



CENEPRED

Centro Nacional de Estimación, Prevención y
Reducción del Riesgo de Desastres

**ESCENARIO DE RIESGO VOLCÁNICO NACIONAL:
MISTI, SABANCAYA Y UBINAS**

DICIEMBRE, 2024



ESCENARIO DE RIESGO VOLCÁNICO NACIONAL: MISTI, SABANCAYA Y UBINAS

Elaborado por el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED).

Dirección de Gestión de Procesos. Subdirección de Gestión de la Información. CENEPRED

Año: 2021.

Av. Del Parque Norte N° 829 - 833. San Isidro - Lima – Perú,

Correo electrónico: info@cenepred.gob.pe

Página web: www.gob.pe/cenepred

Equipo Técnico del CENEPRED:

General de Brigada EP

Sr. Rolando Gustavo Capucho Cárdenas

Jefe del CENEPRED

Sr. Walter Martin Becerra Noblecilla

Director de la Dirección de Gestión de Procesos

Ing. Alfredo Zambrano Gonzáles

Subdirector de Gestión de la Información

Geog. Vladimir Cuisano Marreros

Especialista en Análisis Territorial

Equipo Técnico del INDECI:

Lic. Catherine Palacios Romero

Subdirección de Gestión de Recursos para la Respuesta

Dirección de Preparación

Entidades Técnico-Científicas:

Instituto Geofísico del Perú - IGP

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – INGEMMET



TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	5
2	METODOLOGÍA	6
3	VOLCÁN MISTI.....	8
3.1	Área de estudio	8
3.1.1	Actividad volcánica histórica en el Perú.....	8
3.2	Peligro volcánico: Misti.....	9
3.2.1	Geomorfología	9
3.2.2	Actividad histórica del Misti	11
3.2.3	Mapa de peligros del volcán Misti	14
3.3	Escenario de riesgo volcánico: Misti	29
3.3.1	Identificación de elementos expuestos	29
3.3.2	Identificación de probables impactos	34
3.4	Conclusiones.....	36
4	VOLCÁN SABANCAYA	38
4.1	Peligro volcánico: Sabancaya	38
4.1.1	Geomorfología	38
4.1.2	Mapas de peligro del volcán Sabancaya	39
4.2	Escenario de riesgo volcánico: Sabancaya.....	47
4.2.1	Identificación de elementos expuestos	47
4.3	Conclusiones.....	49
5	VOLCÁN UBINAS	51
5.1	Área de estudio	51
5.2	Peligro volcánico: Ubinas	52
5.2.1	Geomorfología	52
5.2.2	Actividad histórica del Ubinas	54
5.2.3	Mapas de peligro del volcán Ubinas	58
5.3	Escenario de riesgo volcánico: Ubinas.....	66
5.3.1	Identificación de elementos expuestos	66
5.3.2	Identificación de probables impactos	68
5.4	Conclusiones.....	70
6	RECOMENDACIONES GENERALES	71
7	BIBLIOGRAFÍA	72



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ámbitos del escenario de riesgo volcánico.....	5
Figura 2. Esquema metodológico del escenario de riesgo volcánico: Misti y Ubinas	6
Figura 3. Distribución del volcanismo en el sur peruano	8
Figura 4. Mapa de ubicación del volcán Misti.	9
Figura 5. Mapa geomorfológico del área de estudio: volcán Misti.	10
Figura 6. En primer plano, la planicie de acumulación; al fondo, el estratocono inferior y superior del volcán Misti.	10
Figura 7. Mapa de peligros de la zona proximal para peligros múltiples	16
Figura 8. Mapa de peligro por emplazamiento de flujos de barro o lahares	17
Figura 9. Mapa de peligro por descenso de lahares.....	19
Figura 10. Mapa de peligro por avalanchas de escombros	20
Figura 11. Mapa de peligro por flujo de lava.....	21
Figura 12. Mapa de peligro por flujo de piroclastos	22
Figura 13. Roseta que muestra la dirección preferente de vientos a 5865, 9690 y 10960 msnm.	23
Figura 14. Mapa de peligros por caída de ceniza para una erupción de magnitud baja (IEV 2)	24
Figura 15. Roseta que muestra la dirección preferente de vientos a 12445, 16645, 20662 y 26415 msnm.	25
Figura 16. Mapa de peligros por caída de ceniza para una erupción de magnitud moderada o grande (IEV 3-6)	26
Figura 17. Mapa de peligro por caída de cenizas por erupción de tipo vulcaniana	27
Figura 18. Mapa de peligro por caída de cenizas por erupción de tipo pliniana	28
Figura 19. Zona de Altiplanicie volcanoclástica cubierta de ceniza, vista desde la pampa Lluillipampa	38
Figura 20. Mapa geomorfológico del complejo volcánico Ampato-Sabancaya y áreas aledañas.....	39
Figura 21. Mapa proximal de peligros múltiples.....	41
Figura 22. Mapa de peligros por lahares	42
Figura 23. Mapa de escenarios críticos por lahares	43
Figura 24. Mapa de peligros por caídas piroclásticas (cenizas y pómez).....	46
Figura 25. Mapa de ubicación del volcán Ubinas.	51
Figura 26. Mapa geomorfológico del volcán Ubinas y alrededores.	54
Figura 27. Mapa de peligro volcánico (INGEMMET)	59
Figura 28. Mapa de peligro por flujo de lodo o lahares.....	60
Figura 29. Mapa de escenarios críticos por lahares	61
Figura 30. Mapa de avalancha de escombros.....	62
Figura 31. Mapa de peligros por caída de ceniza para una erupción de magnitud baja a moderada (IEV 1 a 3).....	63
Figura 32. Mapa de peligros por caída de ceniza para una erupción de magnitud moderada a grande (IEV 4 a 6).....	64
Figura 33. Mapa de peligro por caída de cenizas por erupción vulcaniana (IEV 1 – 2).....	65



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Actividad histórica del Misti.....	11
Tabla 2. Provincia de Arequipa: Elementos expuestos a peligros múltiples.....	29
Tabla 3. Distritos de la provincia de Arequipa: Elementos expuestos a peligros múltiples.....	29
Tabla 4. Provincias: Elementos expuestos a flujos de barro o lahares peligros múltiples.....	30
Tabla 5. Distritos de la provincia de Arequipa: Elementos expuestos a flujos de barro o lahares.....	30
Tabla 6. Provincias: Elementos expuestos a descenso de lahares.....	30
Tabla 7. Distritos de la provincia de Arequipa: Elementos expuestos a descenso de lahares.....	31
Tabla 8. Provincias: Elementos expuestos a avalanchas de escombros.....	31
Tabla 9. Distritos de la provincia de Arequipa: Elementos expuestos a avalanchas de escombros.....	31
Tabla 10. Provincias: Elementos expuestos a flujo de piroclastos.....	32
Tabla 11. Distritos de la provincia de Arequipa: Elementos expuestos a flujo de piroclastos.....	32
Tabla 12. Departamentos: Elementos expuestos a caída de ceniza para una erupción de magnitud baja (IEV 2).....	32
Tabla 13. Provincias: Elementos expuestos a caída de ceniza por una erupción de magnitud moderada o grande (IEV 3-6).....	33
Tabla 14. Departamentos: Elementos expuestos a caída de ceniza por una erupción de tipo vulcaniana.....	33
Tabla 15. Departamentos: Elementos expuestos a caída de ceniza por una erupción de tipo pliniana.....	34
Tabla 16. Elementos expuestos a peligros múltiples.....	47
Tabla 17. Elementos expuestos a peligro por lahares.....	47
Tabla 18. Elementos expuestos a escenarios críticos por lahares.....	48
Tabla 19. Elementos expuestos a caídas piroclásticas.....	48
Tabla 20. Actividad histórica del Ubinas.....	55
Tabla 21. Elementos expuestos a peligro volcánico.....	66
Tabla 22. Elementos expuestos a escenarios críticos por lahares.....	66
Tabla 23. Elementos expuestos a avalancha de escombros.....	66
Tabla 24. Elementos expuestos a caída de ceniza para una erupción de magnitud baja a moderada (IEV 1 a 3).....	67
Tabla 25. Elementos expuestos a caída de ceniza para una erupción de magnitud moderada a grande (IEV 4 a 6).....	67
Tabla 26. Elementos expuestos a caída de cenizas por erupción vulcaniana (IEV 1 – 2) (IGP).....	68



1 INTRODUCCIÓN

En el marco del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD), el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED) como ente técnico asesor de los componentes de la Gestión Prospectiva y Correctiva, elabora estudios en el contexto del Proceso de Estimación, tales como los escenarios de riesgo, que son los diagnósticos territoriales que permiten identificar zonas críticas a partir del análisis de los elementos expuestos al peligro.

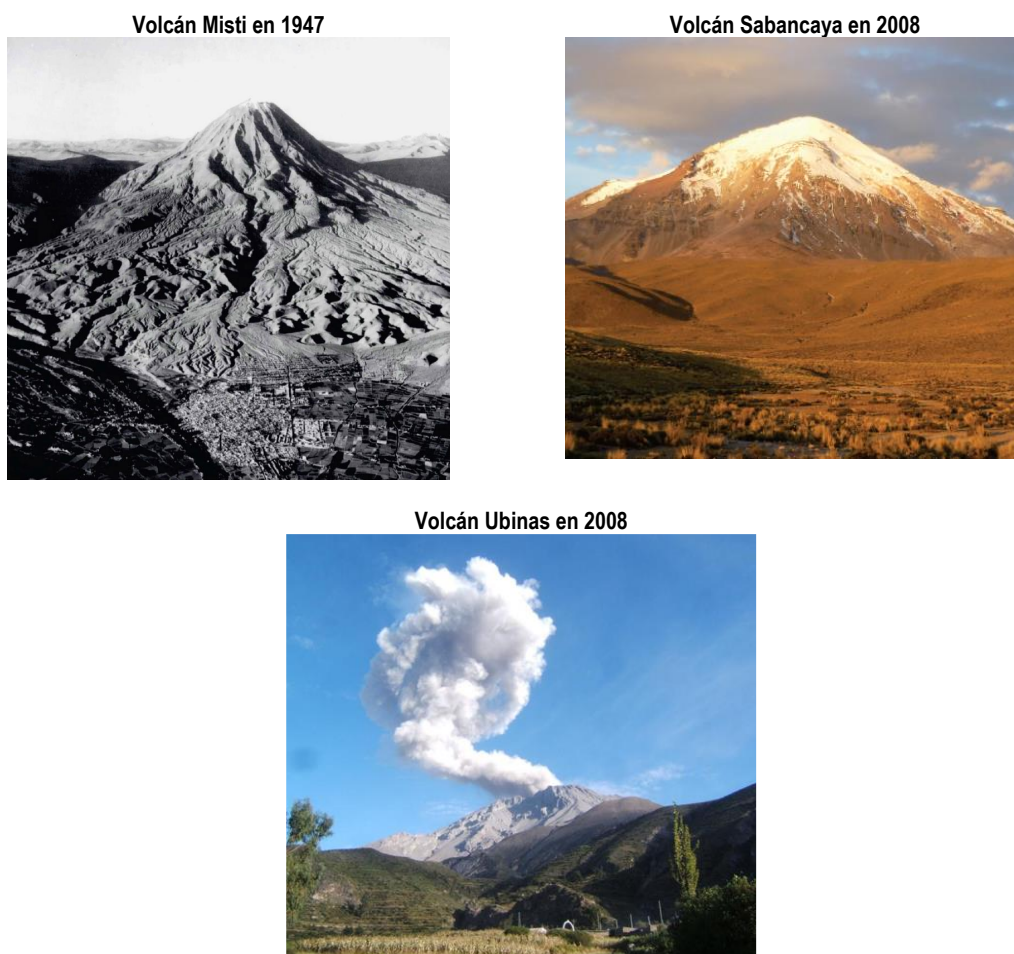
Página | 5

El presente estudio, denominado “Escenario de riesgo volcánico nacional: Misti, Sabancaya y Ubinas” (Figura 1), es un trabajo realizado a solicitud del Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI.

El resultado de este estudio permitirá a los gobiernos locales (provinciales y distritales), contar con un diagnóstico territorial frente al riesgo volcánico, contar con una referencia técnica para la priorización de sus recursos, la elaboración de instrumentos para la Gestión Prospectiva, Correctiva y Reactiva del riesgo, y para la implementación de acciones de corto, mediano y largo plazo, para la reducción del riesgo identificado en el ámbito de sus jurisdicciones.

El presente escenario de riesgo tomó como fuente base los mapas de peligros asociados a erupciones volcánicas, los cuales fueron generados por el Instituto Geofísico del Perú (IGP) y el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET). Finalmente, la identificación de los elementos expuestos se obtuvo del Censo de Población y Vivienda de 2017 del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), Ministerio de Educación, Ministerio de Salud y Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego.

Figura 1. Ámbitos del escenario de riesgo volcánico



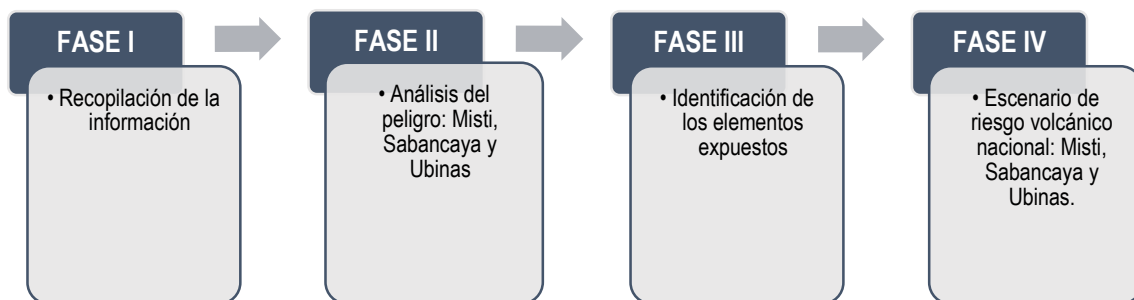
Fuente: INGEMMET (2013, 2016).



2 METODOLOGÍA

El presente escenario de riesgo se ha desarrollado en cuatro fases (Figura 2), la Fase I consistió en la recopilación de la información geoespacial y de archivos administrativos disponibles y desarrollados por entidades técnico-científicas, para tal fin, se generaron reuniones de coordinación entre los representantes del CENEPRED, IGP, INGEMMET e INDECI; y se seleccionaron los estudios de peligro volcánico, así como las unidades de análisis de los elementos expuestos. En la Fase II, se analizaron los mapas de peligro volcánico para los tres casos de estudio, tomando en consideración los estudios realizados por el IGP y el INGEMMET.

Figura 2. Esquema metodológico del escenario de riesgo volcánico: Misti y Ubinas



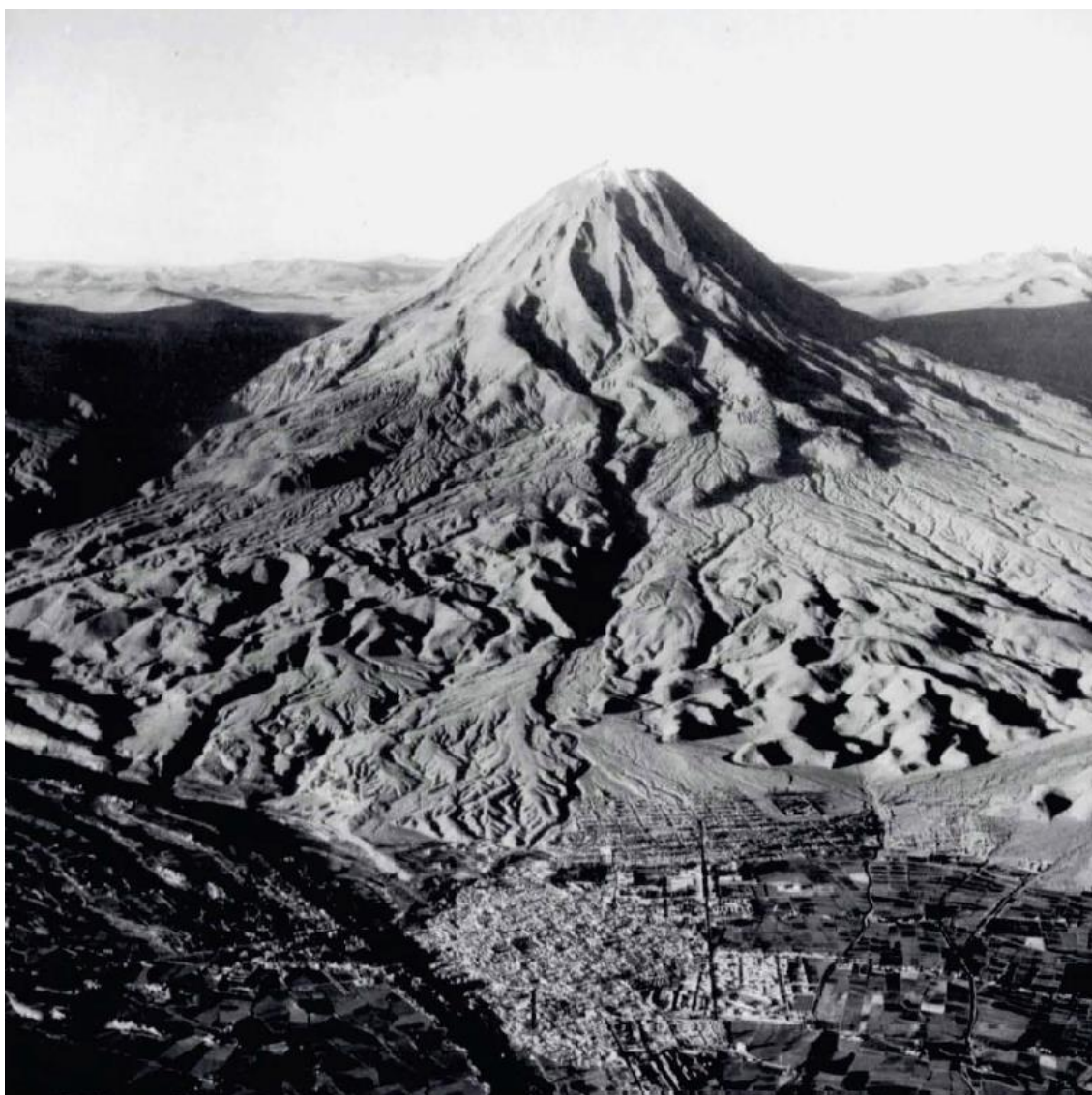
Fuente: Elaborado por CENEPRED.

En la Fase III, se determinaron los elementos expuestos para el análisis del escenario de riesgo. Con respecto a los datos de población y vivienda de ambas áreas de estudio, se determinó utilizar la información de los resultados de censo de población y vivienda del 2017, el cual fue elaborado por el INEI.

Finalmente, en la Fase IV, se determinó el escenario de riesgo mediante la cuantificación de los elementos expuestos, de acuerdo con las unidades mínimas de análisis de sus elementos expuestos disponibles. Es así como, en el caso de la determinación del mapa del escenario de riesgo en los elementos de población y viviendas, estas se definieron por su exposición con respecto a su ubicación en el mapa de peligro volcánico, según los tipos analizados para los tres casos de estudio.



VOLCÁN MISTI



Fuente: INGEMMET (2013).



3 VOLCÁN MISTI

3.1 Área de estudio

El volcán Misti se localiza en el departamento de Arequipa, siendo parte de la zona volcánica central de los Andes, el cual, debido a su localización, podría exponer a toda la población de la ciudad capital de su departamento.

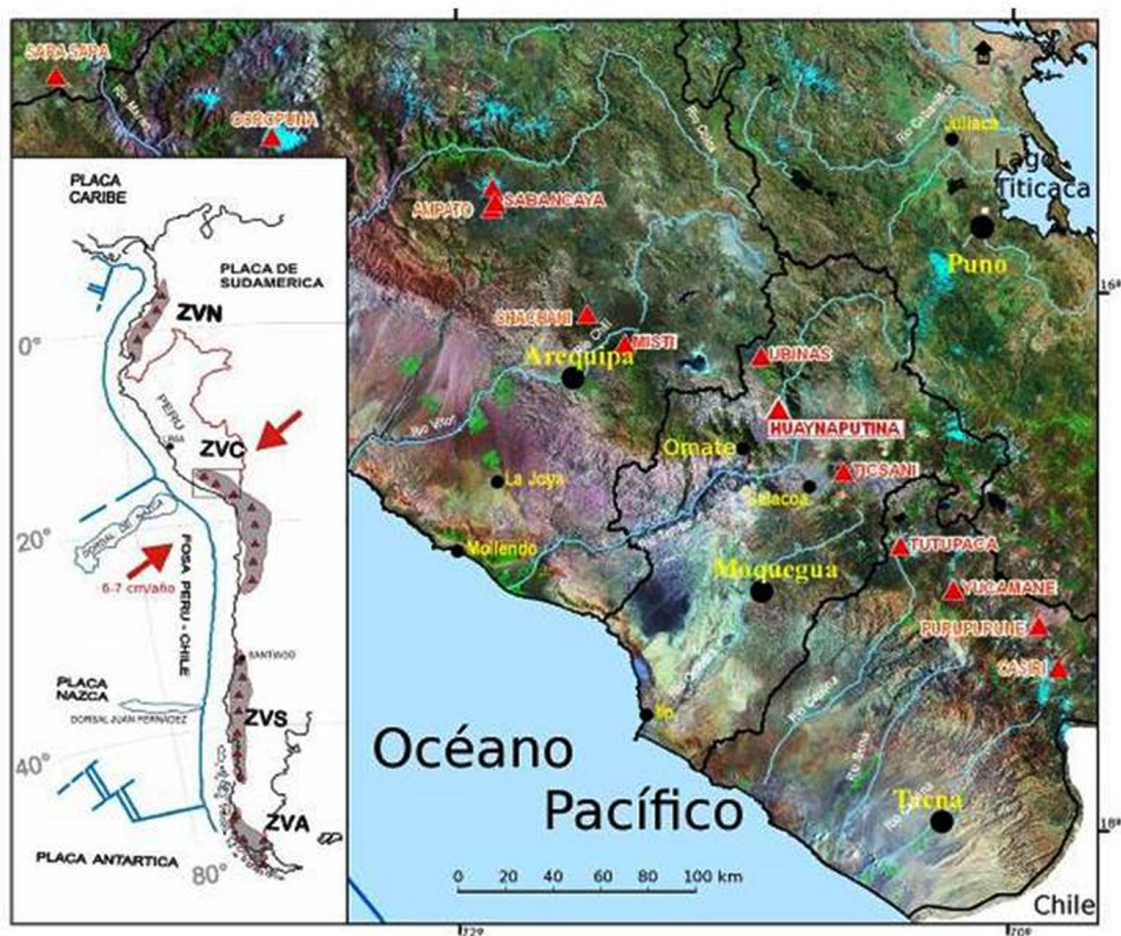
De acuerdo con el INGEMMET (2011), el volcán se emplazó en el borde oeste de la Cordillera Occidental de los Andes, limitando por el sureste con el estratovolcán extinto Pichu Pichu, por el noroeste con el complejo volcánico Chachani, hacia el norte y este con la altiplanicie Puna y por el suroeste con la cuenca sedimentaria de Arequipa.

3.1.1 Actividad volcánica histórica en el Perú

En el Perú existen más de 400 estructuras volcánicas (Fidel et al., 1997, como se citó en INGEMMET, 2013). Actualmente se consideran doce volcanes activos o potencialmente activos: Sara Sara, Solimana, Coropuna, Sabancaya, Chachani, Misti, Ubinas, Huaynaputina, Ticsani, Yucamane, Tutupaca y Casiri (Simkim & Siebert, 1994, como se citó en INGEMMET, 2013), todos estos se encuentran emplazados en la Zona Volcánica Central de los Andes (ZVC) (De Silva y Francis, 1991, como se citó en INGEMMET, 2013) (Figura 3).

Históricamente, se han registrado erupciones en siete de estos volcanes. De estos volcanes, el Misti y el Ubinas son considerados el más peligroso y el más activo del Perú respectivamente (INGEMMET, 2013).

Figura 3. Distribución del volcanismo en el sur peruano



Fuente: INGEMMET (2013).

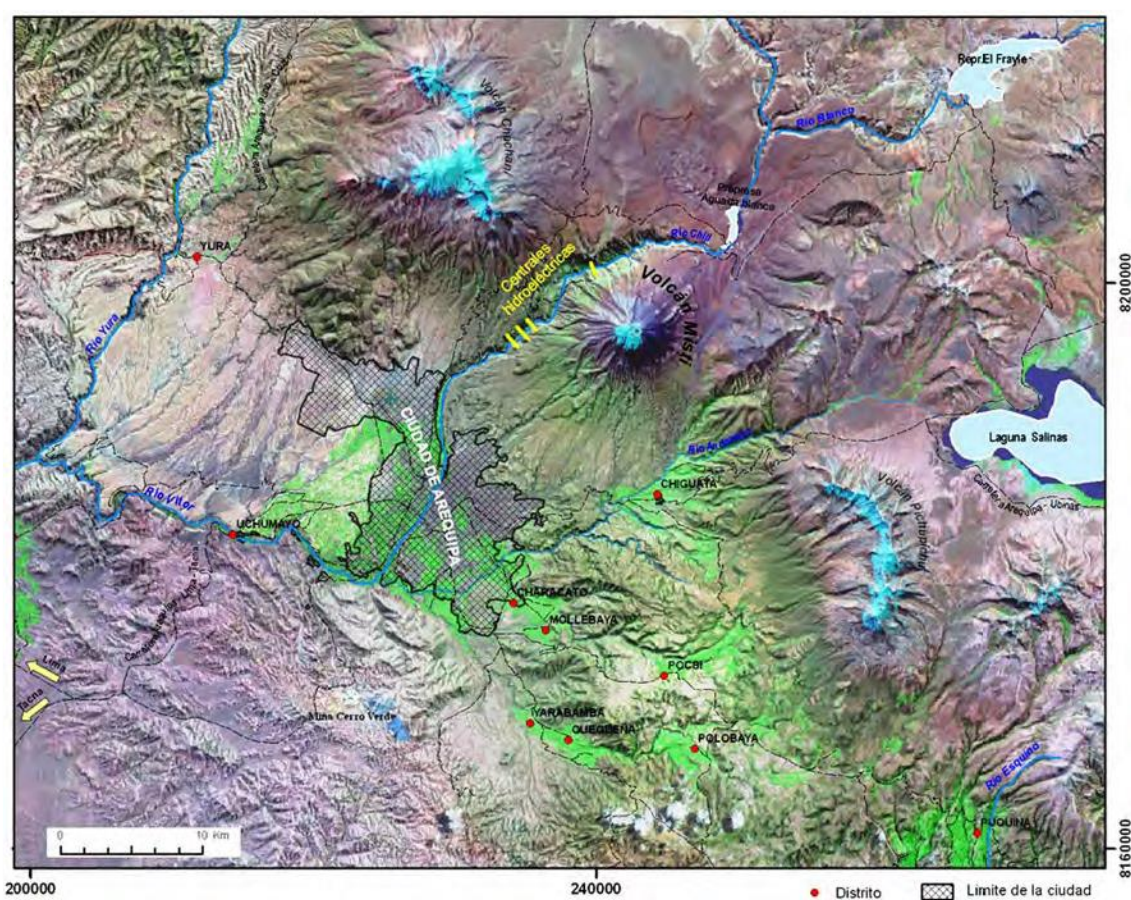


3.2 Peligro volcánico: Misti

El volcán Misti forma parte de la Zona Volcánica Central de los Andes (ZVC) y es uno de los siete volcanes activos del sur del Perú (De Silva y Francis, 1991, como se citó en INGEMMET, 2016). El edificio volcánico se emplazó en el borde oeste de la Cordillera Occidental de los Andes, limitando por el sureste con el estratovolcán extinto Pichu Pichu, por el noroeste con el complejo volcánico Chachani, hacia el norte y este con la altiplanicie Puna y por el suroeste con la cuenca sedimentaria de Arequipa, donde se halla la ciudad del mismo nombre (Figura 4).

El cráter del volcán Misti (242900N, 8196400S, 5820 msnm) dista 18 km del centro de la ciudad de Arequipa. Nuevos asentamientos humanos situados al noreste y norte de la ciudad, en los distritos de Alto Selva Alegre, Miraflores, Paucarpata, Mariano Melgar y Chiguata se hallan a menos de 12 km del centro de emisión. La diferencia altimétrica entre la ciudad y la cima del volcán es de 3.5 km aproximadamente (INGEMMET, 2016b).

Figura 4. Mapa de ubicación del volcán Misti.



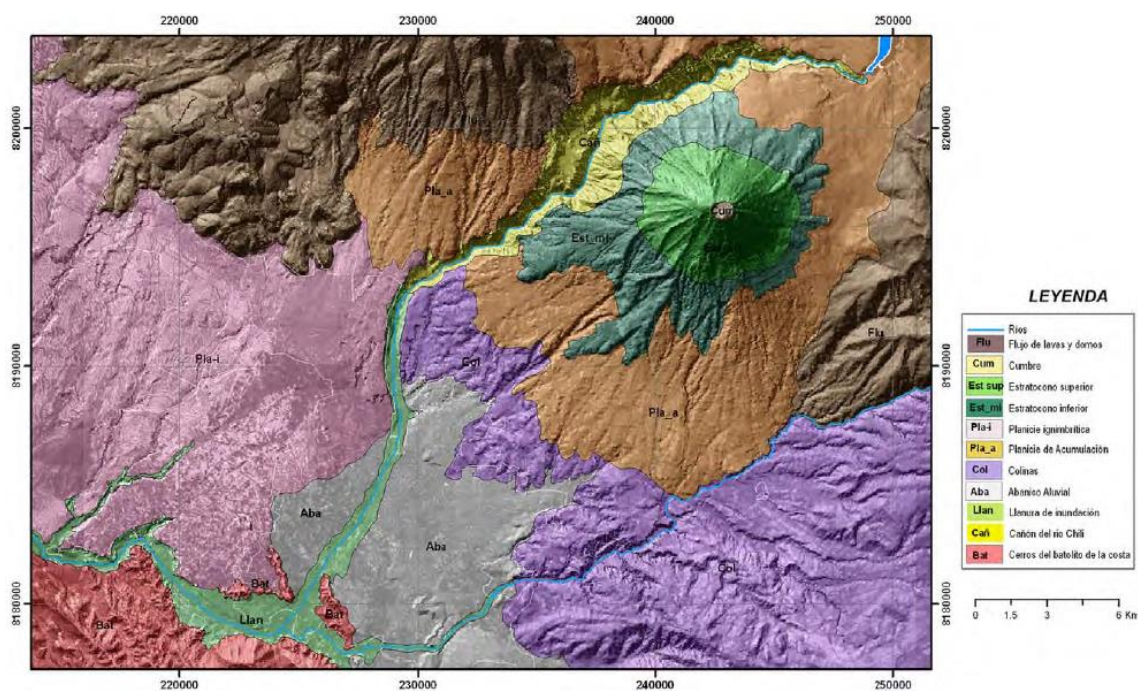
Fuente: INGEMMET (2016). Al pie de su flanco suroeste se localiza una depresión tectónica donde se encuentra asentada la ciudad de Arequipa, que limita al noreste por la cadena de volcanes Pichu Pichu, Misti y Chachani y por el suroeste con el Batolito de la Costa.

