, plinianas, etc) y/o colapso y destrucción de domos, y se encausarían preferentemente por las quebradas que bajan del volcán: Quebradas San Lázaro, Huarangal, Pastores y Agua Salada, destruyendo todo lo que encuentren a su paso.

c) Peligros por flujos de barro (huaycos)

En caso de la ocurrencia de lluvias intensas y/o durante una erupción del Misti pueden generarse flujos de barro. Los flujos de barro podrían bajar preferentemente por las quebradas San Lázaro, Huarangal, Pastores y Agua Salada. Muchas de ellas drenan al río Chili, la cual podría ocasionar desbordes e inundaciones y afectar seriamente las viviendas y terrenos de cultivos localizados en ambas márgenes del río Chili. La frecuencia de ocurrencia de este tipo de eventos es alta, cada 100 a 200 años aproximadamente (Delaite et al., 2005).

d) Peligros por avalanchas de escombros

El flanco Noroeste del Misti tiene una pendiente abrupta, el cual a su vez es cruzado por dos fallas normales (NO-SE). Este flanco ha colapsado anteriormente, y durante una erupción o sismo fuerte puede volver a colapsar y generar avalanchas de escombros. Estos podrían desencadenar el represamiento del río Chili y posteriormente flujos de lodo (lahares) discurrirían a lo largo de todo el valle afectando las áreas urbanas asentadas en ambas márgenes del valle del río Chili.

e) Peligros por flujos de lava

La ocurrencia de flujos de lava en el Misti en un futuro cercano es muy poco probable. Dado que las lavas más recientes no tienen menos de 11,000 años. En caso de la ocurrencia los flujos de lava pueden descender hasta el fondo de los valles, y fluir hasta alcanzar pocos kilómetros de distancia, debido a su alta viscosidad. Los flujos de lava destruyen todo a su paso, sin embargo no representan un peligro alto para las personas debido a su baja velocidad, pues da tiempo para realizar la evacuación.

MAPA DE PELIGRO DEL VOLCÁN MISTI

Un mapa de peligro volcánico es un medio de comunicación sobre el riesgo volcánico y está dirigido al público en general. Este mapa es utilizado para mostrar y explicar las zonas de peligros y los niveles de riesgos de áreas localizadas alrededor de un volcán. Los mapas de peligros forman una parte fundamental de los planes de emergencia y respuesta, y son considerados vitales para la coordinación de prevención, protección y evacuación.

El mapa de peligros del Misti está conformado por un "mapa principal", a escala 1/50000, en el cual se muestra tres zonas: zonas de alto (rojo), moderado (naranja), y bajo peligro (amarillo, Fig. 7). Asimismo, en la parte inferior se tienen tres mapas adicionales, el primero muestra la dispersión de cenizas para una erupción moderada a nivel regional, el segundo muestra el área de afectación para el caso de una erupción de gran magnitud, y por último otro mapa que indica las cuencas que pueden ser afectadas por flujos de lodo o lahares.

El mapa de peligro "principal" muestra diversas áreas que incluyen el casco urbano de Arequipa y zonas agrícolas que podrían ser afectados por una futura actividad del volcán, así como el tipo de peligro al que están expuestas, suponiendo que el comportamiento eruptivo sea similar al que ha presentado el Misti a lo largo del tiempo geológico e histórico.

Para delimitar las zonas de peligro se tuvo en cuenta, datos geológicos, modelamientos por computadora (caso de flujos de barro y lahares), cálculos de líneas de energía para determinar distancias hasta donde pueden alcanzar futuros flujos piroclásticos y avalanchas de escombros, ejemplos de otras erupciones ocurridas en el mundo, entre otros aspectos. Las fuentes o modelos de prevención se tomaron en base a los materiales volcánicos depositados por erupciones mayores, suponiendo que la próxima erupción no diferirá mucho de estas y que el área afectada también será similar.

En este mapa la zonificación del grado de peligro ha sido dividida en tres zonas:

a) Zona de alto peligro (color rojo). Es la zona cercana al cráter. Es la más peligrosa que sería la más afectada por caídas de cenizas, lapilli pómez y bloques balísticos, por flujos piroclásticos, flujos de lava (evento poco probable), avalanchas de escombros y/o flujos de barro.

b) Zona de peligro medio (color anaranjado). Corresponde a la zona que podría ser afectada por productos generados durante una erupción importante del Misti, en donde la acumulación de cenizas y lapilli pómez va a ser importante. Así mismo esta zona puede ser afectada por flujos piroclásticos y avalanchas de escombros. La delimitación de esta zona se basa en la distribución de los depósitos de lapilli pómez y cenizas holocénicas y recientes que miden más de 6 m a 7 km al S y SE del volcán. Además se basa en la presencia de depósitos de flujos de pómez distinguidos en ambas márgenes del río Chili ligados a erupciones ignimbríticas importantes. Así mismo se basa en los depósitos de avalanchas de escombros producidos durante colapso del flanco sur y noroeste.

c) Zona de peligro bajo (color amarillo). Se proyecta desde un radio aproximado de 12 a 24 km alrededor del cráter. Se encuentra más alejada del volcán Misti y por tanto, es la de menor peligro. Esta zona sería afectada por flujos, oleadas y caídas piroclásticas, pero sólo en erupciones de magnitud grande ($IEV > 5$), es decir sólo en caso de erupción de excepcional magnitud.

