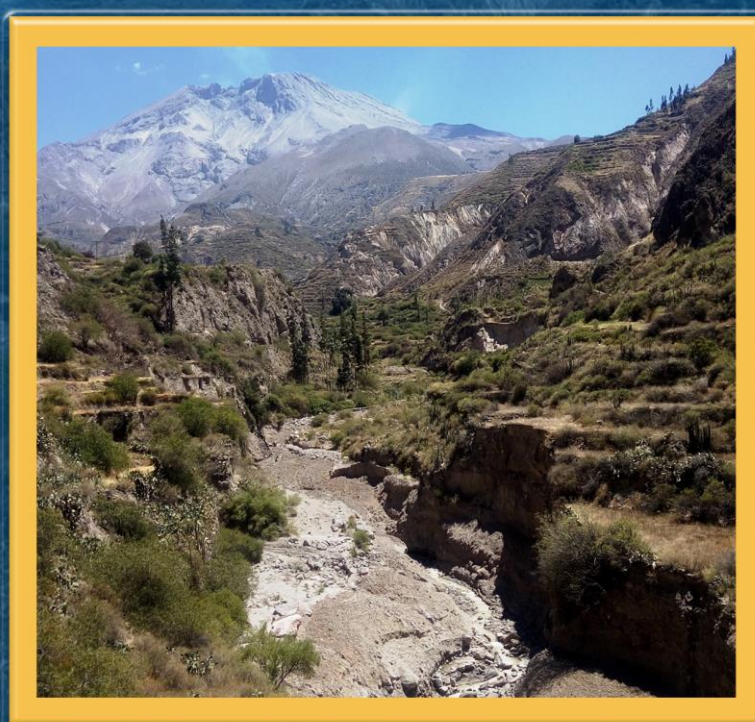


Informe Técnico N° A6745

LAHARES EMPLAZADOS EN EL VALLE DE UBINAS EN FEBRERO DEL 2016: GEOLOGÍA, IMPACTO, MODELAMIENTO Y EVALUACIÓN DE PELIGROS

Región Moquegua



POR:

JERSY MARIÑO
DAVID VALDIVIA
YHON SONCCO
RAFAEL MIRANDA
ROGER MACHACCA

ENERO
2017

LAHARES EMPLAZADOS EN EL VALLE DE UBINAS EN FEBRERO DEL 2016: GEOLOGÍA, IMPACTO, MODELAMIENTO Y EVALUACIÓN DE PELIGROS

CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	UBICACIÓN.....	1
III.	OBJETIVOS.....	1
IV.	ORIGEN DE LOS LAHARES	3
V.	CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LAHARES	4
5.1.	DISTRIBUCIÓN DE LOS DEPÓSITOS	4
5.2.	ESTRATIGRAFÍA Y GRANULOMETRÍA.....	7
VI.	EVALUACIÓN DE DAÑOS.....	10
6.1.	DAÑOS GENERADOS POR EL LAHAR DEL RÍO PARA EL 12 DE FEBRERO.....	13
6.2.	DAÑOS GENERADOS POR EL LAHAR DEL RÍO VOLCANMAYO-UBINAS EL 12 DE FEBRERO.....	13
6.3.	DAÑOS GENERADOS POR EL LAHAR DEL RÍO ANASCAPA	14
VII.	MODELAMIENTO DE LAHARES	15
VIII.	DISCUSIÓN SOBRE LA ZONIFICACIÓN DE PELIGROS POR LAHARES	16
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	17
	REFERENCIAS.....	19

I. INTRODUCCIÓN

El 01 de setiembre de 2013, el volcán Ubinas inició un nuevo ciclo de actividad eruptiva, alcanzando su mayor nivel de actividad entre el 12 y 23 de abril del 2014 (Fig. 1A, Mariño *et al.*, 2014). En este periodo se produjeron alrededor de 46 explosiones, con emisiones importantes de ceniza, en columnas eruptivas de hasta 5 km sobre el cráter que produjeron caídas de ceniza a más de 25 km de distancia del cráter. A partir de mayo de 2014 la actividad eruptiva del volcán Ubinas disminuyó paulatinamente, manteniéndose en un nivel bajo, incluso hasta el año 2016. El volumen mínimo de ceniza emitido por el volcán Ubinas hasta agosto 2014, se estimó en aproximadamente 2'000,000 m³ (Mariño, et al., 2014). Debido al incremento de la actividad eruptiva, las autoridades decretaron la alerta de color “naranja”, e implementaron la evacuación de alrededor de 230 pobladores en abril del 2014 (Fig. 1B), en las localidades de Querapi y Tonohaya (Moquegua), Santa Rosa de Para y San Carlos de Titi-Cancosani (Arequipa).

Durante el mes de febrero de 2016, las autoridades y pobladores del valle de Ubinas reportaron el emplazamiento de lahares (flujos de lodo y/o detritos) en los ríos Volcanmayo, Para y Anascapa. Estos lahares afectaron terrenos de cultivo, vías de acceso y canales de irrigación. Los lahares se originaron luego de intensas precipitaciones registradas entre enero y febrero del 2016, que produjeron la remoción de la ceniza depositada por el volcán Ubinas durante los años 2014 y 2015 en las laderas del volcán, principalmente.

En el presente trabajo se presentan los resultados del estudio geológico de lahares emplazados entre el 11 y 22 de febrero del 2016, que involucran cartografiado geológico a nivel de detalle (escala 1/2,000), levantamiento de columnas estratigráficas, georreferenciación de 37 puntos de control GPS, elaboración del Modelo de Elevación Digital de alta resolución (3 m) y elaboración de un mapa topográfico a escala 1/2000. También se presenta una breve evaluación de daños y evaluación de peligros. El trabajo fue efectuado por un equipo multidisciplinario de profesionales del Observatorio Vulcanológico del INGEMMET (OVI).

II. UBICACIÓN

El volcán Ubinas se localiza en la región Moquegua, aproximadamente a 95 y 70 km de distancia de las ciudades de Moquegua y Arequipa respectivamente. Dentro del área de influencia directa del volcán, a menos de 13 km de distancia, se encuentran cerca de 10 centros poblados (Fig. 2).

La zona de estudio comprendió los cauces de los ríos Volcanmayo, Ubinas, Para y Anascapa, hasta su desembocadura al río Tambo (Fig. 2). Estos ríos y sus afluentes se originan en los flancos sur y este del volcán Ubinas, y drenan en dirección sur y sureste. Los estudios se realizaron entre los 2600 y 3050 msnm, que es la zona principal de acumulación de los depósitos de lahar.

III. OBJETIVOS

Conocer las características geológicas, volumen y área afectada por los lahares emplazados durante el mes de febrero del 2016 en los ríos Ubinas-Volcanmayo, Para y Anascapa.

Contribuir en la evaluación y zonificación de peligros por lahares, a partir de la comparación del área de afectación de estos lahares, con la zonificación de peligros por lahares realizado anteriormente en el volcán Ubinas, a fin de conocer las coincidencias o diferencias que pudieran existir respecto al área de afectación.

Para ello se realizó el cartografiado geológico a nivel de detalle (Escala 1/2,000), estudios de sus características estratigráficas y granulométricas, el modelamiento; así como una breve evaluación de daños originados por el emplazamiento de los lahares, principalmente en áreas de cultivo que se ubican en las márgenes de los ríos Ubinas-Volcanmayo, Para y Anascapa.



Figura 1. A: Explosión del volcán Ubinas del 19/04/14 y columna de 3 km de alto. **B:** Evacuación de pobladores de Querapi, ubicados a 4 km al sur del cráter del volcán Ubinas, implementado por las autoridades el 17/04/2014.