3.2.1 Geomorfología

En el volcán Misti y en las áreas aledañas, se identificaron 11 unidades geomorfológicas: Cerros del batolito (Bat), cañón del río Chili (Cañ), Llanura de inundación (Llan), zona de abanico aluvial (Aba), zona de colina (Col), planicie de acumulación (Pla_a), planicie ignimbrítica (Pla_i), estratocono inferior (Est_mi), estratocono superior (Est_sup), cumbre (Cum) y zona de flujos de lavas y domos (Flu_Id) (Figura 5, Figura 6).



Figura 5. Mapa geomorfológico del área de estudio: volcán Misti.



Fuente: INGEMMET (2016)

Figura 6. En primer plano, la planicie de acumulación; al fondo, el estratocono inferior y superior del volcán Misti.



Fuente: INGEMMET (2016)



3.2.2 Actividad histórica del Misti

Diversas crónicas y recopilaciones efectuadas por Zamácola y Jauregui (1804), Cobo (1890), Barriga (1951), Chávez Chávez (1992), Hantke y Parodi (1966), Simkim y Siebert (1994), entre otros, así como recientes dataciones radiométricas de depósitos recientes del Misti (Thouret et al., 2001), dan cuenta de actividad histórica del volcán Misti. Algunas descripciones permiten identificar que se trató de erupciones volcánicas del Misti, lo cual se confirma también con varios depósitos emplazados sobre las caídas y flujos piroclásticos de la erupción de hace 2050 años. Otra evidencia es el cono de la cumbre que se ha formado dentro del cráter asociado a la erupción de hace 2050 años (Tabla 1).

Tabla 1. Actividad histórica del Misti

Evento	Descripción
Erupción ocurrida entre el año 655 y 865 d.C	En el flanco sur y sureste del Misti, entre los 3200 y 3800 msnm., se han encontrado depósitos de ceniza. Uno de los afloramientos posee 4 cm de espesor y aflora cerca a la quebrada Honda-Grande, a 9 km del cráter, y ha sido datado en 1290 ± 100 años A.P. (Thouret, et al., 2001). Al calibrar esta datación, obtenemos que este depósito está asociado a una erupción ocurrida entre el año 1304 y 1398 d.C.
Erupción ocurrida entre el año 1304 y 1398 d.C	En la quebrada Huarangal, a 3800 msnm, un depósito de caída piroclástica de ceniza ha sido datado en 620 ± 50 años A.P (Thouret et al., 2001). Luego de calibrar la datación, se establece que estaría asociada a una erupción ocurrida entre los años 1304 y 1398 d.C. El limitado volumen del depósito permite inferir que se trató de una erupción con un IEV ¹ mediano.
Erupción ocurrida entre 1440 y 1470 d.C (depósito de caída de ceniza "Pachacutec")	<p>Varias crónicas o relatos hacen referencia a una erupción ocurrida entre los años 1440 y 1470 d.C. Por ejemplo el padre Martín Murúa (1925), describe sobre Arequipa lo siguiente: "La Coya Ipabaco, mujer del Inca Yupanqui acudieron a esta ciudad (Arequipa) animando a toda la gente y haciendo muchos sacrificios al dicho volcán; gobernó mucho tiempo el Cuzco por ausencia de su marido el Inca Yupanqui; muy valerosa, manifiesta en un terrible terremoto en un volcán grande que esta tres leguas de la ciudad de Arequipa que lanzo de sí tanto fuego con tan grandes llamaradas que dicen que fue cierto haber llovido de esta ceniza en todo el reino, la cual mando hacer muchos sacrificios a sus ídolos". Más adelante, Murúa quien vivió en Arequipa entre los años 1599 y 1660 (Barriga, 1951), detalla los sucesos que acontecieron poco antes de la llegada de los españoles a Arequipa, refiere "dicen los viejos antiguos que esta ciudad llamada Yarpampa (antes que se llame Arequipa), que en tiempo del fuerte Inca Yupanqui, hubo un grandísimo terremoto, procedente del volcán por que lanzó de sí tanto fuego y con tan grandes llamaradas que parecía ser de día claro, cubriéndose luego el volcán de una nube oscurísima por espacio de dos días en los cuales no se vio más fuego".</p> <p>La erupción ocurrida entre 1440 y 1470 d.C., es corroborado por una pequeña capa de ceniza de color negro que subyace a la ceniza de color blanquecino asociada a la erupción del volcán Huaynaputina del año 1600 d.C. Entre ambos depósitos no existe una capa que los divide, por lo que se infiere que la ceniza negra fue emplazada en la época incaica relatada Murúa (1925).</p> <p>El depósito de caída de ceniza en mención, denominado también "ceniza Pachacutec", posee composición andesítica, es rica en plagioclasa y piroxenos. La ceniza es escoréacea y de coloración oscura, esto último guarda relación con lo descrito por Murua (1925), cuando escribe "cubriéndose luego el volcan de una nube oscurísima". El depósito de ceniza posee aproximadamente 10 cm de espesor</p>

¹ IEV: Índice de Explosividad Volcánica

Representa la magnitud de una erupción a una escala que va de 0 a 8 grados. El IEV se define en función del volumen del material expulsado, la altura de la columna eruptiva, duración de la erupción, entre otros factores.



	<p>en la parte superior del cono volcánico, entre 1 y 4 cm en el área de la ciudad de Arequipa, y finalmente la erupción habría tenido un IEV 2 (Thouret et al., 2001).</p>
Erupción ocurrida el año 1577 d.C	<p>No se tienen mayores datos sobre este evento, solo el del padre Bernabé Cobo (1890), quien refiere “que son muchos los volcanes y que han reventado algunas veces, como hay memoria del de la ciudad de Arequipa (El Misti). León Pinelo dice que este volcán hizo amago de ceniza en 1577, que reventaron en tiempo de los reyes Incas, antes de la venida de los españoles a este reino...”. Sin embargo, no se han podido identificar depósitos asociados a este evento.</p>
Evento freático del año 1677 d.C	<p>Teodosio C. Ballón (1901), comete un error en su libro al relatarnos sobre la expedición realizada el 2 de Mayo de 1667 consignándola como realizada en el año 1677. Sobre esta erupción del volcán Misti del año 1677 que no tuvo mayores consecuencias, nos indica: “al continuar saliendo el humo se envió otra expedición encabezada por el cura de la compañía Fernando Bravo y otros, informando además de que habían sentido mucho ruido dentro del volcán”.</p> <p>El presbítero Ventura Travada y Córdova en su crónica «Suelo de Arequipa convertido en Cielo» (1752) habla extensamente sobre el Misti y su actividad fumarólica de marzo y mayo de 1677. Los habitantes de Arequipa se atemorizaron al observar fumarolas en el volcán, ya que aún estaban muy frescos los recuerdos de la erupción del año 1600 del volcán Huaynaputina. Se organizaron expediciones, una en mayo, constató que lo observado desde la ciudad se trataba de fumarolas del volcán puesto que sintieron mucho olor a azufre.</p> <p>Todo indica que dicha actividad fue solo fumarólica, con limitada emanación de cenizas alrededor del cráter. Por ello se infiere que fue un evento freático.</p>
Evento freático del año 1784 d.C	<p>El historiador Zamácola y Jauregui (1804), relata algunos temblores y cosas curiosas ocurridas en inmediaciones del volcán Misti, aunque no lo nombra explícitamente: “El 9 de julio de 1784 hubo un temblor a las 8.39 de la mañana, el continuo movimiento de la tierra no descansa, por la noche a las 12.30 se oyó un estruendo como si hubiese disparado un cañonazo por el aire o como si se hubiese caído algunas casas; se asegura que en este instante descendió por el lado del volcán, un globo ígneo, que muchos lo vieron, sus centellas alumbraron y se hizo invisible por la parte de la sierra”.</p> <p>Posiblemente esta descripción corresponda a un evento freático. No se tienen evidencias u otros relatos sobre la continuación del fenómeno.</p>
Evento freático del año 1787 d.C	<p>Según Barriga (1941), el Intendente de Arequipa Don Antonio Álvarez y Jiménez, describe lo siguiente: “Desde el día 28 de Julio un gran humo aliginoso y denso, que poniendo en consternación toda la ciudad a dado motivo a que el Estado Eclesiástico empezase a ser publicas procesiones y rogativas, citando a la gente de ambos sexos para procesión de sangre...”. Luego de casi tres meses, el día 8 de Octubre de 1787 sale de Chiguata con dirección al cráter del volcán Misti, una expedición conformada por Francisco Suero, Francisco Vélez, Francisco Ojeda y doce indios cargados de yareta. Dicha expedición arriba al cráter el día 10 de octubre, luego del cual relatan lo siguiente: “En esta eminencia de Risqueria que domina toda la cumbre y parte principal de la citada boca observamos por espacio de 6 horas, que en el centro de ella salía expelido un gran trozo de vapor del grueso de mas de 9 cuadras unas veces en forma de pirámide y otras en la de nube, siempre prolongada y continuando, sin embargo de forma hacia arriba en su dilatación diversas figuras y promontorios, según el impulso de la explosión de la gravedad del aire, que elevándose en grande altura se reunía y condensaba hasta formar cuerpos separados; los cuales corrían por la atmósfera, a donde les llevaba el viento a manera de nubes, de aquella especie de solidez y color que estas aparentan...”.</p>



	<p>El relato antes expuesto, permite inferir que se trató de actividad fumarólica importante, que posiblemente haya emitido pequeñísimas cantidades de ceniza. Por lo citado podemos inferir que posiblemente se trató de un evento freático que duró por lo menos dos meses.</p>
<p>Eventos cuestionables ocurridos entre el Siglo XVI y XXI</p>	<p>Entre los siglos XVI y XX se han reportado varios eventos de alta actividad fumarólica del volcán Misti, que no parecen responder a una erupción de dicho volcán. Se tienen reportes de incremento de actividad fumarólica los años 1542, 1599, agosto de 1836, agosto de 1830, 1831, setiembre de 1869, marzo de 1870, 1948-49, y el último reportado entre 1984 y 1985 (Simkin y Siebert, 1994; Hantke y Parodi, 1996; Zamácola y Jáuregui, 1804; Barriga, 1951; Chávez Chávez, 1992; Thouret et al., 2001; Macedo, 1994). Estos eventos causaron alarma en la población y fueron confundidos probablemente con una reactivación del volcán Misti.</p> <p>Diversos trabajos realizados en el volcán Misti, entre finales del Siglo XX y durante los primeros años del Siglo XXI, han permitido constatar actividad fumarólica en el cráter del volcán. Trabajos de vigilancia de la fenomenología del volcán Misti realizado por el INGEMMET, han mostrado importantes emisiones de fumarolas entre los años 2008 y 2009 que incluso son visibles desde la ciudad de Arequipa y alcanzan entre 100 y 200 m de altura. Así mismo durante estos trabajos se ha podido registrar las emisiones en la base del cráter, el cual es variable durante el año.</p> <p>Los periodos de alta actividad fumarólica están normalmente precedidos de fuertes precipitaciones y a la presencia de nieve en la zona del cráter. Es muy posible que importantes volúmenes de agua se infiltre en el edificio volcánico y luego, debido a la alta temperatura pasa a la fase de vapor y es expulsado.</p>

Fuente: INGEMMET consulta web OVI (2021).



3.2.3 Mapa de peligros del volcán Misti

Los mapas de peligros volcánicos son documentos cartográficos que muestran el grado de peligrosidad volcánica de las áreas adyacentes a un determinado volcán. La intención de dichos mapas es representar las zonas susceptibles de ser afectadas por uno o varios fenómenos volcánicos en caso de una erupción de determinadas características, definidos previamente como escenarios generadores de peligros. En estos mapas se representa cartográficamente la extensión probable de todos los productos que un volcán es capaz de generar durante una futura erupción y que pueden provocar daños en su entorno (INGEMMET, 2016b).

3.2.3.1 Mapa de peligros de la zona proximal para peligros múltiples (INGEMMET)

La zonificación de peligros del mapa principal se realizó para peligros múltiples, es decir, para el emplazamiento de flujos y oleadas piroclásticas, flujos de lava, proyectiles balísticos, lahares y avalanchas de escombros. El mapa se elaboró a escala 1/50000; para la representación de las zonas susceptibles a ser afectadas por los diferentes fenómenos volcánicos antes mencionados se emplearon tres colores: las zonas de alto peligro en color rojo, de moderado peligro en naranja y de bajo peligro en amarillo. La zona cercana al cráter (rojo) es la más peligrosa porque puede ser afectada con mayor frecuencia por todos los fenómenos, mientras que la zona amarilla representa áreas que pueden ser afectadas por pocos fenómenos y solo en erupciones de excepcional magnitud. La determinación de las tres zonas de peligros está basada en la combinación de las zonas que pueden ser afectadas por cada fenómeno volcánico por separado. Por esta razón, se lo denomina también mapa consolidado. Finalmente, los límites entre cada zona son graduales y no se pueden determinar con exactitud absoluta (Figura 7) (INGEMMET, 2016b).

En el mapa se incluyó un Modelo de Elevación Digital para una mejor visualización del relieve de la zona. También se incluyó nombres y/o ubicación de algunas infraestructuras importantes, tales como distritos, carreteras, puentes, hospitales, aeropuertos, hidroeléctricas, entre otros (INGEMMET, 2016b).

Igualmente, se consideraron zonas que pueden colapsar y generar avalanchas de escombros que descenderían por los flancos del volcán. El colapso podría estar asociado a una erupción volcánica o a un sismo fuerte. Si el colapso fuera del flanco noroeste, fácilmente se represaría el río Chili, cuyo desembalse generaría flujos de barro que se desplazarían a lo largo del valle del río, inundando las áreas distales. Si el colapso fuera del flanco sur, las avalanchas de escombros afectarían el sur, sureste y suroeste. La distancia alcanzada sería variable y dependería del volumen del material involucrado (INGEMMET, 2016b).

A) Zona de alto peligro (rojo)

Para delimitar la zona de alto peligro, color rojo en el mapa, se consideró un escenario eruptivo de tipo vulcaniano con Índice de Explosividad de un Volcán (IEV) 2 y una erupción de tipo efusiva; ambos casos con un centro de emisión ubicado en el actual cráter del volcán Misti. Durante este tipo de erupciones, esta zona puede ser severamente afectada por caídas de tefra (cenizas y lapilli de pómez, pequeños flujos piroclásticos, lahares, flujos de lava y/o pequeñas avalanchas de escombros). Debido a su cercanía al volcán y sus características geomorfológicas, es la zona de mayor peligro, pues cualquier tipo de erupción la puede afectar, inclusive las de baja magnitud, como la ocurrida en el siglo XV, que tuvo un Índice de Explosividad Volcánica (IEV) de 1 a 2, y que se estima suceden cada 500 a 1500 años (INGEMMET, 2016b).

Los límites de la zona de alto peligro se encuentran aproximadamente entre 5 y 10 km del cráter. En los flancos norte, NO y este se encuentran entre 6 y 7 km de distancia; en los flancos sur, SO, NE y SE, se ubican entre 8 y 10 km de distancia. Estas distancias diferenciadas se explican por la morfología del volcán.

En el volcán Misti no se tienen registros de flujos piroclásticos asociados a erupciones con IEV 2. Sin embargo, en otros volcanes sí se han observado formaciones de flujos piroclásticos pequeños durante erupciones con IEV 2. Por ejemplo, durante la erupción del volcán Reventador de 1976, o del Tungurahua en 2006, 2010, se generaron flujos piroclásticos que se emplazaron sobre el fondo del anfiteatro, recorriendo pocos kilómetros de distancia (Aguilera et al., 1988; Hall, 1980) (INGEMMET, 2016b).



Esta zona también puede ser afectada por proyectiles balísticos, que son frecuentes durante erupciones vulcanianas con IEV 2. Durante la erupción del volcán Sabancaya de 1987 a 1998, los proyectiles balísticos alcanzaron varios kilómetros de distancia (Guillande et al., 1992; Thouret et al., 1994) y durante la erupción del volcán Ubinas de 2006-2008, los proyectiles balísticos llegaron hasta 2 km de distancia del cráter (Rivera et al., 2010; Mariño et al., 2012) (INGEMMET, 2016b).

Los límites de la zona de alto peligro coinciden con el alcance de un gran número de flujos de lavas del Misti. Durante erupciones efusivas, esta zona también puede ser afectada por flujos de lava. La mayoría de lavas del volcán Misti han alcanzado distancias promedio entre 5 y 8 km (INGEMMET, 2016b).

La zona de alto peligro también se extiende a lo largo de las quebradas que bajan del volcán Misti y del río Chili, esto debido al posible emplazamiento de lahares de mediano volumen que han sido frecuentes durante erupciones vulcanianas con IEV 2 en el Misti y otros volcanes del sur del Perú. En la cuenca media del río Chili, se identificaron terrazas conformadas por lahares emplazados entre el Holoceno superior y la época histórica (fig. 4.27), cuatro de ellos datados en 1035 ± 45 , 520 ± 25 , 340 ± 40 y 330 ± 60 años B.P. (Delaite et al., 2005). Asimismo, en las quebradas San Lázaro, Pastores, Huarangal, El Chica y Agua Salada, que descienden por los flancos sur y SO del volcán Misti, se han identificado depósitos de lahar que sobreyacen al lahar asociado a la erupción de hace 2050 años B.P (INGEMMET, 2016b).

B) Zona de moderado peligro (naranja)

Para delimitar la zona de moderado peligro, en naranja, se consideró un escenario de erupción subpliniana a pliniana con IEV 3 a 4, con un centro de emisión situado en el cráter actual del volcán Misti. Durante este tipo de erupciones, esta zona puede ser afectada por caídas de cenizas y lapilli de pómez, flujos y oleadas piroclásticas, laharesy/o avalanchas de escombros, generados durante una erupción del volcán Misti. Esta zona no sería afectada por flujos de lavas, debido a que por su viscosidad alta difícilmente llegarían a esta zona. Tampoco podría ser afectada por proyectiles balísticos, debido al limitado alcance de los mismos. Esta zona es de menor peligro que la zona roja y solo puede ser afectada durante erupciones de magnitud grande (IEV 3 - 4), como las erupciones producidas hace 2000 y 11 000 años. Erupciones de esta magnitud suceden cada 2000 a 4000 años, aproximadamente (INGEMMET, 2016b).

Los límites de la zona de moderado peligro se encuentran aproximadamente entre 15 y 16 km del cráter hacia el oeste, SO y sur, mientras que de 9 a 13 km hacia el norte, NO, NE y SE. Estas distancias diferentes se explican por la morfología del volcán. Estos límites fueron definidos en base al alcance de los productos volcánicos cartografiados en dichos escenarios (INGEMMET, 2016b).

Se consideró este escenario ya que el volcán Misti ha presentado erupciones de este tipo en el pasado. Por ejemplo, la erupción de hace 2050 años B.P. y la erupción que emplazó el depósito de caída Autopista (Thouret et al., 2001; Cacya et al., 2007; Cobeñas, 2009). Durante la erupción de hace 2050 años BP, los flujos piroclásticos llegaron a más de 13 km de distancia del cráter, en dirección sur y SO (Cobeñas, 2009). No se tienen registros de oleadas piroclásticas asociadas a esta erupción; es muy probable que estas hayan sido erosionadas. Por esta razón, los límites de la zona de moderado peligro se ubicaron entre 15 y 16 km, es decir, entre 2 y 3 km más de la distancia donde actualmente afloran los flujos piroclásticos de la erupción de hace 2050 años B.P (INGEMMET, 2016b).

La zona de moderado peligro también se extiende a lo largo de las quebradas que bajan del volcán Misti y del río Chili, esto debido al posible emplazamiento de lahares. Según Thouret et al. (2001), poco después de la erupción de hace 2050 años B.P. se generaron lahares. Estos lahares han sido reconocidos al sur y SO del volcán Misti. En la quebrada San Lázaro, Delaite et al. (2005) estimaron que posee por lo menos 9 km de largo y 4 m de espesor. También estudios realizados por Cereceda & Mariño (2008) han permitido identificar 13 depósitos de lahar entre Pampas de Cusco y Congata, de los cuales 10 presentan de 1 a 3m de espesor y podrían estar asociados a erupciones con IEV 3-4. Esta hipótesis aún no ha sido verificada (INGEMMET, 2016b).



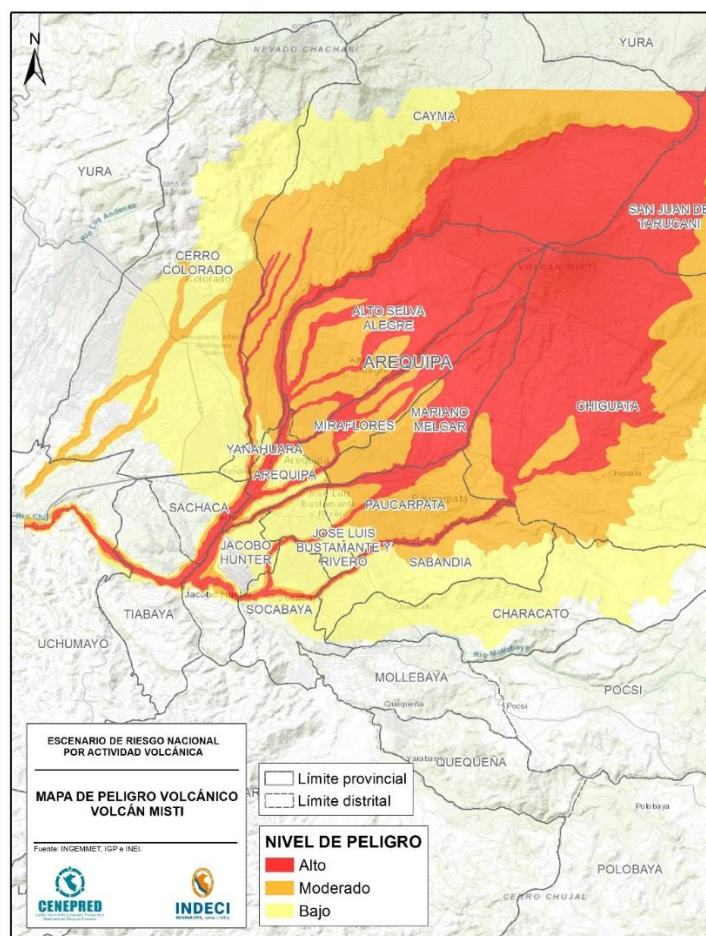
C) Zona de bajo peligro (amarillo)

Para delimitar la zona de bajo peligro de amarillo, se consideró un escenario de erupción con VEI igual o mayor a 5. Durante este tipo de erupciones, esta zona puede ser afectada solo por flujos, oleadas y caídas piroclásticas de pómez y/o ceniza, como las ocurridas hace 13600 y 33000 años, que emplazaron voluminosos flujos piroclásticos (ignimbritas). La frecuencia de este tipo de eventos es baja y se estima que ocurren cada 10 000 a 20,000 años. La zona de bajo peligro es la zona más alejada del volcán y, por tanto, la de menor peligro (INGEMMET, 2016b).

Los límites de la zona de bajo peligro se encuentran aproximadamente entre 16 y 24 km de distancia del cráter del volcán Misti, rangos de distancia donde se han encontrado depósitos de flujos piroclásticos asociados a erupciones grandes del Misti. Por ejemplo, los depósitos del Grupo 2-3 (47.3 ka²) que afloran a 17 km al sur y SO del cráter; el depósito rico en pómez de hace 40 ka aflora a 14 km al oeste del cráter; y el depósito color salmón, asociado al Grupo 3-3 (24 a 20 ka), aflora a 16 km al SO del cráter (INGEMMET, 2016b).

La zona de bajo peligro también se extiende a lo largo de los ríos Chili y Andamayo. Esto debido al posible emplazamiento de lahares de importante volumen durante erupciones de gran magnitud. Por ejemplo, Cereceda & Mariño (2008) identificaron los depósitos de lahar Tingo Grande, Pichu Pichu y Andamayo que presentan entre 7 y 11 m de espesor, a más de 25 km al SO del volcán Misti. Debido a su importante espesor, estos depósitos de lahar podrían estar asociados a las erupciones plinianas del volcán Misti, sin embargo, no se ha podido probar esta hipótesis (INGEMMET, 2016b).

Figura 7. Mapa de peligros de la zona proximal para peligros múltiples



² 1 ka = 1.000 años

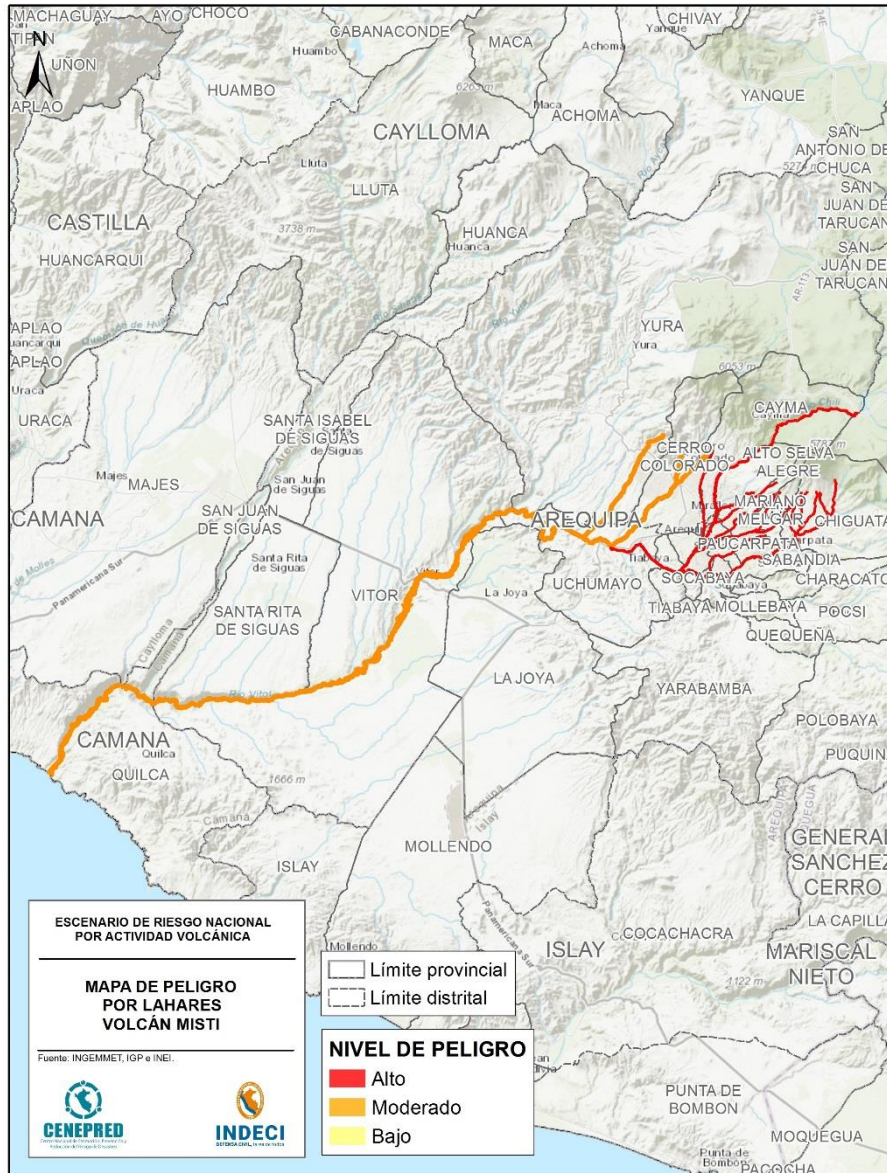


3.2.3.2 Mapa de peligro por emplazamiento de flujos de barro o lahares (INGEMMET)

El mapa de peligros por emplazamiento de lahares se realizó para eventos de este tipo que tengan alcance local y regional. Este mapa está basado en depósitos de lahares que se han identificado en el río Chili. Se tiene una zona de color rojo y otro de color naranja (Figura 8) (INGEMMET, 2016b).

Los lahares que se muestran en color rojo son de alcance local. Pueden generarse de tres formas: a) durante erupciones de magnitud pequeña a moderada, con IEV 2 a 5; b) durante precipitaciones fuertes; c) por el colapso del flanco NO del volcán Misti, que provocaría el represamiento del río Chili en la zona del cañón y su posterior desembalse (INGEMMET, 2016b).

Figura 8. Mapa de peligro por emplazamiento de flujos de barro o lahares



Está basado en depósitos de lahares ubicados en el río Chili y quebradas que bajan del volcán Misti, muy posiblemente asociados a erupciones con IEV 2 a 3. Por ejemplo, se encuentran los lahares datados en 1035 ± 45 , 520 ± 25 , 340 ± 40 y 330 ± 60 años B.P. (Delaite et al., 2005), así como el lahar asociado a la erupción de hace 2050 años B.P., del volcán Misti. También está basado en los 10 depósitos de lahar identificados entre Pampas de Cusco y Congata (Cereceda & Mariño, 2008). Las dimensiones y características de estos depósitos ya fueron descritas en los acápites anteriores (INGEMMET, 2016b).



Los lahares que se muestran en color naranja (fig. 7.6) son de alcance regional. Pueden generarse durante erupciones de gran magnitud, con IEV 6. Se basan en los lahares que se originaron durante la erupción del volcán Huaynaputina de 1600 d.C. En dicha oportunidad se generaron lahares de gran volumen que llegaron hasta el océano Pacífico, luego de recorrer más de 120 km de distancia (Thouret et al., 1999b) (INGEMMET, 2016b).