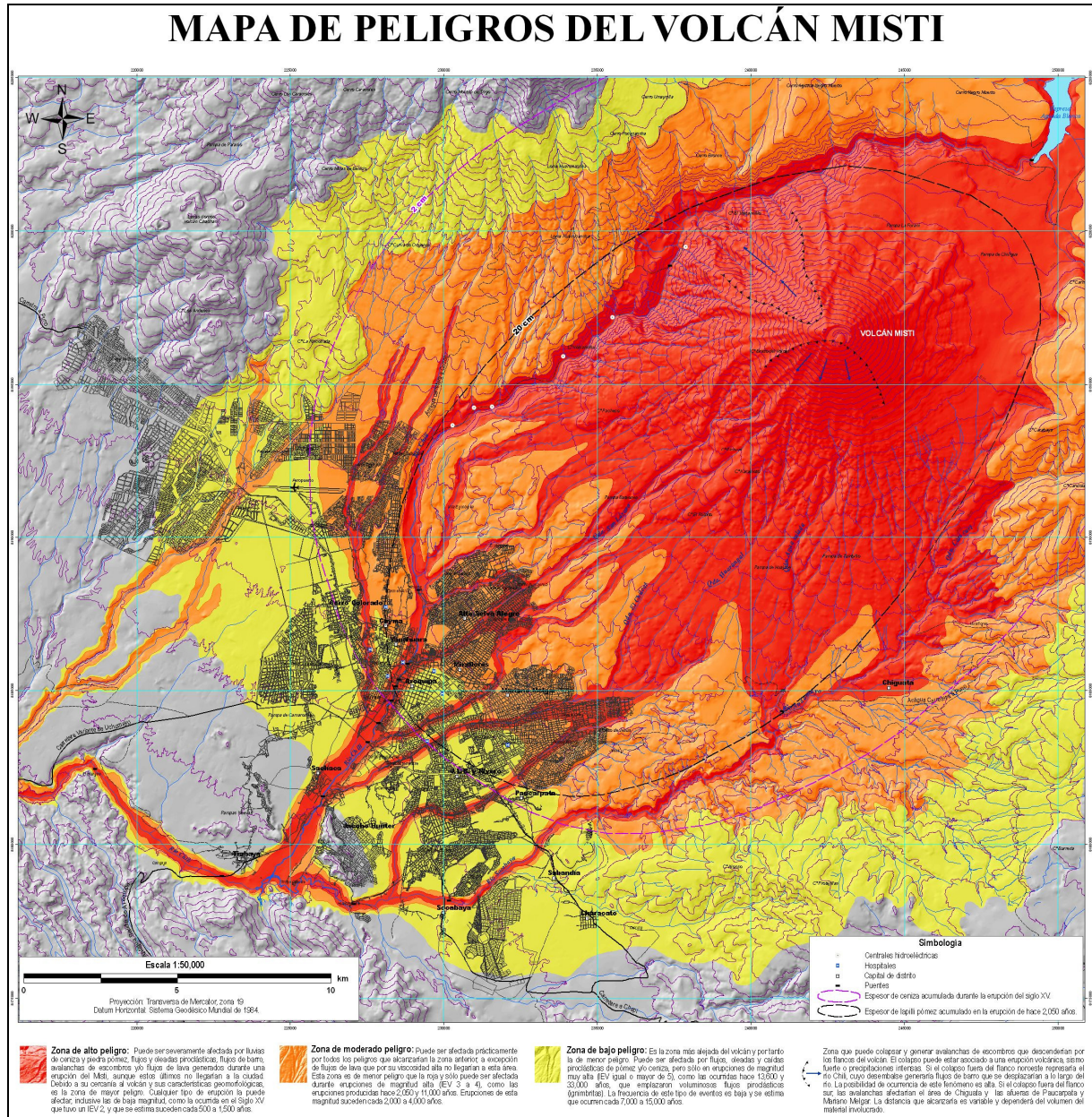


Fig. 7. Mapa de Peligros del volcán Misti (Mariño et al., 2006).

CONCLUSIONES

- El Misti consiste de un estrato-volcán antiguo "Misti 1" (833 – 112 ka), sobre el cual se haya asentado un cono compuesto que ha evolucionado en tres etapas: "Misti 2", "Misti 3" y "Misti 4" (<112 ka). Durante su historia eruptiva a presentado diversos tipo de dinamismo eruptivo. Además se reconocen dos tipos de depósitos de avalancha de escombros que indican fenómenos de destabilización del volcán; el más reciente tuvo lugar entre 70 y 50 ka.