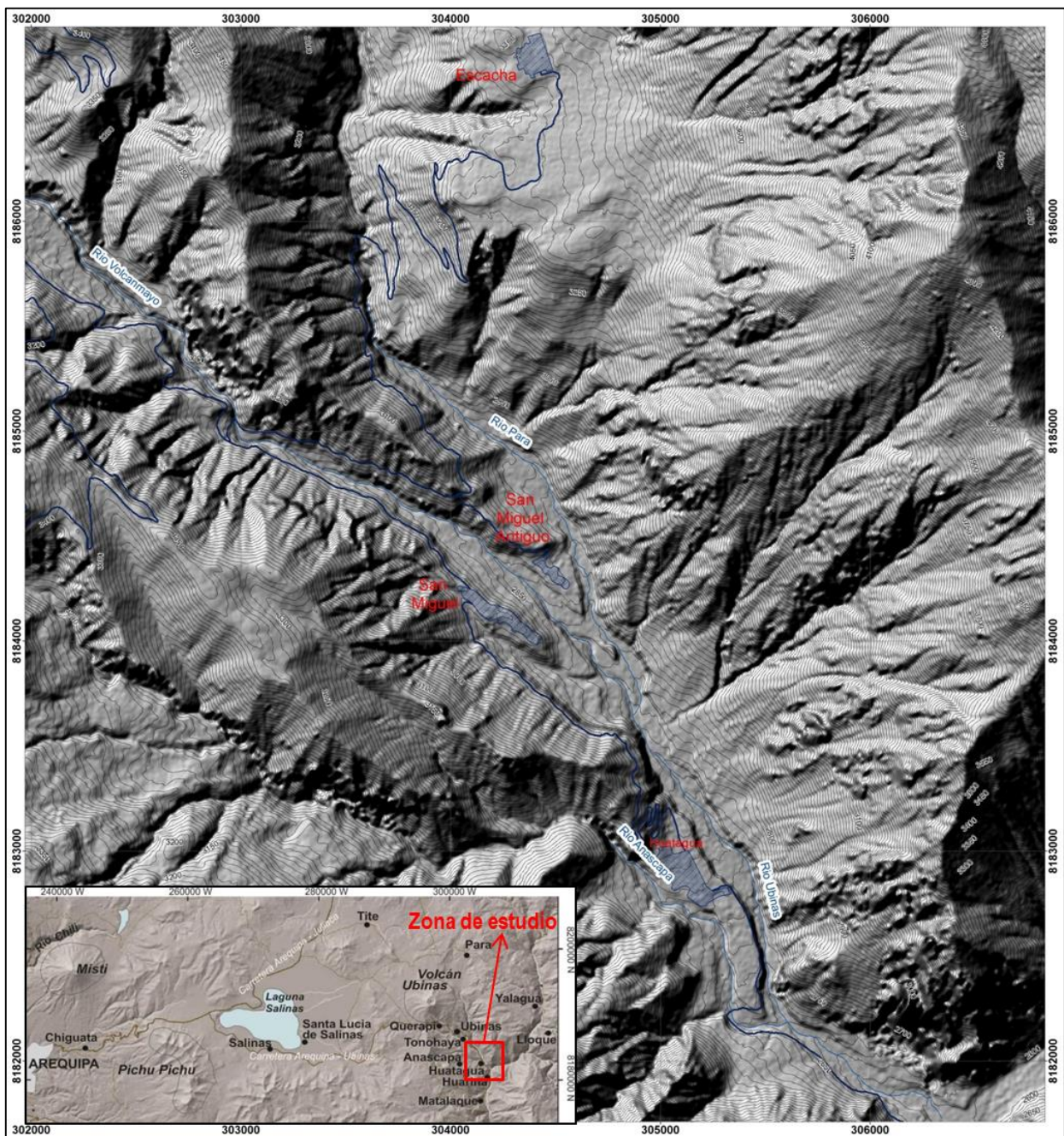


Figura 2. Mapa de ubicación de la zona de trabajo, donde se encuentran los ríos Volcanmayo-Ubinas, Para y Anascapa. En el cuadro inferior izquierdo se presenta la Ubicación del volcán Ubinas y pueblos cercanos.

IV. ORIGEN DE LOS LAHARES

Los lahares o flujos de lodo y/o detritos, son mezclas de partículas volcánicas de tamaños diversos movilizadas por el agua y que fluyen rápidamente (20-60 km/h) por valles y quebradas originados en los volcanes (Tilling, 1993). Se generan en periodos de erupción o de tranquilidad volcánica (Tilling, 1993). El agua puede provenir de fuertes lluvias, fusión de hielo o nieve, ríos, o lagunas cratéricas. Los lahares viajan a lo largo de quebradas o ríos y eventualmente pueden salir de estos cauces en los abanicos de inundación, como ocurrió con los lahares que destruyeron la ciudad de Armero en Colombia, luego de la erupción del volcán Nevado del Ruiz en 1985 (Naranjo, *et al.*, 1986; Thouret *et al.*, 1990). El área afectada depende del volumen de agua y de materiales sueltos disponibles en el cauce de las quebradas o valles, así como de la pendiente y topografía del terreno. Normalmente destruyen todo a su paso (Tilling, 1993).

Los lahares emplazados durante el mes de febrero del 2016 en los ríos del valle de Ubinas, están asociados a dos factores: a) acumulación de ceniza en áreas aledañas al volcán Ubinas durante los años 2014 y 2015; b) intensas precipitaciones pluviales, que ocurrieron en enero y febrero del 2016.

En la figura 3 se muestra el mapa de isópacas de los depósitos de ceniza acumulada entre setiembre 2013 y agosto 2014. La capa de ceniza de 0.5 mm de espesor pasa a una distancia máxima de 23 km del cráter y la de 7 mm de espesor pasa a 5 km (Mariño *et al.*, 2014). Se estimó que el volumen mínimo de ceniza emitida por el volcán Ubinas entre setiembre 2013 y agosto 2014 fue aproximadamente 2'000,000 m³ (Mariño, *et al.*, 2014). Estos depósitos de ceniza acumulada y la depositada en el año 2015 fueron erosionados durante las fuertes precipitaciones ocurridas en enero y febrero del 2016, luego del cual se originaron los lahares en mención.

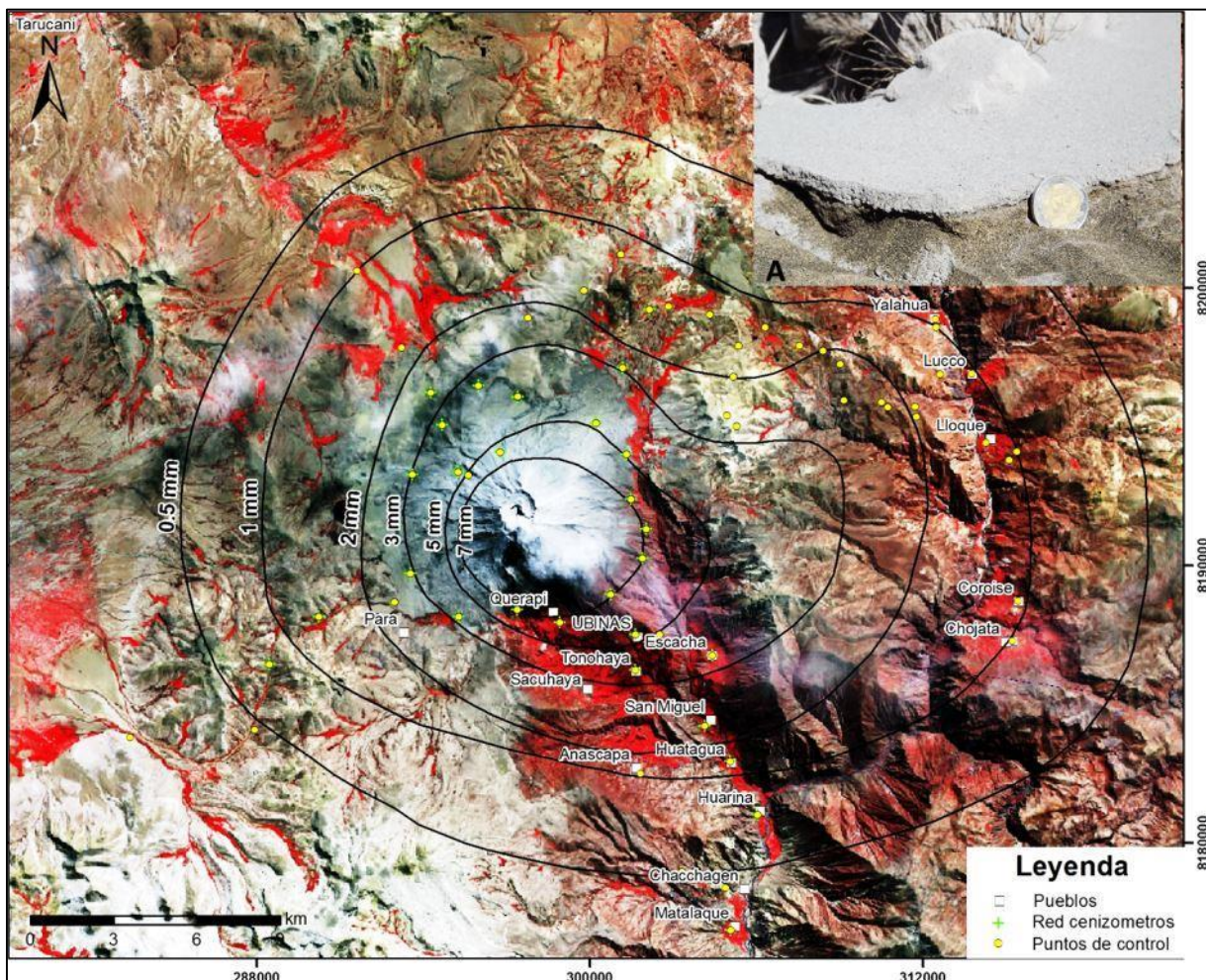


Figura 3. Isópacas de ceniza emitida por el volcán Ubinas entre setiembre 2013 y agosto 2014 (tomado de Mariño, *et al.*, 2014). A: en recuadro superior, depósito de caída de ceniza de aproximadamente 6 mm de espesor, acumulado entre setiembre 2013 y junio 2014, a 5 km al SE del cráter del volcán Ubinas.

V. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LAHARES

Los trabajos geológicos de campo se realizaron entre el 20 y 23 de marzo, y del 25 al 30 de setiembre del 2016. Consistieron en el cartografiado geológico, levantamiento de columnas estratigráficas, descripción de sus características granulométricas y recolección de muestras. También se efectuaron entrevistas a los pobladores y se recopiló material fotográfico y fílmico.