También se han identificado lahares de gran volumen en los ríos Chili y Andamayo, asociados posiblemente a erupción grandes del volcán Misti. Estudios realizados por Cereceda y Mariño (2008), han permitido identificar 3 lahares importantes, denominados Tingo Grande, Pichu Pichu, Andamayo y Uchumayo, en la zona de Pampas del Cusco y Congata. Estos lahares poseen varios metros de espesor a más de 25 km del volcán Misti. Incluso el lahar Uchumayo posee cerca de 1 m de espesor a 50 km de distancia del volcán Misti (INGEMMET, 2016b).

3.2.3.3 *Mapa de peligro por descenso de lahares (IGP)*

En las últimas décadas, se han realizado varios estudios sobre el impacto que tendría en la ciudad de Arequipa la erupción del volcán Misti, así como sus peligros asociados (descenso de flujos piroclásticos, emisión y caída de tefras, colapso sectorial del edificio volcánico y descenso de lahares)(IGP, 2021b).

Para el volcán Misti el IGP ha elaborado el mapa de escenarios críticos por descenso de lahares utilizando el programa LAHARZ_py. Este programa correlaciona el volumen de un evento lahárico y el área planimétrica en sección transversal inundada por un lahar. Históricamente, los volúmenes máximos de lahares registrados están en el orden de 1,5 Mm³ a 4 Mm³ para periodos entre 300 a 1000 años, asociados a veces a erupciones explosivas moderadas (IEV 1-2). Los lahares con volúmenes del orden de 9 Mm³ a 10 Mm³ son menos frecuentes y ocurren cada 1,000 a 5,000 años asociados a erupciones explosivas grandes (IEV ≥ 3) (IGP, 2021b).

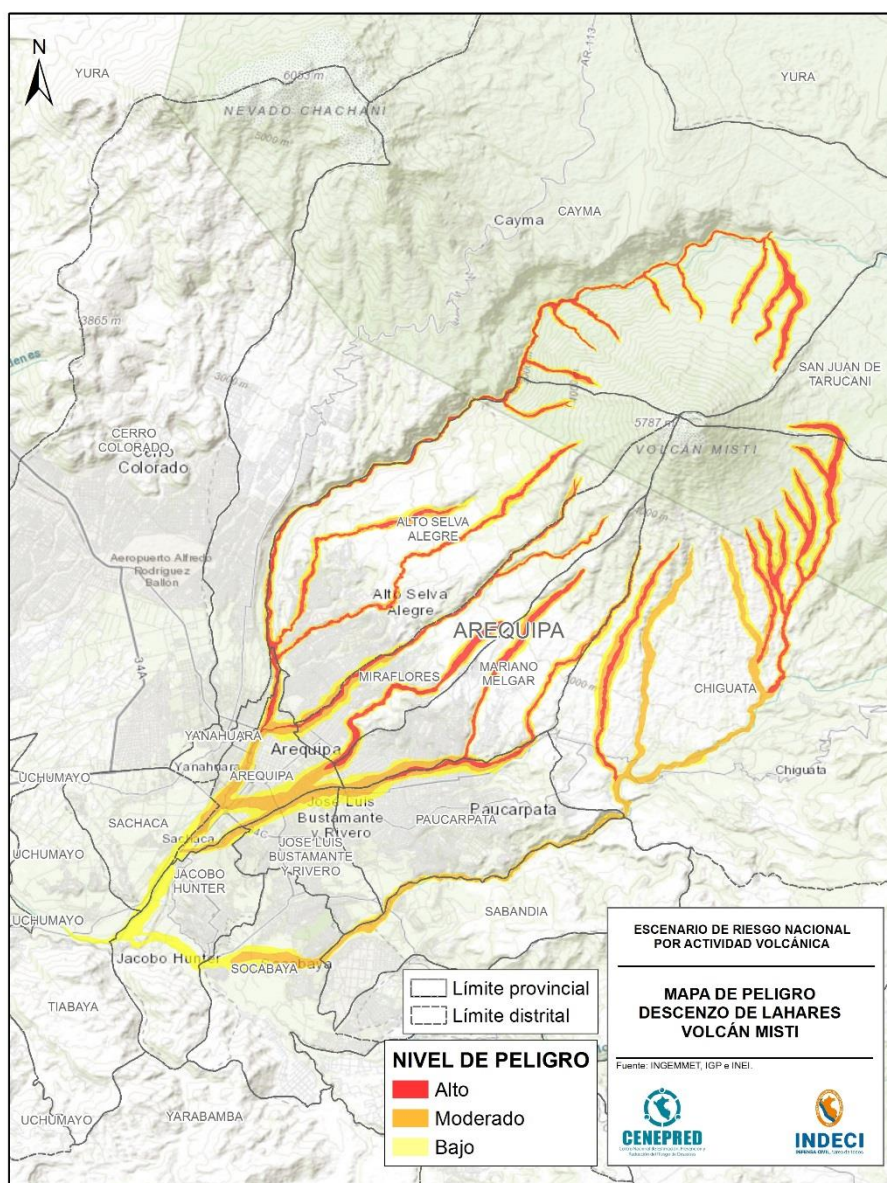
A) Escenario 1 (sobre las quebradas, áreas de color rojo): En este escenario se considera la generación de lahares con volúmenes de 1.5 Mm³ que discurren por las quebradas que drenan por el flanco sur del volcán como Peral, Pato, San Lázaro y Barranco-Huarangal, siendo su probabilidad de ocurrencia alta sobre todo en periodos de lluvia. Si estos lahares se producen pueden afectar los distritos de Alto Selva Alegre, Miraflores, Mariano Melgar, Paucarpata, Cercado Arequipa, José Luis Bustamante y Rivero, y Sachaca. Además, de descender lahares por las quebradas ubicadas al sureste del Misti, como Agua Salada y Honda, estas afectarían los distritos de Chiguata, Sabandía y Socabaya.

B) Escenario 2 (sobre las quebradas áreas de color naranja): Considera la ocurrencia de lahares con volúmenes de 3 Mm³ que discurren por las quebradas del flanco sur, sureste, oeste y noroeste el flanco sur del volcán como Peral, Pato, San Lázaro, Huarangueros y Barranco- Huarangal, hasta distancias de 20 km desde el cráter del volcán. Si estos lahares se producen pueden afectar los distritos de Alto Selva Alegre, Miraflores, Mariano Melgar, Paucarpata, Cercado Arequipa, José Luis Bustamante y Rivero, Yanahuara, Sachaca y Jacobo Hunter. De descender lahares por las quebradas ubicadas al sureste del Misti, como Agua Salada, Honda con dirección al río Andamayo-Socabaya, estas afectarían los distritos de Chiguata, Sabandía y Socabaya y Jacobo Hunter hasta alcanzar el río Chili.

C) Escenario 3 (sobre las quebradas, áreas de color amarillo): Considera la ocurrencia de lahares con volúmenes de 9 Mm³ que discurren por las quebradas que drenan por el flanco sur, sureste, oeste y noroeste del volcán Misti hasta distancias de más de 27 km desde el cráter del volcán. Si estos lahares se producen afectarían severamente los distritos de Alto Selva Alegre, Miraflores, Mariano Melgar, Paucarpata, Cercado Arequipa, José Luis Bustamante y Rivero, Yanahuara, Sachaca, Jacobo Hunter, Tiabaya, Chiguata, Sabandía y Socabaya. La probabilidad de ocurrencia es baja, la cual puede estar ligada a una eventual erupción del Misti o lluvias muy intensas.



Figura 9. Mapa de peligro por descenso de lahares



3.2.3.4 Mapa de peligro por avalanchas de escombros (IGP)

Las avalanchas de escombros es un flujo seco, denso y rápido, compuesto de clastos volcánicos que se desplazan en una ladera de volcán debido a un súbito sacudimiento por la ocurrencia de una erupción, movimientos sísmicos, alteración hidrotermal o explosiones volcánicas. Este tipo de producto volcánico ocurre con poca frecuencia y puede alcanzar decenas de kilómetros de distancia debido a su gran velocidad de desplazamiento, llegando a arrasar todo lo que encuentra a su paso. Las avalanchas volcánicas han ocurrido en numerosos conos compuestos o estratovolcanes durante tiempos históricos. Algunos han ocurrido después de varios meses de actividad precursora sísmica, de deformación o explosiva; otras han ocurrido con aparentemente escaso aviso previo (IGP, 2021a).

En el caso del volcán Misti, los afloramientos de avalanchas de escombros se extienden hacia el sur, oeste y suroeste de la estructura volcánica, a distancias entre 11 y 8 km del cráter. Estos depósitos tienen un espesor promedio de 60 m y cubren una superficie aproximada de 40 km². Algunos afloramientos, principalmente en el sector suroeste (Villa Ecológica), presentan morfología típica de montículos o colinas pequeñas (hummocks) de hasta 70 m de alto. El depósito presenta predominantemente facies de matriz y, ocasionalmente, facies de bloques (IGP, 2021a).

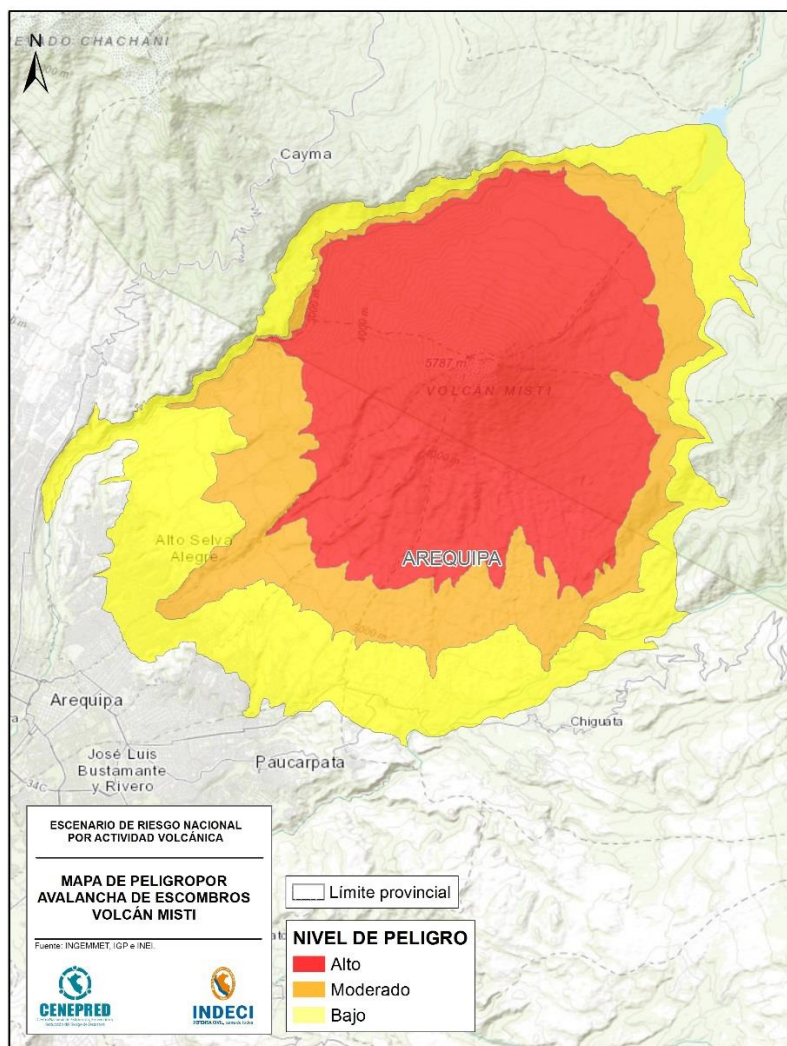


A) Zona de peligro alto (área de color rojo): La avalancha se desplazaría, desde la cima del volcán hasta distancias de 5 a 9 km en un tiempo de aproximadamente 15 minutos con velocidades de hasta 80 m/s en el primer minuto, para finalmente culminar su recorrido con una velocidad promedio de 0.5 m/s. En este escenario, la avalancha ocuparía un área de ~8.2 km² del distrito de Mariano Melgar, y considerando el límite urbano actual, no afectaría población ni área urbana. Es importante tener en cuenta este escenario al momento de planificar la expansión urbana y planes de desarrollo para el futuro, en especial para la seguridad y la gestión del riesgo volcánico en favor de la población (IGP, 2021a).

B) Zona de peligro moderado (zona de color naranja): La avalancha de escombros recorrería, desde la cima del volcán hasta distancias entre 6 a 13.3 km en un tiempo de aproximadamente 50 minutos con velocidades de hasta 76 m/s en el primer minuto, para finalmente culminar su recorrido con una velocidad promedio de 1 m/s (IGP, 2021a).

C) Zona de peligro bajo (zona de color amarilla): La avalancha se desplazaría, desde a la cima del volcán hasta distancias entre 6 a 15 km en un tiempo de aproximadamente 1 hora y 15 minutos con velocidades máximas de hasta 80 m/s en el primer minuto, para finalmente terminar su recorrido con una velocidad promedio de 1.5 m/s. El área afectada en este escenario es de ~26.1 km²; por lo tanto, serían afectados los sectores noreste y noroeste del distrito de Mariano Melgar. Es importante considerar que tipo de escenario eruptivo no es ajeno al volcán Misti, por cuanto ya ocurrió hace 2050 años y podría volver a presentarse en una próxima reactivación; por lo tanto, se debe evitar el crecimiento poblacional hacia el volcán Misti a fin de reducir el riesgo del distrito (IGP, 2021a).

Figura 10. Mapa de peligro por avalanchas de escombros





3.2.3.5 Mapa de peligro por flujo de lava (IGP)

Son corrientes de roca fundida que son expulsadas por el cráter o fracturas existentes en los flancos del volcán y fluir por el fondo de las quebradas hasta alcanzar varios kilómetros de distancia. En volcanes peruanos, al tener magmas viscosos, normalmente los flujos se enfrían en la zona del cráter para formar domos de lava o recorren escasos kilómetros. Los flujos de lava destruyen y calcinan todo a su paso; sin embargo, no representan una gran amenaza para las personas debido a su baja velocidad de desplazamiento (IGP, 2021a).

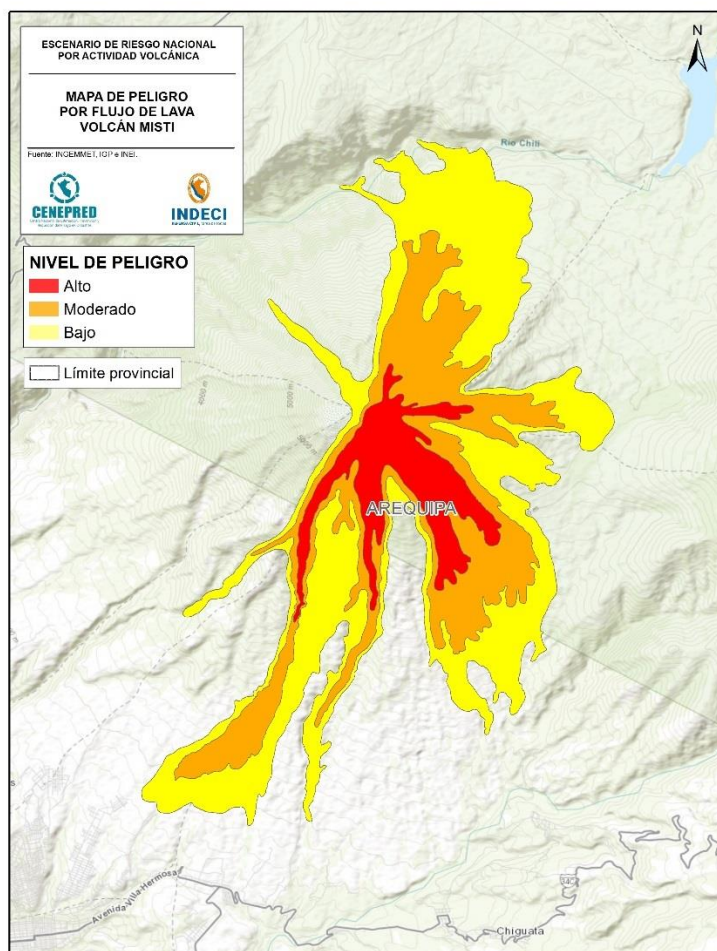
El volcán Misti, típicamente, ha emitido lavas viscosas de composición andesítica a dacítica que al ser expulsadas se han trasladado hasta distancias entre 10 y 12 km en dirección suroeste, aunque en promedio las distancias alcanzadas fueron entre 5 y 8 km (IGP, 2021a).

A) Zona de peligro alto (zona de color rojo): En este escenario, las lavas se desplazarían, desde la cima del volcán hasta distancias entre 1 a 5 km en un tiempo de 19 minutos con una velocidad máxima de 23 m/s. La distancia recorrida por el flujo de lava, es similar a la alcanzada durante erupciones pasadas (IGP, 2021a).

B) Zona de peligro moderado (zona color naranja): Los flujos de lava recorrerían, desde la cima del volcán una distancia de 3 a 9 km en un tiempo de 23 minutos con una velocidad máxima de 36 m/s (IGP, 2021a).

C) Zona de peligro bajo (zona de color amarillo): En este escenario, los flujos de lava se desplazarían, desde la cima del volcán hasta distancias de 4 a 10 km en un tiempo de aproximadamente 28 minutos con velocidades máximas de hasta 43 m/s (IGP, 2021a).

Figura 11. Mapa de peligro por flujo de lava





3.2.3.6 Mapa de peligro por flujo de piroclastos (IGP)

Los flujos piroclásticos son masas calientes (300 °C a 500 °C) conformadas por una mezcla de ceniza, fragmentos de roca y gases, que descienden por los flancos del volcán a velocidades entre 200 y 300 m/s. Estos flujos poseen normalmente una parte inferior densa que se encauza y desplaza por el fondo de las quebradas o valles y otra superior menos densa, denominada oleada piroclástica, compuesta por una nube turbulenta de gases y ceniza que con facilidad sale del valle, sobrepasa relieves importantes y afecta un área mayor (IGP, 2021a).

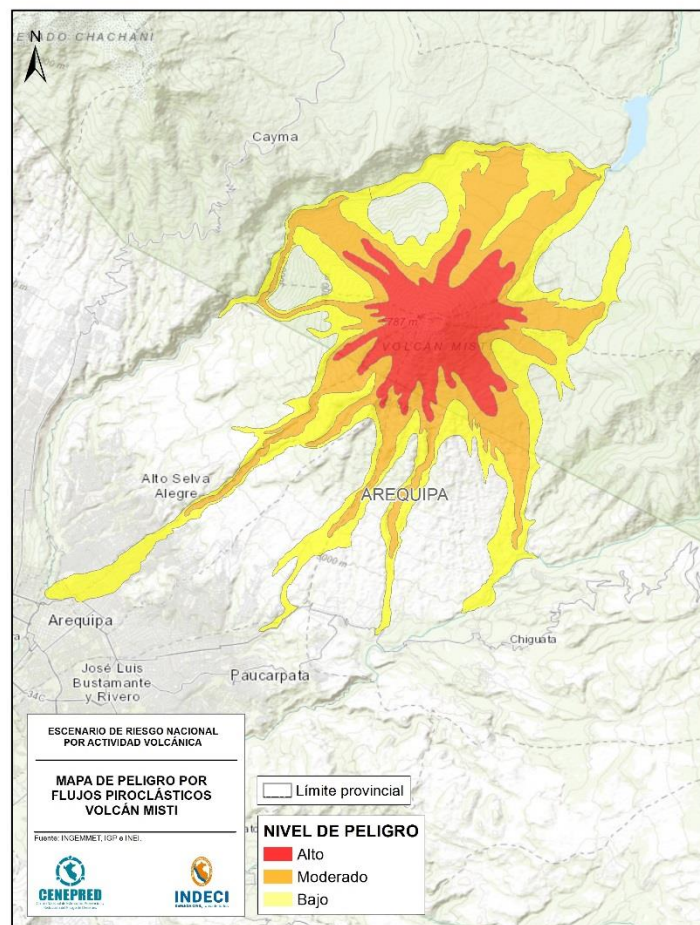
Estos flujos y oleadas piroclásticas destruyen y calcinan todo lo que encuentran a su paso. La erupción del Misti de hace 2050 años generó flujos piroclásticos de pómez y ceniza canalizados en las quebradas hasta alcanzar distancias, desde el cráter de hasta 13 km en dirección sur y suroeste. Estos flujos poseen hasta 30 m de espesor a 6 km del cráter y entre 4 y 6 m de espesor a 11 km del cráter (IGP, 2021a).

A) Zona de peligro alto (zona de color rojo): Los flujos piroclásticos se desplazarían, desde la cima del volcán hasta distancias de 2 a 4.2 km en un tiempo de aproximadamente 75 segundos con una velocidad máxima de 41 m/s (IGP, 2021a).

B) Zona de peligro moderado (zona de color naranja): Los flujos piroclásticos recorrerían, desde la cima del volcán hasta distancias de 4 a 11.5 km en un tiempo de aproximadamente 6 minutos con una velocidad máxima de 50 m/s (IGP, 2021a).

C) Zona de peligro bajo (zona de color amarillo): Los flujos piroclásticos se desplazarían, desde la cima del volcán hasta distancias de 4 a 17.3 km en un tiempo de aproximadamente 12 minutos con velocidades máximas de hasta 51 m/s. El área afectada por el peligro de flujos piroclásticos ocupa ~3.4 km² y sería menor que el obtenido para las avalanchas de escombros (IGP, 2021a).

Figura 12. Mapa de peligro por flujo de piroclastos



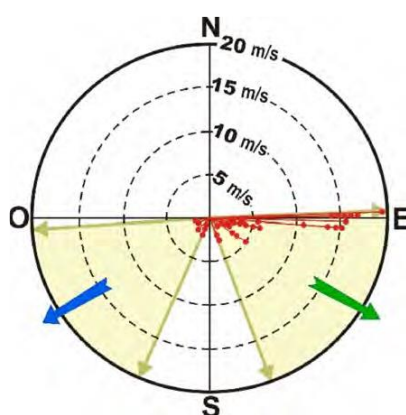


3.2.3.7 Mapa de peligros por caída de ceniza para una erupción de magnitud baja (IEV 2) (INGEMMET)

El mapa de peligros por caídas de piroclastos para una erupción de magnitud baja del volcán Misti se realizó en base a un escenario de erupción de tipo vulcaniano con IEV 2. Se estima que en el volcán Misti ocurren erupciones vulcanianas con IEV 1-2 cada 500 a 1500 años, aproximadamente (INGEMMET, 2016b).

Para delimitar las zonas con diferentes grados de peligrosidad, se utilizó como referencia el mapa de isópacas de ceniza de la erupción del volcán Misti del siglo XV. Para la construcción de este mapa también se consideraron las direcciones y velocidades predominantes de los vientos, quienes controlan la dirección preferente de dispersión de las cenizas. Las direcciones de vientos fueron determinadas por especialistas del Instituto Geofísico del Perú, mediante el análisis de datos NCEP/NCAR, para el período 1979-1998. Se consideraron alturas de vientos a 5865, 9690 y 10960 msnm. Durante el año se tienen dos direcciones preferentes: entre los meses de abril y octubre se dirigen preferentemente en dirección E, SE y SSE; mientras que entre noviembre y marzo se dirigen principalmente en dirección O, SO y SSO (Figura 13) (INGEMMET, 2016b).

Figura 13. Roseta que muestra la dirección preferente de vientos a 5865, 9690 y 10960 msnm.



Las líneas rojas representan la dirección y velocidad de los vientos. Fuente: IGP, con datos de NCEP/ NCAR, 1979-1998.

A) Zona de alto peligro (rojo)

La zona de alto peligro, de color rojo en el mapa (Figura 14), puede ser afectada por caídas de ceniza de más de 4 cm de espesor, durante erupciones de magnitud baja con IEV 2 (INGEMMET, 2016b).

Para delimitar esta zona de alto peligro, se utilizó como referencia el mapa de isópacas de ceniza de las erupciones del volcán Misti del siglo XV (Thouret et al., 2001). En el mapa en mención, la isópaca de 4 cm de espesor pasa a 15 km al SO, aproximadamente. Esta máxima distancia fue proyectada en las distintas direcciones de vientos obtenidos (INGEMMET, 2016b).

B) Zona de moderado peligro (naranja)

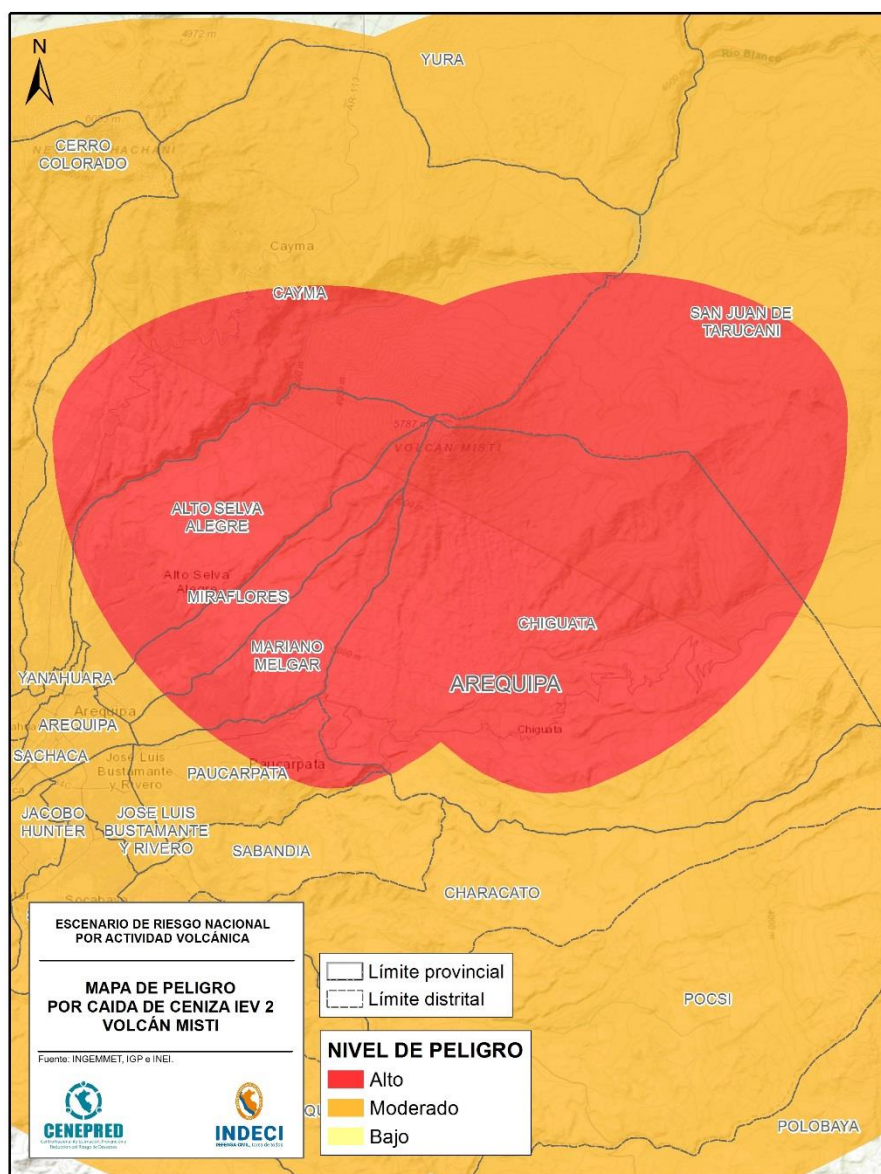
La zona de moderado peligro, de color naranja en el mapa, puede ser afectada por caídas de ceniza de más de 1 cm de espesor, durante erupciones de magnitud baja con IEV 2. Para delimitar esta zona de moderado peligro, se utilizó como referencia el mapa de isópacas de ceniza de las erupciones del volcán Misti del siglo XV (Thouret et al., 2001). En el mapa en mención, la isópaca de 1 cm de espesor pasa a una distancia máxima de 30 km al oeste del volcán. Esta máxima distancia fue proyectada en las distintas direcciones de vientos obtenidos (INGEMMET, 2016b).

C) Zona de bajo peligro (amarillo)

La zona de bajo peligro, de color amarillo en el mapa, puede ser afectada por caídas de cenizas de menos de 1 cm de espesor, durante erupciones de magnitud baja con IEV 2. Para delimitar esta zona de bajo peligro también se utilizó como referencia el mapa de isópacas de ceniza de las erupciones del volcán Misti del siglo XV (Thouret et al., 2001), así como el procedimiento descrito en el acápite anterior (INGEMMET, 2016b).



Figura 14. Mapa de peligros por caída de ceniza para una erupción de magnitud baja (IEV 2)



3.2.3.8 Mapa de peligros por caída de ceniza para una erupción de magnitud moderada o grande (IEV 3-6) (INGEMMET)

El mapa de peligros por caídas piroclásticas para una erupción de magnitud grande del volcán Misti se realizó en base a un escenario de erupción de tipo subpliniano con IEV 3 a 4 y otro pliniano con IEV 6. Se escogieron estos escenarios porque se han identificado varios depósitos de caída piroclástica del volcán Misti que han sido asociados a erupciones subplinianas y plinianas. Por ejemplo, la erupción del volcán Misti de hace 2050 años B.P., con un IEV de 3 y la erupción que emplazó el depósito de caída Autopista, con un IEV de 4 (Thouret et al., 2001; Cacya et al., 2007; Cobeñas, 2009). También se tienen depósitos de caída piroclástica que por su espesor podrían estar asociados a erupciones plinianas con IEV mayor o igual a 5, tales como el depósito de caída Fibroso I, de hace 33.8 ka, y los depósitos de caída Sacaroso y Fibroso emplazados entre 24 y 20 ka. Se estima que en el volcán Misti ocurren erupciones subplinianas con IEV 3-4, cada 2 a 4 mil años aproximadamente, y erupciones con IEV igual o mayor a 5, cada 10 a 20 mil años, aproximadamente (INGEMMET, 2016b).

Para la construcción de este mapa, también se consideraron las direcciones y velocidades predominantes de vientos. Las direcciones de vientos fueron determinadas mediante el análisis de datos NCEP/NCAR,



para el período 1979-1998, por especialistas del Instituto Geofísico del Perú. Se consideraron alturas de vientos a 12445, 16645, 20662 y 26415 msnm, que son alturas típicas de columnas eruptivas durante erupciones subplinianas y plinianas. Durante el año se tienen dos direcciones preferentes: entre los meses de abril y octubre se dirigen preferentemente en dirección NE, E y SE, mientras que entre noviembre y marzo se dirigen principalmente en dirección NO, O y SO (INGEMMET, 2016b).