- En áreas aledañas al volcán Misti se distinguen al menos diez depósitos delgados de caída de lapilli pómez y cenizas grises emplazados los últimos 11,000 años ("Misti4"). Estos depósitos miden entre 8 a 35 cm de espesor, y alcanzan distancias menores a 30 km. Estos depósitos en su mayoría fueron emitidos durante erupciones de tipo explosivas fuertes a leves: plinianas, sub-plinianas, freatomagmáticas y vulcanianas.
- La última erupción de gran magnitud (pliniana) se registro hace 2000 años. Esta erupción generó depósitos de caídas de tefras, flujos piroclásticos y lahares. La dispersión de la caída de tefras fue hacia el SO, encontrándose actualmente en inmediaciones del casco urbano de Arequipa (~17 km al SO del volcán) donde mide 10 cm de espesor. Sin embargo, los flujos piroclásticos y lahares predominan en el sector Sur y SE (Quebradas San Lazaro, Huarangueros, Agua Salada), y NO del volcán (cañon del río Chili).
- La última erupción leve de tipo vulcaniana del volcán Misti fue registrada en el siglo XV, la cual dejo una capa delgada de ceniza fina de color gris que alcanza ~1 cm de espesor en la ciudad de Arequipa. La dirección predominante que siguieron las cenizas al ocurrir la erupción del Siglo XV fue hacia el SO y Oeste, donde actualmente se emplaza gran parte de la ciudad de Arequipa.
- Durante los últimos años algunos distritos como Alto Selva Alegre, Mariano Melgar, Miraflores han crecido hacia zonas cercanas al volcán Misti. Más aún en estos distritos, muchas viviendas fueron construidas dentro de cauces de quebradas que drenan del volcán Misti. Aumentado así el riesgo de ser afectados por productos como flujos de barro (lahares) generados aún sin actividad del Misti.
- En caso de una eventual reactivación del Misti, puede producirse una erupción moderada a leve como se han venido produciendo los últimos 1000 años o puede producirse una erupción muy explosiva como la de hace 2000 años. En caso de una erupción leve, los principales peligros volcánicos que pueden afectar la ciudad de Arequipa son las caídas de cenizas y los lahares. En caso de erupciones importantes los peligros serían debidos también a flujos piroclásticos, avalanchas de escombros.
- En caso de una erupción importante o sismo fuerte puede producirse el colapso o derrumbe del flanco Noroeste del volcán Misti, cuyos depósitos o avalanchas de escombros represarían el río Chili y luego se generaría flujos de lodo. Este proceso afectaría las zonas pobladas y obras de infraestructura asentadas en ambas márgenes del río Chili.
- Si la tendencia de crecimiento de los últimos 50 años de la ciudad de Arequipa se mantiene en la actualidad, en pocos años existirán extensas áreas pobladas, asentadas en zonas de alto riesgo. En dichas condiciones, el reordenamiento territorial y el manejo de crisis volcánicas futuras se tornará difícil y la posibilidad de ocurrencia de un desastre se incrementará enormemente.

REFERENCIAS

- Chávez Chávez J.A., 1992. *La erupción del volcán Misti, pasado, presente, futuro*. Arequipa, Impresiones Zenit, 156 p.
- Cas R. and Wright J., 1987. *Volcanic Successions: Modern and Ancient*, Unwim Hyman, London, p. 487.
- Cobeñas, G. 2009. *Etude des produits de l'éruption plinienne du Misti, Pérou (ca. 2050 ans B.P.)*. Mémoire de Master 2 Recherche. Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, 49 pp.
- Delaite G., Thouret J.-C., van Westen C., Labazuy Ph., Souriot Th., Stinton A., Sheridan M., 2005. *Hazard Assessment at El Misti volcano, Peru, based on GIS and simulations, with emphasis on lahars*. *Zeit. für Geomor., Suppl.-Bd.* 140, 209-231.
- Legros, F., 2001. *Tephra stratigraphy of Misti volcano, Peru*. *Journal of South American Earth Science* 14, 15–29.
- Paquereau-Lebti, P., Thouret J.-C., Wörner G., Fornari M., 2006. *Neogene and Quaternary ignimbrites in the area of Arequipa, southern Peru: stratigraphical and petrological correlations*. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 154, 251–275.
- Mariño, J., Rivera, M., Cacya, L., Thouret, J.C., Macedo, L., Salas, G., Tilling, R.I., Sheridan, M., Siebe, C., Zuñiga, S., 2007. *Mapa de Peligros del Volcán Misti: INGEMMET, Lima, Perú*.
- Rivera, M., 2010. *Genèse et évolution des magmas andésitiques à rhyodacitiques récents des volcans Misti et Ubinas (Sud du Pérou)*. Tesis PhD. Université Blaise Pascal, Clermont-Fd (Francia), 408 p.
- Simkin S. and Siebert L., 1994. *Volcanoes of the world (2nd edition)*. Washington D.C., Smithsonian Institution, 349 p.
- Suni J., 1999 y Navarro P., 2000. *Estudio geológico y vulcanológico del volcán Misti y sus alrededores*. Tesis de grado, UNSA, Arequipa, 179 p.
- Thouret J.-C., Finizola A., Fornari M., Legeley-“Padovani A., Suni J., Frechen M., 2001. *Geology of El Misti volcano near the city of Arequipa, Peru*. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 113, 12, 1593-1610.