Los pobladores de la zona reportaron que los lahares se emplazaron entre el 07 y 28 de febrero 2016, principalmente en los ríos Volcanmayo-Ubinas, Para y Anascapa. En el río Volcanmayo-Ubinas los lahares más importantes se emplazaron los días 11 (12:00 a 13:00 horas) y 22 (16:00 a 16:30 horas) de febrero (Figs. 4 y 5), este último es considerado el más importante, ya que posee mayor volumen y tuvo un área de afectación mayor.

En el río Para el lahar más grande se emplazó el día 12 de febrero, fue el más destructivo y voluminoso de todos los lahares ocurridos en febrero (Figs. 4 y 5). También se reportó la ocurrencia de lahares en el río Anascapa, no se tiene su fecha de emplazamiento, pero fue de un volumen pequeño.



Figura 4. Lahares emplazados en los ríos Para y Ubinas-Volcanmayo los días 11, 12 y 22 de febrero. Vista del sector de San Miguel, en la zona de confluencia de ambos ríos.

5.1. DISTRIBUCIÓN DE LOS DEPÓSITOS

El cartografiado se realizó a escala 1/2000, a lo largo de los ríos Volcanmayo-Ubinas, Para y Anascapa (Fig. 5).

Río Volcánmayo-Ubinas

En el río Volcánmayo-Ubinas, tramo Tonohaya hasta la confluencia con el río Tambo, se pudieron identificar depósitos de los lahares emplazados los días 11 y 22 de febrero, también de forma muy restringida los depósitos del lahar de enero del 2007 (Fig. 5). Los depósitos del lahar emplazados el 11 de febrero

afloran en pocos lugares, ya que fue cubierto casi en su totalidad por el lahar del 22 de febrero, por tal razón no se puede realizar una estimación de su volumen y extensión. Los depósitos del lahar del 22 de febrero afloran a lo largo de 6.4 km, desde el sector del pueblo de Tonohaya hasta la confluencia con el río Tambo. Estos depósitos tienen un ancho promedio de 30 a 70 m y espesores de 0.2 a 0.8 m, que fueron medidos en campo, y cubren un área aproximada de 121,565 m² (Fig. 5). Considerando espesores promedio de 0.2, 0.3, 0.4 y 0.5 m, se obtuvieron volúmenes promedio de 24,313, 36,470, 48,626 y 60,783 m³, respectivamente (Tabla 1).

Río Para

En el río Para se pudo cartografiar el lahar emplazado el 12 de febrero. Éste aflora a lo largo de casi 4.8 km, desde cerca del pueblo de Escacha, hasta la confluencia con el río Tambo (Fig. 5). Estos depósitos tienen un ancho promedio de 40 a 100 m en la parte alta, antes de la confluencia con el río Ubinas, y entre 60 y 150 m río abajo hasta la confluencia con el río Tambo. También se midieron en campo espesores entre 0.2 y 1.5 m. Este lahar cubre un área aproximada de 324,463 m². Considerando espesores promedio de 0.2, 0.3, 0.4 y 0.5 m, se obtuvieron volúmenes promedio de 64,893, 97,339, 129,785 y 162,231 m³, respectivamente (Tabla 1).

Río Anascapa

En el río Anascapa se emplazó un lahar en febrero 2016 (no se tiene la fecha exacta), el cual aflora a lo largo de casi 1.40 km, aproximadamente desde el pueblo de Huatagua hasta la confluencia con el río Ubinas (Fig. 5). Estos depósitos poseen un ancho promedio de 10 a 30 m, y espesores medidos en campo entre 0.2 y 0.6 m. Cubren un área aproximada de 17,042 m². Considerando espesores promedio de 0.2, 0.3, 0.4 y 0.5 m, se obtuvieron volúmenes de 3,408, 5,113, 6,817 y 8,521 m³, respectivamente (Tabla 1).

Río/Fecha de ocurrencia del lahar	Area (m ²)	Espesor promedio (m)	Volumen (m ³)
Río Anascapa, Febrero 2016	17042.25	0.20	3408.45
Río Para, 12 de Febrero 2016	324463.00	0.20	64892.60
Río Volcanmayo, 22 de Febrero 2016	121565.32	0.20	24313.06
Río/Fecha de ocurrencia del lahar	Area (m ²)	Espesor promedio (m)	Volumen (m ³)
Río Anascapa, Febrero 2016	17042.25	0.30	5112.68
Río Para, 12 de Febrero 2016	324463.00	0.30	97338.90
Río Volcanmayo, 22 de Febrero 2016	121565.32	0.30	36469.60
Río/Fecha de ocurrencia del lahar	Area (m ²)	Espesor promedio (m)	Volumen (m ³)
Río Anascapa, Febrero 2016	17042.25	0.40	6816.90
Río Para, 12 de Febrero 2016	324463.00	0.40	129785.20
Río Volcanmayo, 22 de Febrero 2016	121565.32	0.40	48626.13
Río/Fecha de ocurrencia del lahar	Area (m ²)	Espesor promedio (m)	Volumen (m ³)
Río Anascapa, Febrero 2016	17042.25	0.50	8521.13
Río Para, 12 de Febrero 2016	324463.00	0.50	162231.50
Río Volcanmayo, 22 de Febrero 2016	121565.32	0.50	60782.66

Tabla 1. Datos de superficie cubierta así como una estimación de volumen para espesores promedio de 0.2, 0.3, 0.4 y 0.5 mm. por los lahares de febrero del 2016.

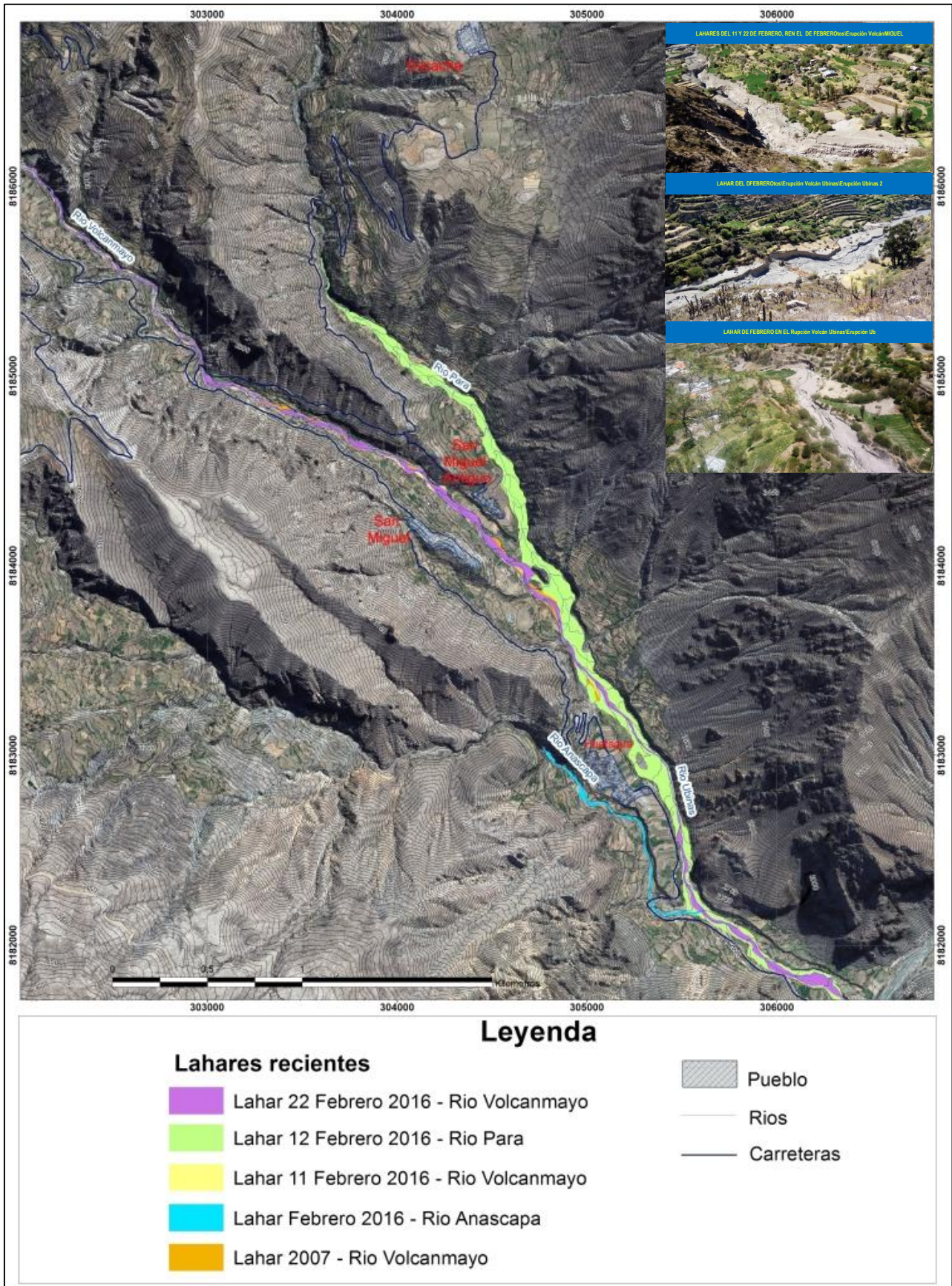


Figura 5. Distribución de los depósitos de lahar emplazados en los ríos del valle de Ubinas en febrero del 2016.