A) Zona de alto peligro (rojo)

La zona de alto peligro, de color rojo en el mapa (Figura 16), puede ser afectada por caídas de ceniza y lapilli de pómez (también líticos) de más de 20 cm de espesor, durante erupciones de magnitud moderada con IEV 3 a 4 (INGEMMET, 2016b).

Para delimitar esta zona de alto peligro, se utilizó como referencia los mapas de isópacas de ceniza y pómez de las erupciones del volcán Misti de hace 2050 años B.P., y del depósito de caída Autopista. En el mapa de isópacas de la erupción del volcán Misti de hace 2050 años B.P., la isópaca de 20 cm pasa aproximadamente a 16 km al SO del cráter (figura 6.6, Thouret et al., 2001), mientras que la isópaca de 20 cm del depósito de caída Autopista pasa a 25 km al oeste del cráter (Cacya et al., 2007). Se utilizó esta distancia máxima, 25 km, para delimitar la zona de alto peligro, la que fue proyectada en las distintas direcciones de vientos obtenidos (INGEMMET, 2016b).

B) Zona de moderado peligro (naranja)

La zona de moderado peligro, de color naranja en el mapa, puede ser afectada por caídas de ceniza y piedra pómez de más de 10 cm de espesor, durante erupciones de magnitud grande con IEV 5-6 (INGEMMET, 2016b).

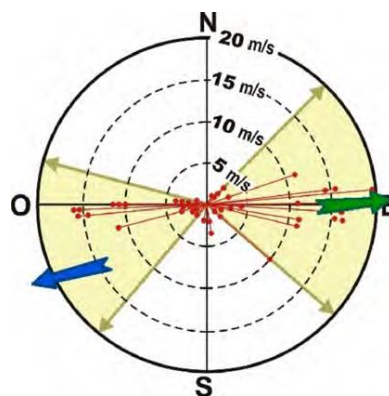
Debido a que no se cuenta con un mapa de dispersión de ceniza para una erupción con IEV igual o mayor de 5 del volcán Misti, para delimitar esta zona de moderado peligro se utilizó como referencia el mapa de isópacas de la erupción del volcán Huaynaputina del año 1600 d.C. (Thouret et al., 1999b). En el mapa en mención, la máxima distancia alcanzada por la isópaca de 10 cm es de 55 km, aproximadamente. Esta máxima distancia fue proyectada en las distintas direcciones de vientos obtenidos (INGEMMET, 2016b).

C) Zona de bajo peligro (amarillo)

La zona de bajo peligro, de color amarillo en el mapa, es la zona que puede ser afectada por caídas de ceniza de 7 a 10 cm de espesor, durante erupciones de magnitud grande con IEV 6. También en este caso, y por razones ya explicadas, se utilizó como referencia el mapa de isópacas de la erupción del volcán Huaynaputina del año 1600 d.C. (Thouret et al., 1999b). En el mapa en mención, la máxima distancia alcanzada por la isópaca de 70 cm fue de 83 km, aproximadamente. Esta máxima distancia fue proyectada en las distintas direcciones de vientos obtenidos ((INGEMMET, 2016b).

Figura 15) (INGEMMET, 2016b).

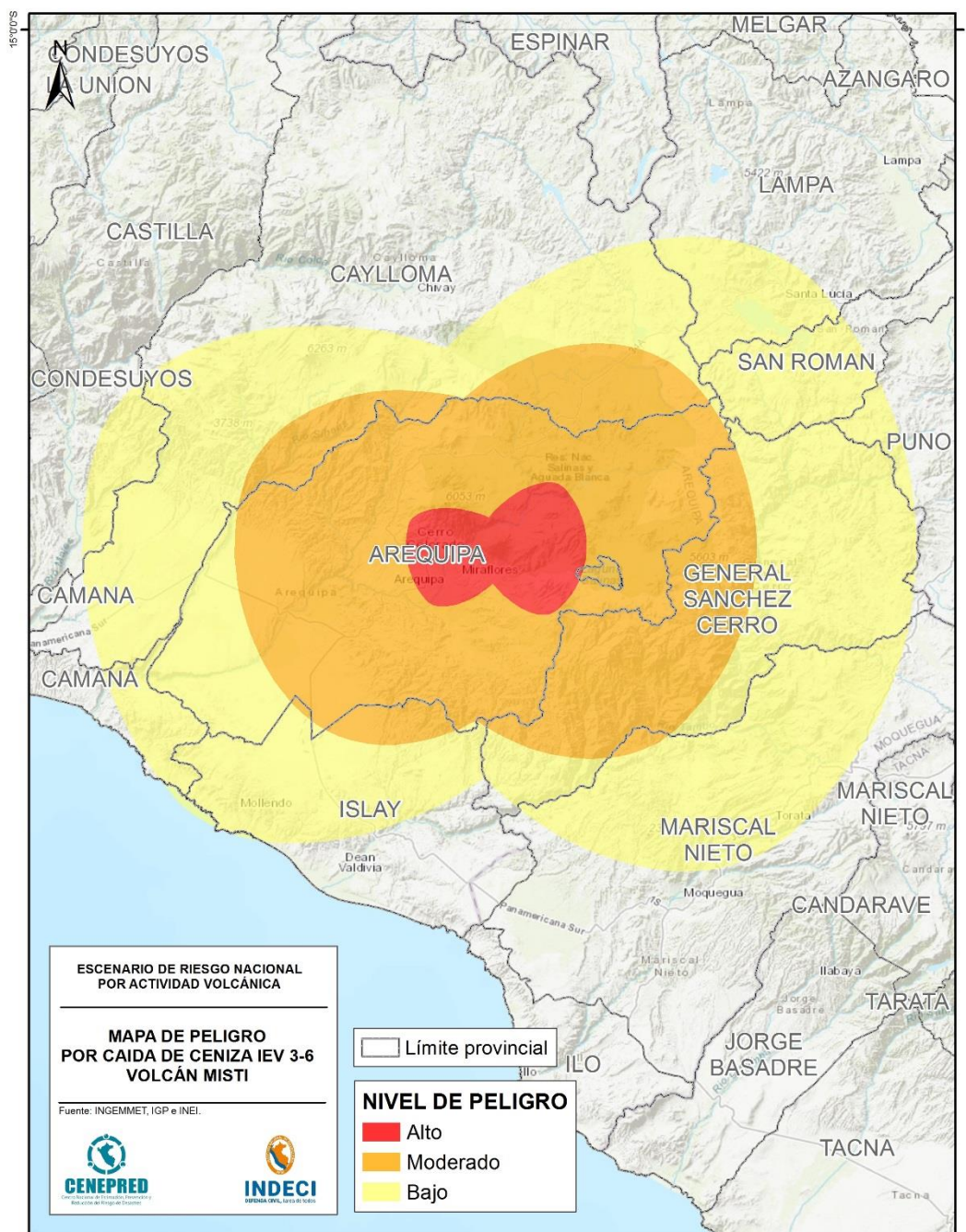
Figura 15. Roseta que muestra la dirección preferente de vientos a 12445, 16645, 20662 y 26415 msnm.



Fuente: IGP, con datos de NCEP/NCAR, 1979-1998, citado de INGEMMET (2016).



Figura 16. Mapa de peligros por caída de ceniza para una erupción de magnitud moderada o grande (IEV 3-6)



3.2.3.9 Mapa de peligro por caída de cenizas por erupción de tipo vulcaniana (IGP)

A) Peligro Alto: considera la zona que puede ser afectada por caída de cenizas que formarían capas con espesores menores a 5 cm sobre un área proximal con radio de 10 km alrededor del volcán Misti. Estos valores son coherentes con los correspondientes a la erupción presentada por el volcán Misti entre los años 1440-1470 con un IEV-2 (IGP, 2021a).

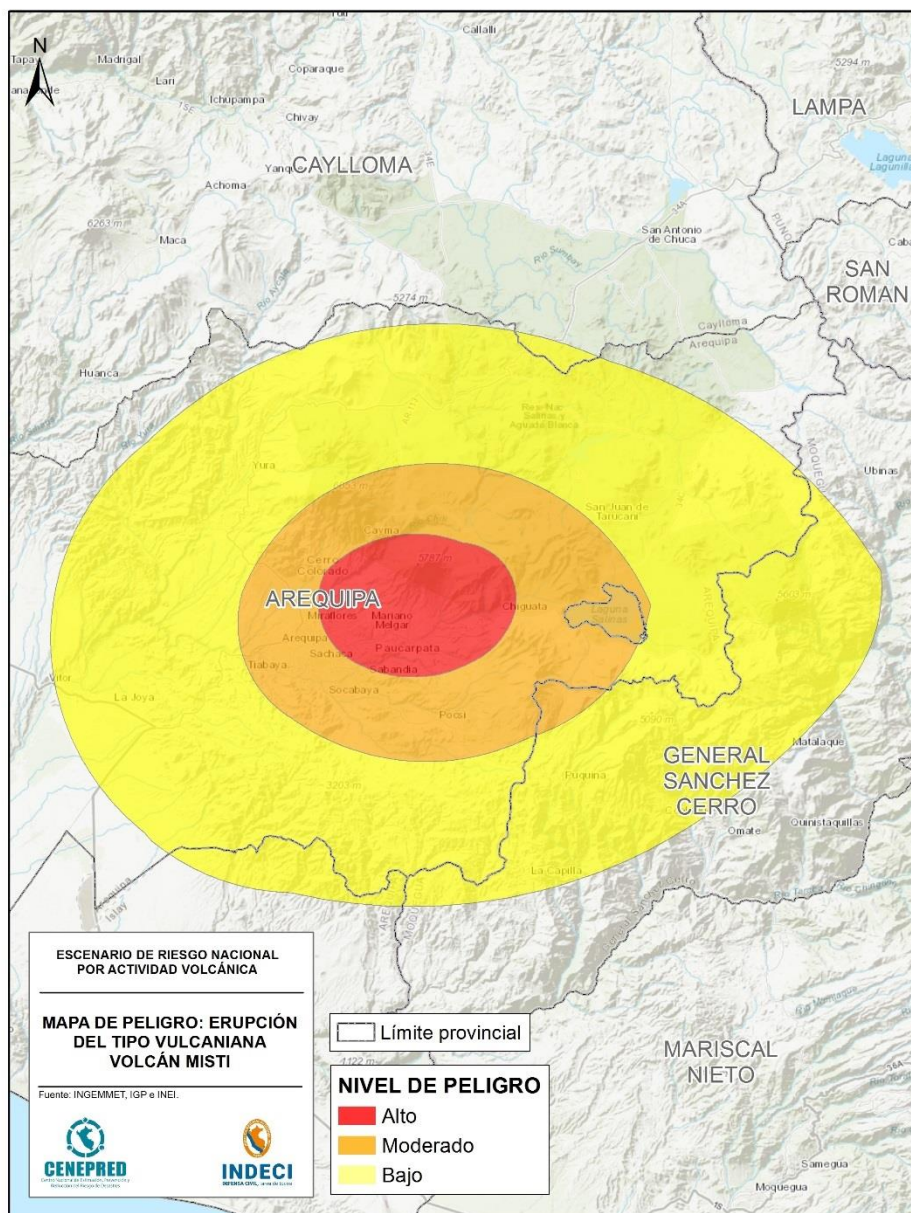
B) Peligro Moderado: considera la zona que puede ser afectada por caída de cenizas que formarían una capa con espesores de algunos centímetros a milímetros sobre un área con radio de 30 km alrededor del volcán Misti. Estos valores son coherentes con los correspondientes a la erupción del volcán Ubinas en los



años 2006-2009 con IEV 2. Esta erupción dejó depósitos de ceniza con espesores de 1 mm en un radio de 30 km del cráter del volcán Ubinas (IGP, 2021a).

C) Peligro Bajo: considera la zona que puede ser afectada por caída de cenizas que formarían una capa con espesores menores a 1 mm sobre un área distal de radio igual a 60 km desde el volcán Misti. Estos valores son coherentes con los datos de la última erupción del volcán Ubinas del año 2019. Después de esta erupción, se identificaron capas de ceniza con espesores de 1 mm a más de 90 km (IGP, 2021a).

Figura 17. Mapa de peligro por caída de cenizas por erupción de tipo vulcaniana



3.2.3.10 Mapa de peligro por caída de cenizas por erupción de tipo pliniana (IGP)

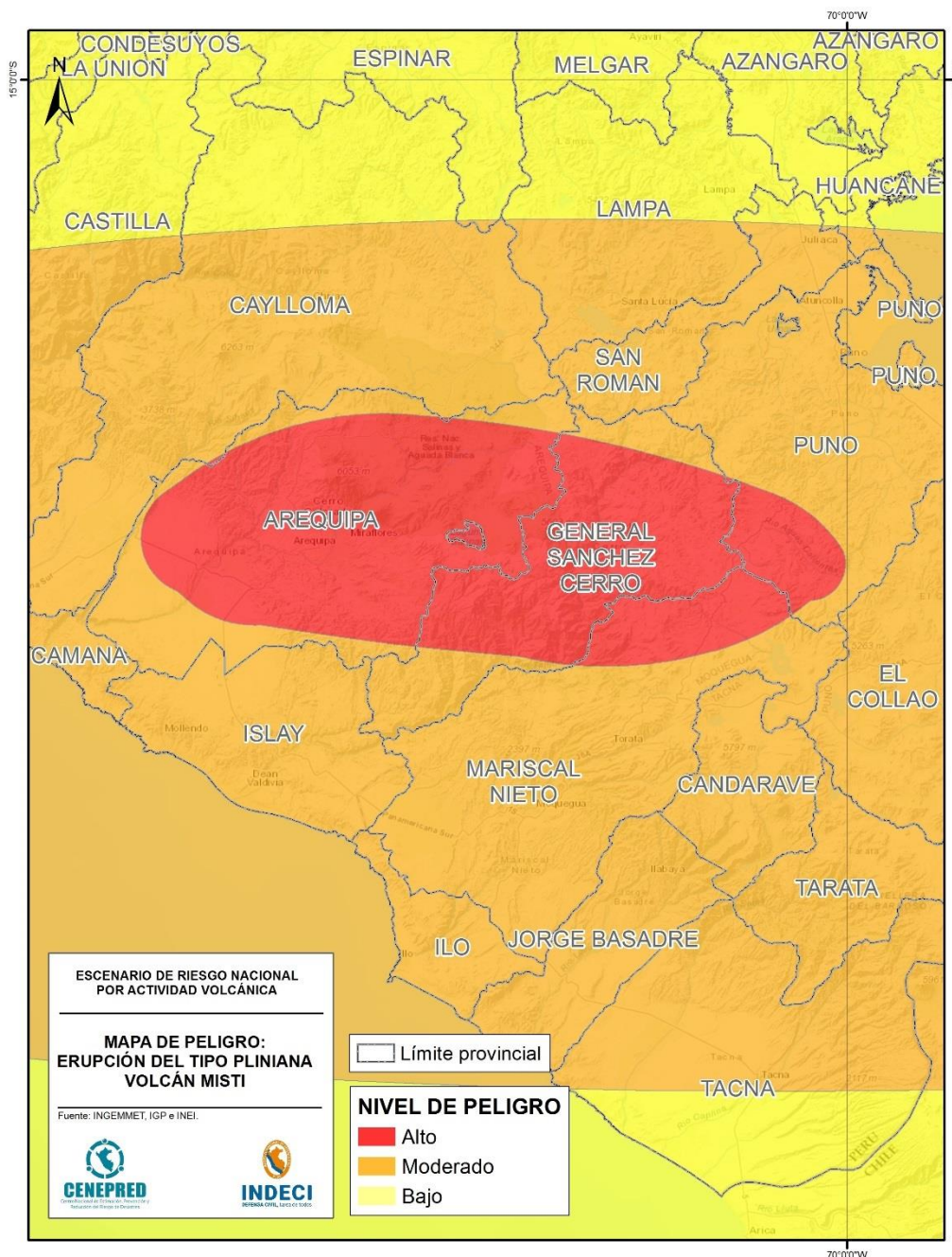
Peligro Alto: corresponde a la zona que puede ser afectada por caída de pómez y ceniza que formarían una capa de 1m a 50 cm de espesor sobre un área proximal con radio de 12 km alrededor del volcán Misti. Estos resultados son coherentes con los depósitos de cenizas correspondientes a la erupción pliniana del volcán Misti ocurrida hace 33,700 años. En esta erupción los depósitos de ceniza presentaron espesores de 1.20 cm en una zona proximal de radio entre 11 a 15 km al SO del volcán Misti (IGP, 2021a).



Peligro Moderado: correspondería a una zona que puede ser afectada por caída de cenizas que formarían capas con espesores menores a 50 cm en un radio de 12 a 25 km de distancia del volcán Misti. Estos resultados son coherentes con los depósitos de ceniza de 40 a 80 cm de espesor hasta distancias de 15 km en dirección SO del volcán y que correspondería a la erupción pliniana del volcán Misti ocurrida hace 33,700 años AP (IGP, 2021a).

Peligro Bajo: correspondería a una zona que puede ser afectada por caída de cenizas que formarían capas con espesores de algunos centímetros hasta 25 cm sobre un área de radio entre 20 a 30 km de distancia del volcán Misti. Estos resultados son coherentes con los depósitos de cenizas de 8 a 40 cm de espesor formados durante la erupción pliniana del volcán Misti ocurrida hace 33,700 años AP. Estas capas fueron visibles a distancias mayores a 15 km en dirección SO del volcán (IGP, 2021a).

Figura 18. Mapa de peligro por caída de cenizas por erupción de tipo pliniana





3.3 Escenario de riesgo volcánico: Misti

3.3.1 Identificación de elementos expuestos

En la identificación de los elementos expuestos se obtuvo del Censo de Población y Vivienda de 2017 del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), las instituciones educativas del Ministerio de Educación, los establecimientos de salud del Ministerio de Salud y la cobertura agrícola (Ha) Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego; de esta manera se obtuvieron los siguientes resultados:

3.3.1.1 Mapa de peligros de la zona proximal para peligros múltiples (INGEMMET)

Tabla 2. Provincia de Arequipa: Elementos expuestos a peligros múltiples

Nivel de riesgo		ALTO				
Departamento	Provincia	Población	Viviendas	Establec. Salud	Instituc. Educativas	Cob. Agrícola (Ha)
AREQUIPA	AREQUIPA	183,854	52,785	75	200	7,671
Total		183,854	52,785	75	200	7,671

Nivel de riesgo		MODERADO				
Departamento	Provincia	Población	Viviendas	Establec. Salud	Instituc. Educativas	Cob. Agrícola (Ha)
AREQUIPA	AREQUIPA	352,740	106,199	141	619	3,015
Total		352,740	106,199	141	619	3,015

Tabla 3. Distritos de la provincia de Arequipa: Elementos expuestos a peligros múltiples

Nivel de riesgo	ALTO		MODERADO	
	Población	Viviendas	Población	Viviendas
ALTO SELVA ALEGRE	24,393	6,634	55,611	16,078
AREQUIPA	26,215	8,734	12,597	3,938
CAYMA	17,596	5,695	67,976	21,560
CERRO COLORADO	8,704	2,899	51,703	18,173
CHIGUATA	1,023	349	388	153
JACOBO HUNTER	1,589	378	1,042	290
JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO	11,917	3,457	7,338	2,213
MARIANO MELGAR	9,421	2,659	45,251	13,368
MIRAFLORES	28,756	8,150	30,244	8,577
PAUCARPATA	42,038	9,711	64,449	16,747
SABANDIA	336	108	601	148
SACHACA	3,101	1,147	1,954	594
SOCABAYA	2,519	679	4,223	1,180
TIABAYA	210	58	392	110
UCHUMAYO	75	15	1,752	534
YANAHUARA	5,961	2,112	7,219	2,536
TOTAL	183,854	52,785	352,740	106,199



3.3.1.2 Mapa de peligro por emplazamiento de flujos de barro o lahares (INGEMMET)

Tabla 4. Provincias: Elementos expuestos a flujos de barro o lahares múltiples

Nivel de riesgo		ALTO				
Departamento	Provincia	Población	Viviendas	Establec. Salud	Instituc. Educativas	Cob. Agrícola
AREQUIPA	AREQUIPA	22,044	6,707	0	0	6,373
AREQUIPA	CAMANA	0	0	0	0	0
Total		22 044	6 707	0	0	6 373

Nivel de riesgo		MODERADO				
Departamento	Provincia	Población	Viviendas	Establec. Salud	Instituc. Educativas	Cob. Agrícola
AREQUIPA	AREQUIPA	1,719	701	0	0	3,027
AREQUIPA	CAMANA	0	0	0	0	329
Total		1 719	701	0	0	3 356

Tabla 5. Distritos de la provincia de Arequipa: Elementos expuestos a flujos de barro o lahares

Nivel de riesgo	ALTO		MODERADO	
	Población	Viviendas	Población	Viviendas
ALTO SELVA ALEGRE	3,969	978	0	0
AREQUIPA	3,304	1,180	0	0
CAYMA	2,088	669	0	0
CERRO COLORADO	630	214	1,608	645
CHIGUATA	267	90	0	0
JACOBO HUNTER	190	59	0	0
JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO	1,680	458	0	0
MARIANO MELGAR	357	141	0	0
MIRAFLORES	2,516	996	0	0
PAUCARPATA	3,709	900	0	0
SACHACA	478	140	0	0
SOCABAYA	1,206	305	0	0
YANAHUARA	1,650	577	0	0
YURA	0	0	111	56
TOTAL	22,044	6,707	1,719	701

3.3.1.3 Mapa de peligro por descenso de lahares (IGP)

Tabla 6. Provincias: Elementos expuestos a descenso de lahares

Nivel de riesgo		ALTO				
Departamento	Provincia	Población	Viviendas	Establec. Salud	Instituc. Educativas	Cob. Agrícola
AREQUIPA	AREQUIPA	3,525	1,178	2	9	0
Total		3,525	1,178	2	9	0



Nivel de riesgo		MODERADO				
Departamento	Provincia	Población	Viviendas	Establec. Salud	Instituc. Educativas	Cob. Agrícola
AREQUIPA	AREQUIPA	42,581	12,134	30	89	11
Total		42,581	12,134	30	89	11

Tabla 7. Distritos de la provincia de Arequipa: Elementos expuestos a descenso de lahares

Nivel de riesgo	ALTO		MODERADO	
	Población	Viviendas	Población	Viviendas
ALTO SELVA ALEGRE	670	263	3,207	895
AREQUIPA			12,260	4,016
CHIGUATA			293	117
JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO			1,680	512
MARIANO MELGAR	1,022	308	9,295	2,432
MIRAFLORES	1,536	527	10,302	2,844
PAUCARPATA	297	80	5,495	1,306
SACHACA			49	12
TOTAL	3,525	1,178	42,581	12,134

3.3.1.4 Mapa de peligro por avalanchas de escombros (IGP)

Tabla 8. Provincias: Elementos expuestos a avalanchas de escombros

Nivel de riesgo		BAJO				
Departamento	Provincia	Población	Viviendas	Establec. Salud	Instituc. Educativas	Cob. Agrícola
AREQUIPA	AREQUIPA	53,547	15,781	10	47	1,576
Total		53,547	15,781	10	47	1,576

Tabla 9. Distritos de la provincia de Arequipa: Elementos expuestos a avalanchas de escombros

Nivel de riesgo	BAJO	
Distrito	Población	Viviendas
ALTO SELVA ALEGRE	28,224	8,163
CHIGUATA	88	49
MARIANO MELGAR	878	566
MIRAFLORES	23,880	6,853
PAUCARPATA	477	150
TOTAL	53,547	15,781



3.3.1.5 Mapa de peligro por flujo de piroclastos (IGP)

Tabla 10. Provincias: Elementos expuestos a flujo de piroclastos

Nivel de riesgo		BAJO				
Departamento	Provincia	Población	Viviendas	Establec. Salud	Instituc. Educativas	Cob. Agrícola
AREQUIPA	AREQUIPA	43,795	10,979	8	57	838
Total						

Tabla 11. Distritos de la provincia de Arequipa: Elementos expuestos a flujo de piroclastos

Nivel de riesgo	BAJO	
Distrito	Población	Viviendas
ALTO SELVA ALEGRE	14,036	3,531
AREQUIPA	1,139	426
MIRAFLORES	28,620	7,022
TOTAL	43,795	10,979

3.3.1.6 Mapa de peligros por caída de ceniza para una erupción de magnitud baja (IEV 2) (INGEMMET)

Tabla 12. Departamentos: Elementos expuestos a caída de ceniza para una erupción de magnitud baja (IEV 2)

Nivel de riesgo	ALTO				
Departamento	Población	Viviendas	Establec. Salud	Instituc. Educativas	Cob. Agrícola
AREQUIPA	2,907	2,227	20	110	1,869
TOTAL	2,907	2,227	20	110	1,869

Nivel de riesgo	MODERADO				
Departamento	Población	Viviendas	Establec. Salud	Instituc. Educativas	Cob. Agrícola
AREQUIPA	1,030,585	375,050	441	1,628	13,482
MOQUEGUA	3	4	0	0	0
TOTAL	1,030,588	375,054	441	1,628	13,482



3.3.1.7 *Mapa de peligros por caída de ceniza para una erupción de magnitud moderada o grande (IEV 3-6) (INGEMMET)*

Tabla 13. Provincias: Elementos expuestos a caída de ceniza por una erupción de magnitud moderada o grande (IEV 3-6)

Nivel de riesgo		ALTO				
Departamento	Provincia	Población	Viviendas	Establec. Salud	Instituc. Educativas	Cob. Agrícola
AREQUIPA	AREQUIPA	897,997	318,725	434	1,550	9,091
Total		897 997	318 725	434	1 551	9 091

Nivel de riesgo		MODERADO				
Departamento	Provincia	Población	Viviendas	Establec. Salud	Instituc. Educativas	Cob. Agrícola
AREQUIPA	AREQUIPA	174,929	86,888	48	299	26,441
AREQUIPA	CAYLLOMA	1,940	1,586	4	17	4,601
AREQUIPA	ISLAY			2	0	2,418
MOQUEGUA	GENERAL SANCHEZ CERRO	8,721	6,155	19	88	8,651
MOQUEGUA	MARISCAL NIETO			0	0	12
TACNA	TACNA			1	0	0
Total		185 590	94 629	74	404	42 124

3.3.1.8 *Mapa de peligro por caída de cenizas por erupción de tipo vulcaniana (IGP)*

Tabla 14. Departamentos: Elementos expuestos a caída de ceniza por una erupción de tipo vulcaniana

Nivel de riesgo		ALTO			
Departamento	Población	Viviendas	Establec. Salud	Instituc. Educativas	Cob. Agrícola
AREQUIPA	513,451	165,459	231	779	2,174
Total	513 451	165 459	231	779	2 174

Nivel de riesgo		MODERADO			
Departamento	Población	Viviendas	Establec. Salud	Instituc. Educativas	Cob. Agrícola
AREQUIPA	518,511	205,548	229	956	11,161
MOQUEGUA	3	4	1	1	
Total	518 514	205 552	230	957	11 161



3.3.1.9 Mapa de peligro por caída de cenizas por erupción de tipo pliniana (IGP)

Tabla 15. Departamentos: Elementos expuestos a caída de ceniza por una erupción de tipo pliniana

Nivel de riesgo	ALTO				
Departamento	Población	Viviendas	Establec. Salud	Instituc. Educativas	Cob. Agrícola
AREQUIPA	1,069,789	400,214	481	1,839	27,803
CUSCO			0	0	0
MOQUEGUA	16,099	12,324	32	151	11,160
PUNO	883	1,109	2	14	0
TACNA			1	0	0
Total	1 086 771	413 647	516	2 004	38 963

Nivel de riesgo	MODERADO				
Departamento	Población	Viviendas	Establec. Salud	Instituc. Educativas	Cob. Agrícola
AREQUIPA	257,630	135,852	120	705	106,016
CUSCO	95	70	0	1	7
MOQUEGUA	158,764	69,984	97	281	15,645
PUNO	734,923	354,120	395	1,955	463,991
TACNA	206,587	83,310	243	442	33,175
Total	1 357 999	643 336	855	3 384	618 835

3.3.2 Identificación de probables impactos

La caracterización de los impactos para los ámbitos con nivel de riesgo Muy Alto y Alto se determina de la siguiente manera: Con respecto a la **caída de piroclastos y proyectiles balísticos**, estas partículas pueden causar problemas de salud en las personas, contaminar fuentes de agua, colapsar los techos por el peso acumulado, afectar cultivos, interrumpir el tráfico aéreo, entre otros.

Los **flujos de lava** son corrientes de roca fundida expulsadas por el cráter o fracturas en los flancos del volcán. Pueden fluir por el fondo de los valles y alcanzar varios kilómetros de distancia, pero raramente llegan a más de 8 km del centro de emisión. Los flujos de lava calcinan y destruyen todo a su paso, sin embargo, no representan un alto peligro para las personas debido a su baja velocidad.

Las **avalanchas de escombros** son deslizamientos súbitos de una parte importante de los edificios volcánicos, ocurren con poca frecuencia, pueden alcanzar decenas de kilómetros de distancia y se desplazan a gran velocidad. Estas entierran y destruyen todo lo que encuentran a su paso. Adicionalmente, pueden generar lahares y crecientes a partir del desagüe de agua represada por la avalancha.

Durante las erupciones volcánicas, se produce una importante liberación de **gases**, principalmente vapor de agua; pero también dióxido de carbono, dióxido de azufre, ácido clorhídrico, monóxido de carbono, ácido fluorhídrico, azufre, nitrógeno, cloro y flúor. Los gases también pueden formar compuestos químicos que se adhieren a las partículas de ceniza, así como reaccionar con las gotas de agua y provocar lluvias ácidas

que generan corrosión, daños en los cultivos, así como contaminación de aguas y suelos. Frecuentemente, los efectos nocivos están restringidos a un radio menor de 10 km.

Los distritos de mayor riesgo, debido a que se encuentran asentados en zonas de riesgo alto, son Alto Selva Alegre, Miraflores, Paucarpata, Mariano Melgar, Cayma y Chiguata, así como los ubicados en la cuenca del río Chili, como Yanahuara, Cercado, Hunter, Uchumayo, Tiabaya y Sachaca.



La ciudad de Arequipa cuenta con un aeropuerto internacional, con 4 autopistas de acceso, represas, hidroeléctricas, cuarteles, bases aéreas, entre otros. Gran parte de esta infraestructura se encuentra en riesgo. A continuación, se presenta una breve descripción de la infraestructura más importante en riesgo:

- El Sistema Hídrico del río Chili está conformado por las represas El Pañe, Los Españoles, Pillones, El Fraile, Banputañe, Challhuanca y Aguada Blanca, que en total poseen una capacidad de almacenamiento de cerca de 400 millones de metros cúbicos (Jiménez et al., 2010). Este sistema abastece de agua para el consumo poblacional de Arequipa. De acuerdo con SEDAPAR, durante el año 2007, el consumo fue de 2.115 m³/s y en el 2010 fue de 3.280 m³/s. Por su parte, las centrales hidroeléctricas de Charcani I, II, III, IV y V, para operar al 100% de su capacidad hidroeléctrica instalada necesitan 24 m³/s de agua de la cuenca del río Chili (INGEMMET, 2016).
- La planta de tratamiento de agua potable de La Tomilla, ubicada en la cuenca media del río Chili, abastece a más de 80% de la población de Arequipa (INGEMMET, 2016).
- Las centrales hidroeléctricas del río Chili (Charcani I, II, III, IV, V) generan cerca de 172 MW (Jiménez et al., 2010); se encuentran en el cañón del río Chili, en el flanco NO del volcán Misti. La hidroeléctrica Charcani V es uno de los pocos proyectos construidos en el mundo al pie de un volcán activo (INGEMMET, 2016).
- En la cuenca media del río Chili se tienen 8 puentes que conectan los sectores SE y NO de la ciudad. También en ambas márgenes se tienen universidades (Universidad Católica San Pablo), el Club Internacional de Arequipa, así como urbanizaciones y nuevos proyectos de vivienda (INGEMMET, 2016).
- La mina de cobre Cerro Verde, una de las más importantes del país, se abastece de agua de la cuenca del río Chili para sus operaciones. Se estima que utiliza cerca de 1160 l/s de agua (INGEMMET, 2016).
- También pueden ser afectados el aeropuerto de Arequipa, el sistema de transporte terrestre, las fábricas y las áreas de cultivo (INGEMMET, 2016).

Los lahares viajan a lo largo de quebradas o ríos y eventualmente pueden salir de estos cauces en los abanicos de inundación. El área afectada depende del volumen de agua y de materiales sueltos disponibles, así como de la pendiente y topografía. Normalmente destruyen todo a su paso, pueden alcanzar grandes distancias (>200 km) e incluso generar inundaciones cerca al cauce de ríos.

Daños que podrían causar entre los elementos expuestos en su ámbito de influencia:

- Muerte de personas y animales.
- Destrucción de infraestructura (carreteras, canales de regadío, bocatomas, etc.).
- Contaminación de las fuentes de agua.
- Arrasa zonas de cultivos.
- Las principales quebradas

Las quebradas localizadas sobre la ciudad de Arequipa, donde podrían ocurrir lahares son las siguientes:

- Quebrada Pastores
- Quebrada San Lázaro
- Quebrada Chical
- Quebrada Huarangal
- Quebrada Paucarpata
- Quebrada Agua Salada
- Quebrada Peña Colorada
- Río Chili
- Río Andamay

Posibles zonas afectadas: Alto Selva Alegre, Cerro Colorado, Miraflores, Mariano Melgar, Paucarpata, Yanahuara, Cayma, Jacobo Hunter, Socabaya, Sachaca, Tiabaya, Uchumayo, José Luis Bustamante y Rivero.



3.4 Conclusiones

Actualmente, el volcán Misti no se encuentra en actividad, sin embargo, debido a su cercanía a la ciudad de Arequipa, las entidades técnicas como el IGP (a través del Centro Vulcanológico Nacional - CENVUL) y el INGEMMET lo monitorean permanentemente. Asimismo, han realizado estudios técnicos que permiten conocer los ámbitos de influencia de los diferentes tipos de peligros asociados a una posible erupción volcánica.

Página | 36

De acuerdo con los estudios elaborados por el IGP e INGEMMET, los principales peligros a los cuales, se encuentra expuesta la ciudad de Arequipa son: peligro volcánico por peligros múltiples, descenso o caída de lahares, avalanchas de escombros, flujo de lava, flujo de piroclastos y caída de cenizas. Mientras que, en el ámbito de la macro región sur, el principal peligro al cual se encuentra expuesta sería la caída de cenizas, los cuales llegarían a tener amplias extensiones de cobertura, debido a la dirección de los vientos.

Entre los peligros con mayor población y viviendas expuestas en la ciudad de Arequipa, así como establecimientos de salud, instituciones educativas y coberturas agrícolas (Ha); serían los peligros múltiples, flujo de lahares y caída de cenizas.

Con relación a los resultados del mapa de peligros múltiples, en la ciudad de Arequipa se han contabilizado 183,854 personas y 52,785 viviendas expuestas a riesgo alto. Entre los distritos con mayor número de población y viviendas se encuentran: Paucarpata, Miraflores, Alto Selva Alegre, Arequipa y Cayma.

Con relación a los resultados emplazamiento de flujo de lahares (INGEMMET), se han contabilizado 22,044 personas y 6,707 viviendas con riesgo alto; con relación a los distritos con mayor número de elementos expuestos, se encuentran: Alto Selva Alegre, Arequipa, Cayma, José Luis Bustamante y Rivero, Miraflores, Paucarpata, Socabaya y Yanahuara.

Finalmente, con relación al escenario más extremo por caída de ceniza, por erupción de tipo pliniana (IGP), el departamento con mayor población con riesgo alto a este peligro es Arequipa, seguido por Moquegua y Puno.



VOLCÁN SABANCAYA



Fuente: INGEMMET (2016)



4 VOLCÁN SABANCAYA

De acuerdo con el INGEMMET (2016), el volcán Sabancaya se encuentra ubicado a 70 km al NO de la ciudad de Arequipa, en la Cordillera Occidental de los Andes del sur del Perú. El volcán está situado en la provincia de Caylloma, departamento de Arequipa, cuyas coordenadas geográficas son las siguientes:

Latitud comprendida entre 15° 46' y 15° 52' sur

Longitud comprendida entre 71° 49' y 71° 54' oeste

La cumbre del volcán Sabancaya está a 5980 msnm, cubre un área de 65 a 70 km² y representa un volumen de aproximadamente 6-7 km³ (INGEMMET, 2016).

4.1 Peligro volcánico: Sabancaya

el volcán Nevado Sabancaya (5980 msnm), es el volcán más joven y activo del complejo Ampato-Sabancaya, y está conformado principalmente por secuencias de flujos de lava de composición andesítica y dacítica, con limitados depósitos piroclásticos. El estudio geológico muestra que el Sabancaya se ha edificado en tres etapas: «Sabancaya I», «Sabancaya II» y «Sabancaya III». Durante la etapa «Sabancaya III» se emplazaron al menos dos flujos de lava andesítica a través de un ventó adventicio (etapa «Sabancaya IIIb»), ubicado en el flanco sureste, a 3.5 km del cráter. Sobre los flujos de lavas yacen delgados depósitos de cenizas grises a negras retrabajadas, y algunos bloques juveniles ligados a erupciones explosivas de moderada magnitud (IEV 1-2), ocurridos durante los últimos miles y cientos de años. La última actividad eruptiva ocurrió entre los años 1988-1998, durante la cual emitió ceniza (2 cm de espesor a 8 km al Este del volcán) y bloques balísticos, producto de una actividad explosiva vulcaniana. Entre febrero de 2013 y el 2016, el Sabancaya empieza a emitir gases en formas de columnas (INGEMMET, 2016).

Los estudios tefro-estratigráficos del volcán Sabancaya realizado por medio de cuatro calicatas ubicadas al pie del flanco Este del volcán Sabancaya muestran varias erupciones explosivas de baja a moderada magnitud (IEV 1-2) durante el Holoceno. En las calicatas se han identificado 13 capas centimétricas de caída de ceniza emitidas entre 4150 ± 40 años AP y 730 ± 35 años AP (INGEMMET, 2016).

4.1.1 Geomorfología

El complejo volcánico Ampato-Sabancaya junto con el estratovolcán Hualca Hualca presentan uno de los relieves más elevados de la región del Colca, cuyas cumbres localizadas sobre los 6000 msnm, están cubiertas de nieve y hielo la mayor parte del año. Estos volcanes se alinean según una dirección surmeridiana y están situados sobre una altiplanicie a aproximadamente 4000 msnm, constituida mayoritariamente de secuencias volcánicas. El volcán Sabancaya ha sido poco afectado por la actividad glacial, sugiriendo que se emplazó después de la última gran glaciación (INGEMMET, 2016).

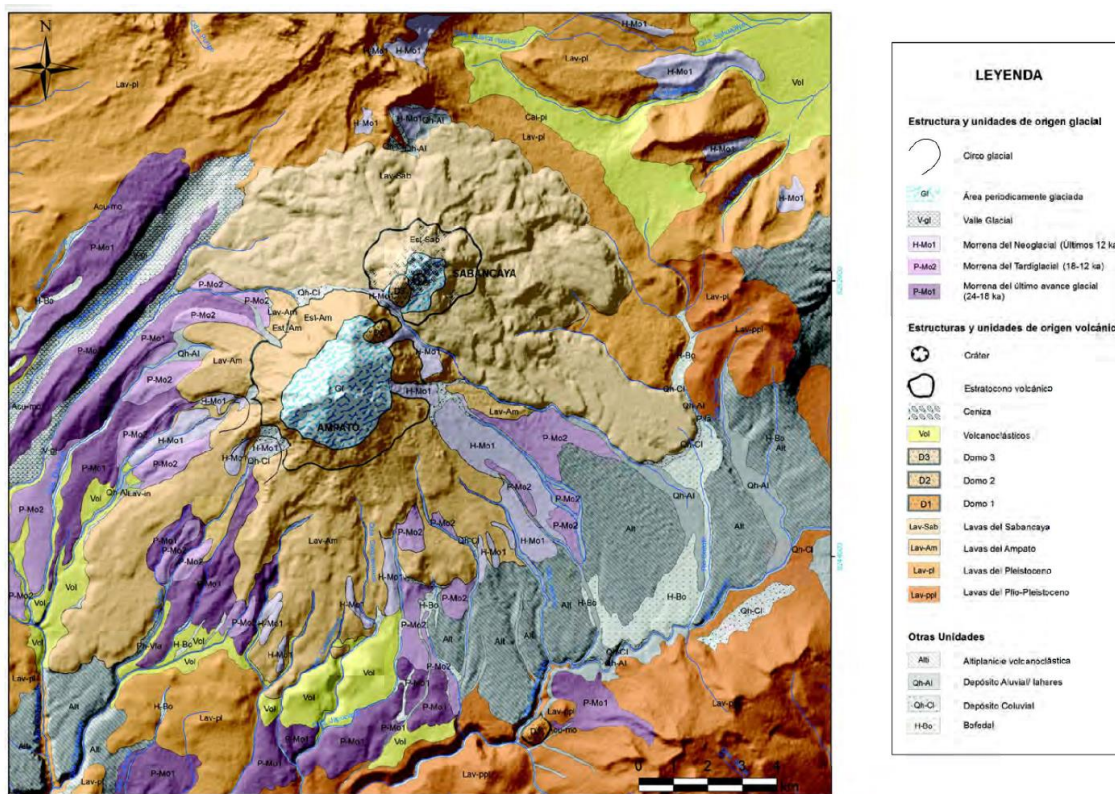
Figura 19. Zona de Altiplanicie volcanoclástica cubierta de ceniza, vista desde la pampa Llullipampa



Fuente: INGEMMET (2016).



Figura 20. Mapa geomorfológico del complejo volcánico Ampato-Sabancaya y áreas aledañas



Fuente: INGEMMET (2016).

4.1.2 Mapas de peligro del volcán Sabancaya

4.1.2.1 Mapa proximal de peligros múltiples (INGEMMET)

La zonificación de peligros del mapa proximal fue realizada para peligros múltiples, es decir para el emplazamiento de flujos piroclásticos, flujos de lava y eyección de proyectiles balísticos. El mapa está a una escala 1/50 000 (INGEMMET, 2016).

Las zonas de alto, moderado y bajo peligro determinadas para los flujos piroclásticos, flujos de lava y proyectiles balísticos, así como las zonas de bajo, moderado y alto peligro determinadas para lahares fueron integradas, producto del cual se tiene el mapa principal que considera peligros múltiples (INGEMMET, 2016).

Para la delimitación del alcance que pueden recorrer los flujos piroclásticos en los flancos del complejo volcánico se empleó la metodología denominada «cono de energía», que ha sido bastante utilizada para definir las zonas de peligro proximales alrededor de un volcán. Este método postula que el alcance horizontal (L) de un flujo piroclástico es función de la diferencia de alturas (H) entre el punto de generación del flujo y el punto de depósito (INGEMMET, 2016).

La relación H/L es un indicador de la movilidad del flujo, así para una relación H/L cercano a 0.1, los flujos poseen gran movilidad y por tanto alcanzan mayor distancia, mientras que para una relación H/L cercana a 0.3 poseen poca movilidad y alcanzan una distancia poco lejana. Los alcances de los flujos piroclásticos se determinaron con el programa LAHARZ (INGEMMET, 2016).

Para realizar la delimitación de las zonas se deben introducir previamente dos parámetros: el coeficiente H/L y una altura H_0 (en metros). Esta última corresponde a la altura sobre el cráter de la zona fuente de los flujos. Así, por ejemplo, en el caso de un domo ubicado en la cumbre de un volcán, H_0 será igual a 0; mientras que para el colapso de una columna eruptiva (por ejemplo, evento pliniano) se debe estimar la altura sobre el cráter de dicho colaps (generalmente entre 100 y 1000 m) (INGEMMET, 2016).



A) Zona de alto peligro (rojo)

Para delimitar la zona de alto peligro, se consideró el valor 0.35 para la relación H/L y 250 m para el valor de H_0 . Estos valores fueron estimados en base al estudio de campo y corroborado con los datos de la bibliografía. Dichos valores son frecuentes para flujos piroclásticos de escoria de volumen pequeño, generados durante erupciones débiles con IEV 1 - 2 (Escenario 1: erupción vulcaniana). Se consideró como centro de emisión el cráter del volcán Sabancaya, ya que la probabilidad de ocurrencia de erupciones vulcanianas es bastante alta en este volcán, debido a que ocurrió de manera recurrente durante el Holoceno y época histórica. Incluso la última erupción (1988-1998) fue de tipo vulcaniano (INGEMMET, 2016).

Los límites de los flujos piroclásticos se encuentran entre 1 y 4 km de distancia del cráter. Las mayores distancias (3-4 km del cráter) se encuentran en los flancos sureste, este y noreste, mientras que las menores distancias (1-2 km del cráter) están hacia los flancos suroeste y Este del Sabancaya. Esto se explica por la morfología del volcán (INGEMMET, 2016).

Los alcances bajos son frecuentes en erupciones vulcanianas pequeñas. Así, por ejemplo durante la erupción del volcán Reventador de 1976 (Ecuador), se generaron flujos piroclásticos que se emplazaron sobre el fondo del anfiteatro, recorriendo pocos kilómetros de distancia (Hall, 1988); y más recientemente, las erupciones vulcanianas del volcán Tungurahua (2010) generaron pequeños flujos piroclásticos que alcanzaron pocos kilómetros desde el cráter (INGEMMET, 2016).

Los límites de la zona de alto peligro coinciden con el alcance de un gran número de flujos de lavas del Sabancaya, posiblemente las más viscosas, que se encuentran entre los 3 y 4 km de distancia desde su punto de emisión (fig. 3.1). Por otro lado, los proyectiles balísticos generados durante erupciones vulcanianas (IEV 1-2), han alcanzado distancias limitadas a las zonas muy proximales al cráter, típicamente menores a 3 km, en varios volcanes del sur del Perú. Por ejemplo, durante la erupción del volcán Ubinas 2006- 2009, el alcance máximo de proyectiles balísticos fue poco más de 2 km (Rivera et al., 2010), y durante la última erupción del volcán Sabancaya 1988-1998, alcanzó menos de 1.5 km (INGEMMET, 2016).

En resumen, la zona de alto peligro (rojo), puede ser afectada por flujos piroclásticos, generados durante erupciones pequeñas a moderadas con IEV 1-2, por flujos de lava muy viscosas y por proyectiles balísticos (INGEMMET, 2016).

B) Zona de moderado peligro (naranja)

Para delimitar la zona de moderado peligro, se consideró el valor 0.30 para la relación H/L y 500 m como valor de H_0 , según datos de campo y bibliográficos. Estos valores son frecuentes para flujos piroclásticos de escoria de tamaño mediano, generados durante erupciones con IEV 3 (Escenario 2). En este escenario también se consideró como centro de emisión el cráter del volcán Sabancaya (INGEMMET, 2016).

Se consideró este escenario ya que encontramos depósitos de flujos piroclásticos de escoria al sur y suroeste del volcán Ampato. Adicionalmente, erupciones de este tipo han sido frecuentes en algunos volcanes del sur peruano, como la erupción del volcán Ubinas del año 1667 d.C., que emplazó flujos de escoria (IEV 3) (INGEMMET, 2016).

Los límites de los flujos piroclásticos se encuentran entre 5 y 6 km en los flancos sureste, este y noreste del Sabancaya; entre 3 y 5 km en los flancos noreste y norte; y menos de 2 km en el flanco sur y sureste (ver mapa de peligros). En este último caso, la distancia alcanzada es menor ya que es limitada por el flanco noreste del volcán Ampato, que actúa como una «barrera» topográfica (INGEMMET, 2016).

Los límites de la zona de moderado peligro también coinciden con los máximos alcances de algunos flujos de lava emitidos por el volcán Sabancaya, que se encuentran alrededor de 6 km de distancia desde su punto de emisión. Por lo tanto, esta zona de moderado peligro también sirve como zona de peligro para el escenario efusivo (área hasta donde cubrirían los flujos de lava) (INGEMMET, 2016).

Por otro lado, el alcance máximo de proyectiles balísticos se encuentra dentro de un radio menor a 5 km, según datos tomados de Blong (1984). Esta distancia se encuentra dentro de los límites de la zona de moderado peligro (INGEMMET, 2016).



En resumen, la zona de moderado peligro (naranja) puede ser afectada por flujos piroclásticos generados durante erupciones con IEV 3, así como, por flujos de lavas poco voluminosas, pero que poseen mayor movilidad, y también por proyectiles balísticos (INGEMMET, 2016).

C) Zona de bajo peligro (amarillo)

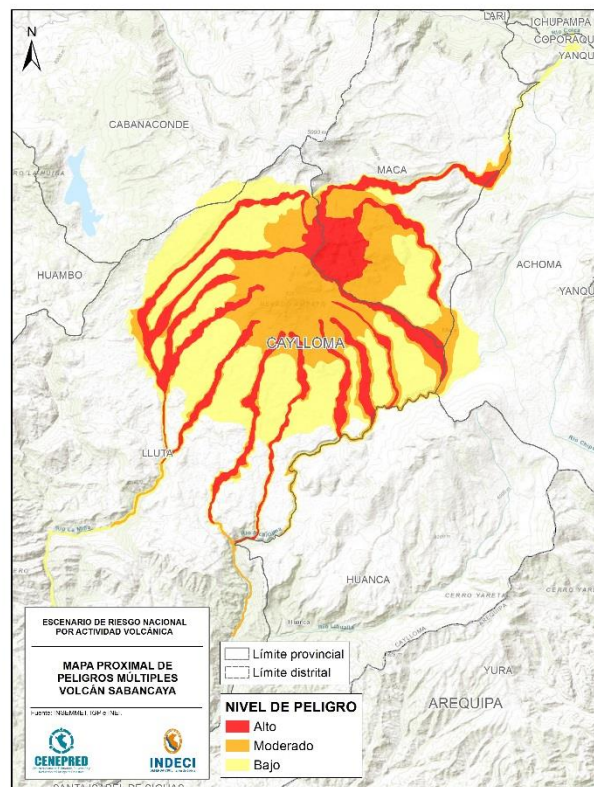
Para delimitar la zona de bajo peligro, se consideró el valor 0.20 para la relación H/L y 500 m el valor de Ho. Valores cercanos a 0.2 del coeficiente H/L, son frecuentes para flujos piroclásticos de pómez y ceniza (Hayashi y Self, 1992) originados durante erupciones plinianas (IEV 4-5), (Escenario 3). Se escogió el valor de 0.2 para el coeficiente H/L debido a que este tipo de flujos piroclásticos poseen alta movilidad. En este escenario se ubicó el centro de emisión en la cumbre del volcán Ampato, debido a que se han encontrado depósitos de caída de pómez (unidad «Corinta») y depósitos de flujos piroclásticos de pómez y ceniza (unidad «ladrillo»), que habrían sido emplazados por erupciones plinianas. Por otro lado, no hemos encontrado depósitos piroclásticos asociados a erupciones plinianas en el volcán Sabancaya (INGEMMET, 2016).

Los límites de los flujos piroclásticos se encuentran entre 9 y 12 km en los flancos suroeste, oeste, sur, sureste, este y noreste del volcán Ampato; y menos de 7 km en el sector norte. El menor alcance en la zona norte se debe a la presencia del flanco sur del Hualca Hualca, que forma una barrera topográfica (INGEMMET, 2016).

Los alcances antes descritos coinciden con el alcance del flujo piroclástico de pómez y ceniza «ladrillo», que llegó alrededor de 10 km de distancia hacia el SE. También, varias erupciones plinianas con IEV 4-5, de volcanes del sur del Perú han recorrido distancias casi similares. Por ejemplo, los flujos piroclásticos de pómez y ceniza de la erupción del volcán Misti de hace 2050 años AP, alcanzaron alrededor de 12 km de distancia (INGEMMET, 2016).

En resumen, la zona de bajo peligro (amarillo), puede ser afectada por flujos piroclásticos de pómez y ceniza generados durante erupciones plinianas (IEV 4-5). La probabilidad de ocurrencia de este tipo de erupciones es muy baja (ocurren en un rango de varios miles de años) (INGEMMET, 2016).

Figura 21. Mapa proximal de peligros múltiples





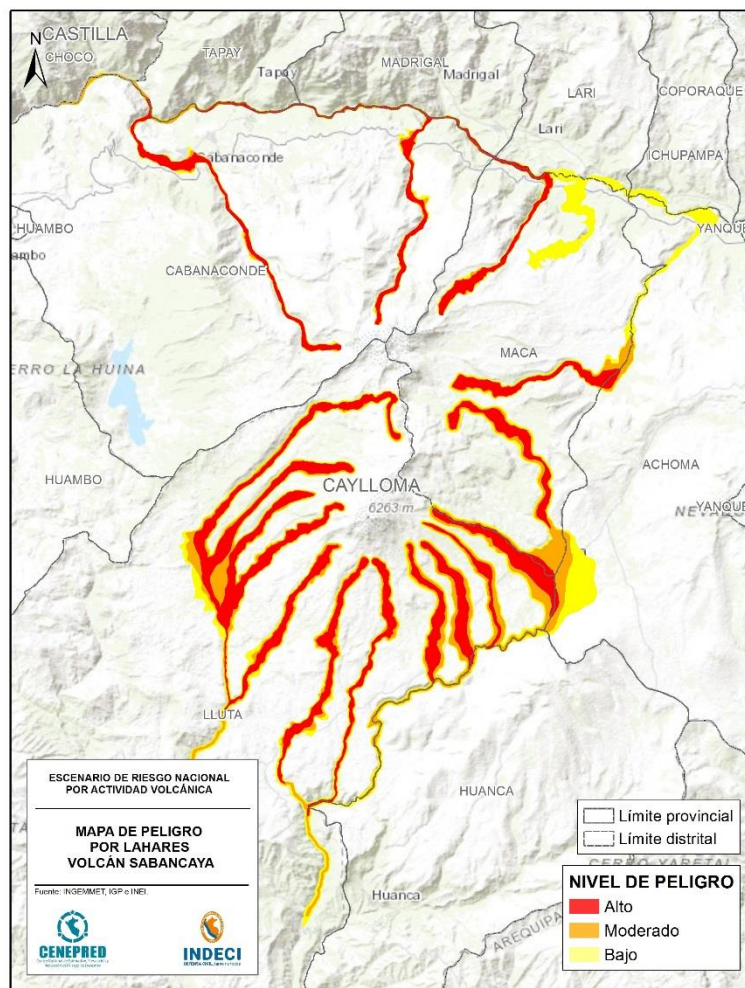
4.1.2.2 Mapa de peligros por lahares (INGEMMET)

En el sur del Perú, se han realizado pocas estimaciones de volúmenes de lahares, solo se tienen cálculos para quebradas que descienden por los flancos del volcán Misti, además del río Chili que discurre entre los volcanes Misti y Chachani. En dicho volcán, volúmenes máximos de lahares del orden de 1.5 a 4 millones de m³, son frecuentes, ocurren cada 300 a 1000 años, aproximadamente y estarían asociados a erupciones moderadas (IEV 1-2); y lahares con volúmenes máximos del orden de 9 a 10 millones de m³, son menos frecuentes, ocurren cada 1 a 5 mil años y estarían asociados a erupciones grandes (IEV ³ 3) (INGEMMET, 2016).

En el volcán Sabancaya se escogieron 4 principales quebradas: Mollebaya, Colihuiri, Sallalli y Sahuancaya-Pujro Huayjo. Este escenario es válido, dado que, en 1990, durante la última erupción del Sabancaya, fueron reportados lahares que llegaron hasta el río Colca, situado a más de 15 km al norte del complejo volcánico Ampato-Sabancaya (INGEMMET, 2016).

En el mapa de peligros por lahares (ver mapa de peligros), la zona roja es considerada la zona de alto peligro, y corresponde a la zona de mayor posibilidad de ser afectada por lahares poco voluminosos asociados a erupciones de baja a moderada magnitud (IEV 1-2). La zona naranja, denominada de moderado peligro, puede ser afectada por lahares de moderado volumen y la zona amarilla, es la zona considerada de bajo peligro o de menor posibilidad de ser afectada por lahares muy voluminosos. Los lahares voluminosos (10 y 20 millones de m³) podrían estar asociados a erupciones de gran magnitud (IEV³ 3). Se debe recalcar que la posibilidad de ocurrencia de tales erupciones es baja o muy baja (INGEMMET, 2016).

Figura 22. Mapa de peligros por lahares





4.1.2.3 Mapa de escenarios críticos por lahares (IGP)

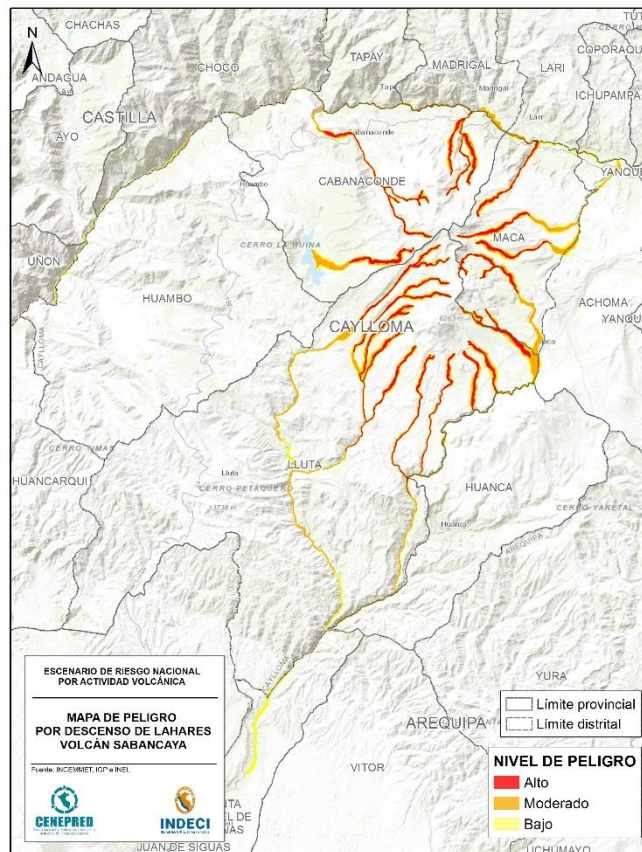
A) Escenario 1 (sobre las quebradas, áreas de color rojo): En este escenario se considera la generación de lahares o flujos de barro con volúmenes de 1.5 Mm³ que discurren por las quebradas que drenan del volcán Sabancaya (Mollebaya, Colihuiri, Sallalli y Sahuancaya Pujro Huayjo), volcán Ampato (Jaruma-Cabana-Pujio, Colquemarca- Bayilllas, Collo-Chacramayo, Vizcachane, Cabadillayoc, Chullune, Condori-Huaraya, Hualaycucho y Quellocancha), y volcán Hualca Hualca (Pungo-Hualca Hualca, Japo, Huayuray, Molebaya-Sepina y Huancané) (INGEMMET, 2016).

La probabilidad de ocurrencia de estos flujos es alta sobre todo en periodos de lluvia y por la disponibilidad de la ceniza acumulada del volcán Sabancaya. Si estos lahares se producen, podrían afectar terrenos de cultivos, terrenos de pastizales, bofedales, y tramos de la carretera Taya-Sallalli-Chivay, Chivay-Cabanaconde (INGEMMET, 2016).

B) Escenario 2 (sobre las quebradas áreas de color naranja): Considera la ocurrencia de lahares con volúmenes de 10 Mm³ que discurren por las quebradas y valles al pie de los volcanes Sabancaya, Ampato y Hualca Hualca, hasta distancias de 20 km desde dichos volcanes. Si estos lahares se producen, podrían afectar poblados como Cabanaconde, Achoma, terrenos de cultivos, terrenos de pastizales, bofedales, canales de agua, y tramos de la carretera Taya-Sallalli- Chivay, Chivay-Cabanaconde (INGEMMET, 2016).

C) Escenario 3 (sobre las quebradas áreas de color amarillo): Considera la ocurrencia de lahares con volúmenes de 20 Mm³ que discurren por las quebradas y valles al pie de los volcanes Sabancaya, Ampato y Hualca Hualca, hasta distancias mayores de 25 km desde dichos volcanes. Si estos lahares se producen afectarían poblados como Cabanaconde Maca, Achoma, terrenos de cultivos, canales de agua, terrenos de pastizales, bofedales, y tramos de la carretera Huanca-Taya-Sallalli- Chivay, Chivay-Cabanaconde-Huambo. Los lahares voluminosos (20 Mm³) podrían generarse debido a erupciones de gran magnitud (IEV \geq 3), aunque su posibilidad de ocurrencia es baja o muy baja (INGEMMET, 2016).