5.2. ESTRATIGRAFÍA Y GRANULOMETRÍA

Se realizó el estudio estratigráfico y granulométrico de los depósitos de los lahares emplazados en febrero 2016 en los ríos Volcanmayo-Ubinas y Para. A continuación, se presenta una descripción de sus características.

a) Lahares en el río Volcanmayo-Ubinas

En el río Volcanmayo-Ubinas se estudiaron los lahares que se emplazaron los días 11 y 22 de febrero (Figs. 5 a 7).

Lahar del 11 de febrero:

El depósito posee espesores que van de 0.2 a 1 m y es rico en bloques. Está conformado por 60 a 70 % de matriz y 30 a 40% de bloques (Figs. 6 y 10). Los bloques más abundantes poseen entre 0.1 a 1 m de diámetro y representan más del >80% de bloques, mientras que los bloques de 1 a 2.5 m de diámetro representan menos del 20%.

El depósito es masivo, está ligeramente compactado y presenta una superficie lisa. La matriz es limo-arcillosa. Los bloques poseen litología heterogénea, son lavas, bloques de domo, pómez y fragmentos hidrotermalizados.

Lahar del 22 de febrero:

El depósito posee espesores que van de 0.2 a 0.8 m y es rico en matriz. Está conformado por 70 a 80 % de matriz y 20 a 30% de bloques, aproximadamente (Figs. 6, 7 y 10). Los bloques más abundantes poseen menos de 0.1 m de diámetro y representan más del >90% de bloques, mientras que los bloques de 0.1 a 0.4 m de diámetro representan menos del 10%.

El depósito es masivo, está ligeramente compactado y presenta una superficie rugosa. La matriz es limo-arcillosa. Los bloques poseen litología heterogénea, pero la mayoría son lavas, bloques de domo y fragmentos hidrotermalizados.

b) Lahar del río Para del 12 de febrero

En el río Para solo se pudo identificar el depósito del lahar emplazado el día 12 de febrero (Figs. 5 y 8). El depósito posee espesores que van de 0.4 a 1.5 m y presenta algunos bloques de dimensiones métricas (Figs. 9 y 10). Está conformado por 60 a 70 % de matriz y 30 a 40% de bloques. Los bloques más abundantes poseen entre 1 y 30 cm de diámetro y representan más del >50% de bloques. Los bloques más grandes miden de 2 a 3.5 m de diámetro, pero representan menos del 10%.

El depósito es masivo, está ligeramente compactado y presenta una superficie ligeramente lisa. La matriz es limo-arcillosa, rica en vesículas de diámetro menores al milímetro. Los bloques poseen litología heterogénea, conformado por lavas andesíticas a dacíticas, bloques de domo, pómez, fragmentos hidrotermalizados y en menor porcentaje se encuentran fragmentos de rocas del sustrato sedimentario, principalmente cuarcita, arenisca y caliza.



Figura 6. Depósitos de lahar emplazados los días 11 y 22 de febrero en el río Volcanmayo-Ubinas. El lahar del 11 de febrero posee una superficie lisa, mientras que el lahar del 22 de febrero tiene una superficie rugosa. **A:** Zona Tonohaya; **B:** sector San Miguel.

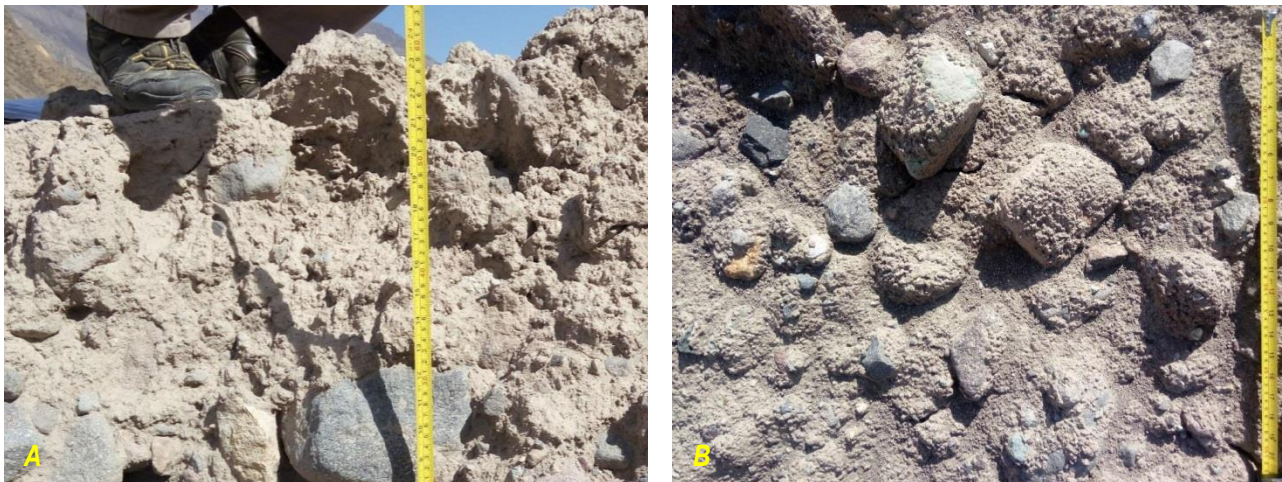


Figura 7. Detalles en los depósitos de lahar emplazado el día 22 de febrero en el río Volcanmayo-Ubinas, cerca de Tonohaya. **A:** Sección vertical, donde se observa que el depósito posee entre 30 y 40 cm de espesor; **B:** Vista en la superficie del depósito, se observa que está conformado por 60 a 70% de matriz y 30 a 40% de bloques, estos últimos son centimétricos a decimétricos y algunos poseen hasta cerca de 20 cm de diámetro.

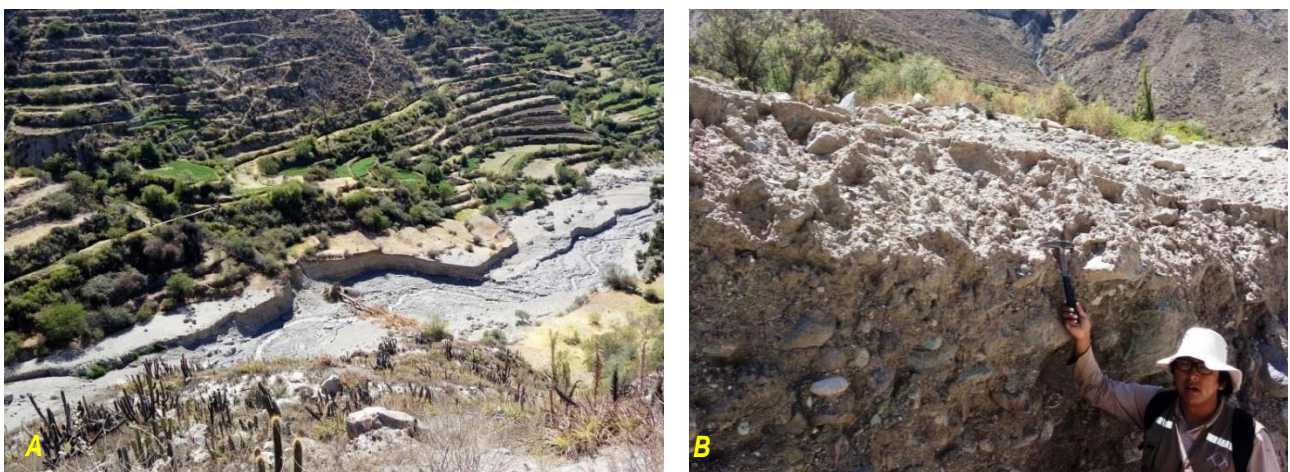


Figura 8. **A:** Vista panorámica en dirección sureste del lahar emplazado el 12 de febrero en el río Para; **B:** Vista en detalle del depósito del lahar del río Para, posee alrededor de 0.5 m de espesor.