Figura 23. Mapa de escenarios críticos por lahares





4.1.2.4 Mapa de peligros por caídas piroclásticas (cenizas y pómez) (INGEMMET)

El mapa de peligros por caídas piroclásticas para el complejo volcánico Ampato-Sabancaya, se ha dividido en tres zonas: zona de alto peligro en rojo, zona de moderado peligro en naranja y zona de bajo peligro en amarillo, cuyo foco de emisión sería el cráter del volcán Sabancaya (INGEMMET, 2016).

Para la zonificación de peligros se consideraron los tres escenarios explosivos previamente definidos: erupciones vulcanianas con IEV 1-2, vulcanianas y subplinianas con IEV 3, y erupciones plinianas con IEV 4-5. En el volcán Sabancaya, no se han encontrado depósitos piroclásticos asociados a erupciones subplinianas y plinianas con IEV 4-5, pero si en el volcán Ampato (INGEMMET, 2016).

Página | 44

Actualmente, no se cuenta con un mapa de isópacas para los depósitos de caída de pómez del volcán Ampato, debido a que son depósitos antiguos (pre-holocénicos) y, por tanto, ampliamente erosionados por la actividad glacial. Por este motivo, se utilizaron mapas de isópacas de erupciones similares de otros volcanes análogos (INGEMMET, 2016).

También, se tuvieron en cuenta las direcciones predominantes de vientos, ya que estas controlan la dirección preferente de dispersión de las cenizas. Las direcciones de vientos fueron determinadas mediante el análisis de datos NCEP/NCAR, para el periodo 1979- 1998 (ver mapa de peligro), por especialistas del Instituto Geofísico del Perú (Yamina Silva, comunicación escrita, 2007). Para el escenario vulcaniano con IEV 1-2, se utilizaron direcciones de vientos a 5865, 9690 y 10960 msnm, y para escenarios vulcaniano y subpliniano (IEV 3), así como pliniano (IEV 4-5), se utilizaron direcciones de vientos a 12445, 16645, 20662 y 26415 msnm. Durante el año se tienen dos direcciones preferentes, entre abril y octubre se dirigen hacia el este, sureste y noreste, y entre noviembre y marzo se dirigen principalmente en dirección suroeste y oeste (INGEMMET, 2016).

A) Zona de alto peligro (rojo)

La zona de alto peligro, es el área proximal y se halla aproximadamente dentro de un radio de 8 km de distancia del complejo volcánico (INGEMMET, 2016).

Durante erupciones vulcanianas con IEV 2, esta área puede ser afectada por caídas de ceniza de algunos centímetros de espesor. Está basado en la dispersión de cenizas de erupciones vulcanianas de los volcanes Sabancaya, Ubinas y Misti. Durante la erupción del volcán Sabancaya de 1988-1998 (IEV 2), a 10 km de distancia se emplazaron caídas de ceniza de 1 cm de espesor hacia el este (fig. 3.39; Thouret et al., 1994). En la erupción del volcán Ubinas del 2006-2009 (IEV 2), a 10 km de distancia se emplazaron caídas de ceniza de entre 0.5 y 1 cm de espesor (Rivera et al., 2010). En la erupción vulcaniana del volcán Misti del Siglo XV (IEV 2), a 10 km de distancia se emplazaron caídas de ceniza de aproximadamente 4 cm de espesor (INGEMMET, 2016).

Durante erupciones vulcanianas o sub-plinianas con IEV 3, esta área puede ser afectada por caídas de ceniza y lapilli de pómez de varios centímetros de espesor. Esto basado en el mapa de isópacas de la erupción del volcán nevado del Ruiz de 1985 (IEV 3, Naranjo et al., 1986), que a 10 km de distancia emplazó depósitos de caída de ceniza de hasta 7 cm de espesor. También durante la erupción del volcán Tungurahua (Ecuador) de agosto 2006, de IEV 3, se reportaron espesores de caídas de ceniza de entre 4 y 5 cm a 10 km de distancia del cráter y en el eje de dispersión de la pluma (INGEMMET, 2016).

Durante erupciones plinianas con IEV 4-5, esta área puede ser afectada por caídas de lapilli y bloques de pómez de varios decímetros a algunos metros de espesor. Esto basado en la dispersión de caídas piroclásticas de erupciones plinianas (IEV 4) de los volcanes Misti y Ticsani. La erupción del volcán Misti de 2050 años AP (IEV 4), a 10 km de distancia emplazó caídas de lapilli de pómez de entre 30 y 40 cm de espesor. La erupción del volcán Ticsani de 11000 años AP. (IEV 4), emplazó caídas de ceniza de alrededor de 3 m de espesor a 10 km del cráter (INGEMMET, 2016).

En resumen, la zona de alto peligro puede ser afectada por caídas de ceniza de algunos centímetros de espesor durante erupciones pequeñas a moderadas (IEV 1-2), por caídas de ceniza de varios centímetros de espesor en erupciones medias (IEV 3), y por caídas de lapilli y bloques de pómez de varios decímetros a algunos metros de espesor en erupciones grandes (IEV 4-5) (INGEMMET, 2016).



B) Zona de moderado peligro (naranja)

La zona de moderado peligro se halla aproximadamente entre los 10 y 30 km de distancia del complejo volcánico (INGEMMET, 2016).

Durante erupciones vulcanianas con IEV 1-2, esta área puede ser afectada por caídas de ceniza de pocos milímetros de espesor. Esto está basado en la dispersión de cenizas de la erupción vulcaniana del volcán Sabancaya de 1988-1998 (IEV 2), durante la cual caídas de ceniza de 1 mm de espesor alcanzaron cerca de 30 km de distancia del cráter en dirección este, es decir en el eje de dispersión de la pluma (INGEMMET, 2016).

Durante erupciones vulcanianas o sub-plinianas con IEV 3, esta zona de moderado peligro puede ser afectada por caídas de ceniza de algunos centímetros de espesor. Esto basado en algunos ejemplos, como en el caso de la erupción de noviembre de 1985 del volcán nevado del Ruiz, durante el cual la ceniza alcanzó cerca de 2 cm de espesor a 30 km de distancia del volcán. Mientras que en el caso de la erupción del volcán Tungurahua de agosto 2006 (IEV 3) se reportaron espesores de 0.7 a 0.8 cm a la misma distancia (INGEMMET, 2016).

Durante erupciones plinianas con IEV 4-5, esta área puede ser afectada por caídas de ceniza, lapilli y bloques de pómez, de varios decímetros de espesor. Está basado en la dispersión de caídas piroclásticas de erupciones plinianas (IEV 4) de los volcanes Misti y Ticsani. La erupción del volcán Misti de 2050 años AP (IEV,4), a 30 km de distancia emplazó caídas de lapilli de pómez que tienen entre 4 y 5 cm de espesor. La erupción del volcán Ticsani de 11 000 años AP (IEV 4), emplazó caídas de ceniza de alrededor de 50 cm de espesor a 30 km del cráter. En resumen, la zona de moderado peligro, puede ser afectada por caídas de ceniza de algunos milímetros de espesor durante erupciones pequeñas a moderadas (IEV 1-2), por caídas de ceniza de algunos centímetros de espesor en erupciones medias (IEV 3), y por caídas de ceniza, lapilli y bloques de pómez del orden de varios centímetros a decímetros de espesor en erupciones grandes (IEV 4-5) (INGEMMET, 2016).

C) Zona de bajo peligro (amarillo)

La zona de bajo peligro se halla aproximadamente entre los 30 y 50 km de distancia del complejo volcánico. Durante erupciones vulcanianas con IEV 1-2, esta área difícilmente sería afectada por caídas de ceniza (INGEMMET, 2016).

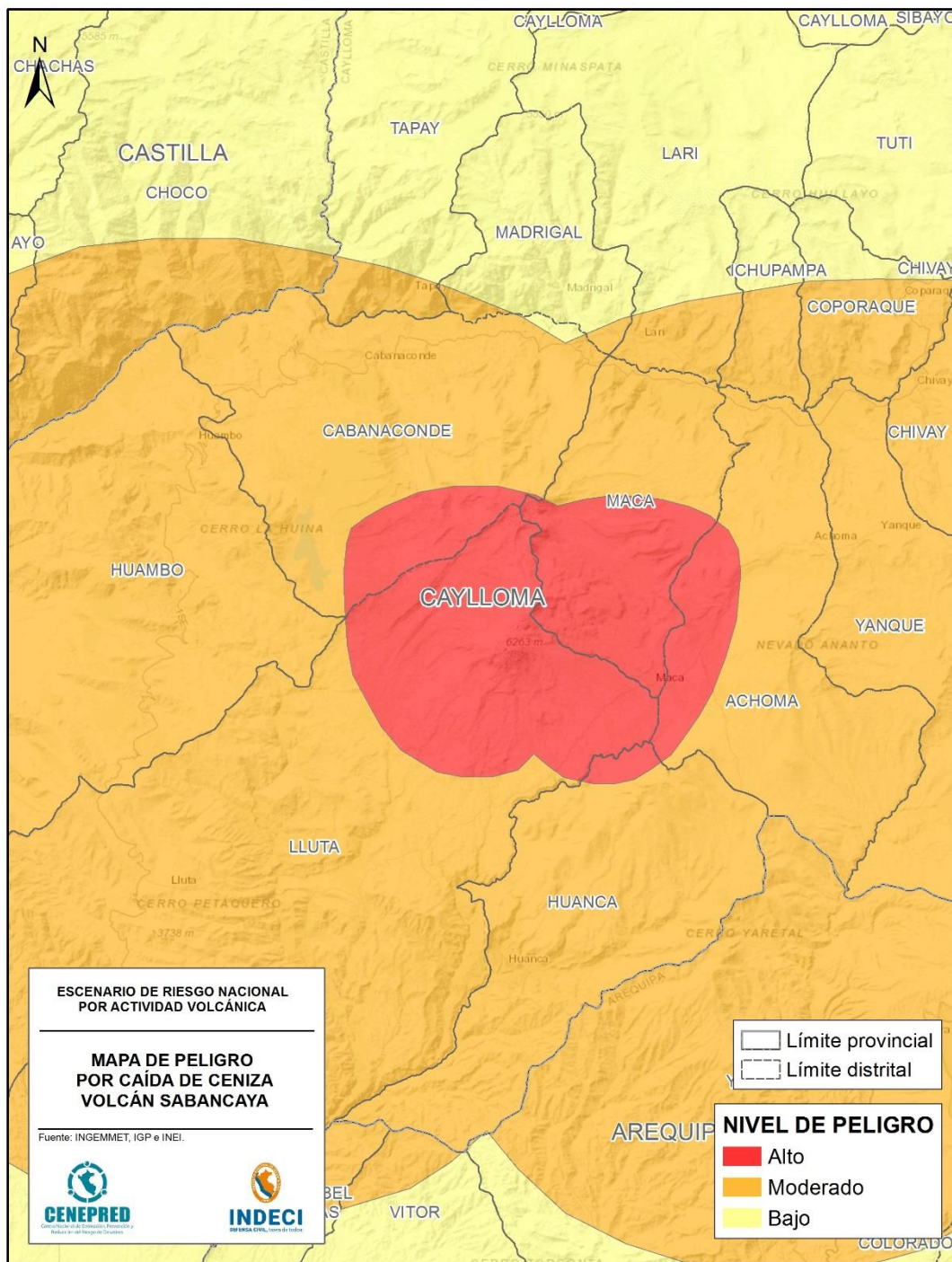
Durante erupciones vulcanianas o sub-plinianas con IEV 3, esta área puede ser afectada por caídas de ceniza de algunos milímetros de espesor. Está basado en las erupciones de los volcanes nevado del Ruiz de noviembre de 1985, que a 50 km de distancia emplazó caídas de ceniza de entre 2 y 3 mm de espesor. Por su parte, luego de la erupción del volcán Tungurahua de agosto 2006 (IEV3) se reportaron espesores de ceniza de 6 mm a la misma distancia (INGEMMET, 2016).

Durante erupciones plinianas con IEV 4-5, esta área puede ser afectada por caídas de ceniza de pocos centímetros de espesor. Está basado en el mapa de isópacas de la erupción del volcán Ticsani de hace 11 000 años AP. (IEV 4), que emplazó caídas de ceniza de alrededor de 1 cm de espesor, a 50 km del cráter (INGEMMET, 2016).

En resumen, la zona de bajo peligro no sería afectada por caídas de ceniza durante erupciones pequeñas a moderadas (IEV 1-2), pero sí por caídas de ceniza de algunos milímetros de espesor en erupciones medias (IEV 3), y por caídas de ceniza de pocos centímetros de espesor en erupciones grandes (IEV 4-5) (INGEMMET, 2016).



Figura 24. Mapa de peligros por caídas piroclásticas (cenizas y pómez)





4.2 Escenario de riesgo volcánico: Sabancaya

4.2.1 Identificación de elementos expuestos

En la identificación de los elementos expuestos se obtuvo del Censo de Población y Vivienda de 2017 del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), las instituciones educativas del Ministerio de Educación, los establecimientos de salud del Ministerio de Salud y la cobertura agrícola (Ha) Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego; de esta manera se obtuvieron los siguientes resultados:

4.2.1.1 Mapa proximal de peligros múltiples (INGEMMET)

Tabla 16. Elementos expuestos a peligros múltiples

Nivel de riesgo	ALTO				
Provincia	Población	Viviendas	Establec. Salud	Instituc. Educativas	Cob. Agrícola (Ha)
CAYLLOMA	3	3	0	0	393
Total	3	3	0	0	393

Nivel de riesgo	MODERADO				
Provincia	Población	Viviendas	Establec. Salud	Instituc. Educativas	Cob. Agrícola (Ha)
CAYLLOMA	6	6	0	0	1,231
Total	6	6	0	0	1,231

4.2.1.2 Mapa de peligros por lahares (INGEMMET)

Tabla 17. Elementos expuestos a peligro por lahares

Nivel de riesgo	ALTO				
Provincia	Población	Viviendas	Establec. Salud	Instituc. Educativas	Cob. Agrícola
CAYLLOMA	3	3	0	0	34
Total	3	3	0	0	34

Nivel de riesgo	MODERADO				
Provincia	Población	Viviendas	Establec. Salud	Instituc. Educativas	Cob. Agrícola
CAYLLOMA	13	10	0	0	862
Total	13	10	0	0	862



4.2.1.3 Mapa de escenarios críticos por lahares (IGP)

Tabla 18. Elementos expuestos a escenarios críticos por lahares

Nivel de riesgo	ALTO				
Provincia	Población	Viviendas	Establec. Salud	Instituc. Educativas	Cob. Agrícola
CAYLLOMA	1	2	0	0	0
Total	1	2	0	0	0

Nivel de riesgo	MODERADO				
Provincia	Población	Viviendas	Establec. Salud	Instituc. Educativas	Cob. Agrícola
CAYLLOMA	10	13	0	0	5
Total	10	13	0	0	5

4.2.1.4 Mapa de peligros por caídas piroclásticas (cenizas y pómez) (INGEMMET)

Tabla 19. Elementos expuestos a caídas piroclásticas

Nivel de riesgo	ALTO				
Provincia	Población	Viviendas	Establec. Salud	Instituc. Educativas	Cob. Agrícola
CAYLLOMA	28	46	0	0	0
Total	28	46	0	0	0

Nivel de riesgo	MODERADO				
Provincia	Población	Viviendas	Establec. Salud	Instituc. Educativas	Cob. Agrícola
AREQUIPA	570	529	2	3	1,536
CASTILLA	590	612	3	7	701
CAYLLOMA	16,813	10,474	16	75	21,069
Total	17,973	11,615	21	85	23,305



4.3 Conclusiones

Teniendo presente las fumarolas que emite este volcán eventualmente, y por recomendación de las entidades técnicas, se ha priorizado su elección para la elaboración del presente escenario de riesgo. El emplazamiento de este volcán se encuentra alejado de los grandes conglomerados urbanos de la macro región sur del país; por consiguiente, con relación al análisis de población y vivienda, este componente ha tomado en consideración la localización de los centros poblados rurales más cercanos al respectivo volcán.

Página | 49

Con relación a los resultados del mapa de peligro múltiples, el principal elemento expuesto a riesgo muy alto es la cobertura agrícola con 393 Ha. Asimismo, con relación a los resultados del mapa de peligro por lahares del INGEMMET, nuevamente la cobertura agrícola es el elemento más expuesto, con 862 Ha con riesgo moderado.

Finalmente, con relación a los resultados del mapa de caída de ceniza y pómez del INGEMMET, la provincia con mayor población en riesgo alto es Caylloma (28) y con riesgo moderado nuevamente Caylloma (16,813), seguido de Castilla (590) y Arequipa (570).



VOLCÁN UBINAS



Fuente: INGEMMET (2016).



5 VOLCÁN UBINAS

5.1 Área de estudio

El volcán Ubinas se encuentra ubicado ~70 km al Este de la ciudad de Arequipa, en la Cordillera Occidental de los Andes del Sur de Perú. Forma parte de la cadena de volcanes calco-alcalinios pertenecientes a la «Zona Volcánica de los Andes Centrales» (ZVC). Localmente, está localizado al extremo de una altiplanicie volcánica y es surcado por los valles Ubinas y Para, en su sector Sur y Sureste (INGEMMET, 2011).

Página | 51

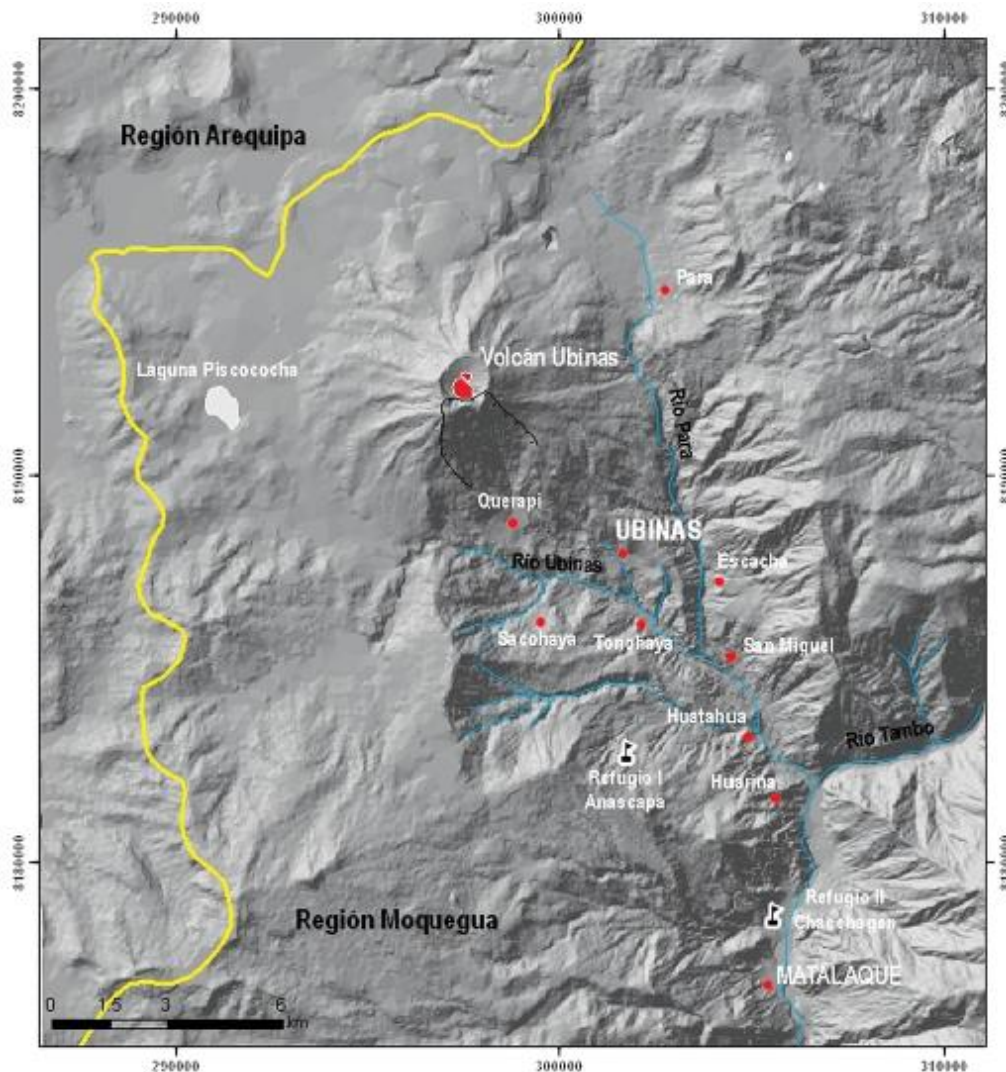
Políticamente, el volcán Ubinas se localiza dentro de la región Carlos Mariátegui, provincia de Sanchez Cerro, y distrito de Ubinas. En las coordenadas geográficas (INGEMMET, 2011):

Latitud 16° 22' Sur

Longitud 70° 54' Oeste

La altura máxima del edificio volcánico es: 5636 msnm., cubre un área de ~65 km² y un volumen de ~54 km³, aproximadamente. (INGEMMET, 2011).

Figura 25. Mapa de ubicación del volcán Ubinas.



Fuente: INGEMMET (2011)



5.2 Peligro volcánico: Ubinas

5.2.1 Geomorfología

El volcán Ubinas está localizado en una zona comprendida entre los 2800 y 5670 msnm., y forma parte de la Cordillera Occidental de los Andes Peruanos. En el estudio efectuado, se distinguieron las siguientes geoformas (INGEMMET, 2011a):

A) Geoformas de origen glaciar

Con este nombre designamos a las unidades litológicas afectadas por la actividad glaciar y a los depósitos producidos por dicha actividad, que afloran dentro del área de estudio. Entre estas geoformas de origen glaciar tenemos:

Valles Glaciados (GG-VPU)

Al Sur y Este del volcán Ubinas se distinguen dos valles:

a) El valle de Ubinas. Este valle se prolonga desde la Quebrada Volcanmayo (pie del flanco sur del volcán Ubinas) hasta la confluencia del río Tambo (~14 km del cráter). En la cabecera de dicho valle afloran depósitos volcanoclásticos y avalanchas de escombros, en donde los ríos Ubinas y Sacohaya han producido encañonamientos. Hacia la parte baja del valle (3100 msnm.) y en ambas márgenes del río Ubinas, se encuentran terrazas. Dichas terrazas se hallan conformadas por lahares y/o depósitos aluviales. Además, sobre las terrazas se asientan los poblados de Tonohaya, San Miguel y Huatagua (INGEMMET, 2011).

b) El valle de Para. Es un valle glaciar estrecho y poco prolongado (menos de 3 km de longitud). Aguas arriba del valle, en ambas márgenes de este río afloran depósitos de flujos piroclásticos soldados cubiertos por flujos de lodo y depósitos aluviales. El curso superior y medio tiene una forma transversal en «U» o artesa, cuya profundidad en promedio es de 200 m y el ancho del cauce rara vez sobrepasa los 100 m. Aquí las paredes son casi verticales. El curso inferior también tiene forma de «U», y su profundidad, frecuentemente, sobrepasa los 400 m. El valle de Para se une al valle de Ubinas en las inmediaciones del poblado de San Miguel (INGEMMET, 2011).

Cumbre del Volcán (GG-CV)

Corresponde a la parte más alta del estrato-cono y la caldera del volcán Ubinas. Esta zona presenta una morfología glaciar típica, labrada en los diversos flujos de lavas y depósitos volcanoclásticos de fuerte pendiente (~30° - 40° de inclinación). En la cumbre del volcán, la nieve se deposita en épocas de invierno (diciembre a marzo) con un espesor promedio de 50 cm (INGEMMET, 2011).

B) Geoformas de origen volcánico

Estrato-volcán (GV-Est)

El cono volcánico está constituido por innumerables flujos de lava y flujos piroclásticos, los cuales en gran parte están cubiertos por depósitos de cenizas y materiales retrabajados. Morfológicamente dentro de dicha estructura se destacan dos zonas: la base y la cumbre del edificio. La parte baja se encuentra sobre los 4300 msnm., y presenta superficies onduladas de suaves pendientes (< 20°). Mientras que hacia la parte alta se distingue un relieve de fuertes pendientes (> 40°) constituido por flujos y coladas de lavas bastante inclinadas. La parte alta del edificio es truncada hacia los 5560 msnm., en donde se ubica la caldera semi-elíptica cuyo eje tiene una dirección NO-SE, y es de 1,5 km de diámetro. Los extremos de los flancos Oeste, Norte y Este del estrato-cono corresponden a un área relativamente plana denominada zonas de altiplanicie. Mientras que en los extremos E, S, SE y NE se distinguen dos valles semi-encañonados de tipo glaciar. Entre los que figuran los valles de Ubinas y Para por donde drenan los ríos Ubinas y Para, respectivamente (INGEMMET, 2011).



Domos de Lava (GV-D)

Existen cuatro domos de lava que se ubican al N, NE y SO del Ubinas, algunos posiblemente ligados a la actividad del Ubinas. Dichos domos tienen formas cónicas con una base semi-circular. Poseen entre 1,2 a 1,6 km² y de 0,2 a 0,6 km de altura. Los domos en general se encuentran cubiertos por cenizas holocénicas, históricas y cenizas emitidas durante la actividad 2006-2009 (INGEMMET, 2011).

C) Otras geoformas

Zona de Altiplanicie (OG-Alt)

Morfología extensa que se destaca entre las demás por presentar superficies horizontales y/o ligeramente onduladas o de suaves pendientes, distribuidas al Norte, Noroeste, Este y Suroeste del volcán. Esta zona de altiplanicie litológicamente está constituida por ignimbritas soldadas (al Norte y Este del volcán), y flujos de lava que pertenecen al substrato del edificio. Sobre estos depósitos descansan sedimentos volcanoclásticos y depósitos de lapilli y cenizas (INGEMMET, 2011).

La zona de altiplanicie durante el Pleistoceno a inicios del Holoceno fue intensamente glaciada, existiendo actualmente en ella gran cantidad de depósitos glaciares como:

- a) morrenas frontales y laterales (flanco Norte, Oeste y Sur del volcán Ubinas). Estas destacan por presentar una mezcla heterogénea de bloques de rocas volcánicas, gravas y limos;
- b) sedimentos glaciares y aluviales finos y bofedales rellenan las depresiones ubicadas al N y NE del volcán (INGEMMET, 2011).

Zona de Altas Cumbres (OG-CV)

Corresponden a las zonas más elevadas (> 4800 msnm.) ubicadas dentro del área de estudio donde las condiciones de vida, tanto para los animales y plantas, se hacen difíciles (INGEMMET, 2011).

Lomadas (OG-Lom)

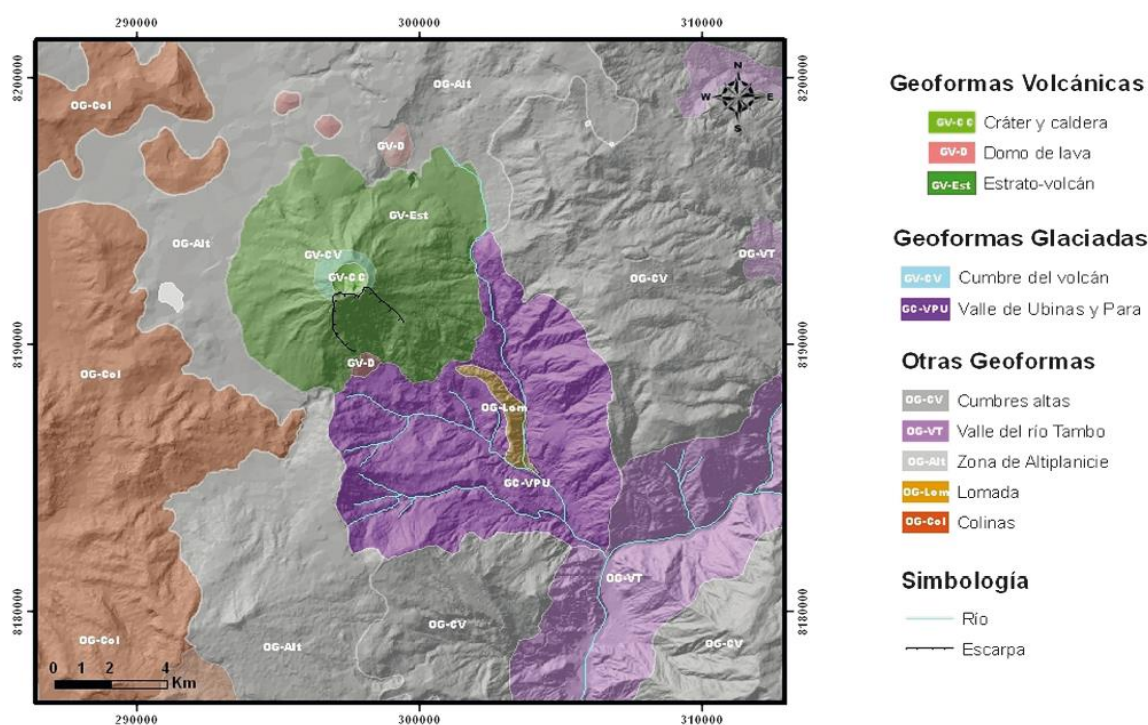
Corresponden a las zonas elevadas con pendientes suaves y onduladas ubicadas al sur del volcán Ubinas.

Colinas (OG-Col)

Corresponden a zonas elevadas localizadas al Oeste del Ubinas. Estas zonas presentan pendientes de moderadas a abruptas (entre 30° y 80° de inclinación). Litológicamente, están constituidas por secuencias de lavas, flujos piroclásticos y lahares bastante cohesivos (INGEMMET, 2011).



Figura 26. Mapa geomorfológico del volcán Ubinas y alrededores.



Fuente: INGEMMET (2011).

5.2.2 Actividad histórica del Ubinas

Los estudios geológicos y vulcanológicos muestran que el volcán Ubinas es el producto de una intermitente y variada actividad volcánica ocurrida desde el Pleistoceno superior. Lo demuestran los depósitos que conforman el actual estrato-cono, y sobre todo, los depósitos que afloran en la parte baja de los flancos Sur y Sureste. Dicha actividad, principalmente de tipo explosiva, se prolongó hasta el Holoceno, para continuar durante el siglo XX con intensa actividad fumarólica y algunas erupciones pequeñas a moderadas caracterizadas por la ocurrencia de explosiones y emisiones de cenizas en forma intermitente.

Denominamos «actividad histórica» a la actividad eruptiva ocurrida desde la llegada de los españoles al actual territorio peruano ocurrida en 1530 AD.

Los estudios efectuados sobre la actividad eruptiva histórica del volcán Ubinas están basados en la recopilación de relatos históricos, diarios antiguos de los siglos XVIII y XIX, y encuestas realizadas a pobladores que viven desde las primeras décadas de este siglo. También están basados en el trabajo efectuado por Rivera (1998), y los datos obtenidos de los catálogos «Volcanoes of the world» (Simkin y Siebert, 1994) y «The active volcanoes of Peru» (Hantke y Parodi, 1966). Según estos trabajos el volcán Ubinas presentó 24 eventos volcánicos, referidos a altas emisiones de gases y cenizas, ocurridas durante 5 siglos (desde 1550 AD hasta la actualidad) con una recurrencia de 2 a 6 erupciones por siglo. La mayoría de las erupciones se caracterizaron por presentar un índice de explosividad volcánica (IEV) igual a 1. Las fechas de tres eventos eruptivos (1778, 1912 o 1913 y 1923 o 1925) no son muy precisas, debido a que los datos fueron encontrados en un artículo científico y mencionan pocas características de las erupciones. Según estos reportes, el volcán Ubinas en ocasiones ha manifestado intensa actividad fumarólica que provocó alarma y tensión entre los pobladores del valle de Ubinas, quienes aún padecen los efectos provocados por la actividad de este volcán.

A continuación, se describe las características de los eventos eruptivos registrados desde 1550 AD, en la que se muestra el grado de actividad y los diversos daños que ocasionaron a los diversos poblados aledaños localizados dentro de un radio de 12 km del cráter (Tabla 20).



Tabla 20. Actividad histórica del Ubinas

Evento	Descripción
Actividad eruptiva de 1550	Corresponde a la erupción histórica más antigua y según Simkin y Siebert (1994) fue de tipo central y explosiva con un índice de una explosividad volcánica igual a 2. Desde luego, la edición de estos primeros registros se inició con la llegada de los españoles al actual territorio peruano.
Actividad eruptiva de 1599	«Del 7 al 9 de febrero de 1599 se percibió en el Ubinas intermitentes estruendos. El 9 de febrero empezó una gran oscuridad, desgarrada por truenos y lluvias; algo aclaró el 11, a las 4 de la tarde, pero el sol volvió a verse únicamente el día 13; y durante 15 días cayeron cenizas en los contornos, amenazando aún a la ciudad de Arequipa». (Tauro del Pino, 1967; Polo, 1899). No existen datos referentes a las magnitudes ni daños ocasionados a los poblados aledaños a este volcán.
Actividad eruptiva de 1600?	Esta erupción se encuentra registrada en el catálogo «Volcanoes of the world» (Simkin y Siebert, 1994). Sin embargo, se refiere quizás a la erupción del volcán Huaynaputina ocurrida el 19 de febrero de 1600 d.C. (Thouret et al, 1997). Afirmamos esto porque dichos volcanes se encuentran separados por una distancia de 30 km en línea recta, y los que interpretaron inicialmente debieron ser naturales que vivieron fuera del lugar. Desde luego, también cabe la posibilidad de que en este año el volcán Ubinas estuviera activo.
Actividad eruptiva de 1662	En 1662 se registró una gran erupción explosiva moderada durante la cual las cenizas alcanzaron hasta la ciudad de Moquegua, a las pampas de Sama y Locumba, ubicadas a 280 km al SO del volcán (Tauro de Pino, 1967). Esta actividad eruptiva debió ser muy importante, y desde luego la dirección y velocidad de los vientos influenciaron en el desplazamiento de las cenizas hacia el Suroeste. Según el catálogo «Volcanoes of the world» (Simkin y Siebert, 1994), esta erupción tuvo un índice de explosividad volcánica igual o mayor a 2. Aún se desconocen los daños y efectos causados en los poblados aledaños.
Actividad eruptiva de 1667 y 1778	Según el catálogo «Volcanoes of the world» (Simkin y Siebert, 1994), estos eventos eruptivos corresponden a erupciones centrales y explosivas. La erupción de 1667 tuvo un índice de explosividad volcánica igual a 3. Suponemos que esta erupción debió ser la más grande que tuvo el volcán Ubinas desde el siglo XVI. En efecto, en esta erupción fueron emitidos flujos de escorias y cenizas de tipo Saint-Vincent, que actualmente se encuentran en el flanco NO del volcán. Aún se desconoce el alcance, así como los efectos o daños que ocasionaron sus depósitos. Igualmente sucede con la erupción de 1778, de la cual se desconoce las características y alcance de sus depósitos. Esta última fecha de erupción fue obtenida de relatos históricos por pobladores del lugar que posteriormente en 1995 fueron publicados por Juan Valdivia.
Actividad eruptiva de 1784	Según el catálogo «Volcanoes of the world» (Simkin y Siebert, 1994), este evento eruptivo corresponde a una erupción central y explosiva, con un índice de explosividad volcánica igual a 2. Este dato es corroborado por Zamácola y Jaúregui quienes acompañaron en visita pastoral (1789) al obispo Chávez de la Rosa al pueblo de Ubinas. Ellos señalaron que «en el pueblo de Ubinas, distante a 30 leguas (de Arequipa) existe un volcán que continuamente está exhalando humo; así lo observamos cuando fuimos aquel pueblo» (Zamácola y Jaúregui, 1789).
Actividad eruptiva de 1826, 1830 y 1862	Por las características de las actividades eruptivas reportadas por Hantke y Parodi (1966), y Simkin y Siebert (1994), estos eventos eruptivos corresponden a erupciones explosivas moderadas, con un índice de explosividad volcánica igual a 2. Aún no conocemos el área alcanzada por los depósitos ni los efectos provocados por estas erupciones.
Actividad eruptiva de 1865	La erupción de 1865 inicialmente fue reportada por Raymondi, quién visitó Ubinas en Febrero de 1865. Raymondi además dio a conocer las coordenadas del volcán Ubinas. Posteriormente, Hantke y Parodi (1966) y Simkin y Siebert (1994) confirman



	la ocurrencia de una erupción central y explosiva, con un índice de explosividad volcánica igual a 2.
Actividad eruptiva de 1867	Según Hantke y Parodi (1966) esta erupción ocurrió entre el 24 y 28 de Mayo de 1867. Simkin y Siebert (1994) la catalogan como una erupción central y explosiva, con un índice de explosividad volcánica igual a 2.
Actividad eruptiva de 1869, 1906 y 1907	Las erupciones de 1869 y 1906 ocurrieron en el mes de octubre. Inicialmente, estas erupciones fueron registradas por Hantke y Parodi (1966). Según Simkin y Siebert (1994), estos eventos eruptivos corresponden a erupciones centrales y explosivas, con un índice de explosividad volcánica igual a 2.
Actividad eruptiva de 1912-1913	Por los años de 1912 o 1913 hubo una erupción que duró de 3 a 4 años, la cual perjudicó los terrenos de sembríos y, consecuentemente, ocasionó la muerte de ganados. Por este motivo, muchas familias trataron de establecerse en Arequipa en salvaguarda de sus vidas e intereses. Durante esta erupción el volcán emitió cenizas negras, por lo menos de tres a cuatro años acompañados de movimientos sísmicos. Inicialmente, las nubes de cenizas negras cayeron sobre Ubinas, luego se giraron y se prolongaron hasta Chojata y Yalahua, distantes 18 km al Sureste y Noreste del volcán respectivamente (Benamente, 1997 - comunicación oral; Diario El Pueblo, 1936). Por las características descritas en los relatos, inferimos que el índice de explosividad volcánica fue igual o superior a 2. ¿La erupción de 1912 -1913? no fue registrada en el catálogo «Volcanoes of the world» (Simkin y Siebert, 1994).
Actividad eruptiva de 1923-1925	El señor Juan Almuelle (Chavéz, 1992) relata: «Por el año de 1923, Arequipa amaneció con ceniza. Era por coincidencia miércoles de ceniza, y las calles estaban llenas de cenizas, que eran del volcán Ubinas. La capa delgada de esta erupción era muy fina y no se observaba en el campo claramente». Según Benamente, 1997 (comunicación oral) la erupción consistió en emisiones de cenizas calientes de color gris, estas se prolongaron por Para y Yalahua (Noreste del volcán). Asociados a este evento eruptivo se sintieron movimientos sísmicos de baja intensidad en áreas aledañas. Posteriormente, las cenizas emitidas se mezclaron con el agua formando flujos de barro que se desplazaron por los flancos S y SE, con dirección al valle de Ubinas. Este evento duró casi tres años con niveles variables de la actividad eruptiva.
Actividad eruptiva de 1936	El fenómeno eruptivo se caracterizó por una alta actividad fumarólica y emisiones de cenizas grises, además estuvo acompañado con intermitentes movimientos sísmicos de baja intensidad. Por las características descritas de sus depósitos, el tipo y grado de actividad, y los daños provocados le inferimos un índice de explosividad volcánica igual a 2 o 3. Según relatos que se muestran a continuación los pobladores del valle de Ubinas pedían al gobierno central el traslado hacia la zona de la Joya, a fin de protegerse de un gran desastre que amenazaba destruir el distrito. Estos pedidos fueron hechos en años anteriores a 1936, pero lamentablemente no se hizo nada en ese entonces. Los siguientes datos periodísticos de la erupción de 1936 obtenidos del diario «El Pueblo», muestran los efectos o daños que la actividad eruptiva del volcán Ubinas ha causado en el valle de Ubinas, sobre todo en el distrito de Ubinas.
Erupción de 1937	Esta erupción fue reportada en la mayoría de textos y diarios recopilados. Según Simkin y Siebert (1994), esta erupción tiene un índice de explosividad volcánica igual a 2. Al igual que los datos mostrados anteriormente, las características de este evento eruptivo y los daños que provocó, ayudarán en la evaluación de riesgos.
Actividad eruptiva de 1951	Al igual que la anterior erupción, la actividad volcánica de 1951 fue descrita por los pobladores del lugar, y posteriormente registrada en «Volcanoes of the world» (Simkin y Siebert, 1994), con un índice de explosividad volcánica igual a 2. Los pobladores de los pueblos aledaños, sobre todo del pueblo de Ubinas, durante la erupción estuvo tensos y alarmados, padeciendo de los efectos provocados por la emisión de cenizas y gases.
Actividad eruptiva de 1956	Esta erupción fue registrada por Hantke y Parodi (1966) y Simkin y Siebert (1994), quienes señalan que se inició en mayo de 1956 con la emisión de cenizas, y culminó en octubre del mismo año. Esta erupción causó daños en los terrenos agrícolas del



	valle de Ubinas. Por las características descritas corresponden a una leve erupción explosiva, con un índice de explosividad volcánica igual a 2.
Actividad eruptiva de 1969	La erupción registrada en 1969 se inició el 16 de mayo, y se caracterizó por la emisión de cenizas grises y alta actividad fumarólica. Ocasionó la muerte de ganados por la contaminación de los pastos y las aguas de regadío con cenizas emitidas por el volcán. Las características de su manifestación y los tipos de depósitos alegan que la actividad eruptiva era explosiva y con un índice de explosividad volcánica igual a 2 (Simkin y Siebert, 1994).
Alta actividad fumarólica de 1995 - 1996	La alta actividad fumarólica fue reportada en diciembre de 1995 por miembros de IRD (ex-ORSTOM) e IGP (Thouret et al., 1996; Rivera et al., 1998), dicha actividad se prolongó hasta mayo de 1996 en forma permanente y hasta mediados de 1997 en forma discontinua. La actividad fumarólica consistía en «bocanadas» de gases que se desplazaban por las mañanas y las noches por encima de la cumbre del volcán. La altura promedio que las fumarolas alcanzaron fue de 300 a 700 m y, esporádicamente, alrededor de 1 km. Las fumarolas estuvieron constituidas de vapor de agua y gases calientes que emanaban de seis ventos ubicados al fondo del cráter. En aquel entonces no se reportó emisión de cenizas.

Fuente: INGEMMET (2011).



5.2.3 Mapas de peligro del volcán Ubinas

5.2.3.1 Mapa de peligro volcánico (INGEMMET)

Este mapa representa con distintos colores las zonas susceptibles de ser afectadas con mayor frecuencia por diferentes fenómenos volcánicos como caída de ceniza y piedra pómez, flujos piroclásticos, flujos de barro (lahares), avalancha de escombros y flujos de lava. Se distinguen tres zonas: Alto peligro en color rojo, moderado peligro en naranja y bajo peligro en amarillo. La zona cercana al cráter (rojo), la más peligrosa, sería afectada con mayor frecuencia por todos los fenómenos, mientras que la zona amarilla sería afectada por pocos fenómenos y sólo en erupciones de excepcional magnitud. La determinación de zonas de peligro está basada en una combinación o suma de todos los peligros que pueden afectar dichas áreas (INGEMMET, 2011b).

Página | 58

Para delimitar las zonas de peligro, INGEMMET tuvo en cuenta los estudios geológicos, modelamientos por computadora para flujos de barro o lahares, cálculos de líneas de energía, para determinar distancias hasta donde pueden alcanzar futuros flujos piroclásticos y avalanchas de escombros. Además, ejemplos análogos de erupciones ocurridas en otros volcanes del mundo. Al pie del mapa se citan las principales referencias que contribuyeron en su confección (INGEMMET, 2011b).

A) Zona de Alto Peligro (Rojo)

Puede ser severamente afectada por caída de ceniza y pómez, proyectiles balísticos, flujos piroclásticos, flujos de barro, avalanchas de escombros y/o flujos de lava, durante una erupción del Ubinas. Aunque estos últimos no llegarían al fondo del valle de Ubinas. Debido a su cercanía al volcán y sus características morfológicas, es la zona de mayor peligro. Cualquier tipo de erupción la puede afectar, inclusive las de baja magnitud como las ocurridas los últimos 500 años (VEI 1 a 3), entre ellos la erupción de 1667 o la erupción del 2006- 2009 (INGEMMET, 2011b).

B) Zona de Moderado Peligro (Anaranjado)

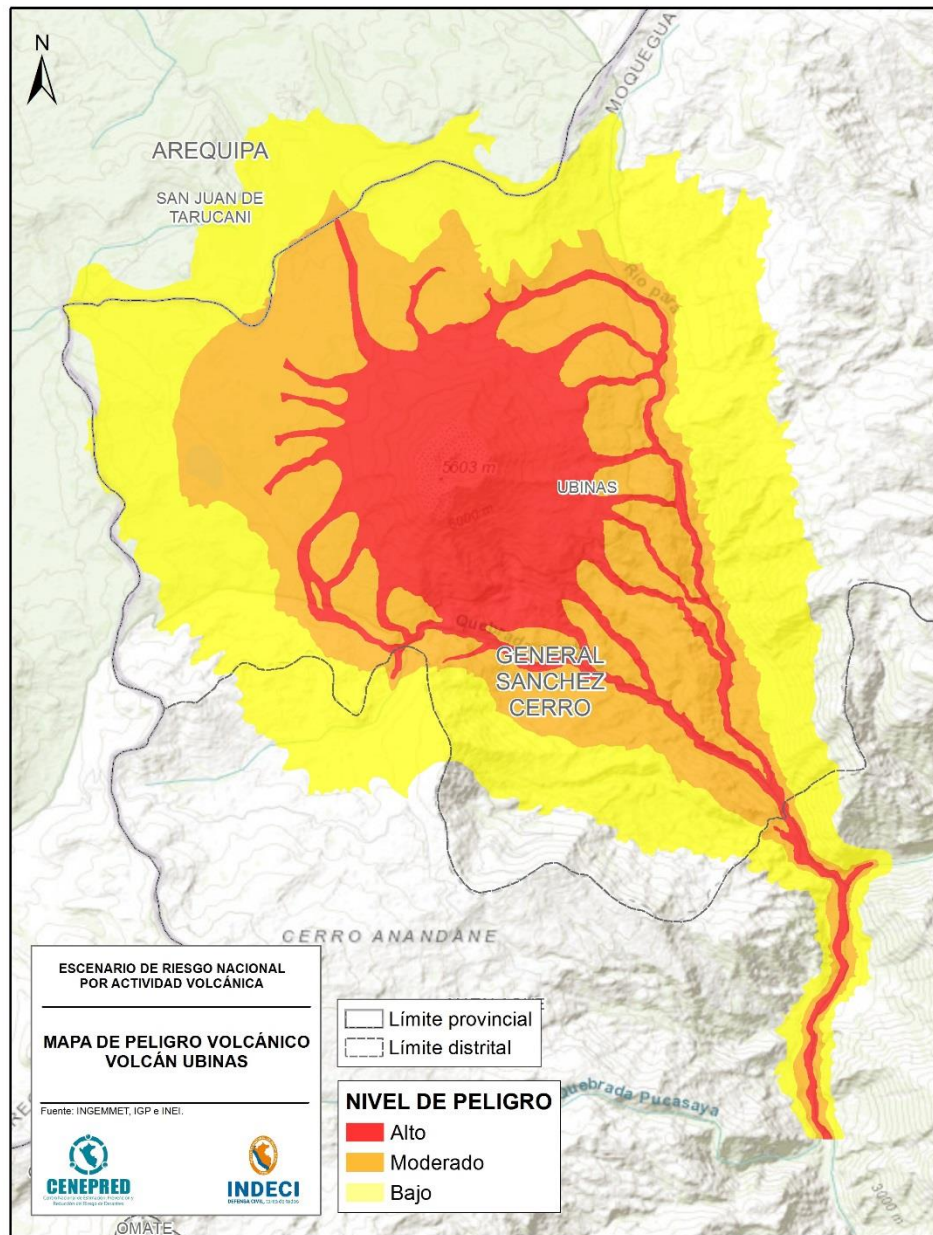
Puede ser afectada por todos los peligros que alcanzarían la zona anterior, a excepción de flujos de lava que, por su viscosidad alta, difícilmente llegarían a esta área. Esta zona es de menor peligro que la roja y solo puede ser afectada durante erupciones de magnitud moderada a alta (IEV 4), como las erupciones explosivas ocurridas hace 7,480 y 980 años A.P. (Antes del Presente). También podría ser afectada por avalanchas de escombros generados por el colapso del flanco sur del volcán Ubinas, como la ocurrida hace aproximadamente 3670 años A. P (INGEMMET, 2011b).

C) Zona de Bajo Peligro (Amarillo)

Es la zona más alejada del volcán y por tanto la de menor peligro. Puede ser afectada por flujos piroclásticos, flujos de barro, avalancha de escombros y caída de ceniza, pero solo en erupciones de magnitud muy alta (IEV "5), como las ocurridas hace 269,000 y 342,000 años A. P., que emplazaron voluminosos flujos piroclásticos. La ocurrencia de este tipo de evento a corto y mediano plazo es poco probable (INGEMMET, 2011b).



Figura 27. Mapa de peligro volcánico (INGEMMET)



5.2.3.2 Mapa de peligro por flujo de lodo o lahares (INGEMMET)

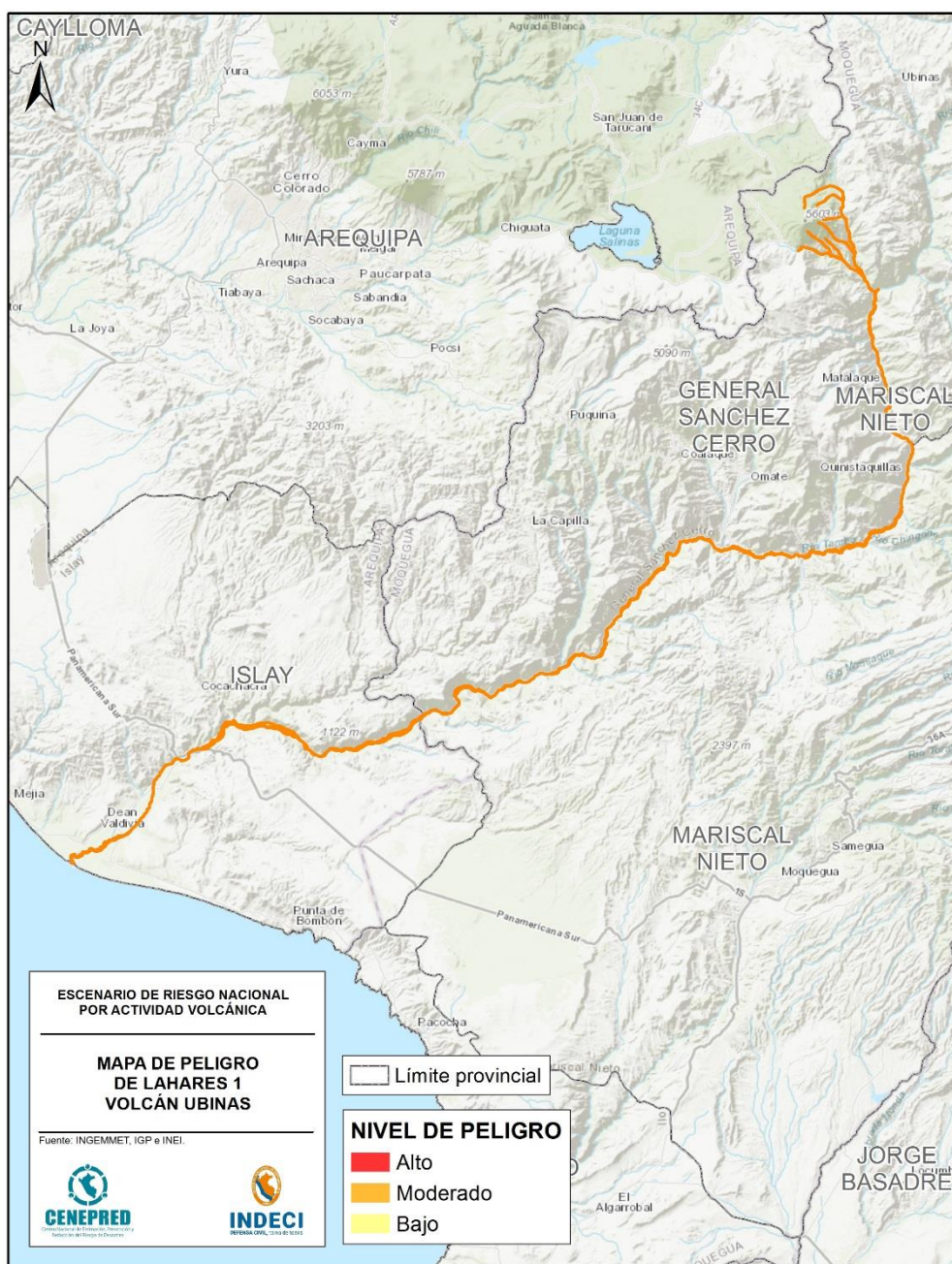
Un flujo de lodo o un lahar está compuesto por una mezcla de derrubios de origen volcánico con agua que fluye y se origina directa e indirectamente por la actividad eruptiva de un volcán. Los lahares pueden ser producidos de diversas maneras: el elevado drenaje de agua de un depósito formado al interior del cráter o caldera producto de una erupción explosiva, la mezcla de flujos piroclásticos con el agua y el deshielo de nieve por el emplazamiento de productos calientes (lava o piroclastos). La distancia alcanzada por un lahar depende de su volumen y puede llegar a más de 100 km incorporando fuentes adicionales de agua. La forma y el gradiente del valle también afectará el alcance del lahar; un valle angosto de pendiente pronunciada permitirá que un lahar de un volumen dado avance a una mayor distancia. Los lahares, por su alta densidad y velocidad pueden destruir estructuras en su trayecto tales como puentes, enterrar poblaciones, áreas de cultivo, cerrar y desviar canales de agua produciendo inundaciones (INGEMMET, 2011a).



En el volcán Ubinas pueden generarse flujos de lodo, con o sin erupción (periodo de lluvias), ya que, durante diciembre y marzo presenta hielo y nieve en la cumbre sur. Este hielo y nieve al fundirse se convertiría en agua que fluye y se mezclaría con el material susceptible de ser incorporado en el camino del lahar. También juegan un rol importante la pendiente (45° de inclinación en la parte alta del volcán), la sinuosidad del cauce de las quebradas Volcanmayo, Sacohaya y Chillón, por donde se desplazarían los materiales acarreados por el lahar. La presencia de depósitos de flujos de barro antiguos y recientes en los cauces de los ríos Ubinas y Para, y en las quebradas Infernillo, Sacohaya y Chillón, indican que la posibilidad de ocurrencia de este tipo de evento ante cualquier erupción volcánica es alta (INGEMMET, 2011a).

Los lahares generados en el Ubinas pueden afectar varios tramos de la carretera Arequipa – Ubinas – Matalaque, afectar canales de agua, terrenos de cultivos, entre otros (INGEMMET, 2011a).

Figura 28. Mapa de peligro por flujo de lodo o lahares





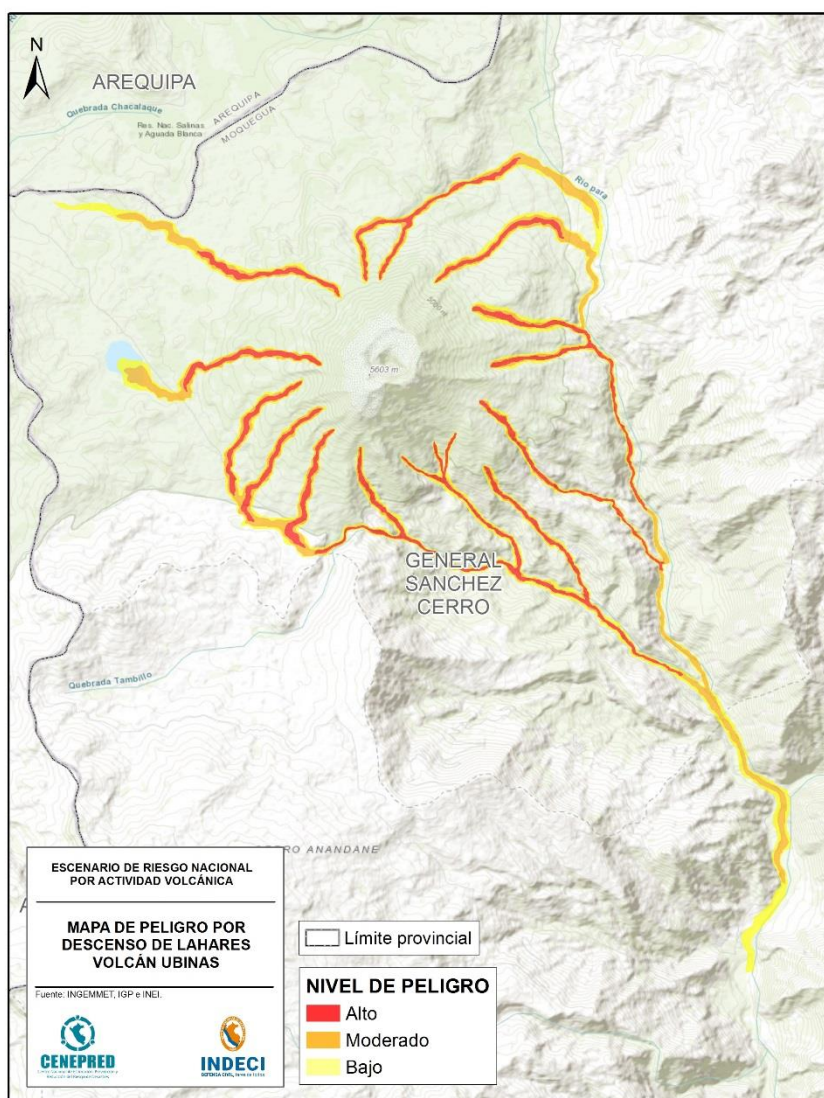
5.2.3.3 Mapa de escenarios críticos por lahares (IGP)

A) Escenario 1 (sobre las quebradas, áreas de color rojo): En este escenario se considera la generación de lahares o flujos de barro con volúmenes de 0.3 Mm³ que discurren por las quebradas que drenan del volcán, entre ellas Volcanmayo, Tambillo, río Para y otras, siendo su probabilidad de ocurrencia alta, sobre todo en periodos de lluvia. Si estos lahares se producen, podrían afectar un tramo de la carretera Arequipa-Ubinas-Huarina, terrenos de cultivos, canales de agua, etc (IGP, 2021b).

B) Escenario 2 (sobre las quebradas, áreas de color naranja): Considera la ocurrencia de lahares con volúmenes de 5 Mm³ que discurren por las quebradas y valles al pie del volcán hasta distancias de 16 km desde el cráter del volcán. Si estos lahares se producen, podrían afectar tramos de la carretera Arequipa-Ubinas-Huarina, terrenos de cultivos, canales de agua, poblado de Tonohaya, puentes peatonales, etc (IGP, 2021b).

C) Escenario 3 (sobre las quebradas, áreas de color amarillo): Considera la ocurrencia de lahares con volúmenes mayores a 10 Mm³ que discurren por las quebradas y valles hasta alcanzar distancias mayores de 20 km desde el volcán. Si estos lahares se producen afectarían varios tramos de la carretera Arequipa-Ubinas-Huarina, terrenos de cultivos, poblados de Tonohaya, San Miguel y Huatagua, puentes peatonales, canales de agua, etc. La posibilidad de ocurrencia de lahares de alto volumen es baja a muy baja (IGP, 2021b).