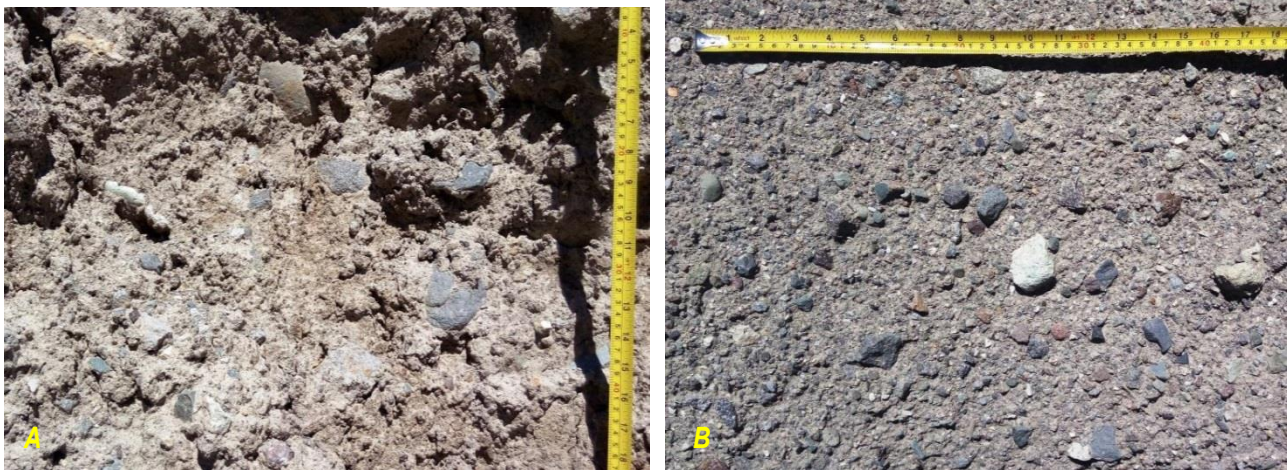


Figura 9. Fotografías detalladas del depósito de lahar del río Para del día 12 de febrero. A: Vista de la sección vertical del depósito, presenta alrededor de 70% de matriz y 30% de bloques; B: Vista en superficie del depósito donde se observa que los bloques presentan litología heterogénea y dimensiones milimétricas a centimétricas.

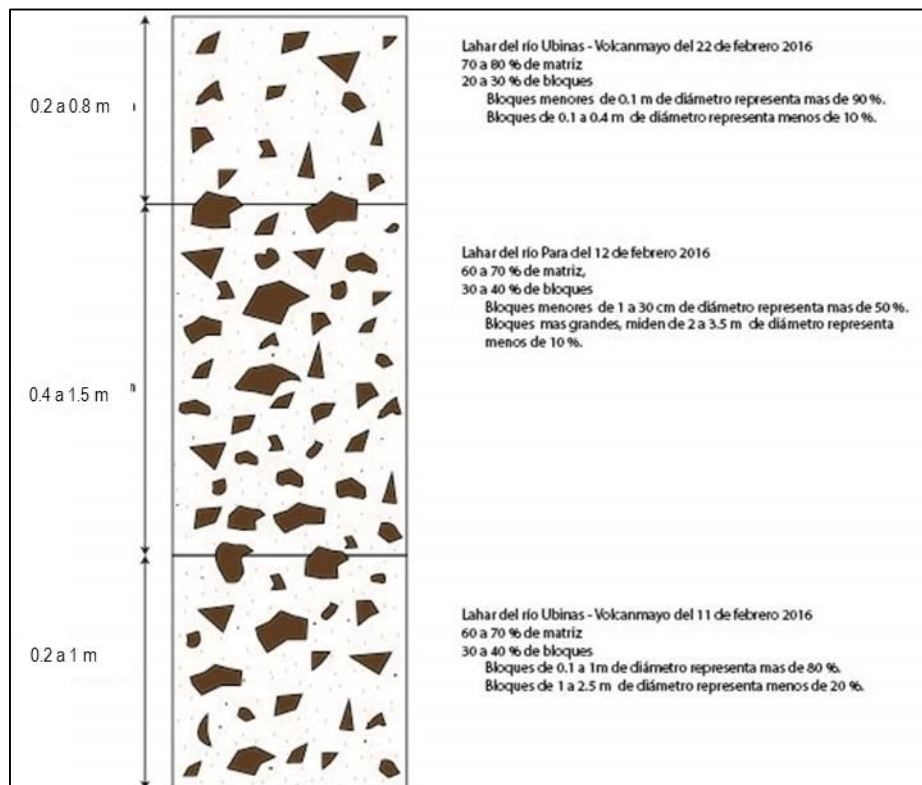


Figura 10. Columna estratigráfica generalizada de los tres depósitos de lahares emplazados en los ríos Volcanmayo-Ubinas y Para, en febrero del 2016.

VI. EVALUACIÓN DE DAÑOS

Se efectuó una breve evaluación de daños generados por los lahares emplazados en el río Para el 12 de febrero, el río Volcanmayo-Ubinas el 22 de febrero y el río Anascapa. A continuación sigue una descripción, empezando por el que generó más daños.

6.1. Daños generados por el lahar del río Para el 12 de febrero de 2016

Este lahar fue el que afectó una mayor área, llegando a cubrir una superficie de 270,000 m² aproximadamente. También fue el más destructivo de todos, los daños más importantes que generó fueron:

- a) Destrucción de pozo séptico y piscigranja en Huatagua.
- b) Destrucción del puente peatonal *Ánima* en el sector Huarina (Fig. 11A).
- c) Destrucción de canales y bocatomas de agua, en los sectores San Miguel, Huatagua y Huarina (Fig. 11B).

Este lahar llegó hasta la confluencia del río Tambo y debido a su considerable volumen originó el represamiento de dicho río, luego del cual se formó una laguna de cerca de 1.5 km de largo (Fig. 12), que llegó hasta un importante puente peatonal, ubicado aproximadamente a 1.6 km aguas arriba del río Tambo. El dique natural se rompió el 23 de febrero, ocasionando destrucción de áreas de cultivo en ambas márgenes del río Tambo, así como la destrucción del puente peatonal mencionado anteriormente (Fig. 13A). No se tienen datos adicionales del represamiento, ya que la inspección de campo se realizó mucho después del desembalse.

Este lahar también destruyó importantes terrenos de cultivo (Fig. 13B). Hemos realizado una estimación del área de terrenos que han sido destruidos por este lahar. Para ello utilizamos una imagen de satélite Spot, de 2.5 m de resolución del año 2010 (anterior a la ocurrencia del lahar). En dicha imagen se superpuso el mapa geológico a nivel de detalle del lahar del 12 de febrero y se pudo identificar los terrenos de cultivo que fueron destruidos (Fig. 14). Este trabajo se realizó en dos sectores, entre el puente Escacha y la confluencia con el río Volcanmayo-Ubinas, y desde esta última zona hasta la confluencia con el río Tambo, a lo largo de casi 4.8 km de distancia. Se estima que fueron destruidos alrededor de 144,000 m² de tierras de cultivo (14.4 hectáreas).



Figura 11. A: Destrucción del puente peatonal *“Ánima”*, en el sector Huarina, originado por el lahar emplazado el día 12 de febrero en el río Para; **B:** Destrucción de canales de agua en el sector Huatagua, causado por el mismo lahar.

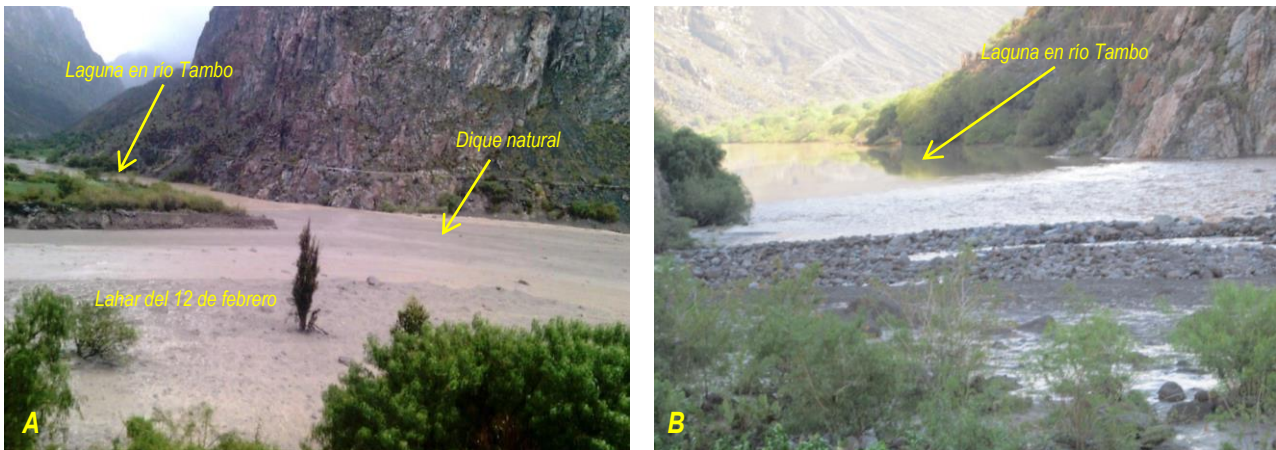


Figura 12. A: Dique natural formado en la confluencia del río Volcanmayo-Ubinas con el río Tambo, originado por el emplazamiento del lahar del día 12 de febrero en el río Para; **B:** Laguna formada río arriba del río Tambo, desde la confluencia de este con el río Volcanmayo-Ubinas, originado por el emplazamiento del lahar del 12 de febrero.



Figura 13. A: Puente peatonal de cerca de 50 m de largo destruido durante el desembalse de la laguna formada en el río Tambo el día 13 de febrero 2016; **B:** Terrenos de cultivo destruidos por el lahar del 12 de febrero, en el sector Huarina, cerca de la confluencia de los ríos Volcanmayo-Ubinas y Anascapa.



Figura 14. Imagen sobre la cual se muestra el área cubierta por el lahar emplazado el 12 de febrero en el río Para y las áreas de cultivo que han sido afectadas. Se estima que fueron destruidos alrededor de 144 mil m² de terrenos de cultivos (14.40 hectáreas).

6.2. Daños generados por el lahar del río Volcanmayo-Ubinas el 22 de febrero

Se realizó la evaluación de daños desde el sector Tonohaya hasta la confluencia con el río Para, a lo largo de 3.7 km. Este lahar cubrió una superficie de 121,565 m² aproximadamente y afectó principalmente terrenos de cultivo. No se realizó la evaluación de daños desde la confluencia con el río Para hasta el río Tambo, debido a que este tramo fue afectado por el lahar del día 12 de febrero, que tuvo un mayor volumen.

Se realizó una estimación del área de terrenos de cultivos que han sido destruidos por este lahar. Para ello utilizamos una imagen de satélite Spot, de 2.5 m de resolución, del año 2010 (anterior a la ocurrencia del lahar). En dicha imagen se superpuso el mapa geológico a nivel de detalle del lahar del 22 de febrero y se pudo identificar y estimar los terrenos de cultivo que fueron destruidos (Fig. 15). Se estima que entre Tonohaya y la confluencia con el río Para, fueron destruidos alrededor de 9,000 m² de tierras de cultivo (0.9 hectáreas).

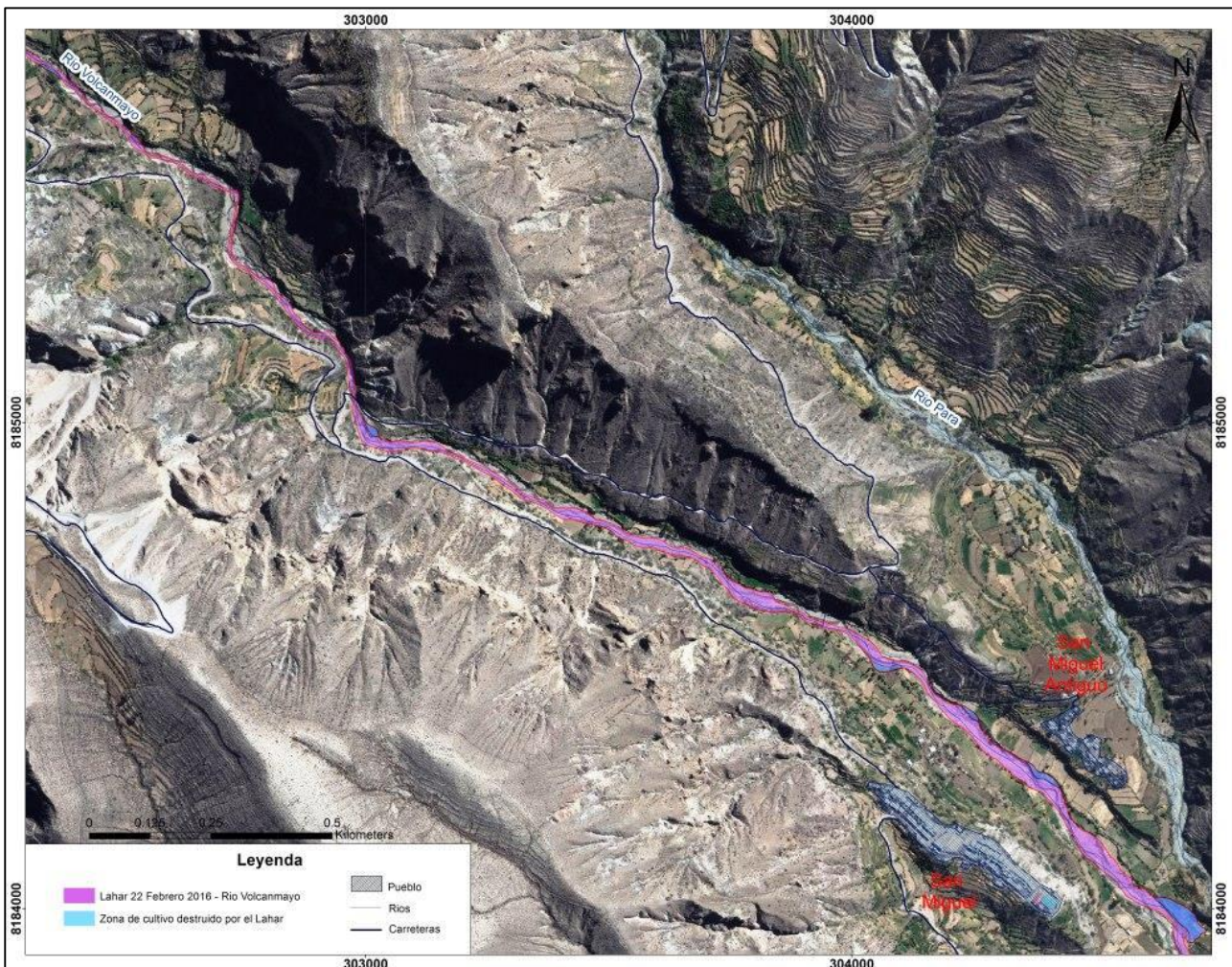


Figura 15. Imagen que muestra el área cubierto por el lahar emplazado el 22 de febrero en el río Volcanmayo-Ubinas y las áreas de cultivo que han sido afectadas. Se estima que fueron destruidos alrededor de 9,000 m² (0.90 hectáreas) de terrenos de cultivos.

6.3. Daños generados por el lahar del río Anascapa

No se tiene la fecha precisa de emplazamiento de este lahar, solo que ocurrió en el mes de febrero. Este lahar cubrió una superficie de 17 mil m² aproximadamente y afectó principalmente terrenos de cultivo. Se realizó la evaluación de daños en un pequeño tramo, desde el sector Huatagua hasta la confluencia con el río Volcanamayo-Ubinas, a lo largo de 1.4 km. No se realizó la evaluación de daños desde la confluencia con el río Ubinas-Volcanmayo hasta el río Tambo, debido a que en este tramo fue cubierto por los depósitos de los lahares de los días 12 y 22 de febrero, que tuvieron mayor volumen.

Una estimación del área de terrenos de cultivos que fueron destruidos por este lahar se realizó utilizando una imagen de satélite Spot, de 2.5 m de resolución del año 2010 (anterior a la ocurrencia del lahar). En dicha imagen se superpuso el mapa geológico a nivel de detalle del lahar del río Anascapa definiendo los terrenos de cultivo que fueron destruidos (Fig. 16). Se estima que entre Huatagua y la confluencia con el río Volcanamayo-Ubinas, fueron destruidos solo alrededor de 2,386 m² de tierras de cultivo (0.24 hectáreas).

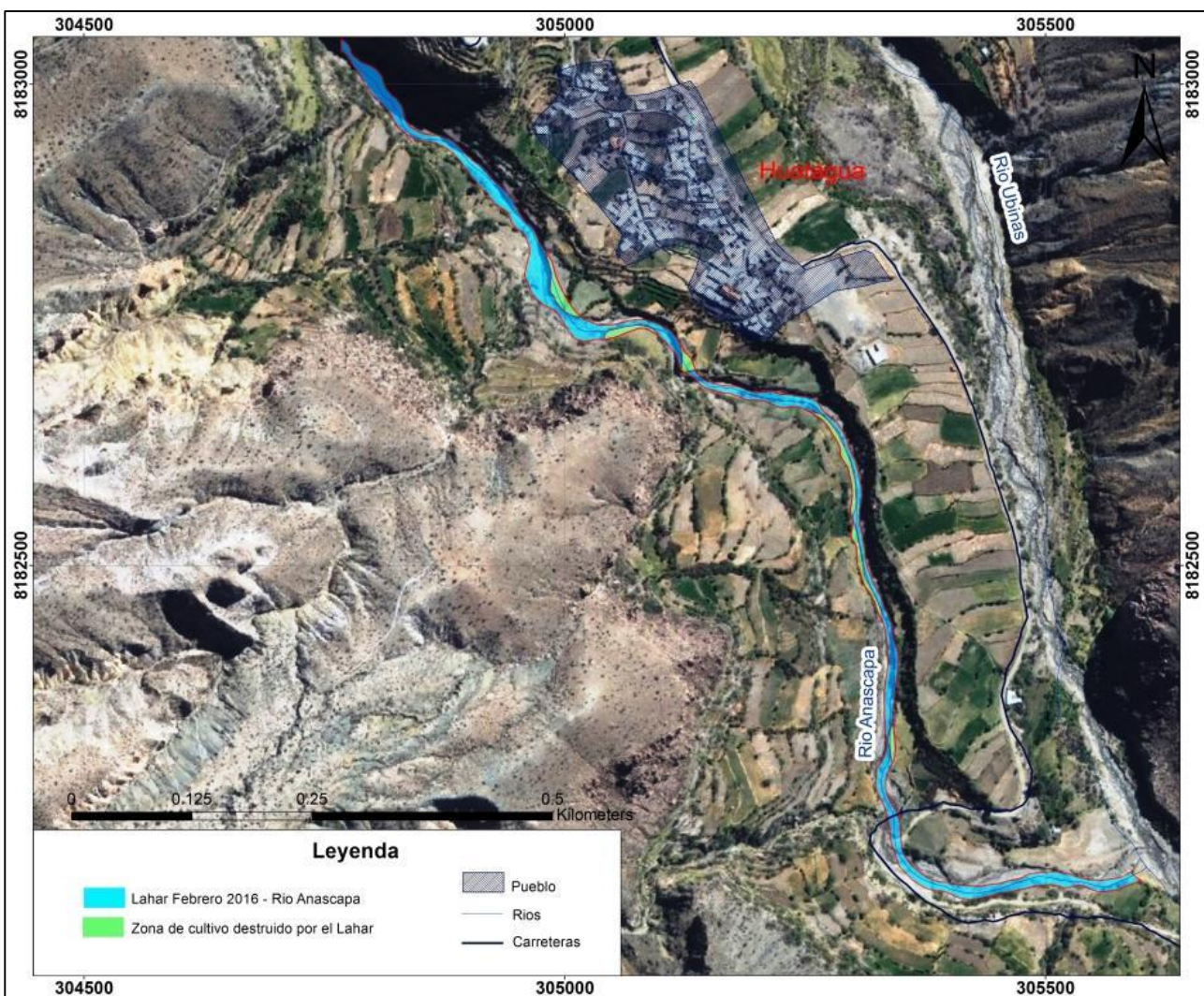


Figura 16. Imagen que muestra el lahar emplazado en el río Anascapa y las áreas de cultivo que fueron afectadas.