Figura 29. Mapa de escenarios críticos por lahares

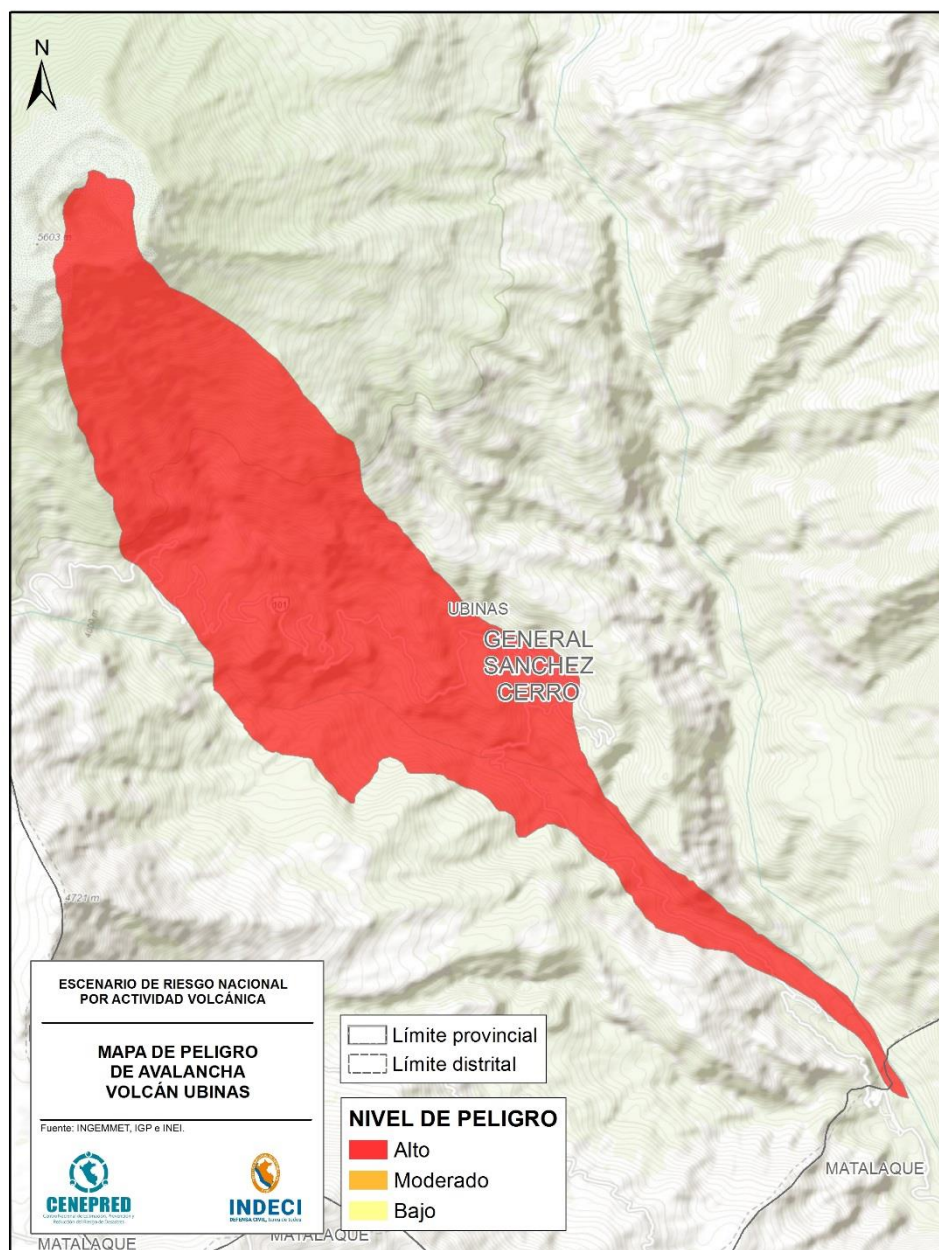




5.2.3.4 Mapa de avalancha de escombros (IGP)

Las avalanchas de escombros son deslizamientos rápidos del flanco de un volcán. Son causadas por fracturas que producen inestabilidad del volcán, pendiente elevada de las laderas, presencia de fallas, sismos fuertes, alteración hidrotermal y explosiones volcánicas. las avalanchas de escombros bajan a gran velocidad y destruyen todo lo que encuentran a su paso, eventos son poco comunes en la historia eruptiva del U binas. la última avalancha de escombros ocurrió hace aproximadamente 3760 años A. P. (INGEMMET, 2011b).

Figura 30. Mapa de avalancha de escombros





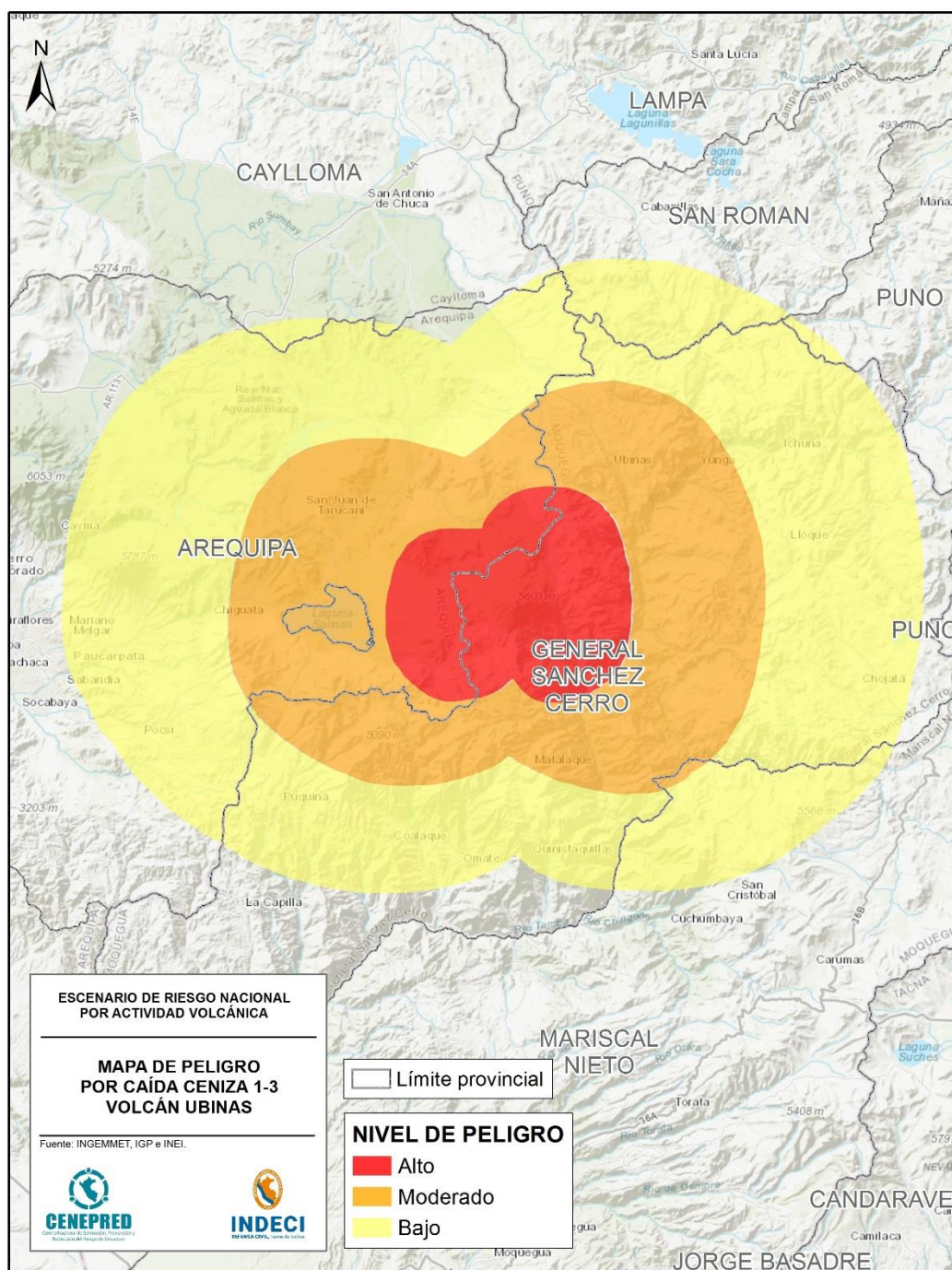
5.2.3.5 Mapa de peligros por caída de ceniza para una erupción de magnitud baja a moderada (IEV 1 a 3) (INGEMMET)

A) Rojo: Zona que puede ser afectada por caída de ceniza hasta 3 cm de grosor.

B) Anaranjado: Zona que puede ser afectada por caída de ceniza de más de 1 cm de grosor.

C) Amarillo: Zona que puede ser afectada por caída de ceniza de menos de 1 cm de grosor (INGEMMET, Página | 63 2011b).

Figura 31. Mapa de peligros por caída de ceniza para una erupción de magnitud baja a moderada (IEV 1 a 3)





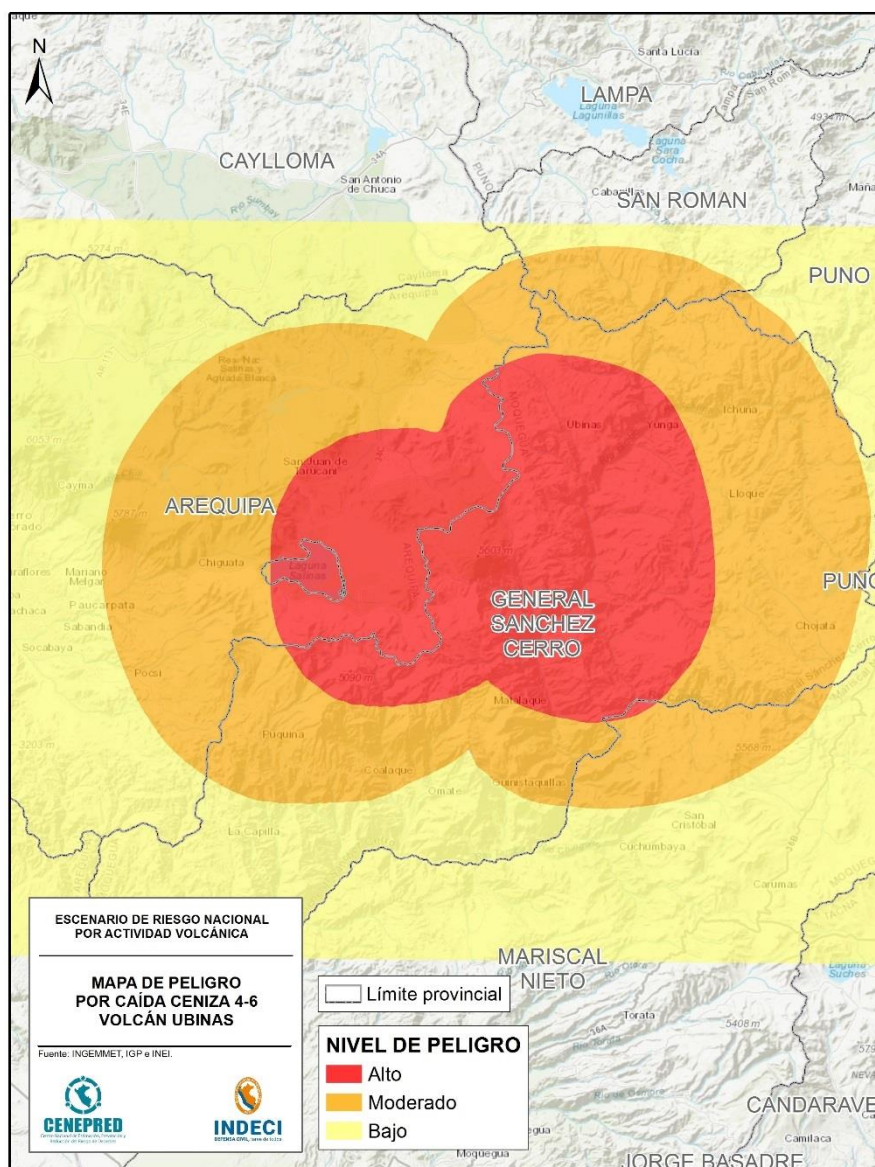
5.2.3.6 Mapa de peligros por caída de ceniza para una erupción de magnitud moderada a grande (IEV 4 a 6) (INGEMMET)

A) Rojo: Zonas que pueden ser afectadas por caída de ceniza y piedra pómez de más de 20 cm de grosor, durante erupciones de magnitud moderada a grande (IEV 3 a 6). Sus límites están basados en los alcances de tres erupciones explosivas que ocurrieron entre 14,000 y 1,000 años A. P.

B) Anaranjado: Zonas que pueden ser afectadas por caída de ceniza y piedra pómez de más de 10 cm de grosor, durante erupciones de magnitud moderada a grande (IEV > 4). Sus límites están basados en los alcances de la erupción del Volcán Huaynaputina del año 1,600 d.C.

C) Amarillo: Zonas que pueden ser afectadas por caída de ceniza de menos de 10 cm de grosor, durante erupciones de magnitud grande (IEV > 6). Sus límites están basados en los alcances de la erupción del Volcán Huaynaputina del año 1,600 d.C. (INGEMMET, 2011b).

Figura 32. Mapa de peligros por caída de ceniza para una erupción de magnitud moderada a grande (IEV 4 a 6)





5.2.3.7 Mapa de peligro por caída de cenizas por erupción vulcaniana (IEV 1 – 2) (IGP)

En el mapa de peligro, se ha definido tres zonas de alto, moderado y bajo peligro, con posibilidad de depósitos de cenizas y lapilli, influenciados por las direcciones de los vientos (IGP, 2024).

A) Zona de alto peligro (rojo)

La zona de alto peligro, es el área proximal y comprende una zona de geometría elíptica, con una distancia de 15 km al este – sureste, y 8 km al oeste del cráter del volcán Ubinas (Figura 13). Durante erupciones vulcanianas con IEV 1-2, esta área puede ser afectada por caídas de ceniza de algunos milímetros a centímetros de espesor. Está basado en la dispersión de cenizas de erupciones vulcanianas de los volcanes Sabancaya, Ubinas y Misti (IGP, 2024).

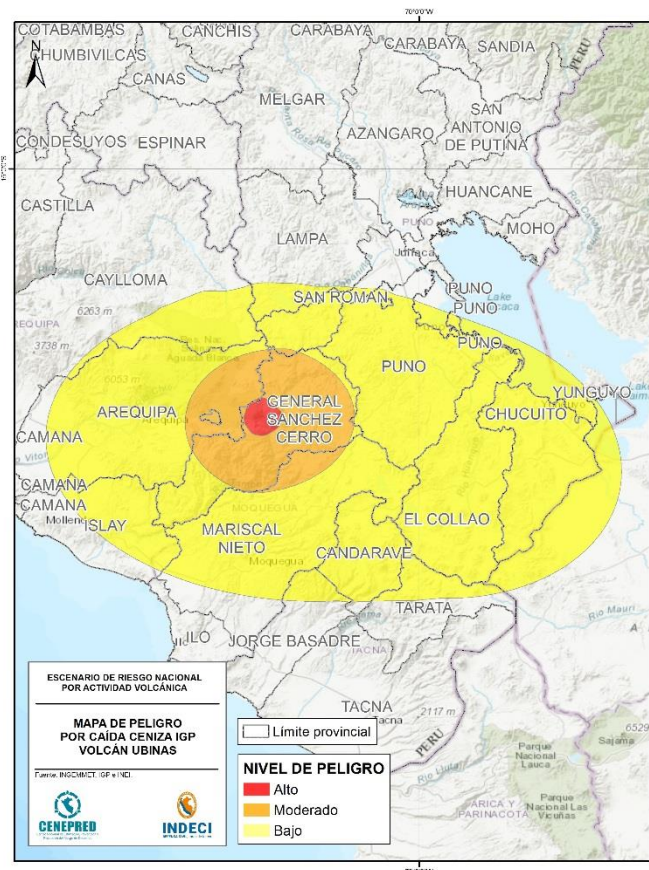
B) Zona de moderado peligro (naranja)

Los límites de la zona de moderado peligro se hallan aproximadamente entre 15 y 56 km al este y entre 8 y 42 km al oeste del cráter del volcán Ubinas (Figura 13). Durante erupciones vulcanianas con IEV 1-2, esta área puede ser afectada por caídas de ceniza de algunos milímetros de espesor (Figura 13). Esta hipótesis también está basada en los depósitos de cenizas generadas en las erupciones del volcán Ubinas en los años 2006-2009; 2013-2017; 2019; 2023-actualidad. Durante la erupción de 2019 se registraron depósitos de caídas de ceniza de 1 mm de espesor a 20 km de distancia al sureste del volcán Ubinas (IGP, 2024).

C) Zona de bajo peligro (amarillo)

La zona de bajo peligro tiene una configuración elíptica, con una distancia de más de 240 km al este, 125 km al oeste y 100 km al sur del volcán Ubinas (Figura 13). Durante erupciones vulcanianas con IEV 1-2, esta área puede ser afectada por caídas de ceniza de menos de 1.0 mm de espesor (Figura 13). En la erupción de 2019 se registraron depósitos de caídas de ceniza de menos de 1 mm de espesor a 90 km al sureste del volcán Ubinas (IGP, 2024).

Figura 33. Mapa de peligro por caída de cenizas por erupción vulcaniana (IEV 1 – 2)





5.3 Escenario de riesgo volcánico: Ubinas

5.3.1 Identificación de elementos expuestos

5.3.1.1 Mapa de peligro volcánico (INGEMMET)

Tabla 21. Elementos expuestos a peligro volcánico

Nivel de riesgo	ALTO				
Distrito	Población	Viviendas	Establec. Salud	Instituc. Educativas	Cob. Agrícola
MATALAQUE	62	77	1	1	185
UBINAS	68	125	0	2	867
Total	130	202	1	3	1,052

Nivel de riesgo	MODERADO				
Distrito	Población	Viviendas	Establec. Salud	Instituc. Educativas	Cob. Agrícola
MATALAQUE	21	17	0	0	94
UBINAS	594	582	1	8	655
Total	615	599	1	8	749

5.3.1.2 Mapa de escenarios críticos por lahares (IGP)

Tabla 22. Elementos expuestos a escenarios críticos por lahares

Nivel de riesgo	MODERADO				
Distrito	Población	Viviendas	Establec. Salud	Instituc. Educativas	Cob. Agrícola
UBINAS	1	4	0	0	0
Total	1	4	0	0	0

5.3.1.3 Mapa de avalancha de escombros (IGP)

Tabla 23. Elementos expuestos a avalancha de escombros

Nivel de riesgo	ALTO				
Distrito	Población	Viviendas	Establec. Salud	Instituc. Educativas	Cob. Agrícola
UBINAS	382	411	1	6	1,207
Total	382	411	1	6	1,207



5.3.1.4 Mapa de peligros por caída de ceniza para una erupción de magnitud baja a moderada (IEV 1 a 3)

Tabla 24. Elementos expuestos a caída de ceniza para una erupción de magnitud baja a moderada (IEV 1 a 3)

Nivel de riesgo	ALTO				
Departamento	Población	Viviendas	Establec. Salud	Instituc. Educativas	Cob. Agrícola
AREQUIPA	54	29	0	1	0
MOQUEGUA	1,035	1,052	3	17	1,977
Total	1,089	1,081	3	18	1,977

Nivel de riesgo	MODERADO				
Departamento	Población	Viviendas	Establec. Salud	Instituc. Educativas	Cob. Agrícola
AREQUIPA	938	531	2	4	20
MOQUEGUA	3,517	2,579	9	38	2,254
Total	4,455	3,110	11	42	2,275

5.3.1.5 Mapa de peligros por caída de ceniza para una erupción de magnitud moderada a grande (IEV 4 a 6)

Tabla 25. Elementos expuestos a caída de ceniza para una erupción de magnitud moderada a grande (IEV 4 a 6)

Nivel de riesgo	ALTO				
Departamento	Población	Viviendas	Establec. Salud	Instituc. Educativas	Cob. Agrícola
AREQUIPA	958	518	2	5	0
MOQUEGUA	4,564	3,662	11	54	4,238
PUNO	0	0	0	0	0
Total	5,522	4,180	13	59	4,238

Nivel de riesgo	MODERADO				
Departamento	Población	Viviendas	Establec. Salud	Instituc. Educativas	Cob. Agrícola
AREQUIPA	2,382	1,946	2	15	3,033
MOQUEGUA	6,684	5,836	11	69	5,423
PUNO	137	98	2	10	0
Total	9,203	7,880	15	94	8,455



5.3.1.6 Mapa de peligro por caída de cenizas por erupción vulcaniana (IEV 1 – 2) (IGP)

Tabla 26. Elementos expuestos a caída de cenizas por erupción vulcaniana (IEV 1 – 2) (IGP)

Nivel de riesgo	ALTO				
Departamento	Población	Viviendas	Establec. Salud	Instituc. Educativas	Cob. Agrícola
MOQUEGUA	972	978	3	14	1,955
Total	972	978	3	14	1,955

Nivel de riesgo	MODERADO				
Departamento	Población	Viviendas	Establec. Salud	Instituc. Educativas	Cob. Agrícola
AREQUIPA	1,119	732	2	5	20
MOQUEGUA	13,763	10,558	24	127	10,401
PUNO	0	0	1	1	0
TACNA	0	0	1	0	0
Total	14,882	11,290	28	133	10,421

5.3.2 Identificación de probables impactos

Como se ha manifestado anteriormente, en el volcán Ubinas pueden generarse flujos de lodo, con o sin erupción (periodo de lluvias). En caso de ocurrir una erupción en época de lluvia (diciembre a marzo), fecha durante el cual gran parte de la cumbre se halla cubierta de hielo y nieve. El hielo y nieve pueden fusionarse y así se convertirían en agua que fluye y se mezclaría con el material susceptible de ser incorporado en el camino del lahar.

Los lahares se desplazarían por las quebradas Volcanmayo, Sacohaya y Chillón, con dirección al río Tambo. La presencia de depósitos de flujos de barros antiguos y recientes en los cauces de ríos Ubinas y Para, y en las quebradas Infiernillo, Sacuaya y Chillón, indican que la posibilidad de ocurrencia de este tipo de evento ante cualquier erupción volcánica es alta (INGEMMET, 2011).

Daños que podrían causar entre los elementos expuestos en su ámbito de influencia:

- Muerte de personas y animales.
- Destrucción de infraestructura (carreteras, canales de regadío, bocatomas, etc.).
- Contaminación de las fuentes de agua.
- Arrasa zonas de cultivos.
- Las principales quebradas

Las quebradas localizadas sobre la ciudad de Arequipa, donde podrían ocurrir lahares son las siguientes:

- Quebrada Volcanmayo
- Quebrada Chiflón
- Quebrada Socahaya
- Quebrada Infiernillo
- Quebrada Postocone
- Río Tambillo
- Río Para
- Río Ubinas



Posibles zonas afectadas:

Los poblados de Querapi, Ubinas, Tonohaya, San Miguel, Huatagua, Harina.

Aunque el volcán Ubinas ha emitido gran cantidad de flujos de lava durante su historia eruptiva hasta hace aproximadamente 20 ka A.P. (Rivera, 2010), es poco probable que ocurra tal evento en una próxima actividad.

Página | 69

Actualmente, si se produciría una erupción efusiva o extrusiva, las lavas serían similares a las emplazadas en épocas anteriores de composición andesítica y/o dacítica. Estas lavas tendrían que rellenar la caldera para poder desplazarse por los flancos. Para que ocurra este proceso, las lavas deberían sobrepasar un volumen mayor a 1 km³ y desde luego no recorrerían mucha distancia a partir del cráter (menos de 6 km), pudiéndose predecir su curso.

Además, es necesario mencionar que el emplazamiento de lavas dentro del cráter y la caldera del Ubinas pueden propiciar el colapso del flanco sur del volcán, el cual es débil y poco resistente al embalse de la lava. Si las lavas logran rebalsar la caldera, estas tenderán a recorrer por las quebradas de los flancos Norte, NO y NE. Los flujos de lava causarían graves daños por incendio, impacto e incineración, y consecuentemente enterrarían todo lo que encuentren a su paso. El área amenazada por este fenómeno se estima que no sobrepasa los 20 km². En cualquier caso, los flujos de lava rara vez amenazarían la vida de los pobladores ya que les daría tiempo para evacuar la zona (INGEMMET, 2011)

Con respecto a este resultado, el cual también se determinó por exposición, pero en este caso las unidades de análisis fueron los distritos y su ubicación frente al mapa de peligro por caídas de ceniza para una erupción de magnitud moderada a grande (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), obteniéndose el siguiente resultado: con nivel de riesgo Muy Alto, los distritos fueron Ubinas, Yunga, Lloque, Chojata y Matalaque en Moquegua y, San Juan de Tarucani en Arequipa.

Una erupción pliniana producida por el volcán Ubinas generará tefras (principalmente pómez) que desde luego caerán en áreas aledañas y lejanas al volcán (>50 km). La dirección y distancia a recorrer por las caídas de pómez están en función de la dirección y velocidad de los vientos de altura (mayores de 10 km). Según las estaciones del año, en época lluviosa (diciembre a marzo), las tefras tenderán a viajar al Oeste, mientras que durante la estación seca (abril a noviembre) tenderán a viajar hacia el Este. El último depósito de caída pliniana de hace 1000 años que aflora a más de 40 km al Sureste del volcán (zona de Torata y Pachas) fue depositada debido a la dirección del viento, que en esa época era favorable al Sureste (INGEMMET, 2011).

Desde el punto de vista de peligros y riesgos las tefras (lapilli de pómez, bloques y cenizas) expelidas por dicha erupción pueden causar daños a la propiedad y víctimas por impacto de los materiales que caen sobre estas. La acumulación de las tefras puede causar que las construcciones (viviendas, colegios, centros médicos, etc.) colapsen, rompan las líneas de transmisión y afecten la agricultura, ganadería y fuentes de agua para consumo humano. Dependiendo de la magnitud de la erupción, las tefras depositadas formarán una capa encima del terreno, de varios centímetros a metros de espesor en áreas aledañas al volcán (INGEMMET, 2011).

La tefra suspendida en el aire puede causar serios problemas respiratorios, dañar las maquinarias, perturbar el tráfico vehicular y el transporte aéreo. La capacidad destructiva de caída de tefras a gran escala, dependerá de su volumen y dispersión (peso por m²), así como de la toxicidad de los gases asociados. Cuanto mayor sea el espesor de la caída de pómez, el tamaño y la temperatura de los materiales, más trágico serán los efectos (INGEMMET, 2011).



5.4 Conclusiones

Durante los últimos años, el volcán Ubinas mantiene una actividad intermitente con fumarolas y expulsión de cenizas volcánicas. Por consiguiente, se ha priorizado su elección para la elaboración del escenario de riesgo nacional.

Con relación a los resultados del mapa de peligro volcánico, se han contabilizado 130 personas expuestas con riesgo alto y 615 personas con riesgo moderado entre los distritos de Ubinas y Matalaque de la provincia de General Sánchez Cerro del departamento de Moquegua.

Página | 70

El mapa de avalancha de escombros identifica directamente a 382 personas con riesgo alto en el distrito de Ubinas.

Finalmente, de los escenarios más críticos por caída de ceniza por erupción vulcaniana del IGP, éste identifica al departamento de Moquegua con 972 personas con riesgo alto, mientras que, con riesgo moderado para el mismo departamento se ha identificado 13,763 personas y 1,119 personas en el departamento de Arequipa.



6 RECOMENDACIONES GENERALES

A los gobiernos regionales y locales de los ámbitos analizados, se les recomienda tomar en consideración los resultados del presente escenario de riesgo volcánico como diagnóstico territorial para el sustento y elaboración de sus instrumentos técnicos en el marco de la Gestión Prospectiva y Correctiva del Riesgo de Desastres, en cumplimiento de sus competencias como integrantes del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD).

Página | 71

A los gobiernos regionales y locales, entre los instrumentos que puede implementar, se encuentra el plan de prevención del riesgo desastres, el cual les permite priorizar sus recursos mediante la estrategia financiera de la gestión del riesgo de desastres desarrollada por el Ministerio de Economía y Finanzas, tales como el PP068 o el FONDES, con el objetivo de aplicar las medias estructurales y no estructurales para la reducción del riesgo de desastres que se requieran en el ámbito de su jurisdicción.

A los gobiernos regionales y locales, coordinar con las entidades técnico-científicas para la elaboración de estudios técnicos o con el CENEPRED para los estudios de evaluaciones de riesgo para ámbitos determinados como críticos, por concentrar la mayor cantidad de elementos expuestos. Estos ámbitos se identifican en el presente escenario de riesgo con los niveles de riesgo de Muy Alto y Alto, tanto para los sectores urbanos como agropecuarios.

A los gobiernos regionales y locales, articular los productos generados en el marco de la gestión del riesgo de desastres, como los estudios de diagnóstico territorial (escenarios de riesgo y evaluaciones de riesgo de desastres), con los diferentes procesos de la planificación y la gestión territorial.

Entre las medidas del corto plazo a implementar para los casos de estudio, se encuentra la difusión del presente escenario de riesgo volcánico en los gobiernos locales distritales y provinciales, así como entre la población local, principalmente a los sectores con niveles de riesgo Muy Alto y Alto. Es importante acompañar este proceso con campañas de sensibilización, con enfoque territorial y ambiental.

Con relación a las medidas de largo plazo, y después de haberse realizados los estudios específicos sobre las zonas críticas identificadas en el presente escenario, es importante que los gobiernos locales (distritales y provinciales) determinen la zonificación para ámbitos de conservación, con la finalidad de evitar su ocupación para actividades permanentes o con alta densidad poblacional sobre sectores con niveles de riesgo volcánico Muy Alto y Alto.

Con relación a las acciones a tomar en el marco de la gestión Reactiva, al INDECI, se le recomienda coordinar con las entidades nacional (sectoriales) y subnacionales, en el marco de sus competencias, para la elaboración del Plan de Contingencia Nacional ante Actividad Volcánica, tomando en consideración los resultados del presente estudio.



7 BIBLIOGRAFÍA

- IGP. (2021a). *Análisis de los escenarios de peligros volcánicos con origen en el volcán Misti: Aplicación al Distrito de Mariano Melgar.*
- IGP. (2021b). *Análisis y evaluación de escenarios críticos por descenso de lahares en volcanes peruanos.*
- IGP. (2024). *Mapas de Escenarios de Peligro por caída de Tefras, volcanes Sabancaya y Ubinas.*
- INGEMMET. (2011a). *Geología y evaluación de peligros del volcán Ubinas.*
- INGEMMET. (2011b). *Mapa de peligros del volcán Ubinas.*
- INGEMMET. (2013). *Monitoreo de los volcanes Misti y Ubinas. Periodo 2006 - 2012.*
- INGEMMET. (2016a). *Geología y Evaluación de Peligros del Complejo Volcánico Ampato - Sabancaya (Arequipa).*
- INGEMMET. (2016b). *INGEMMET, Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica N° 60. Geología y mapa de peligros del Volcán Misti.*



<https://www.gob.pe/cenepred>

Dirección: Av. Del Parque Norte. N°829 - 833. San Isidro, Lima - Perú

Horario: de atención: 08:30 a.m. a 05:30 p.m.