VII. MODELAMIENTO DE LAHARES

El modelamiento de las áreas de inundación por flujos de lodo (lahares) fue realizado utilizando el programa LAHARZ (Iverson *et al.*, 1998; Schilling, 1998). Este programa correlaciona el volumen de un evento lahárico y el área planimétrica y en sección transversal inundadas por un lahar (Fig. 17). El modelamiento se realizó en los ríos Volcanmayo-Ubinas y Para, y para ello se utilizó un DEM con resolución de 3 m del 2016.

El modelamiento se realizó en el río Volcanmayo-Ubinas. Para el modelamiento se utilizó un volumen de 42 mil m³ de agua. Se escogió este volumen ya que es el volumen promedio del estimado para los depósitos del lahar del río Volcanmayo-Ubinas del 22 de febrero, el cual fue estimado a partir del cartografiado geológico. Como se muestra en la Tabla Nro. 1, para espesores entre 0.3 y 0.4 m, se obtuvieron volúmenes entre 36 y 48 mil m³. En la figura 18, se muestra el resultado del modelamiento en color rojo, donde solo se digitalizó el alcance máximo, asimismo en dicha figura se representó el lahar del 22 de febrero en color lila. Para un volumen de 42 mil m³ de agua, el área que cubre el modelamiento es 266 mil m², mientras que el área obtenida a partir del cartografiado geológico fue de 121 mil m² aproximadamente. Por esta razón podemos concluir que el volumen del lahar del 22 de febrero tuvo un volumen menor a 42 mil m³.

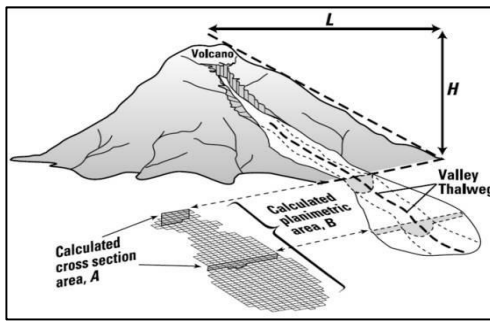


Figura 17. Relaciones entre la zona de peligro proximal alrededor de un volcán y las áreas, en sección transversal (A) y planimétrica (B), inundadas por un evento lahárico (Schilling, 1998).

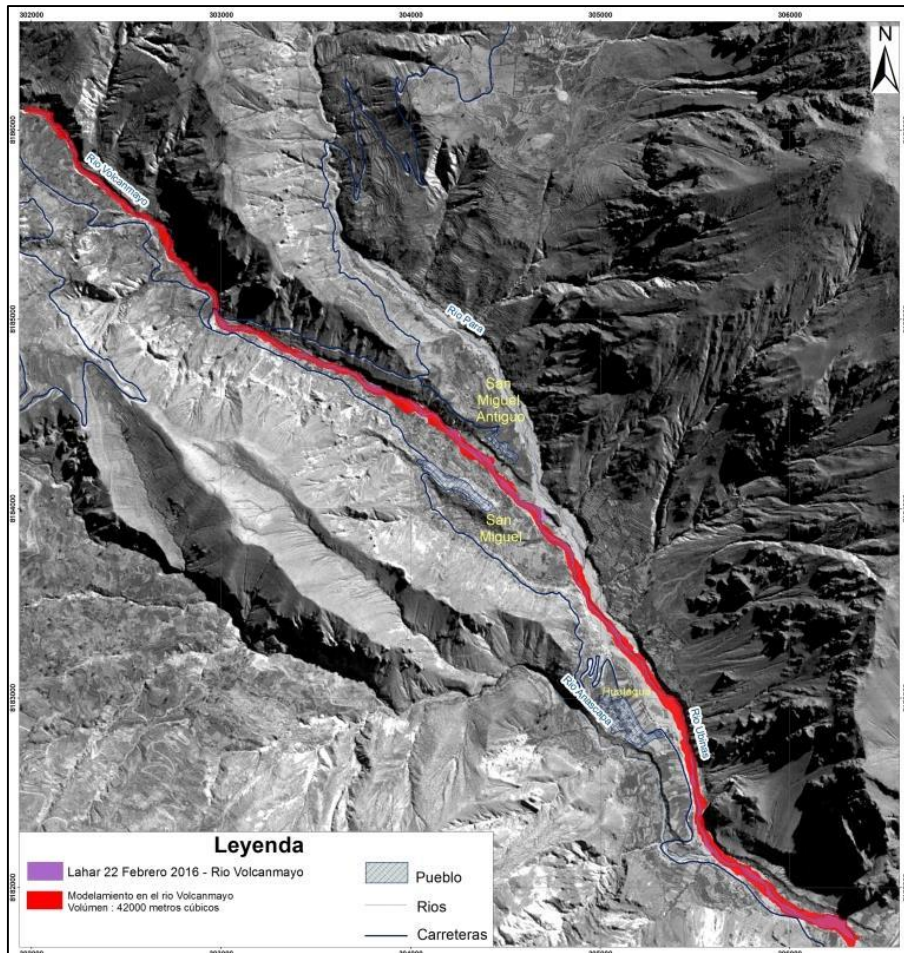


Figura 18. Modelamiento en el río Volcanmayo-Ubinas.

VIII. DISCUSIÓN SOBRE LA ZONIFICACIÓN DE PELIGROS POR LAHARES

El mapa de peligros existente elaborado para el volcán Ubinas fue publicado el año 2011 (Rivera *et al.*, 2011). En dicho mapa se estableció que la zona de alto peligro (rojo) pueden ser “severamente afectado por la ocurrencia de flujos de lodo (lahares), flujos piroclásticos, proyectiles balísticos, colapso del flanco sur y/o flujos de lava”. Cualquier tipo de erupción puede afectar dicha área, inclusive las de baja magnitud, como las ocurridas desde el año de 1550 hasta 1969 (IEV 1-3). En las zonas mediales a distales dicha zona de alto peligro sería afectada principalmente por flujos de lodo (lahares).

En el presente trabajo se ha realizado el estudio de lahares emplazados en febrero del 2016 tanto en el valle del río Volcanmayo-Ubinas y Río Para, originados por la erosión y transporte de ceniza emplazada durante la erupción del volcán Ubinas del 2014-2015. Cabe mencionar que esta erupción fue de magnitud baja a moderada, con VEI 2, similar a la mayoría de erupciones registradas en época histórica. Los lahares estudiados son similares al escenario considerado para delimitar la zona de alto peligro en el mapa de peligros en mención.

Por otro lado, se estimó que los depósitos de los dos lahares más voluminosos, del río Para del día 12 de febrero y del río Volcanmayo-Ubinas del 22 de febrero, tuvieron volúmenes promedio entre 65 a 162 mil m³ y de 24 a 60 mil m³, respectivamente (Tabla 1). También, el cartografiado geológico realizado en el río Volcanmayo-Ubinas (Fig. 5), muestra que el lahar de enero del 2007, tuvo un alcance similar a los lahares de febrero del 2016. A partir de ello podemos afirmar que durante erupciones con VEI 1 a 2, en el volcán Ubinas se pueden generar lahares con volúmenes mínimos entre 25 y 160 m³ aproximadamente.

Finalmente, se ha realizado una comparación del área afectada por los lahares de enero 2007 y febrero 2016, con el alcance de la zona de alto peligro del mapa de peligros del volcán Ubinas publicado el 2011 (Fig. 20). Se observa que toda el área afectada por los lahares está dentro de la zona de alto peligro. El lahar del río Para del 12 de febrero, ocupa casi el 50% del área de alto peligro, mientras que el lahar del 22 de febrero del río Volcanmayo-Ubinas, cubre menos del 15% del área de la zona de alto peligro. También se puede observar que la zona preferente de depositación de lahares en el río Para se da a partir del puente Escacha. De igual forma, en el río Volcanmayo-Ubinas, la zona de depositación empieza al sureste de Tonohaya.

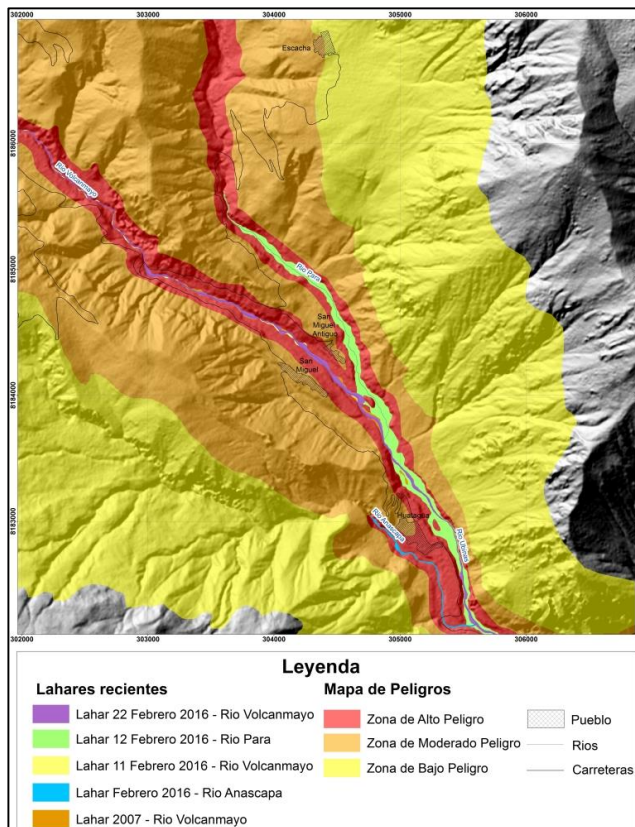


Figura 20. Mapa donde se superpone el área cubierto por los lahares emplazados en enero 2007 y febrero 2016, y el mapa de peligros del volcán Ubinas publicado en el 2011 (Rivera *et al.*, 2011).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir de los trabajos y resultados antes expuestos, emitimos las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- 1) Los lahares que discurrieron en febrero 2016 en el valle de Ubinas y río Para se originaron debido a dos factores: la acumulación de ceniza en áreas aledañas al volcán Ubinas durante los años 2014 y 2015, que se estima tuvo un volumen mínimo de 2'000,000 m³; y a las intensas precipitaciones registradas en la zona del volcán Ubinas durante los meses de enero y febrero del 2016.
- 2) Los lahares en el valle de Ubinas se emplazaron entre el 07 y 28 de febrero. Los lahares más voluminosos y que ocasionaron mayores daños ocurrieron, el día 12 en el río Para, los días 11 y 22 en el río Volcanmayo-Ubinas, y uno de fecha no precisada del mes de febrero en el río Anascapa.
- 3) El lahar más voluminoso, fue el emplazado el día 12 de febrero en el río Para. Sus depósitos han podido ser cartografiados a lo largo de 4.8 km, desde el puente Escacha hasta la confluencia con el río Tambo. En base al cartografiado geológico (escala 1/2000), se estima que el lahar cubrió alrededor de 324 mil m² y sus depósitos alcanzan un volumen promedio entre 65 y 160 mil m³.
- 4) El lahar del 12 de febrero del río Para, también fue el más destructivo de todos, ya que sepultó la piscigranja y pozo séptico en Huatagua, destruyó cerca de 144,000 m² (14.4 hectáreas) de tierras de cultivo, destruyó los puentes peatonales en Huarina y río Tambo, así como canales y bocatomas de agua en San Miguel, Huatagua y Huarina. También, este lahar originó el represamiento del río Tambo, cuya laguna natural alcanzó cerca de 1.5 km de largo aguas arriba. La laguna se desembalsó el día 23 de febrero y destruyó puentes, canales de agua y áreas de cultivo, en ambas márgenes del río Tambo.
- 5) El segundo lahar en importancia se emplazó en el río Volcanmayo-Ubinas el día 22 de febrero. Sus depósitos han podido ser cartografiados a lo largo de 6.4 km, desde Tonohaya hasta la confluencia con el río Tambo. En base al cartografiado geológico (escala 1/2000), se estima que cubre alrededor de 120 mil m² y sus depósitos poseen un volumen promedio entre 25 y 60 mil m³. Este lahar destruyó alrededor de 9,000 m² (0.9 hectáreas) de tierras de cultivo.
- 6) El lahar emplazado en el río Anascapa es el más pequeño, sus depósitos afloran a lo largo de casi 1.40 km, desde el sector Huatagua hasta la confluencia con el río Volcanmayo-Ubinas. Estos depósitos cubren un área aproximada de 17 mil m² y se estima tiene una volumen promedio entre 3 y 8 mil m³. Este lahar destruyó alrededor de 2.5 mil m² (0.25 hectáreas) de tierras de cultivo.
- 7) En el río Volcanmayo-Ubinas, la zona de transporte (preferente) se dió desde los flancos del volcán Ubinas hasta cerca de Tonohaya, mientras que la zona preferente de depositación de lahares se extendió a partir del pueblo de Tonohaya hasta la confluencia con el río Tambo. De forma similar, en el río Para la zona de transporte (preferente) fue hasta cerca del puente Escacha, y la zona de depositación empezó en dicho puente y se extendió hasta la confluencia con el río Tambo.
- 8) El modelamiento de lahares realizado en el río Volcanamayo-Ubinas, para un volumen de agua de 42 mil m³, arroja que el área cubierta es de 266 mil m². Esta área es mayor al obtenido a partir del cartografiado geológico a nivel de detalle (escala 1/2000), que fue de 121 mil m², aproximadamente. Por esta razón concluimos que el volumen de agua del lahar del 22 de febrero tuvo un volumen menor de 42 mil m³.

- 9) A partir de la comparación del área afectada por los lahares de enero 2007 y febrero 2016, con el alcance de la zona de alto peligro del mapa de peligros del volcán Ubinas publicado en el 2011, podemos concluir que toda el área afectada por los lahares están dentro de la zona de alto peligro de dicho mapa. El lahar del río Para del 12 de febrero, ocupa casi el 50% del área de alto peligro, mientras que el lahar del 22 de febrero del río Volcanmayo-Ubinas, cubre menos del 15% del área de la zona de alto peligro.
- 10) Los lahares emplazados en enero del 2007 y febrero 2016 en el valle de Ubinas, están asociados a erupciones con VEI de 1 a 2. Hoy conocemos mejor su alcance, extensión y volumen. Por esta razón recomendamos que estos datos sean utilizados para la construcción de escenarios y la evaluación de peligros por lahares, para erupciones con VEI 1 a 2, de otros volcanes del sur del Perú. A esto hay que agregar que las condiciones climáticas y cantidad de nieve y son similares.
- 11) Se recomienda a las autoridades e instituciones competentes, la implementación de un Sistema de Alerta Temprana (SAT) integral frente a lahares en el valle de Ubinas, el mismo que debe contemplar: a) pronóstico de lahares, b) adecuada y oportuna difusión de alertas a la sociedad; c) preparación de la población para responder a las alertas. Este último a través de simulacros de evacuación, establecimiento de rutas de evacuación y zonas de refugio, así como la identificación de zonas de alto riesgo frente a este fenómeno.
- 12) Se recomienda la instalación de estaciones meteorológicas en el volcán Ubinas, que permita conocer el umbral de precipitación a partir del cual se originan los lahares.

REFERENCIAS

- Iverson, R.; Schilling, S.; Vallance, j. (1998) - Objective delineation of laharinundation hazard zones. Geological Society of America Bulletin, v. 110, N°8; 972-984.
- Mariño J., Valderrama P., Samaniego P., Rivera M., Macedo L., Vela J., Lazarte I., Manrique N., Machaca R., Ortega M., Chilo W. (2014) - Evolución del proceso eruptivo y productos emitidos por el volcán Ubina setiembre 2013 – agosto 2014. Reporte Especial del Observatorio Vulcanológico del INGEMMET (OVI), Setiembre 2014, 19 p.
- Naranjo, J.; Sigurdsson, H.; Carey, S.N. & Fritz, W. (1986) – Eruption of the Nevado del Ruiz Volcano, Colombia, on 13 November 1985: tephra fall and lahars. Science, 233(4767): 961-963.
- Rivera M., Mariño J., Thouret J-C. (2011) – Geología y evaluación de peligros del volcán ubinas. INGEMMET, Boletín, Serie C : Geodinámica e Ingeniería Geológica, 46, 83 p., 2 mapas.
- Schilling S. (1998) - LAHARZ: GIS programs for automated mapping of lahar-inundation hazard zones. US Geological Survey Open-File Report 98-638; 79 pp.
- Thouret, J.-C. (1990) - Effects of the November 13, 1985 eruption on the snow pack and ice cap of Nevado del Ruiz volcano, Colombia. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 41(1-4): 177-201.
- Tilling, R.I., ed. (1993) - Apuntes para un curso breve sobre los peligros volcánicos, Santa Fé, Nuevo México, 2-3 julio 1989. [s.l.]: Organización Mundial de Observatorios Vulcanológicos, 125 p.